

การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่ม  
ความเข้มแสงโดยใช้วัสดุพรุน

**EFFICIENCY IMPROVEMENT OF A CONCENTRATED SOLAR  
COLLECTOR USING POROUS MEDIUM**

รุ่งเพชร เกษอินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่ม  
ความเข้มแสงโดยใช้วัสดุพอรุน

รุ่งเพชร เกษอินทร์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงโดยใช้วัสดุพรุน

Efficiency Improvement of a Concentrated Solar Collector Using Porous Medium

ชื่อ - นามสกุล

นายรุ่งเพชร เกษอินทร์

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.

ปีการศึกษา

2560

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศุภวิทย์ ลวณะสกล, วท.ด.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กนกกาญจน์ จิรกุลสมโชค, วศ.ด.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาณุ ประทุมทรัพย์รัตน์, Ph.D.)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว, D.Eng.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิวกร อ่างทอง, Ph.D.)

วันที่ 30 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงโดยใช้วัสดุพอรุน
ชื่อ - นามสกุล	นายรุ่งเพชร เกษอินทร์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยฤทธิ ประสาทแก้ว, D.Eng.
ปีการศึกษา	2560

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้วัสดุพอรุนในการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงสำหรับระบบผลิตลมร้อนและน้ำร้อน วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบเกี่ยวกับความสามารถในการส่งเสริมการถ่ายโอนความร้อนของวัสดุพอรุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดึงความร้อนจากรังสีอาทิตย์ส่งผ่านให้กับสารทำงานภายในตัวเก็บความร้อน โดยการศึกษาที่มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบระหว่างกรณีที่มีและไม่มีมีการประยุกต์ใช้วัสดุพอรุน

ระบบที่เสนอนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือ ตัวเก็บความร้อนหรือตัวรับรังสีอาทิตย์ ขนาด 0.7 ม. x 0.7 ม. x 0.5 ม. ที่ถูกติดตั้งไว้บนหอคอยสูง 3 เมตร และแผงสะท้อนรังสีอาทิตย์แบบกระจกหลายแผ่น ขนาดพื้นที่รับแสงรวม 25 ตารางเมตร ที่ทำหน้าที่สะท้อนและเพิ่มความเข้มแสงอาทิตย์ติดตั้งอยู่ห่างจากหอคอยตัวรับรังสีอาทิตย์ 20 เมตร วัสดุพอรุนที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเส้นใยโลหะเหลือทิ้งจากการบวนการกลึงโลหะ โดยวัสดุพอรุนถูกบรรจุไว้ภายในตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ มีการทดสอบประสิทธิภาพของระบบตามมาตรฐาน ISO 5459-2

ผลจากการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องทำลมร้อน กรณีไม่มีวัสดุพอรุนมีค่าเท่ากับร้อยละ 11.94 และกรณีที่มีวัสดุพอรุนมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 21.60 เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 70 ในส่วนของการผลิตระบบน้ำร้อน กรณีไม่มีวัสดุพอรุนมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 7.27 และกรณีที่มีวัสดุพอรุนมีค่าเท่ากับร้อยละ 17.25 จึงสรุปได้ว่า การใช้วัสดุพอรุนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำลมร้อนและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี

**คำสำคัญ:** ตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบเพิ่มความเข้มแสง แผงสะท้อนรังสีอาทิตย์ วัสดุพอรุน



<b>Thesis Title</b>	Efficiency Improvement of a Concentrated Solar Collector Using Porous Medium
<b>Name - Surname</b>	Mr. Rungpatch Ket-in
<b>Program</b>	Mechanical Engineering
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Boonrit Prasartkaew, D.Eng.
<b>Academic Year</b>	2017

## ABSTRACT

This thesis is an experimental study on the efficiency improvement of a concentrated solar collector for air and water heating system using porous medium. This thesis aims at comparing the heat transfer ability augmented by using porous medium for increasing the efficiency of heat extraction from solar radiation and transfer to the working fluid in the solar collector. In this study, the efficiency of the proposed system with- and without porous medium were compared.

This proposed system consists of two main parts, a 0.7m x 0.7m x 0.5m solar collector, was installed on a 3m height tower, and a 25m<sup>2</sup> multiple-mirror solar-heliostat for reflecting and increasing the solar intensity, was installed at 20m far from the receiver tower. The porous medium used in this study was the waste metal fiber from the lathing process and full filled in the solar collector. The ISO 5459-2 standard was conducted for this collector test.

The experimental results revealed that the efficiency of air heating system, in the cases of without- and with-porous medium are 11.94% and 21.60%, respectively. The efficiency can be increased significantly about 70%. Similarly for water heating system, the efficiency could be increased from 7.27% to 17.25%. It can be concluded that using porous medium could be significantly increase the efficiency of air and water heating system.

**Keywords:** Concentrated solar collector, Solar heliostat, Porous medium.

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยนี้ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ช่วยกรุณาให้คำแนะนำในการดำเนินการวิจัย ทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภวิทย์ ล้วนะสกุล ประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาณุ ประทุมทรัพย์รัตน์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กนกกาญจน์ จิรกุลสมโชค ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ได้กรุณาสละเวลาในการให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นและยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงได้อย่างเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคต

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและบุคลากรทุกท่านที่ได้ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับงานวิจัยนี้ตลอดจนอำนวยความสะดวกในเรื่องต่างๆ รวมทั้งเพื่อนๆ คอยให้การสนับสนุนและช่วยเหลือเสมอมา ผลสำเร็จจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครูอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน ที่มีส่วนในการช่วยเหลือให้งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

รุ่งเพชร เกษอินทร์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	(12)
บทที่ 1 บทนำ.....	13
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	13
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย .....	14
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย .....	14
1.4 ขั้นตอนการศึกษา .....	14
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	15
บทที่ 2 ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	16
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์.....	16
2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ .....	18
2.3 อุปกรณ์วัดพลังงานแสงอาทิตย์.....	20
2.4 ตัวเก็บแสงอาทิตย์แบบรวมแสง.....	23
2.5 ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์แบบหอคอย .....	32
2.6 วัสดุพอรุน.....	39
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	45
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	46
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	46
3.2 ศักยภาพละเอียดและคุณสมบัติของวัสดุพอรุน .....	46
3.3 เครื่องมืออุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ .....	49
3.4 ขั้นตอนการออกแบบตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ .....	53

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ .....	54
3.6 วิธีการทดสอบและบันทึกผลการทดลอง .....	55
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	57
4.1 การวิเคราะห์ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนแสงอาทิตย์เชิงเปรียบเทียบกรณีที่ไม่มี วัสดุพอรุนและกรณีที่มีวัสดุพอรุน .....	57
4.2 การทดลองและวิเคราะห์ระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	61
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	66
5.1 ผลการวิเคราะห์ .....	66
5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย.....	66
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	67
บรรณานุกรม .....	69
ภาคผนวก .....	71
ภาคผนวก ก ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์การทดลอง .....	72
ภาคผนวก ข ขั้นตอนดำเนินการก่อสร้าง .....	77
ภาคผนวก ค แบบแปลนโครงสร้าง.....	82
ภาคผนวก ง ผลการทดลองค่าอุณหภูมิ .....	88
ภาคผนวก จ ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่ .....	133
ประวัติผู้เขียน .....	151

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Themis.....	36
ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะทางกายภาพของวัสดุพูนชนิดเซลล์สุริยะเปิด.....	40



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์.....	17
รูปที่ 2.2 ช่วงความยาวคลื่น .....	18
รูปที่ 2.3 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี .....	19
รูปที่ 2.4 ภาพของไพรานอมิเตอร์.....	20
รูปที่ 2.5 ภาพของไพรานอมิเตอร์วัดรังสีกระจาย.....	21
รูปที่ 2.6 ภาพของไพโรเฮลิโอมิเตอร์.....	22
รูปที่ 2.7 ภาพของเครื่องบันทึกแดด.....	23
รูปที่ 2.8 ตัวเก็บรังสีแบบรวมรังสีลักษณะต่าง ๆ.....	24
รูปที่ 2.9 แผนภาพของดวงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ $T_s$ ระยะห่าง R จากตัวรวมรังสีมีพื้นที่ช่องรับแสง $A_a$ และพื้นที่ตัวรับแสง $A_r$ .....	25
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการรวมรังสีกับอุณหภูมิของตัวรับแสง.....	26
รูปที่ 2.11 ส่วนของตัวรวมรังสีแบบพาราโบลา .....	26
รูปที่ 2.12 มิติของอิมเมจสำหรับตัวรวมรังสี .....	27
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\theta_r$ กับ $f/a$ .....	27
รูปที่ 2.14 แผนภาพของรังสีสะท้อนจากศูนย์กลางและขอบของ (ครึ่ง) ตัวสะท้อนพาราโบลาที่มี ตัวรับแสงแบบราบที่เล็กที่สุด.....	28
รูปที่ 2.15 ระบบสะท้อนแสงหอคอย.....	30
รูปที่ 2.16 ภาพแสดงโรงไฟฟ้า Eurelios.....	31
รูปที่ 2.17 ภาพแสดงโรงไฟฟ้า IEA-SSPS .....	32
รูปที่ 2.18 แผนภูมิของโรงไฟฟ้า Solar one .....	33
รูปที่ 2.19 ภาพแสดงโรงไฟฟ้า Solar one.....	33
รูปที่ 2.20 ภาพแสดงโรงไฟฟ้า CESA-1 .....	34
รูปที่ 2.21 แผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Themis.....	35
รูปที่ 2.22 แสดงภาพโรงไฟฟ้า Themis .....	35
รูปที่ 2.23 แสดงภาพโรงไฟฟ้า C3C-5 .....	36
รูปที่ 2.24 ลักษณะโครงสร้างภายในของวัสดุพูน .....	37

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.25 ลักษณะโครงสร้างวัสดุพูนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น .....	38
รูปที่ 2.26 ลักษณะ โครงสร้างวัสดุพูนชนิดรังผึ้ง .....	39
รูปที่ 2.27 ลักษณะ โครงสร้างวัสดุพูนแบบเส้นใย .....	39
รูปที่ 2.28 ภาพขยายเซลล์วัสดุพูนและการจัดรูปแบบ โครงสร้างให้อยู่ด้านใน 1 .....	40
รูปที่ 2.29 ภาพขยายเซลล์วัสดุพูนและการจัดรูปแบบ โครงสร้างให้อยู่ด้านใน 2 .....	41
รูปที่ 2.30 ขั้นตอนการจัดรูปแบบ โครงสร้างเซลล์ของเซลล์ลูลาร์เปิดที่มีผลต่อการแผ่รังสี .....	42
รูปที่ 3.1 วัสดุพูนตามธรรมชาติ (ก)ไม้ (ข) เนื้อเยื่อปอดมนุษย์ (ค) หินทราย (ง) รังผึ้ง .....	47
รูปที่ 3.2 หลักการทำงานของวัสดุพูนที่ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสี .....	48
รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของวัสดุพูนที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสี .....	48
รูปที่ 3.4 โครงสร้างของเสา และแผงสะท้อนรังสี (Heliostats) .....	49
รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์ตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ .....	50
รูปที่ 3.6 ไฟควบคุมมอเตอร์ชุดแผงสะท้อนแสงอาทิตย์ .....	50
รูปที่ 3.7 เครื่องเป่าลม (Air Bower) .....	51
รูปที่ 3.8 ปั๊มน้ำ (Pump) .....	52
รูปที่ 3.9 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ DATA TAKER รุ่น DL605 .....	52
รูปที่ 3.10 เครื่องวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ (Pyranometer) .....	53
รูปที่ 3.11 แผนผังระบบการทดลอง.....	54
รูปที่ 3.12 โครงสร้างชุดทดลองตัวเก็บความร้อนความร้อนแสงอาทิตย์.....	55
รูปที่ 3.13 ภาพวัสดุพูนที่ใช้ในการศึกษา.....	55
รูปที่ 4.1 แสดงระบบการทดสอบกรณีไม่มีวัสดุพูน.....	57
รูปที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิที่ทางเข้าและออกของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์กรณีไม่มีวัสดุพูน ขณะทดลอง .....	58
รูปที่ 4.3 แสดงค่าประสิทธิภาพของระบบการทดลองกรณีไม่มีวัสดุพูน .....	59
รูปที่ 4.4 แสดงค่าของความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ขณะทดลอง .....	59

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิที่ทางเข้าและออกของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์กรณีมีวัสดุพูน ขณะทดลอง .....	60
รูปที่ 4.6 แสดงค่าประสิทธิภาพของระบบการทดลองกรณีมีวัสดุพูน .....	60
รูปที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออก และอุณหภูมิของภายในตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูนขณะทดลอง .....	61
รูปที่ 4.8 แสดงค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกรณีไม่มีวัสดุพูนขณะทดลอง .....	62
รูปที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบที่อัตราการไหลกรณีไม่มีวัสดุพูน ขณะทดลอง .....	66
รูปที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกกรณีมีวัสดุพูนขณะทดลอง .....	66
รูปที่ 4.11 แสดงค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกรณีมีวัสดุพูนขณะทดลอง .....	64
รูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบที่อัตราการไหลกรณีมีวัสดุพูนขณะทดลอง .....	64





## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a	หมายถึง ความกว้างของช่องรับแสง, m
A	หมายถึง พื้นที่, $m^2$
$A_a$	หมายถึง พื้นที่ของช่องรับแสง, $m^2$
$A_r$	หมายถึง พื้นที่ตัวเก็บแสงอาทิตย์, $m^2$
C	หมายถึง อัตราส่วนพื้นที่รับแสง
$C_p$	หมายถึง ความจุความร้อนจำเพาะหน่วยคือ $KJ/kg \cdot ^\circ C$
D	หมายถึง เส้นผ่านศูนย์กลาง, m
$E_{r-1}$	หมายถึง สัดส่วนของพลังงานที่แผ่จากตัวรับแสงไปยังดวงอาทิตย์
G	หมายถึง ความเข้มของแสงอาทิตย์ $W/m^2$
L	หมายถึง ความยาว, m
m	หมายถึง มวล หน่วยคือ kg.
$\dot{m}$	หมายถึง อัตราการไหลเชิงมวลน้ำร้อน $kg/s$
$n_r$	หมายถึง จำนวนครั้งของการสะท้อน
$q'_u$	หมายถึง พลังงานที่ใช้ประโยชน์ต่อหน่วยความยาวของตัวเก็บรังสี
Q	หมายถึง พลังงาน, W
$Q_u$	หมายถึง พลังงานที่ใช้ประโยชน์, W
r	หมายถึง รัศมี, m
R	หมายถึง ระยะห่างระหว่างตัวรวมรังสีกับดวงอาทิตย์, m
S	หมายถึง ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ถูกลิ้น, $W \cdot m^2$

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันความต้องการพลังงานเพิ่มสูงมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้หลายประเทศประสบปัญหาด้านพลังงานเชื้อเพลิงมีราคาแพง ส่งผลกระทบต่อการเพิ่มราคาของสินค้าสิ่งของอุปโภคบริโภคการขนส่งต่างๆ หรือที่เกี่ยวข้องซึ่งทั้งหมดนี้ล้วนแต่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อเศรษฐกิจและการดำเนินชีวิตประจำวันของประชาชน ในขณะที่แหล่งพลังงานธรรมชาติมีอยู่อย่างจำกัดและแหล่งพลังงานบางอย่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel) กำลังจะหมดไปจากโลกในอีกไม่กี่สิบปีข้างหน้าอีกทั้งอัตราการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นจึงอาจส่งผลทำให้เกิดพลังงานขาดแคลน เมื่อความต้องการพลังงานสูงขึ้นทำให้ราคาของพลังงานสูงขึ้นด้วยจากปัญหาและวิกฤตดังกล่าวทำให้หลายๆ ประเทศหันมาส่งเสริมและพัฒนาด้านพลังงานทางเลือก จึงมีความพยายามที่จะมองหาแหล่งพลังงานทดแทนพลังงานแสงอาทิตย์นับเป็นพลังงานที่น่าสนใจและมีความเหมาะสมเป็นอย่างมากต่อลักษณะและสภาพแวดล้อมของประเทศไทย ซึ่งอยู่ในเขตร้อนจะมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีอยู่มากมาย พลังงานจากดวงอาทิตย์ที่นำมาใช้ประโยชน์มีน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานที่ดวงอาทิตย์ปล่อยออกมา ประโยชน์หลักๆ คือ แปรรูปเป็นพลังงานความร้อน และการแปรรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า การแปรรูปเป็นพลังงานความร้อนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีกมากมาย เช่น การใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนแก่อาคารหรือสามารถนำมาใช้ในอาคาร โรงงานอุตสาหกรรมและอุปกรณ์ที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนนั้นคือ ตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ในระบบการทำความร้อน ตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์จะถูกพัฒนาในการเก็บรังสีจากพลังงานแสงอาทิตย์

ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงสำคัญอย่างยิ่ง การวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในปัจจุบันมุ่งเน้นให้เกิดการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าเพื่อการใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด รวมทั้งการลดต้นทุนทางพลังงาน พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ก็มีความสัมพันธ์โดยตรงกับพลังงานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมทั่วไป ดังนั้นการศึกษาวิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงโดยใช้วัสดุพูน จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการนำไปสู่การออกแบบ และการเลือกวัสดุต่างๆ ที่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพความร้อน ได้อย่างเหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด

ในประเทศไทยแผงผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ก็ยังไม่เป็นที่แพร่หลายเท่าที่ควรเนื่องจากมีราคาแพงกว่าเครื่องทำน้ำร้อนจากไฟฟ้า อีกทั้งปัจจุบันแผงผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นแผงที่นำโลหะมาเป็นวัสดุในการทำท่อน้ำ เพื่อให้สามารถผลิตน้ำร้อนได้ อุณหภูมิสูง จึงนิยมใช้ท่อทองแดง ซึ่งทองแดงมีความสามารถในการนำความร้อนได้ดีแต่ท่อทองแดงและข้อต่อต่างๆ มีราคาต่อเมตรสูง รวมทั้งการประกอบท่อน้ำทำได้ยากอีกทั้งเครื่องมือในการเชื่อมประกอบมิใช่เครื่องมือทั่วไปที่จะสามารถหาใช้งานได้ง่าย จำเป็นต้องใช้ช่างผู้ชำนาญการ หรือการว่าจ้างในการผลิตแผงฯ ทำให้มีราคาสูง จึงไม่เป็นที่สนใจของประชาชนทั่วไป

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงโดยใช้วัสดุพอรุน โดยการศึกษาได้ทดสอบประสิทธิภาพตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ ระบบที่มีวัสดุพอรุนและไม่มีวัสดุพอรุน จะใช้น้ำและอากาศสารตัวทำงานในระบบที่ผลิตการน้ำร้อนและอากาศร้อน ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ ทั้งหมดได้การทดลองภายใต้สภาวะอากาศและแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อทดสอบสมรรถนะระบบตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงอาทิตย์โดยใช้วัสดุพอรุน

1.2.2 ศึกษาถึงคุณลักษณะการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแบบมีการเพิ่มความเข้มแสงโดยใช้วัสดุพอรุน

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 สร้างระบบการตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสง โดยใช้วัสดุพอรุน ขนาดความกว้าง 0.7 x 0.7 เมตร สูง 3.60 เมตร

1.3.2 มีการเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้วัสดุพอรุนมีลักษณะเป็นเศษวัสดุโลหะ

1.3.3 ศึกษาเชิงเปรียบเทียบกรณีมีวัสดุพอรุนและไม่มีวัสดุพอรุน

1.3.4 การทดลองจะเริ่มตั้งแต่ช่วงระยะเวลา 09.00 -16:00 นาฬิกา

## 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

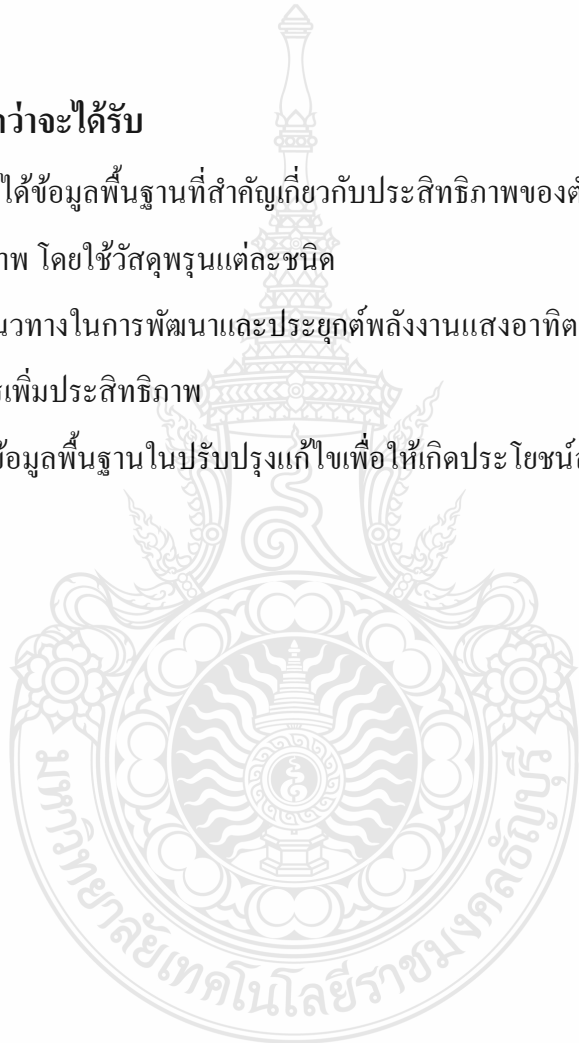
1.4.1 ศึกษาทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ศึกษารวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานแสงอาทิตย์

- 1.4.3 ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับคุณสมบัติของวัสดุพูนที่ใช้ในการทดลอง
- 1.4.4 ติดตั้งโครงสร้างและติดตั้งระบบตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์
- 1.4.5 ติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบและเครื่องมือวัดค่า
- 1.4.6 ทดสอบระบบเก็บข้อมูลเชิงเปรียบเทียบกรณีมีวัสดุพูนและไม่มีวัสดุพูน
- 1.4.7 วิเคราะห์ข้อมูลประสิทธิภาพของระบบ สาเหตุและผลงานวิจัย
- 1.4.8 สรุปและจัดพิมพ์รายงาน

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทำให้ได้ข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญเกี่ยวกับประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ที่มีการเพิ่มประสิทธิภาพ โดยใช้วัสดุพูนแต่ละชนิด
- 1.5.2 ได้แนวทางในการพัฒนาและประยุกต์พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบของความร้อน โดยใช้วัสดุพูนใช้การเพิ่มประสิทธิภาพ
- 1.5.3 เป็นข้อมูลพื้นฐานในปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด



## บทที่ 2

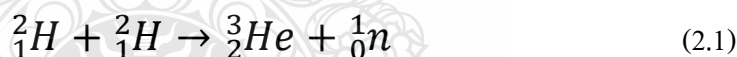
### ทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์นี้ เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงโดยใช้วัสดุพูน ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาในเรื่องนี้ โดยแบ่งเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

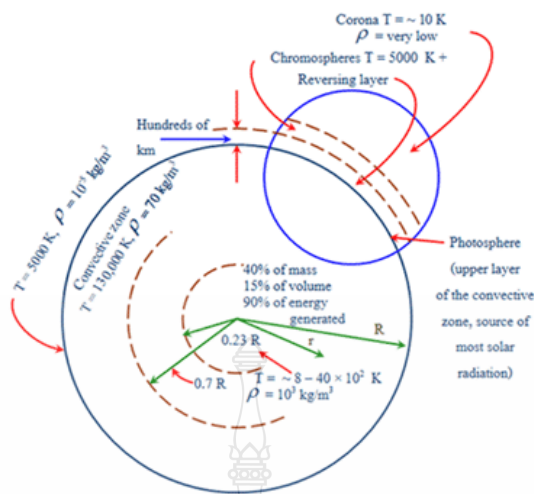
#### 2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ [2,3] เป็นแหล่งพลังงานที่อุดมสมบูรณ์ และถาวรมากที่สุด ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นถึงความเหมาะสมของแหล่งพลังงานที่วัดได้ เป็นแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในทุกๆ ท้องที่ของประเทศไทย แต่พลังงานแสงอาทิตย์นี้เป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับช่วงเวลา และสภาวะของท้องฟ้าในแต่ละวัน

พลังงานแสงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ฟิวชั่นของก๊าซที่เป็นส่วนประกอบอย่างต่อเนื่อง พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวหลายชนิด ปฏิกิริยาที่สำคัญ คือ การรวมตัวกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม



โดยการเปลี่ยนมวลของดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงาน คือ แก๊สไฮโดรเจนในดวงอาทิตย์ 4 อะตอมรวมกันเป็นฮีเลียม 1 โมเลกุล แต่ฮีเลียม 1 โมเลกุลที่ได้มีมวลน้อยกว่าแก๊สไฮโดรเจน 4 อะตอม โดยมวลที่หายไปจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานของรังสีที่ผาออกไป ซึ่งพลังงานนี้มีการเคลื่อนที่ในลักษณะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าโดยโครงสร้างของดวงอาทิตย์ที่บริเวณ 0.23 R (และ R คือ รัศมีของดวงอาทิตย์) รอบศูนย์กลางประกอบด้วยสารที่มีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ  $100 \text{ g/cm}^3$  น้ำหนักรวมของส่วนนี้เท่ากับ 40% ของน้ำหนักทั้งหมด 90% ของพลังงานที่ดวงอาทิตย์ผลิตได้จากบริเวณนี้มีอุณหภูมิเท่ากับ  $8 \times 10^6 \text{ K}$  ถึง  $4 \times 10^6 \text{ K}$  ถัดออกจากระยะ 0.23 R ถึงระยะ 0.7 R ความถ่วงจำเพาะลดลงเหลือ  $0.07 \text{ g/cm}^3$  และอุณหภูมิเท่ากับ  $10^8 \text{ K}$  ระยะจาก R ถึงผิวมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ  $10^{-8} \text{ g/cm}^3$  และอุณหภูมิเท่ากับ 5,000 K ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของดวงอาทิตย์ [5]

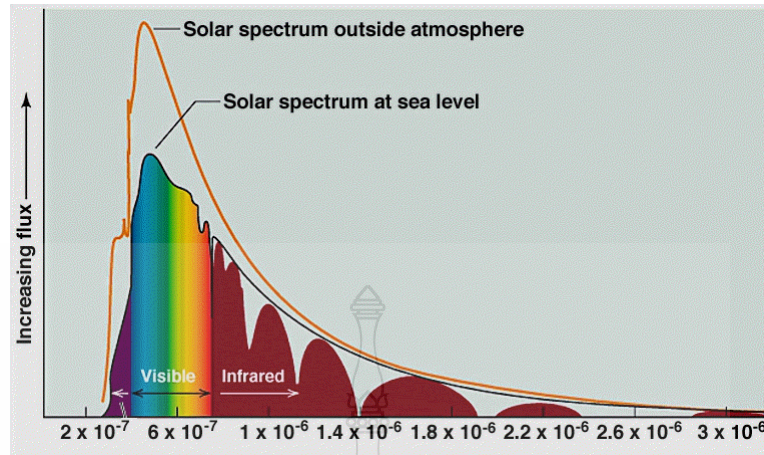
### 2.1.1 รังสีแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์มีขั้วโปรตรอนส่งมาเป็นหลักในรูปแบบของสเปกตรัมหรือคลื่นแม่เหล็กความร้อน (Electromagnetic Thermal) ในรูปแบบของการแผ่รังสีความร้อนที่มีความยาวคลื่นต่างกัน เช่น ความร้อน แสงสว่าง รังสีอัลตราไวโอเล็ต รังสีเอ็กซ์ และรังสีแกมมา โดยการแผ่รังสีแสงอาทิตย์ สามารถจำแนกประเภทรังสีตามความยาวคลื่นได้ 2 ประเภท คือ

2.1.1.1 รังสีแสงอาทิตย์ หรือรังสีคลื่นสั้น (Solar or Short-Wave Radiation) เป็นรังสีที่ปลดปล่อยออกจากดวงอาทิตย์มีความยาวคลื่นตั้งแต่  $0.3 - 3.0 \mu\text{m}$  ประกอบไปด้วยรังสีตรงและรังสีกระจาย โดยสัดส่วนพลังงานคลื่นสั้นที่มาจากดวงอาทิตย์สามารถแบ่งเป็นเปอร์เซ็นต์ได้ดังนี้

- 1) 100 ส่วนส่งผ่านมายังส่วนบนของชั้นบรรยากาศผ่านเข้าไปในบรรยากาศ
- 2) ก๊าซและไอโซนในบรรยากาศดูดกลืนรังสีคลื่นสั้นจำนวน 25 ส่วน
- 3) เมฆในบรรยากาศสะท้อนรังสีคลื่นสั้นกลับไปยังอวกาศจำนวน 25 ส่วน
- 4) พื้นผิวโลกสะท้อนรังสีคลื่นสั้นกลับไปยังอวกาศจำนวน 5 ส่วน
- 5) บางส่วนถูกดูดกลืนโดยพื้นผิวโลกจำนวน 45 ส่วน

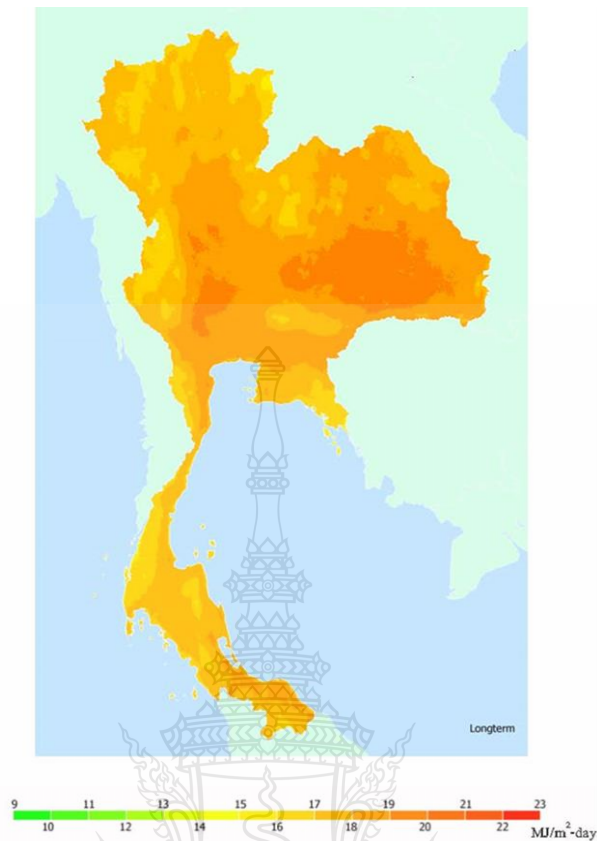
2.1.1.2 รังสีคลื่นยาว (Long-Wave Radiation) เป็นรังสีที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิดความร้อนที่อุณหภูมิแวดล้อมปกติมีความยาวคลื่นมากกว่า  $3.0 \mu\text{m}$  เช่น รังสีที่แผ่ออกจากบรรยากาศตัวเก็บรังสีอาทิตย์ หรือวัตถุต่างๆ ที่อุณหภูมิปกติ



รูปที่ 2.2 ช่วงความยาวคลื่น

## 2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นกับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น หรือที่เรียกว่า “ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์” (global radiation) มีหน่วยทางด้านพลังงานเป็น เมกกะจูลต่อตารางเมตร ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ) โดยบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเป็นไปตามพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี กล่าวคือ ในพื้นที่หนึ่งๆค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้านถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยงวัน และลดต่ำลงจนถึงช่วงเย็น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศ (air mass) เป็นกลุ่มของอากาศขนาดใหญ่ที่ ครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างระดับทวีปหรือมหาสมุทร กลุ่มอากาศดังกล่าว มีอุณหภูมิและความชื้นทั้งกลุ่มใกล้เคียงกัน มีขนาดความกว้าง คิดเป็นพื้นที่มากกว่า 1,000 ตารางกิโลเมตร ซึ่งรังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลกและผลจากมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เช้านถึงเย็น สำหรับการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่เป็นผลมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาโดยมีเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญ [4]



รูปที่ 2.3 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี [4]

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่า การกระจายของความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศได้รับอิทธิพลสำคัญจาก ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m<sup>2</sup>-day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของ จังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อัญญา นครสวรรค์ และลพบุรี โดยได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19-20 MJ/m<sup>2</sup>-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ และนอกจากนี้ยังพบว่าร้อยละ 50.2 ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 18-19 MJ/m<sup>2</sup>-day ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและบางส่วนของภาคกลาง บริเวณที่มีศักยภาพค่อนข้างต่ำมีเพียงร้อยละ 0.5 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ



(บริเวณภูเขาทางด้านตะวันออกและตะวันตกของภาคเหนือ) จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ  $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$  จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

## 2.3 อุปกรณ์วัดพลังงานแสงอาทิตย์

### 2.3.1 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)

ไพรานอมิเตอร์ [5] เป็นอุปกรณ์วัดค่ารังสีรวม ปกติจะใช้วัดบนพื้นราบแต่อาจประยุกต์วัดรังสีกระจายได้โดยติดตั้งแหวนหรือจานบังเงา ไพรานอมิเตอร์ประกอบด้วยตัวรับแสง (Detector) ที่ประกอบด้วย (Thermopile) หลายชุดต่ออนุกรมกัน ตัวรับแสงบรรจุอยู่ในโดมแก้วครึ่งทรงกลม โดมแก้วนี้มีหน้าที่ป้องกันตัวรับแสงจากฝุ่นและลม ซึ่งจะทำให้ตัวรับแสงสูญเสียความร้อนไป เนื่องจากการพาและการแผ่รังสี ปกติโดมแก้วจะมี 2 ชั้นทำด้วยแก้วพิเศษซึ่งจะต้องมีความหนาที่สม่ำเสมอ เพื่อที่จะไม่ก่อให้เกิดการกระจายของรังสีที่จะตกกระทบตัวรับแสง เทอร์โมโพล์ประกอบด้วยโลหะต่างชนิดเชื่อมกันอยู่ โลหะแต่ละชั้นข้างหนึ่งชุบด้วยสีดำและอีกด้านหนึ่งชุบเคลือบด้วยสีขาวสลับกัน โลหะด้านที่ชุบเคลือบด้วยสีขาวจะมีสมบัติสะท้อนรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ โลหะสีดำมีสมบัติการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เมื่อมีแสงตกกระทบจะก่อให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของผิวทั้งสอง เนื่องจากโลหะข้างหนึ่งดูดกลืนรังสีอาทิตย์ อีกข้างหนึ่งสะท้อนรังสีอาทิตย์ ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า เนื่องจากปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยที่แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของโลหะขาวและดำ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิจะขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบตัวรับแสง แรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีค่าประมาณ  $5\text{-}10 \text{ mV}\cdot\text{cal}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{min}^{-1}$  ได้ โดมแก้วจะมีจานกลมสีขาวสวมอยู่ จานกลมนี้มีหน้าที่ป้องกันรังสีกระจายที่สะท้อนจากพื้นดินและสิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะให้รังสีที่เข้าโดมเป็นรังสีที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้าเท่านั้น



รูปที่ 2.4 ภาพของไพรานอมิเตอร์

ในการวัดรังสีกระจายในแนวราบสามารถทำได้โดยใช้ไพรานอมิเตอร์ชนิดเดียวกับที่ใช้วัดรังสีรวม แต่จะต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้บังรังสีตรงไม่ให้รังสีตรงตกลงบนตัวรับรังสีแสง อุปกรณ์บังรังสีตรงที่สำคัญมี 2 ชนิด คือ

1) จานบังเงา (Shading Disc) มีลักษณะเป็นจานกลมเล็ก ซึ่งขับเคลื่อนโดยใช้เครื่องมือติดตามแสงอาทิตย์ (Solar Tracking) โดยที่เงาของจานกลมจะตกลงบนตัวรับแสงตลอดทั้งวัน และขนาดของเงาจะต้องมีขนาดพอดีกับตัวรับแสงเพื่อไม่ให้จานกลมบังรังสีส่วนอื่นที่ไม่ใช่รังสีตรง รังสีที่ตกกระทบตัวรับแสงจึงเป็นรังสีกระจายเท่านั้น

2) แหวนบังเงา (Shading Ring) มีลักษณะส่วนเป็นส่วนของวงแหวน โดยวงแหวนนี้จะต้องวางให้มีมุมเอียงเท่ากับเส้นรุ้งของตำแหน่งที่ต้องการวัด และจะต้องมีการขยับวงแหวนให้เงาของวงแหวนตกลงบนตัวรับแสงตลอดเวลา เนื่องจากวงแหวนมีขนาดใหญ่ เงาของวงแหวนนอกจากจะบังรังสีตรงแล้วยังบังรังสีกระจายบางส่วนไม่ให้ตกกระทบตัวรับแสง ดังนั้นจึงจะต้องมีค่าชดเชยรังสีกระจายที่วัดได้โดยที่ค่าชดเชยนี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของวงแหวน สถานที่ตั้งและฤดูกาล



รูปที่ 2.5 ภาพของไพรานอมิเตอร์วัดรังสีกระจาย

### 2.3.2 ไพเฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer)

ไพเฮลิโอมิเตอร์ [5] เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดรังสีตรง มีหลักการทำงานคล้ายไพรานอมิเตอร์ แต่ไพเฮลิโอมิเตอร์ต่างจากไพรานอมิเตอร์ตรงที่มีชุดขับเคลื่อนตามดวงอาทิตย์ เพื่อที่จะให้ตัวรับแสงตั้งฉากกับ ลำแสงตลอดเวลา ตัวรับแสงติดอยู่ส่วนท้ายของท่อที่ให้แสงเข้ามาสู่ตัวรับแสงที่ปาก

กล้องมีค่าไม่เท่ากันแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบจึงเป็นรังสีตรงและรังสีกระจายรอบดวงอาทิตย์ซึ่งในทางปฏิบัติ จะถือว่ารังสีที่วัดได้เป็นรังสีตรงอย่างเดียว



รูปที่ 2.6 ภาพของไพเฮลิโอมิเตอร์

### 2.3.3 เครื่องบันทึกแดด (Sunshine Recorder)

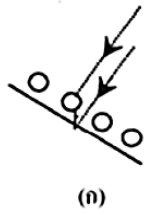
เครื่องบันทึกแดด [5] เป็นเครื่องบันทึกช่วงเวลาที่รังสีตรงมีความเข้มสูงพอที่จะกระตุ้นเครื่องบันทึกโดยที่ช่วงเวลาที่วัดได้ที่สั้นที่สุดคือ 0.1 ชั่วโมง การกระตุ้นเครื่องมือจะใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือใช้ปฏิกิริยาโฟโตโวลตาอิก องค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization: WMO) ใช้เครื่องบันทึกแดดชนิดแคมป์เบลล์-สโตกส์ (Campbell-Stokes Sunshine Recorder) เป็นมาตรฐาน เครื่องบันทึกแดดชนิดนี้ประกอบด้วยลูกแก้วทรงกลมขัดมันผิวเรียบ โดยที่แกนของลูกแก้วจะขนานกับแกนของโลก ทรงกลมแก้วจะรวมรังสีให้ตกกระทบบนกระดาษพิเศษซึ่งมีช่วงเวลากำกับเมื่อดวงอาทิตย์เปลี่ยนตำแหน่งจุดรวมแสงบนกระดาษก็จะเปลี่ยนตำแหน่งไปด้วย ถ้าแสงมีความเข้มสูงก็จะทำให้กระดาษไหม้เป็นแถบ ความยาวของแถบไหม้บนกระดาษจะสมนัยกับช่วงเวลาที่แดด (Sunshine Duration) กระดาษแผ่นหนึ่งจะใช้บันทึกหนึ่งวัน และชนิดของกระดาษจะขึ้นกับฤดูกาล



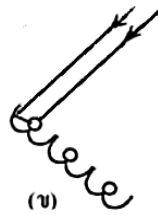
รูปที่ 2.7 ภาพของเครื่องบันทึกแดด

## 2.4 ตัวเก็บแสงอาทิตย์แบบรวมแสง

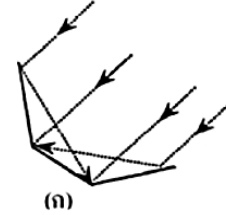
ตัวเก็บแสงอาทิตย์ [5] หรือตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบรวมแสง (Concentrating Collector) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำหน้าที่แปลงพลังงานรังสีอาทิตย์ให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อน แผงรับรังสีอาทิตย์มีความแตกต่างจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั่วไป เนื่องจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั่วไปจะมีลักษณะการแลกเปลี่ยนระหว่างของไหลกับของไหล แต่แผ่นสื่อาทิตย์จะมีลักษณะการถ่ายเทความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ไปยังของไหล แผงรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบรวมแสงสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายรูปแบบ ได้แก่ ตัวเก็บแสงอาทิตย์แบบรวมแสง (Concentrator) ทำหน้าที่สะท้อน หรือตัวหักเห (Reflector or Refractor) ตัวเก็บแสงอาทิตย์แบบรวมแสงมีลักษณะเป็นทรงกระบอก หรือผิวโค้ง (Cylindrical or Surfaces of Revolution) และตัวรวมรังสีแบบต่อเนื่องหรือแบบแยกส่วน (Continuous or Segmented) นอกจากนี้ตัวรับรังสีอาจเป็นแบบนูน แบบแบน หรือแบบเว้า (Convex, Flat or Concave) และแบบมีแผ่นปิด หรือแบบไม่มีแผ่นปิด (Covered or Uncovered) เนื่องจากการยากที่จะนำหลักการวิเคราะห์ทั่วไปมาใช้กับตัวเก็บรังสีทุกแบบ ดังนั้นจึงแบ่งตัวรวมรังสีออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ตัวเก็บรังสีแบบไม่มีภาพมีอัตราส่วนการรวมรังสีต่ำ และตัวเก็บรังสีแบบมีภาพเชิงเส้น (Linear Imaging Collector) ซึ่งมีอัตราส่วนการรวมรังสีปานกลาง



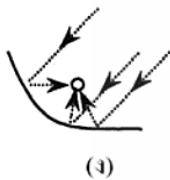
ตัวดูดกลืนแบบท่อที่มี  
สะท้อนรังสีอยู่ด้านหลัง



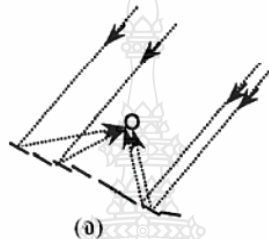
ตัวดูดกลืนแบบท่อที่มีตัว  
สะท้อนป็นแบบ Specular cusp



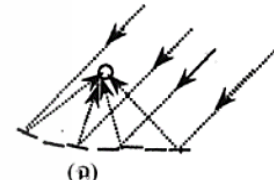
ตัวรับรังสีและตัว  
สะท้อนที่เป็นระนาบ



ตัวรวมรังสีแบบพาราโบลา



ตัวสะท้อนแบบ Fresnel



แถวของฮีลิโอสแตท

รูปที่ 2.8 ตัวเก็บรังสีแบบรวมรังสีลักษณะต่างๆ

#### 2.4.1 อัตราส่วนการรวมรังสี

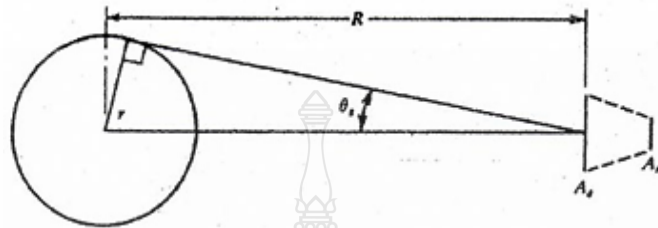
อัตราส่วนการรวมรังสี [5] ที่จะใช้ในที่นี้เป็นอัตราส่วนพื้นที่การรวมรังสี (Area Concentration Ratio) ซึ่งจำกัดความ คือ อัตราส่วนพื้นที่ช่องรับแสงต่อพื้นที่ของตัวรับแสงสำหรับอัตราส่วนฟลักซ์การรวมรังสีจะนิยามเป็นฟลักซ์พลังงานเฉลี่ยบนตัวรับแสงต่อฟลักซ์พลังงานเฉลี่ยที่ช่องรับแสง แต่โดยทั่วไปจะมีการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์พลังงานบนผิวของตัวรับแสง ดังนั้นอัตราส่วนฟลักซ์การรวมรังสีเฉพาะที่จะนิยามเป็นอัตราส่วนของฟลักซ์ที่จุดใดๆ บนตัวรับแสงต่อฟลักซ์ที่จุดใดๆ บนช่องรับแสงซึ่งแปรผกผันกับตัวรับแสง โดยมีอัตราส่วนพื้นที่การรวมรังสี คือ

$$C = \frac{A_a}{A_r} \quad (2.2)$$

สมการนี้จะใช้ได้เฉพาะตัวรวมรังสีแบบสามมิติ เช่น ตัวรับแสงทรงพาราโบลา (Paraboloid Concentrator) เช่น ตัวรวมรังสีแบบทรงกระบอกเชิงพาราโบลา (Cylindrical Parabolic Concentrator) ในการพัฒนาให้อัตราส่วนการรวมรังสีมีค่าสูงสุด ได้นำกฎข้อที่สองของเทอร์โมไดนามิกส์มาประยุกต์ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่รังสีระหว่างดวงอาทิตย์กับตัวรับแสง โดย



พิจารณาตัวรวมรังสีแบบจานกลม ซึ่งมีพื้นที่ช่องรับแสง  $A_a$  และพื้นที่ตัวรับแสง  $A_r$  หันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ซึ่งมีรัศมี  $r$  และห่างจากดวงอาทิตย์เป็นระยะ  $R$  ดังรูปที่ 2.9 โดย  $\theta_s$  คือ ครึ่งวงกลม (Half - Angle) ที่รองรับดวงอาทิตย์



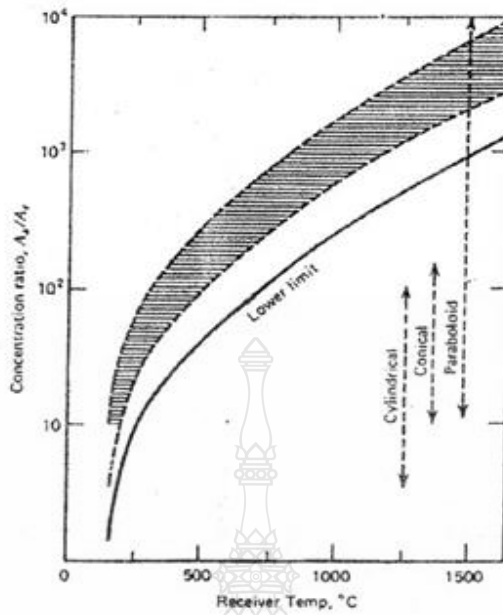
รูปที่ 2.9 แผนภาพของดวงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ  $T_s$  ระยะห่าง  $R$  จากตัวรวมรังสีที่มีพื้นที่ช่องรับแสง  $A_a$  และพื้นที่ตัวรับแสง  $A_r$

ถ้าตัวรวมรังสีเป็นแบบสมบูรณ์ รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบช่องรับแสง จะเป็นสัดส่วนกับการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ถูกบัง โดยช่องรับแสง แม้ว่าดวงอาทิตย์จะไม่ใช่วัตถุดำ แต่เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ จะสมมติให้ดวงอาทิตย์เป็นวัตถุดำที่อุณหภูมิ  $T_s$

$$Q_{r-s} = A_a \frac{r^2}{R^2} \sigma T_s^4 \quad (2.3)$$

- เมื่อ
- $Q$  = พลังงาน W
  - $A_a$  = พื้นที่ช่องรับแสง ( $m^2$ )
  - $r$  = รัศมี (m)
  - $R$  = ระยะห่างของตัวรวมรังสีกับดวงอาทิตย์ (m)
  - $\sigma$  = ค่าคงที่สเตฟาน - โบลทซ์มันน์
  - $T_s$  = อุณหภูมิของดวงอาทิตย์ °C

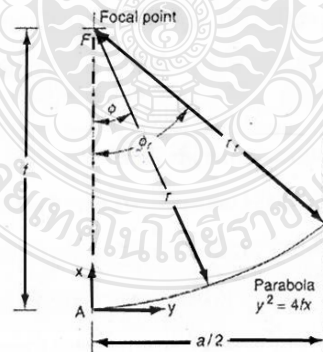
ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าอัตราการรวมรังสีสูงๆ มีความละเอียดเชิงแสง และมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ดีจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งทำให้การถ่ายเทพลังงานเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 2.10 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนการรวมรังสีของตัวรวมรังสีแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ[5]



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการรวมรังสีกับอุณหภูมิของตัวรับแสง

#### 2.4.2 เรขาคณิตของตัวรวมรังสีแบบมีภาพ

เพื่อให้เข้าใจถึงการทำงานของตัวเก็บรังสีชนิดดังกล่าว จำเป็นต้องรู้ถึงคุณสมบัติเชิงแสงของตัวรวมรังสีและอิมเมจ ในที่นี้จะกล่าวถึงลักษณะทางเรขาคณิตของตัวสะท้อนแสงและความกว้างของอิมเมจ [5]

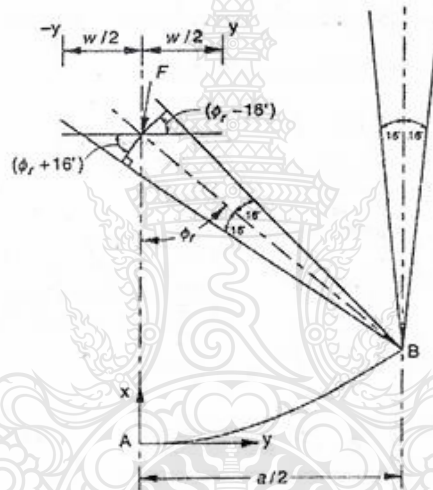


รูปที่ 2.11 ส่วนของตัวรวมรังสีแบบพาราโบลา

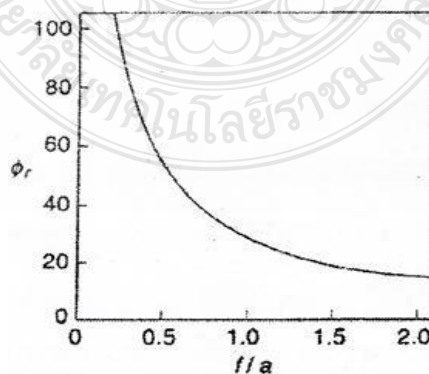
รังสีตรงแสดงในรูปประกอบที่ 2.12 ตกกระทบบนตัวสะท้อนแสงที่จุด B ที่ขอบ เมื่อ  
 รัศมีความโค้งของพาราโบลา (Mirror Radius) มีค่าสูงสุดที่ระยะ  $r_r$  มุมขอบ (Rim Angle)  $\phi_r$  คือมุม  
 AFB คำนวณได้จากสมการ

$$\phi_r = \tan^{-1} \left[ \frac{8(f/a)}{16(f/a)^2 - 1} \right] = \sin^{-1} \left( \frac{a}{2r_r} \right) \quad (2.4)$$

เมื่อ  $a$  คือ ความกว้างของช่องรับแสง เพื่อความสะดวกในการพล็อต  $\phi_r$  เป็น  
 ฟังก์ชันของ  $f/a$  ดังรูปประกอบ รูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 มิติของอิมเมจสำหรับตัวรวมรังสี



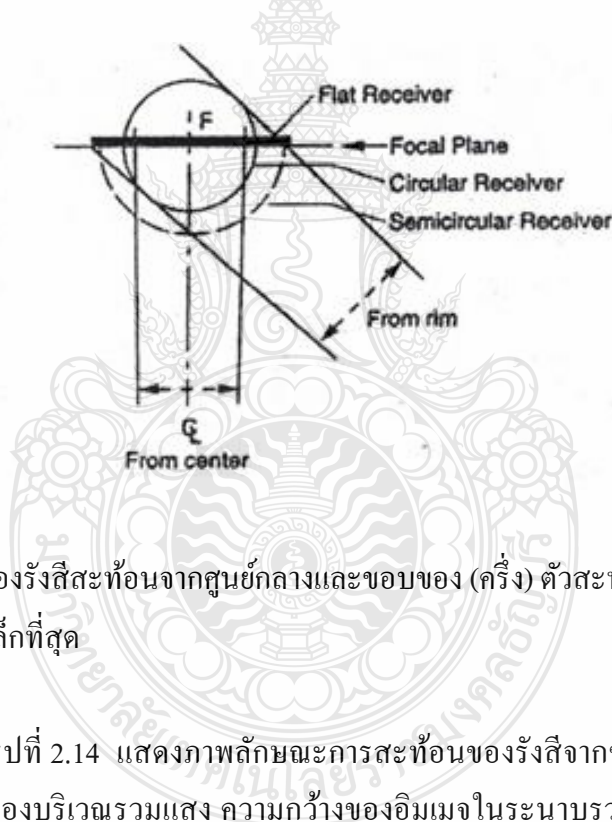
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $\phi_r$  กับ  $f/a$



สำหรับวัตถุใดๆ บนตัวสะท้อนแสงพาราโบล่าจะมีรัศมีความโค้งเฉพาะที่ (Local Mirror Radius )

$$r = \frac{2f}{1 + \cos \theta} \quad (2.5)$$

รังสีตรงที่ตกกระทบเป็นลักษณะทรงกรวยที่มีความกว้างของมุม  $0.53^\circ$  กรณีที่จะกล่าวต่อไปจะสมมติให้ตัวรวมรังสีมีลักษณะสมมาตรและรังสีตรงมีทิศทางตั้งฉากกับช่องรับแสง ดังนั้นรังสีตรงจะตกกระทบตัวรวมรังสีในทิศทางที่ขนานกับระนาบศูนย์กลางของพาราโบล่า (ระนาบ x-y ที่แกนสมมาตรและจุดโฟกัสของพาราโบล่าตั้งอยู่)



รูปที่ 2.14 แผนภาพของรังสีสะท้อนจากศูนย์กลางและขอบของ (ครึ่ง) ตัวสะท้อนพาราโบล่าที่มีตัวรับแสงแบบราบที่เล็กที่สุด

จากรูปที่ 2.14 แสดงภาพลักษณะการสะท้อนของรังสีจากขอบของพาราโบล่าเพื่อหาบริเวณความกว้างของบริเวณรวมแสง ความกว้างของอิมเมจในระนาบรวมแสงจะเพิ่มขึ้นเมื่อมุมขอบมีค่าเพิ่มขึ้น และแสดงถึงตัวรับแสงแบบราบที่มีขนาดเล็กที่สุด แบบกลม และแบบครึ่งวงกลมที่อยู่ตรงศูนย์กลาง ณ จุดโฟกัส เพื่อรับรังสีสะท้อนทั้งหมด [5] สำหรับตัวรับรังสีแบบแผ่นราบในระนาบรวมแสงของพาราโบล่า (ระนาบ y-z ถึง F) มีความกว้าง W เท่ากับ

$$W = \frac{2r \sin 0.267}{\cos(\theta r + 0.267)} \quad (2.6)$$

### 2.4.3 วัสดุที่ใช้สะท้อนแสงอาทิตย์

เป็นวัสดุที่ผิวสะท้อนโดยทั่วไปได้แก่ โลหะหรือผิวที่เคลือบโลหะโดยเฉพาะโลหะผิวเรียบขจัดมันจะสะท้อนแสงได้สูงที่มุมของแสงตกกระทบตั้งฉากกับผิวสะท้อนแสงโลหะเงินและอะลูมิเนียมจะสะท้อนแสงในช่วงที่มองเห็นได้ดีที่สุด ส่วนโลหะอื่นๆ ที่ขจัดมันก็จะสะท้อนแสงได้ดี (ยกเว้น โรเดียม พลาตินัม และโลหะชั้นสูงอื่นๆ) ค่าการสะท้อนแสงจะลดลงอย่างรวดเร็วเพราะเกิดการหมองได้ง่ายเมื่อทิ้งไว้ในบรรยากาศ นอกจากนี้ในพวกโลหะแล้วอะลูมิเนียมจะลดค่าการสะท้อนแสงลงน้อยที่สุด เพราะออกไซด์ของอะลูมิเนียม โปร่งใสจึงเหมาะสมที่สุดในด้านความคงทนต่อสภาพบรรยากาศ เพื่อเป็นการลดความสูญเสียค่าการสะท้อนแสงเนื่องจากการหมองและความไม่เรียบของผิวสะท้อนแสงดังนั้น โลหะที่มีการสะท้อนแสงสูง อาทิเช่น เงิน อะลูมิเนียมเคลือบลงบนวัสดุที่ใช้เป็นพื้นเรียกว่า Substrate โดย Substrate อาจเป็นผิวโลหะ แก้ว หรือพลาสติกก็ได้

การเคลือบด้านหน้า คือ การเคลือบโลหะที่อยู่บน Substrate โดยที่แสงจะตกกระทบผิวโลหะแล้วสะท้อนกลับส่วนการเคลือบด้านหลังเป็นการเคลือบในลักษณะเดียวกับกระจกเงา นั่นคือ แสงจะตกลงพื้นผิว Substrate แล้วหักเหผ่าน Substrate ไปยังโลหะที่เคลือบไว้จากนั้นจะสะท้อนกลับ จะเห็นได้ว่าการเคลือบผิวด้านหลังจะมีค่าการสูญเสียเนื่องจากจะดูดกลืนพลังงานใน Substrate ซึ่งมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของ Substrate นั้นด้วย [6]

### 2.4.4 ประสิทธิภาพของตัวเก็บรับแสงอาทิตย์

สำหรับแผ่นรับแสงมีการรวมแสงมาตรฐานทั่วไปจะใช้อุณหภูมิสูงขึ้นขนาด 380 K ได้ The Carnot efficiency ของเครื่องจักรใช้ความร้อนที่ตัวรับแสงดังกล่าวประมาณ 20 % ดังนั้นในการที่จะให้ผลการตอบแทนทางเศรษฐกิจการลงทุนสูงต้องให้ประสิทธิภาพมากขึ้นโดยพยายามให้อุณหภูมิของของไหลในแผ่นรับสูงขึ้น ถ้าเราได้ 580 K ก็จะทำให้ประสิทธิภาพและการนำความร้อนเอาไปใช้ดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า สำหรับประเทศที่ใช้ความร้อนต่ำจะมีอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส มีประมาณ 5% ของอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ดังนั้นในการสร้างแผ่นรับแสงที่มีตัวรับแสงเพื่อให้ได้พลังงานความร้อนมากและอุณหภูมิสูงขึ้นจึงจำเป็น [6] ดังนั้น ประสิทธิภาพของแผ่นรับแสงขณะใดๆ จึงมีค่าเท่ากับ

$$\eta_c = \frac{q_u}{I_{cAc}} \quad (2.7)$$

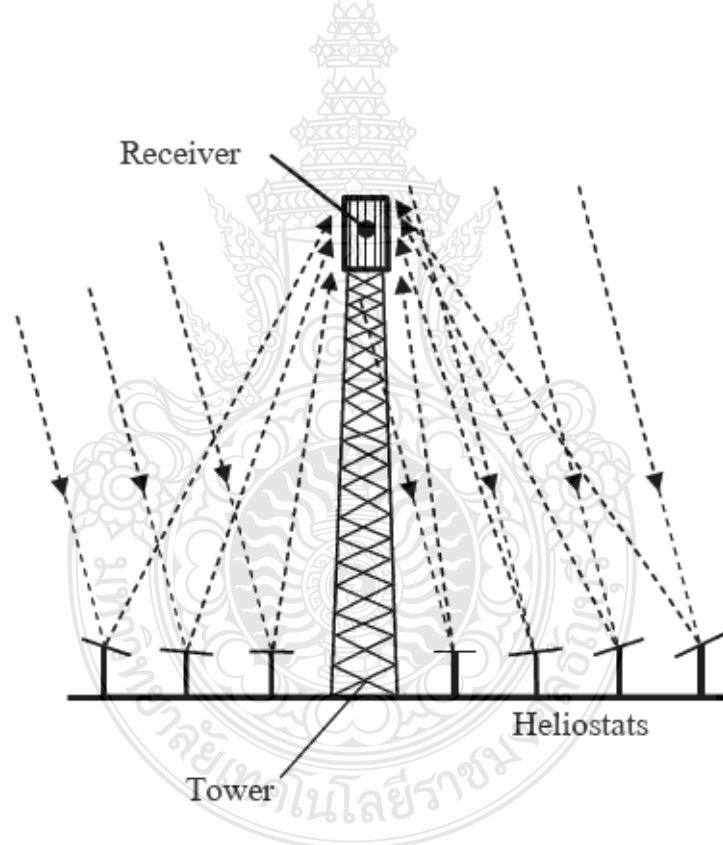
เมื่อ  $q_u$  = พลังงานที่ใช้ประโยชน์ของแผ่นรับแสง (w)

$$I_c = \text{รังสีจากดวงอาทิตย์} \quad (I = q/\pi)$$

$$A_s = \text{พื้นที่ทางเข้าของแสง} \quad (m^2)$$

## 2.5 ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์แบบหอคอย

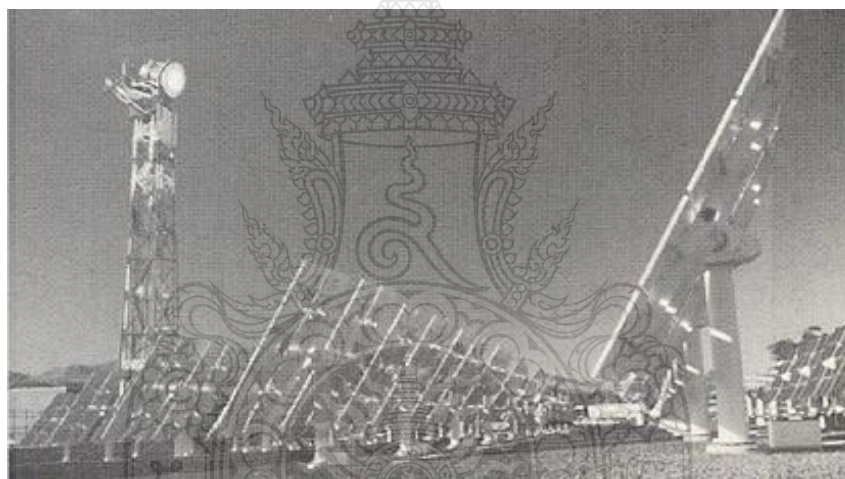
ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์แบบหอคอย (Power tower) จะประกอบด้วยหอคอย (Tower) และระบบกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบ (Heliostat) โดยกระจกแต่ละแผ่นจะสะท้อนแสงอาทิตย์ไปรวมกันที่หอคอย ซึ่งมีตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่มีของไหล ไหลผ่านเพื่อพาพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า ของไหลที่ใช้มีทั้งเกลือหลอมละลาย (molten salt) น้ำ และอากาศ ลักษณะทั่วไปของระบบผลิตไฟฟ้าแบบหอคอยแสดงไว้ในรูปที่ 2.15 โรงไฟฟ้าแบบนี้ที่สำคัญมีดังนี้ [7]



รูปที่ 2.15 ระบบสะท้อนแสงอาทิตย์แบบหอคอย

### 2.5.1 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Eurelios

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Eurelios [7] เป็นโรงไฟฟ้าแบบหอคอยแห่งแรกที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตไฟฟ้าป้อนเข้าสู่เครือข่ายสายส่ง โรงไฟฟ้านี้ตั้งอยู่ที่เมือง Adrano บนเกาะ Sicily ประเทศอิตาลี มีกำลังการผลิต 1.0 MW<sub>e</sub> เริ่มใช้งานในปี ค.ศ. 1981 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการผลิตไฟฟ้าระบบหอคอยเพื่อป้อนให้กับระบบสายส่ง และเพื่อประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โรงไฟฟ้างดกล่าวใช้น้ำเป็นตัวพาความร้อนจากตัวรับแสงบนหอคอยมาเป็นกำลัง ในการผลิตไฟฟ้าและมีถึงเก็บสะสมความร้อนระยะสั้น นอกจากนี้ยังมีแผ่นสะท้อนแสง (Heliostat) 2 แบบ ซึ่งมีขนาดต่างกัน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะกัน โรงไฟฟ้านี้จะเริ่มทำงานเมื่อรังสีตรงมีค่าสูงกว่า 450 W/m<sup>2</sup> และใช้เวลาในการ start-up 2 ชั่วโมง ตลอดช่วงเวลาที่ทดลองใช้งาน สามารถผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมด 130 MW<sub>e</sub>h



รูปที่ 2.16 แสดงภาพโรงไฟฟ้า Eurelios

### 2.5.2 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบหอคอย IEA-SSPS

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบหอคอย IEA-SSPS [7] โรงไฟฟ้านี้ตั้งอยู่ที่เดียวกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ IEA-SSPS แบบใช้รางพาราโบลา (parabolic trough) ที่ Almeria ประเทศสเปนเริ่มใช้งานในปี ค.ศ. 1981 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของโรงไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ โรงไฟฟ้างดกล่าวประกอบด้วย 2 วงจร และมีถึงเก็บสะสมความร้อน 2 ถึง คล้ายกับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Themis ของฝรั่งเศส โดยวงจรแรกจะใช้โซเดียมเป็นของเหลวพาความร้อน (heat transfer fluid) และวงจรที่ 2 เป็นระบบน้ำ/ไอน้ำ โดยในวงจรแรกโซเดียมจะไหลผ่าน

ตัวรับรังสีบนหอคอย แล้วไหลมาเก็บในถังเก็บสะสมความร้อน จากนั้นวงจรที่ 2 จะนำความร้อนนี้ไปผลิตไอน้ำ สำหรับเป็นต้นกำลังเพื่อผลิตไฟฟ้า โรงงานไฟฟ้าแบบหอคอย IEA-SSPS นี้ออกแบบให้มีกำลังการผลิต 500 kW<sub>e</sub> โดยทดสอบใช้งานในช่วงปี ค.ศ. 1981 จนถึง ค.ศ. 1986 ซึ่งได้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 80 MW<sub>e</sub>h



รูปที่ 2.17 แสดงภาพโรงไฟฟ้า IEA-SSPS

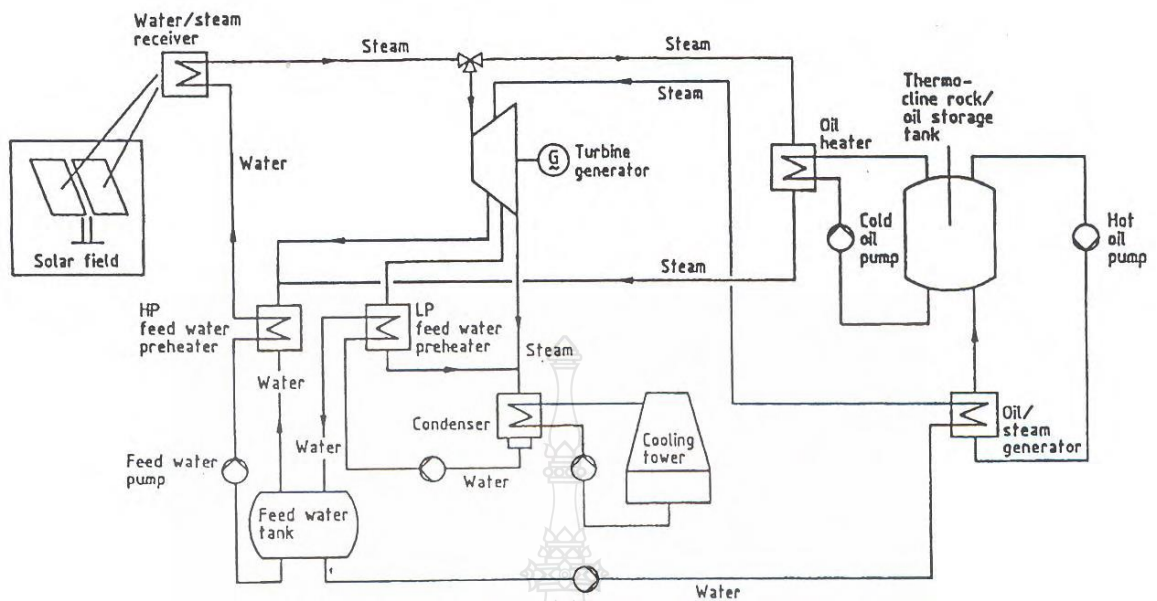
### 2.5.3 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โครงการ Sunshine

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โครงการ Sunshine [7] เป็นโรงไฟฟ้าของญี่ปุ่น โครงการนี้ต้องการศึกษาการผลิตไฟฟ้าระบบหอคอย ตั้งอยู่ที่เมือง Nio ประเทศญี่ปุ่นมีกำลังการผลิต 1 MW<sub>e</sub> ใช้น้ำเป็นตัวกลางพาความร้อนจากตัวรับแสงบนหอคอย เพื่อทำการขับเคลื่อนระบบผลิตไฟฟ้าแบบกังหันไอน้ำ ปัจจุบันหยุดดำเนินการไปแล้ว

### 2.5.4 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Solar One

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Solar One [7] เป็นโรงไฟฟ้าแบบหอคอยขนาดกำลังผลิต 10 MW<sub>e</sub> ตั้งอยู่ที่ทางตอนใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยได้ใช้งานในตั้งแต่ปี ค.ศ. 1982 ถึง 1988 โรงไฟฟ้านี้ใช้น้ำเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสีบนหอคอยมายังเครื่องยนต์กังหันไอน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีถังเก็บสะสมความร้อน (thermal storage) สำหรับให้พลังงานเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ไม่เพียงพอ โรงไฟฟ้างังกล่าวมีพื้นที่ของตัวสะท้อนแสง (heliostat) 71,095 ตารางเมตร แผนภูมิการทำงานของโรงไฟฟ้างังกล่าวแสดงไว้ในรูปที่ 2.18





รูปที่ 2.18 แผนภูมิของโรงไฟฟ้า Solar One ขนาด 10 MW<sub>e</sub>

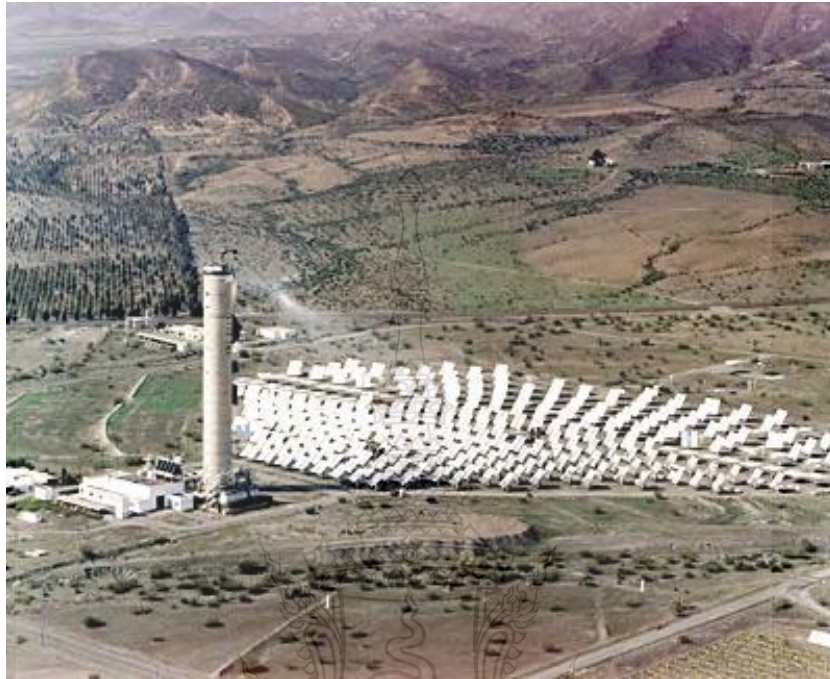


รูปที่ 2.19 แสดงภาพโรงไฟฟ้า Solar One

#### 2.5.5 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ CESA-1

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ CESA-1 [7,8] เป็นโรงไฟฟ้าของกลุ่มประชาคมยุโรป ตั้งอยู่ที่เมือง Almeria ประเทศสเปน มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 1.0 MW<sub>e</sub> โรงไฟฟ้านี้ใช้น้ำเป็นของไหลถ่ายเทความร้อน (heat-transfer fluid) และมีถังเก็บสะสมความร้อน 2 ถัง โรงไฟฟ้านี้ใช้งานในช่วง ค.ศ. 1983 ถึง 1984 โดยการทดลองทำงานใน mode ต่างๆ เช่น การใช้ความร้อนจากตัวรับรังสีบนหอคอย (tower) โดยตรง การใช้ความร้อนจากถังเก็บสะสมความร้อน และ การใช้ความร้อนจาก

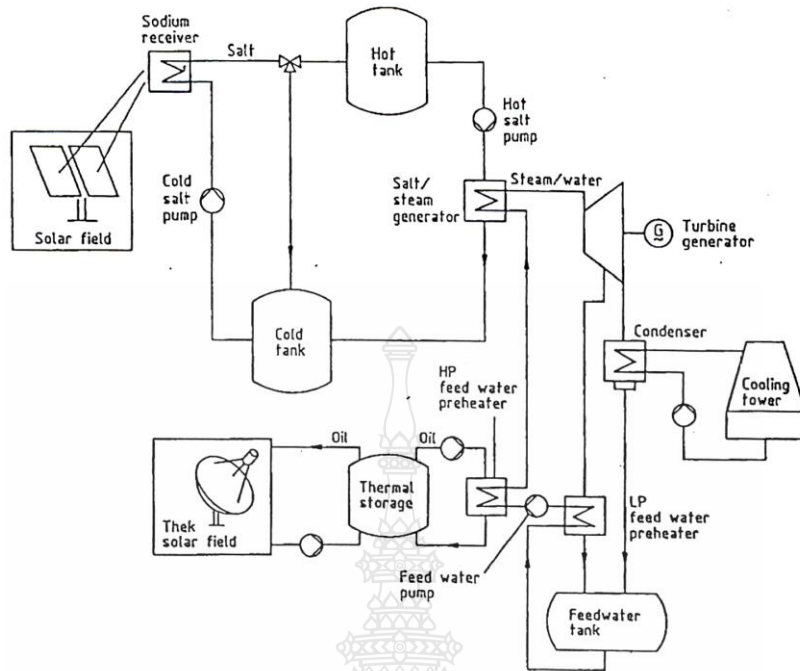
ตัวรับรังสีบนหอคอยร่วมกับความร้อนจากถังเก็บสะสมความร้อน เป็นต้น ไฟฟ้าที่ได้จะถูกป้อนเข้าสู่  
เครือข่ายสายส่ง โดยในช่วง 2 ปีที่ใช้งานผลิตไฟฟ้าได้ 130 MW<sub>e</sub>h



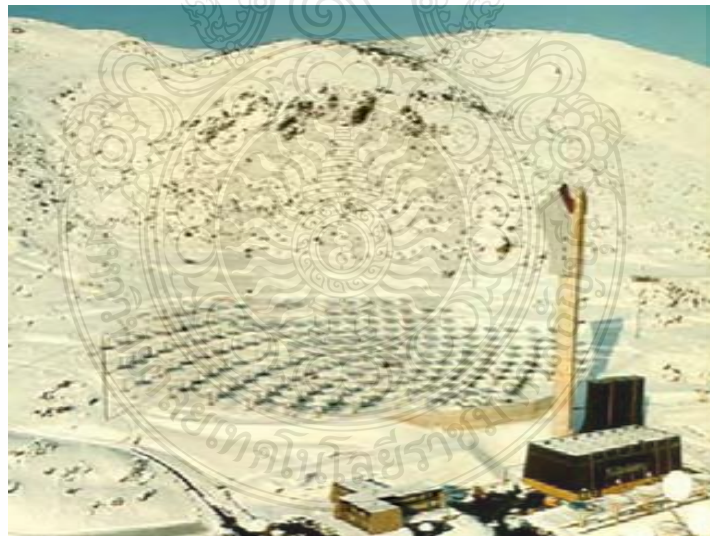
รูปที่ 2.20 แสดงภาพโรงไฟฟ้า CESA-1

#### 2.5.6 โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Themis

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Themis [7,8] ตั้งอยู่ที่เมือง Targassonne ทางตอนใต้  
ของประเทศฝรั่งเศส มีกำลังการผลิตไฟฟ้า 2.0 MW<sub>e</sub> เริ่มใช้งานในปี ค.ศ. 1982 โดยมีวัตถุประสงค์  
เพื่อทดสอบระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ระบบหอคอยที่ใช้เกลือหลอมละลาย (molten  
salt) เป็นสารถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสี (receiver) ของหอคอย ลักษณะของแผนภูมิของโรงไฟฟ้า  
Themis แสดงไว้ในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แผนภูมิการทำงานของ โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Themis [8]



รูปที่ 2.22 แสดงภาพโรงไฟฟ้า Themis

ในการทำงานเกลือหลอมละลาย (molten salt) จะพาความร้อนจากตัวรับรังสี (receiver) บนหอคอยไปเก็บสะสมไว้ในถังจนปริมาณความร้อนเพียงพอจึงจะเริ่มทำการผลิตไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปจะ



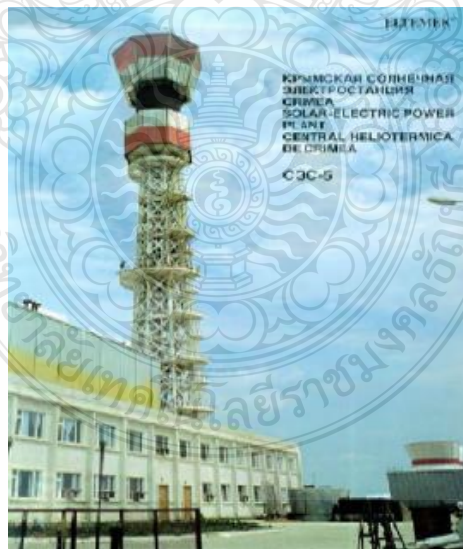
ใช้เวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง การผลิตไฟฟ้าจะดำเนินต่อเนื่องจนถึงตอนเย็นจนกระทั่งความร้อนในถังเก็บหมด โรงไฟฟ้านี้ออกแบบให้มีกำลังการผลิต 2.4 MW<sub>e</sub> ในช่วงที่ทดลองใช้งานระหว่าง ปี ค.ศ. 1983 ถึง 1986 สามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ยปีละ 650 kW<sub>e</sub>h สมรรถนะของโรงไฟฟ้างดังกล่าว แสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมรรถนะของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ Themis

	Jul-Dec 1983	Jan-Dec 1984	Jan-Dec 1985	Jan-Jun 1986	Total
Plant output (MW <sub>e</sub> h)	45.3	573.9	765.9	543.7	1,929

### 2.5.7 โรงไฟฟ้า C3C-5

โรงไฟฟ้า C3C-5 [7,8] ตั้งอยู่ที่คาบสมุทร Crimea ประเทศสหภาพโซเวียต โดยเริ่มใช้งาน ในปี ค.ศ. 1985 โรงไฟฟ้างดังกล่าวมีกำลังการผลิต 5 MW<sub>e</sub> ใช้น้ำเป็นตัวกลางพาความร้อนจากตัวรับแสง บนหอคอยมาเป็นพลังงานเพื่อผลิตไอน้ำสำหรับใช้เป็นต้นกำลังในการผลิตไฟฟ้า ปัจจุบันหยุดดำเนินการไปแล้ว



รูปที่ 2.23 แสดงภาพโรงไฟฟ้า C3C-5

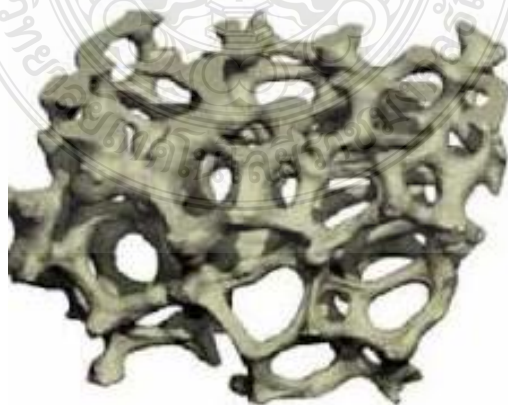
### 2.5.8 โรงไฟฟ้า Solar Two

โรงไฟฟ้า Solar Two [7,8] หลังจากที่มีการพัฒนาโรงไฟฟ้า Solar One แล้วได้มีโครงการต่อเนื่อง เพื่อสร้างโรงไฟฟ้า Solar Two กำลังการผลิต 10 MW<sub>e</sub> ขึ้นที่ Barstow รัฐแคลิฟอร์เนียในปี 1996 โรงไฟฟ้างดักความร้อนใช้เกลือไนเตรตหลอมละลาย (molten nitrate salt) เป็นของเหลวพาความร้อน (heat transfer fluid) และตัวกลางในการเก็บสะสมความร้อน โดยจะทำการสูบเกลือหลอมละลายจากถังเก็บขนาด 230,000 แกลลอน ที่อุณหภูมิ 290 °C ผ่านไปยังตัวรับรังสีบนหอคอย ซึ่งจะได้อุณหภูมิที่ 565 °C แล้วนำไปเก็บในตัวถัง เพื่อนำไปผลิตไอน้ำสำหรับเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า โรงไฟฟ้างดักความร้อนใช้เพื่อการวิจัย และใช้งานจนถึงปี ค.ศ. 1999 จึงหยุดดำเนินการ

## 2.6 วัสดุพรุน

### 2.6.1 คุณสมบัติของวัสดุพรุน (Porous Material)

วัสดุพรุน [9] คือ วัสดุที่มีอากาศหรือช่องว่างแทรกกระจายปะปนอยู่ในเนื้อวัสดุที่เป็นของแข็งอย่างสม่ำเสมอ เป็นโครงข่ายทั่วทั้งวัสดุ คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุพรุน คือ มีความพรุน (Porosity) หรือมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตร (Area to Volume ratio) ที่สูง และสามารถทนต่อสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงๆ ได้ โดยโครงสร้างภายในของวัสดุพรุนมีลักษณะ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.24 ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ในหลากหลายรูปแบบ มีคุณสมบัติโดดเด่น ด้านการพาความร้อน เมื่อความเร็วของไหล ไหลผ่านมีค่าสูงๆ ในขณะเดียวกันจะแสดงคุณสมบัติโดดเด่น ด้านการแผ่รังสีความร้อนที่อุณหภูมิสูง



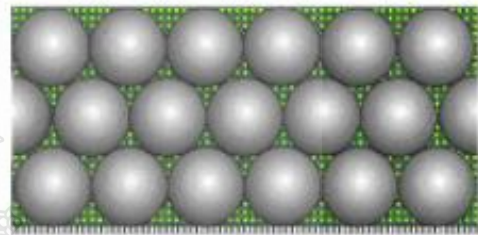
รูปที่ 2.24 ลักษณะโครงสร้างภายในของวัสดุพรุน

ดังนั้นวัสดุที่มีค่าความพรุนสูงๆ แสดงว่าวัสดุนั้นมีปริมาตรช่องว่างมาก ซึ่งลักษณะเด่นของโครงสร้างวัสดุพรุนคือ มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงเมื่อเทียบกับวัสดุทึบ ทำให้สามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้ดี วัสดุพรุนแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดคือ

2.6.1.1 วัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น (Packed bed) คือการนำวัสดุเม็ดกลมมาบรรจุในภาชนะ วัสดุเม็ดกลมจะเกิดการเรียงตัวเป็นชั้นๆ และจะเกิดช่องว่างของอากาศระหว่างการสัมผัสกันของวัสดุ และมีการเปลี่ยนรูปไปตามภาชนะที่บรรจุดังรูปที่ 2.25



(ก) วัสดุเม็ดกลม



(ข) เม็ดกลมอัดแน่น

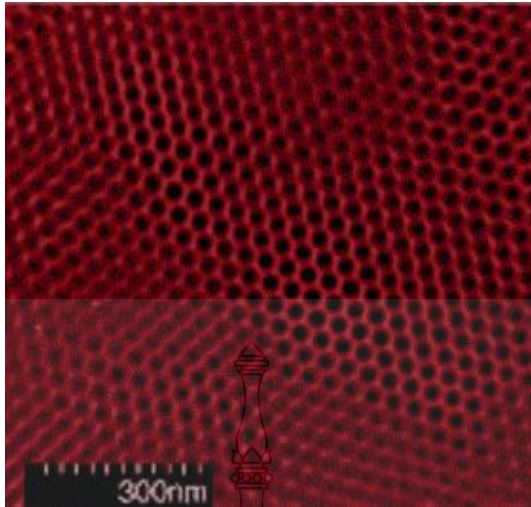
รูปที่ 2.25 ลักษณะโครงสร้างวัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่น

2.6.1.2 วัสดุพรุนชนิดเซลลูลาร์ (Cellular porous material) เป็นวัสดุพรุนชนิดที่มีโครงสร้างเกิดจากการต่อกันของชิ้นส่วนของแข็งหรือแผ่นวัสดุ โดยโยงใยกันเป็นโครงข่าย โดยเชื่อมต่อกันด้วยขอบหรือผิววัสดุ สามารถแยกออกได้ 3 แบบดังนี้

1) รังผึ้ง (Honey combs) เป็นวัสดุพรุนที่มีโครงสร้างแบบรูปทรงหลายเหลี่ยม 2 มิติ ประสานกันเหมือนเซลล์หกเหลี่ยม หรือรังผึ้ง ดังรูปที่ 2.26

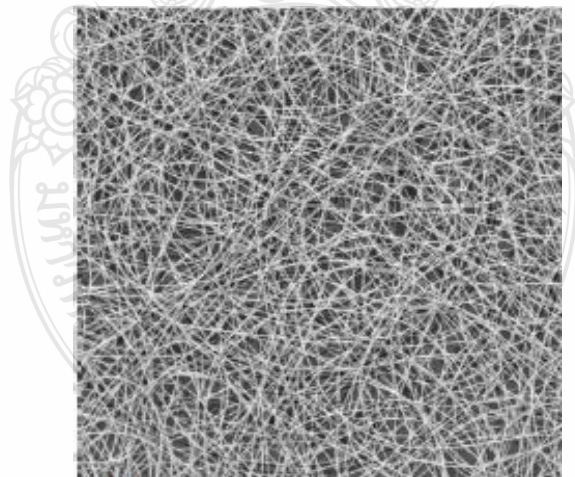
2) เซลลูลาร์เปิด (Open-cellular) เป็นวัสดุพรุนชนิดที่เกิดจากการขึ้นรูปโครงข่ายแบบ 3 มิติ ที่มีโครงข่ายต่อกันด้วยผิวเปิด หรือเชื่อมส่วนของแข็งด้วยขอบวัสดุเท่านั้น

3) เซลลูลาร์ปิด (Closed-cellular) เป็นวัสดุพรุนที่มีโครงข่ายโยงใยเป็นโครงข่าย 3 มิติ ที่มีการเชื่อมต่อกันด้วยพื้นที่ผิวปิด ทำให้ขอบวัสดุปิดตลอดพื้นที่ผิวสัมผัส



รูปที่ 2.26 ลักษณะ โครงสร้างวัสดุพอรุนชนิดรังผึ้ง

2.6.1.3 วัสดุพอรุนชนิดเส้นใย (Fibers) คือ วัสดุพอรุนที่ประกอบด้วยโมเลกุลที่มีการเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบ และ โมเลกุลส่วนใหญ่ต้องเรียงตัวตามแนวแกนของเส้นใย โดยทั่วไป ความยาวของเส้นใยต้องไม่น้อยกว่า 100 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยนั้น ดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 ลักษณะ โครงสร้างวัสดุพอรุนแบบเส้นใย [11]

ค่าความพอรุน (Porosity,  $\emptyset$ ) คือ สัดส่วนของปริมาตรช่องว่างต่อปริมาตรทั้งหมดของวัสดุ ดังสมการที่ (2.8)

$$\emptyset = \frac{V_T - V_p}{V_T} \quad (2.8)$$

เมื่อ  $V_T$  = ปริมาตรทั้งหมดของวัสดุพอรุน ( $m^3$ )

$V_p$  = ปริมาตรเนื้อวัสดุ ( $m^3$ )

$\emptyset$  = ค่าความพอรุน

### 2.6.2 พอรุนชนิดเซลลูลาร์เปิด (Open-cellular porous material)

มีลักษณะโครงสร้างแบบโฟม (Foam structure) หรือเซลลูลาร์เปิด (Open-cellular structure) เนื้อของแข็งของวัสดุจะดักเป็นเส้นใย โดยที่มีช่องว่างเป็นโพรงทรงกลมแบบเซลล์แทรกอยู่ภายในเส้นใยดังกล่าว ส่งผลให้เซลลูลาร์เปิดมีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบห้า เหลี่ยมสิบหน้า (Pentagonal dodecahedron) มีค่าความพอรุนมากกว่า 0.8 และมีจุดเด่นหลาย ประการที่เหมาะสมแก่การใช้งาน เช่น น้ำหนักเบา ความดันตกคร่อมของแก๊สที่ไหลผ่านมีค่าต่ำ มีพื้นที่ ผิวสัมผัสต่อปริมาตรที่สูงมาก เป็นต้น อย่างไรก็ตามเซลลูลาร์เปิดจะมีปัญหาเรื่องความแข็งแรงหากทำ ด้วยเซรามิก

คุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุพอรุน ได้แก่ ค่าความพอรุน (Porosity,  $\emptyset$ ) จำนวนรูพอรุนต่อหนึ่งหน่วยนิ้ว (Pores per inch, PPI) ความหนาของวัสดุพอรุน (Thickness,  $X_o$ ) แสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะทางกายภาพของวัสดุพอรุนชนิดเซลลูลาร์เปิด [11]

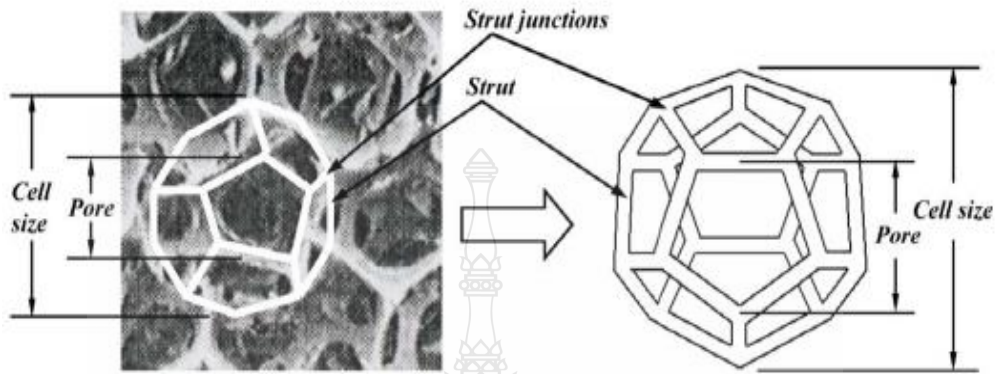
Material	Porosity, $\emptyset$	PPI	$X_o$ (mm)
Cr-AL#6	0.873	6	10.00
Cr-AL#13	0.870	13	10.00



รูปที่ 2.28 ภาพขยายเซลล์วัสดุพอรุนและการจัดรูปแบบโครงสร้างให้อยู่ด้านใน 1 [11]

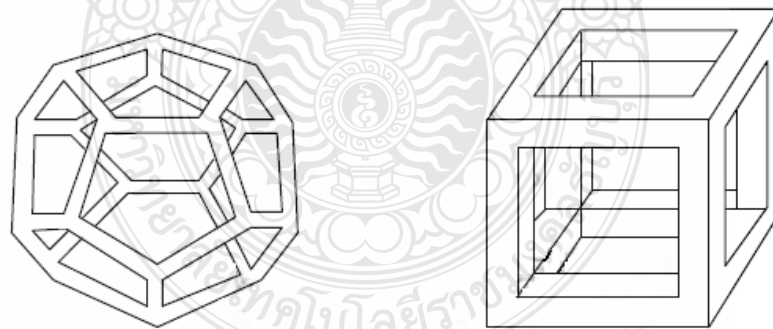


2.6.2.1 รูปแบบห้าเหลี่ยมสิบสองหน้า (Pentagonal dodecahedron)

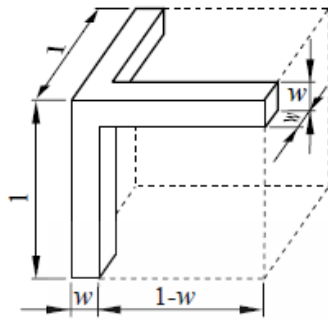


รูปที่ 2.29 ภาพขยายเซลล์วัสดุพรุนและการจัดรูปแบบโครงสร้างให้อยู่ด้านใน 2 [11]

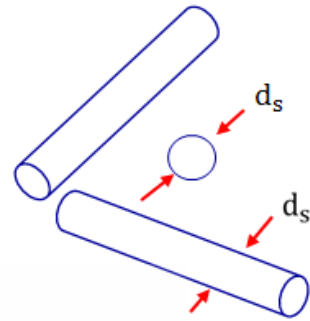
2.6.2.2 รูปแบบห้าเหลี่ยมสิบสองหน้า (Pentagonal dodecahedron)



(ก) ผลึกแบบห้าเหลี่ยมสิบสองหน้า      (ข) ผลึกเซลล์หนึ่งหน่วย



(ค) รูปแบบการจัดแบ่งเซลล์แบบใหม่



(ง) แท่งค้ำและจุดต่อสมมูลการแผ่รังสีกระจาย

**รูปที่ 2.30** ขั้นตอนการจัดรูปแบบ โครงสร้างเซลล์ของเซลล์ลวดเปิดที่มีผลต่อการแผ่รังสี [11]

จากรูปที่ 2.30 แสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการจัดรูปแบบ โครงสร้างเซลล์ของเซลล์ลวดเปิดที่มีผลต่อการแผ่รังสีซึ่งจากรูปที่ 2.30 (ก) เซลล์ของวัสดุพูนชนิดเซลล์ลวดเปิด (Open-cellular porous material) จะมีลักษณะ โครงสร้างผลึกเป็นแบบห้าเหลี่ยมสิบสองหน้าทำให้ยากต่อการนำไปคำนวณ ดังนั้น Dul'nev จึงเปลี่ยน โครงสร้างผลึกแบบห้าเหลี่ยมสิบสองหน้า ให้เป็นแบบเซลล์หนึ่งหน่วย ซึ่งเรียกว่า หลักการของคูลเนฟ (Dul'nev-model) ดังรูปที่ 2.30 (ข) ด้วยรูปร่างแบบนี้ส่งผลให้พื้นที่ที่มีอิทธิพล ต่อการแผ่รังสีความร้อนมีเพียงแท่งค้ำ 3 แท่งเท่านั้น ดังรูปที่ 2.30 (ค) อย่างไรก็ตามในการกำหนด คุณสมบัติเฉพาะของวัสดุพูนชนิดเซลล์ลวดเปิดนี้ โดยทั่วไปจะกำหนดในรูปของเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลของแท่งค้ำ (Equivalent strut diameter, SD ) ดังนั้นเพื่อให้สะดวกต่อการเลือกใช้และคำนวณจึงเปลี่ยนให้เป็นรูปทรงกระบอก สำหรับแท่งค้ำทรงกระบอกในตำแหน่งแนวตั้ง พื้นที่หน้าตัดของแท่งค้ำเท่านั้นที่มีผลต่อรังสีตกกระทบที่แผ่เข้ามายัง โครงสร้างแบบนี้

**2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

จิรพงษ์ และคณะ [12] นั้นได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์แผงผลิตน้ำร้อนจากวัสดุโพลีเมอร์ โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณซึ่งนำวัสดุโพลีเมอร์ พีพี-อาร์ พีวีซี และพีวีซี-บี มาทำการทดลองเทียบกับมาตรฐาน ASHRAE Standard 93-77 โดยการออกแบบคำนวณ โดยโปรแกรม CFD Ver.2011 ผลการศึกษาพบว่า การจำลองทางคณิตศาสตร์สอดคล้องกับการทดลองจริง อาจจะต่ำกว่า

เล็กน้อยเพราะฉะนั้นการนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการพัฒนา และแก้ไขปัญหาที่เกิดจากแผงผลิตน้ำร้อนที่ทาจากวัสดุโพลีเมอร์ได้

อำนาจ เงินปลับปลา [13] ได้ทำการศึกษาหาประสิทธิภาพความเข้มแสงของแผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ สำหรับระบบหอคอยรวมแสงอาทิตย์ โดยได้ศึกษาสมรรถนะของระบบสะท้อนแสงที่ใช้สำหรับระบบหอคอย ซึ่งได้มีการออกแบบโปรแกรม และสร้างระบบควบคุมแผงสะท้อนแสงด้วยวิธีการคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จากการทดสอบพบว่า แบบที่มีการเพิ่มความเข้มแสงให้ประสิทธิภาพความเข้มแสงสูงกว่าแบบแผ่นเรียบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.5 ค่าความแม่นยำสามารถยอมรับได้โดยแสงที่ตกกระทบไม่หลุดออกจากพื้นที่ตัวรับแสง

สุริยะ และคณะ [14] ได้ทำการศึกษาการพัฒนาระบบจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยคอมพิวเตอร์ โดยนำเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์ซอร์ฟแวร์ (Mod RS sim Simulator) นำมาช่วยในการวิเคราะห์ทางด้านความเสียหายของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดความเสียหายและเวลาการซ่อมบำรุง จากการทดสอบพบว่า การรับส่งข้อมูลผ่านโปรโตคอล Modbus ซอร์ฟแวร์ และสามารถทำการรับส่งข้อมูลได้โดยอย่างถูกต้องซึ่งผลการประเมินสมรรถนะตามมาตรฐาน ASHRAE 93:77 3 พบว่าถ้าให้ค่าความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยกว่า ร้อยละ 1 การทำงานของระบบสามารถช่วยวางแผนการบำรุงรักษาให้กับระบบผลิตน้ำร้อนได้

Brogren และ Karlsson [15] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงระดับต่ำ การศึกษาพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการเพิ่มความเข้มแสง การผลิตไฟฟ้ารายปีมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดคือประมาณสองเท่า และค่าพลังงานความร้อนสูงขึ้นประมาณ 3 – 4 เท่าอุณหภูมิน้ำร้อนมีค่าประมาณ 50 องศาเซลเซียส

Coventry [16] ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสง ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าประมาณ ร้อยละ 58 และค่าประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้ามีค่าประมาณ ร้อยละ 11 (เนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานป้อนเข้าเดียวกันจึงได้ประสิทธิภาพรวมประมาณ ร้อยละ 69) นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบมีค่าต่ำกว่าแผงสะสมความร้อนแบบดั้งเดิม

Peter และ Lili [17] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาความเข้มข้นของการกระจายรังสีชนิดตัวรวมรังสีแบบทรงกระบอก โดยศึกษาความเข้มข้นของการกระจายรังสีในการรวมรังสีทรงกระบอกได้นำมาประยุกต์ โดยการนำเลนส์แบบเรขาคณิตมาบูรณาการเป็นจานรวมรังสีและวิเคราะห์แผนทีผ่านตัวรวมรังสีและจานรับรังสี แต่มีขีดจำกัดตรงตัวรวมรังสีตรงที่อยู่ห่างจากจุด



ศูนย์กลาง และผลที่ได้ คือ ผิวหน้าของตัวรับรังสีมีอุณหภูมิรอบๆ ไม่แน่นอน ซึ่งเป็นผลมาจากการ ออกแบบทางเรขาคณิตและระบบของตัวรวมรังสีที่ผิดพลาด ไม่ทนทาน ห่างจากจุดศูนย์กลาง และไม่ สมดุลกัน

Reddy และ Sendhi [18] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาตัวรวมของอัตรการไหลและ รังสีอาทิตย์ผ่านจานรวมแสงโดยการศึกษาปริมาณของอัตรการไหลของน้ำและผิวรังสีการถ่ายเท ความร้อน ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตัวเก็บรังสีก่อนเข้าจานรวมรังสี และได้มีการพัฒนาจำลองเป็น 2 มิติ ในการไหลของน้ำและผิวรังสีความร้อน ส่วนการส่งผ่านอุณหภูมิมีการปล่อยรังสีผิวหน้าซึ่งมีอิทธิพล ต่อการกำหนดทิศทางในการสูญเสียความร้อนของตัวเก็บรังสี และเป็นเรื่องที่สำคัญมากต่อผิวหน้า ของตัวเก็บรังสี ซึ่ง Nussell Number มีความสำคัญต่อการไหลของน้ำและผิวหน้าตัวเก็บรังสี จากการ ไหลของน้ำและมีการสูญเสียความร้อนไป 57 % และอีก 71.34 % ความร้อนจะกลายเป็น 0°C และ แนวนอนจะกลายเป็น 42 % และ 59 % จะเป็นที่ 90 °C ส่วนแนวนอนของท่อที่จะเปลี่ยนแปลงตัวเก็บ รังสีมีอัตราส่วน 8 : 400 ดังนั้นการไหลของน้ำและผิวหน้าเก็บรังสี ซึ่งตัวเลข Nussell Number นี้จะ เหมาะสมที่สุด

Robert และคณะ [19] ได้ทำการวิจัยเรื่อง การออกแบบอัตรการไหลแบบ 2 ชั้น สำหรับตัวรวมรังสีที่เป็นรูปโค้ง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ การออกแบบจานรวมรังสี ซึ่งซึ่งผลการ ทดลองพบว่า มันเป็นจริงกับสิ่งที่ได้ศึกษามาทางเทอร์โมไดนามิกส์ และเป็นจริงกันในทางปฏิบัติ ซึ่ง ได้มีการเปรียบเทียบให้เห็นว่าในการเพิ่มมุมของตัวรวมรังสีได้ผลออกมาเกิน 50 % กับสิ่งที่ได้ศึกษามา ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ในการไหลของทั้ง 2 นั้นได้ตรงกับวัตถุประสงค์ขั้นต้นและก่อให้เกิดผล สะท้อนที่น้อย ซึ่งต้องย้ายตัวรับแสงและตัวรวมรังสีไปทางเดียวกันกับตัวที่ 1 และสร้างการไหลตัวที่ 2 ระหว่างตัวดูดซับ และการไหลตัวที่ 1 ซึ่งการไหลทั้ง 2 ตัวนี้มีความเป็นไปได้ในการสร้างตัวรวม รังสีแบบกะทัดรัดที่ตรงกับวัตถุประสงค์ได้และถ้าเราเพิ่มการไหลที่สูงๆ จะเป็นผลประโยชน์ต่อเตา หลอมที่จะไปผลิตกระแสไฟฟ้า

Sopian และคณะ [20] ได้ทำการสร้างและทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าและอากาศร้อน ร่วมพลังงานแสงอาทิตย์แบบสองกลีบ ที่เหมาะสำหรับเครื่องอบแห้ง โดยการศึกษาหานั้นอยู่บน พื้นฐานของสมการสมดุลพลังงานที่แต่ละชิ้นส่วนของระบบ เริ่มตั้งแต่ฝาปิดกระจก ช่องอากาศไหล ช่องแรก ช่องอากาศไหลด้านล่าง ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และที่แผ่นหลังของแผง การศึกษายังได้ทำ การเปรียบเทียบระหว่างการทดลองและผลการจำลองซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกันมาก

Tripanagnostopoulos และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองระบบระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งแบบที่มีฝาปิดกระจกและไม่มีฝาปิด ทั้งใช้อากาศและน้ำเป็นสารทำงานระบบที่ใช้มีการเสริมสมรรถนะด้วยแผ่นสะท้อนแสงแบบกระจาย (diffused reflectors) โดยจากทำด้วยแผ่นอลูมิเนียม ประสิทธิภาพเชิงไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมซึ่งใช้เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกหลากหลาย (pc-Si) มีค่าสูงกว่าระบบที่เป็นเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่ายเท่ากับร้อยละ 3.2



## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

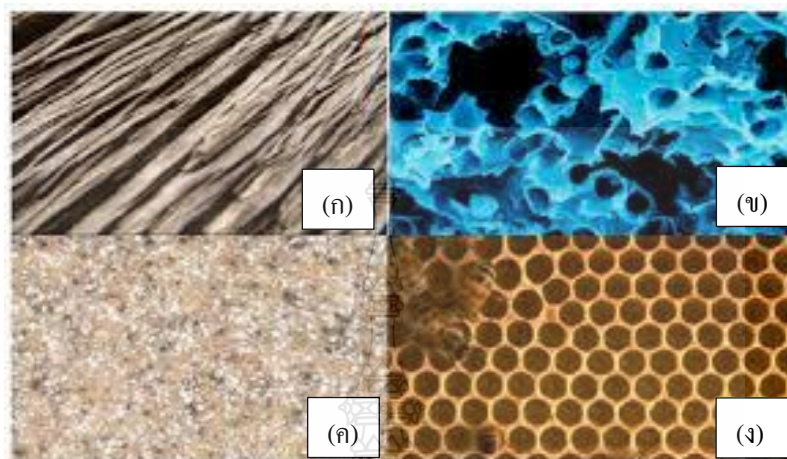
- 3.1.1 ศึกษาค้นคว้ารวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 3.1.2 วิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ปรีกษา สอบถาม ขอคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ
- 3.1.3 วิเคราะห์และออกแบบตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงอาทิตย์ โดยใช้วัสดุพอรุน
- 3.1.4 วิเคราะห์ความเข้มของแสงสะท้อนเข้าสู่เป้าหมาย
- 3.1.5 ติดตั้งตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงอาทิตย์โดยใช้วัสดุพอรุน
- 3.1.6 ทดสอบและวิเคราะห์ความแม่นยำของแผงสะท้อนแสงไปยังเป้าหมาย
- 3.1.7 ทดสอบงานทำงานของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.8 วิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น และนำมาปรับปรุงแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น
- 3.1.9 สรุปผลทดลองของงานวิจัย
- 3.1.10 จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

#### 3.2 ศึกษารายละเอียดและคุณสมบัติของวัสดุพอรุน

##### 3.2.1 วัสดุพอรุน (Porous medium)

วัสดุพอรุน [10] คือ ของแข็งที่ภายในเนื้อของวัสดุมีช่องว่าง หรือมีรูพอรุนที่เชื่อมต่อกันเป็น โครงข่าย เช่น ไม้ เนื้อเยื่อปอดของมนุษย์ หินทราย โลหะและรังผึ้ง (แสดงดังรูปที่ 3.1) คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุพอรุน คือ มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง (Area to volume ratio) ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนสูง อีกทั้งวัสดุพอรุนเป็นของแข็งที่มีค่าการนำความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนสูง ทำให้วัสดุพอรุนสามารถเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้ดีระหว่างความร้อนในรูปของการพา และการแผ่รังสี จึงกล่าวได้ว่าวัสดุพอรุนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีขนาดกะทัดรัด อย่างไรก็ตามแม้ว่าวัสดุพอรุนจะมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่วัสดุพอรุนยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ โดยต้องทำมาจากวัสดุที่มีความต้านทานอุณหภูมิสูง

(High temperature resistant) และมีอายุการใช้งานยาวนานสามารถทนทานต่อการแตกร้าวเนื่องจากการยืดหรือหดของโครงสร้างวัสดุพอร์น

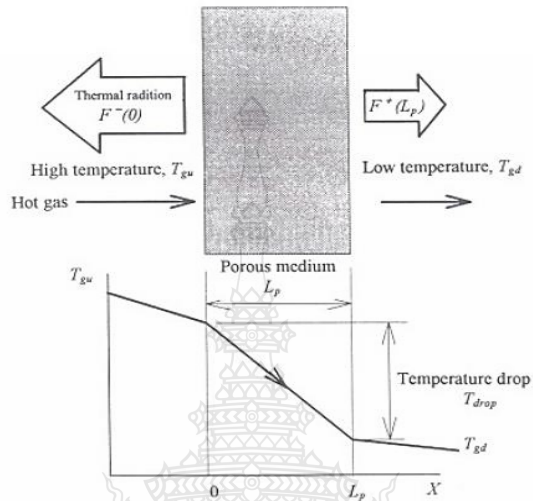


รูปที่ 3.1 วัสดุพอร์นตามธรรมชาติ (ก)ไม้ (ข) เนื้อเยื่อปอดมนุษย์ (ค) หินทราย (ง) รังผึ้ง

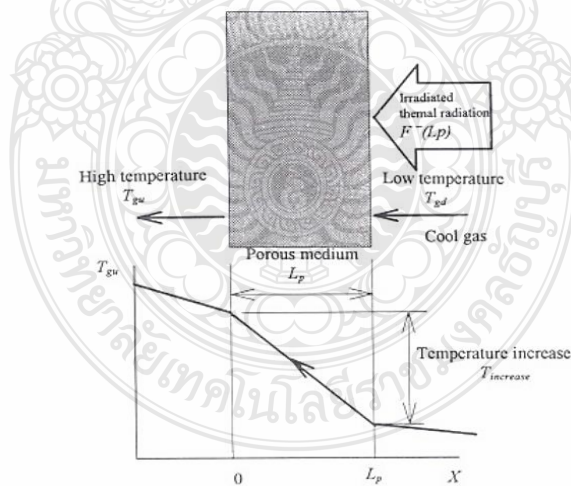
### 3.2.2 หลักการแผ่รังสีความร้อนด้วยวัสดุพอร์น

วัสดุพอร์น [10] สามารถทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ เนื่องจากมีความสามารถในการเปลี่ยนรูปพลังงานความร้อนได้ดี ระหว่างเอนทาลปีของก๊าซร้อน (Enthalpy of the hot gas) กับพลังงานในรูปของการแผ่รังสี (Thermal radiation) โดยผ่านกลไกของการพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เนื่องจากวัสดุพอร์นเป็นของแข็งที่มีรูพรุนซึ่งของไหลสามารถไหลผ่านได้ทำให้มีข้อดี คือ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมาก ทำให้มีความสามารถในการพาความร้อนได้ดี รวมทั้งลักษณะที่เป็นของแข็งจึงมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนและการแผ่รังสีสูงกว่าค่าธรรมดา หลักการทำงานของวัสดุพอร์นที่ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสีแสดงดังรูปที่ 3.2 เมื่อก๊าซร้อนไหลผ่านวัสดุพอร์นที่ตำแหน่ง  $X = 0$  ความร้อนจะถูกถ่ายเทจากก๊าซร้อนไปให้กับวัสดุพอร์นด้วยการพาความร้อนทำให้อุณหภูมิของก๊าซลดลงเอนทาลปีจากก๊าซร้อนที่ถูกวัสดุพอร์นดูดกลืนไว้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานในรูปของการแผ่รังสีความร้อนออกทั้งทางด้าน Upstream และ Downstream กรณีดังกล่าวนี้วัสดุพอร์นทำหน้าที่เป็น ตัวแผ่รังสี (Emitter) นอกจากนี้วัสดุพอร์นยังสามารถทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสี (Absorber) ได้อีกด้วย กล่าวคือ เมื่อวัสดุพอร์นได้รับพลังงานการแผ่รังสีมาจากแหล่งให้ความร้อน วัสดุพอร์นจะดูดซับความร้อนนี้ไว้ทำให้วัสดุพอร์นมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อมีก๊าซเย็นไหลผ่านวัสดุพอร์น ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนจากวัสดุพอร์นไปยัง

ก๊าซที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ทำให้ก๊าซมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนไหลออกจากวัสดุพรุน ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 จากหลักการข้างต้นจึงกล่าวได้ว่าวัสดุพรุนเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีขนาดกะทัดรัดอีกด้วย



รูปที่ 3.2 หลักการทำงานของวัสดุพรุนที่ทำหน้าที่เป็นตัวแผ่รังสี

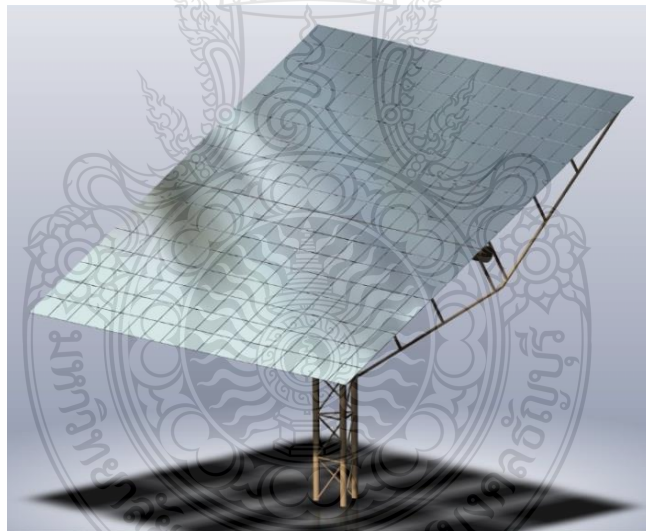


รูปที่ 3.3 หลักการทำงานของวัสดุพรุนที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสี

### 3.3 เครื่องมืออุปกรณ์และวิธีการดำเนินการ

#### 3.3.1 โครงสร้างแผงสะท้อนแสงอาทิตย์

ขั้นตอนการออกแบบและจัดทำโครงสร้าง โดยการนำมอเตอร์มาติดตั้งเข้ากับระบบควบคุมแผงเพื่อให้สามารถปรับทิศทางและยังสามารถปรับระยะโฟกัสไปยังเป้าหมายได้อย่างแม่นยำ ซึ่งทางผู้จัดทำได้ศึกษาและติดตั้งโครงสร้างให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่รองรับ โดยการออกแบบและจัดทำจะต้องได้โครงสร้างที่สวยงาม แข็งแรง และรับน้ำหนักอุปกรณ์ที่จะติดตั้งได้อย่างมั่นคงและปลอดภัย ลักษณะของโครงสร้างเป็นเสาเหล็กสูง 3 เมตร มีขนาดของแผงสะท้อน 5 x 5 m. ส่วนแผงสะท้อนรังสี(Heliostats) ใช้กระจกในการทดลอง ท่องศา กับคานเหล็ก สามารถหมุนได้ 2 แกน โดยควบคุมการหมุนด้วยชุด Gear box ควบคุมทิศทางมุมกวาดของแผง (Surface Azimuth Angle) และ Gear box ควบคุมทิศทางมุมก้มเงย (Solar Altitude Angle)



รูปที่ 3.4 โครงสร้างของเสา และแผงสะท้อนรังสี (Heliostats)

#### 3.3.2 ตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์

ตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ (Solar collector) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ในอยู่ในรูปแบบความร้อน ตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์จะมีพื้นรับแสงขนาด 0.7 x 0.7 เมตร จะติดตั้งที่ความสูงประมาณ 3.60 เมตร





รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์ตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์

### 3.3.3 ตู้ไฟควบคุมมอเตอร์ในการไปควบคุมแผงกระจก

ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าที่ใช้สำหรับควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้าในการปรับทิศทางการหมุนของแผงสะท้อนแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.6 ตู้ไฟควบคุมมอเตอร์ชุดแผงสะท้อนแสงอาทิตย์

### 3.3.4 เครื่องเป่าลม

เครื่องเป่าลม (Blower) เป็นอุปกรณ์สร้างแรงดันลม ซึ่งประกอบด้วยใบพัดหลายซี่ คล้ายกังหันไอน้ำขณะที่ใบพัดหมุน อากาศภายในของใบพัดแต่ละซี่จะถูกบังคับให้เคลื่อนที่ด้วยกฎของแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอากาศที่แปรสภาพเป็นลมจะถูกกำหนดให้ไหลตามขอบใบพัด จากหลักการนี้ลมที่อยู่ระหว่างใบพัดแต่ละซี่จะถูกเหวี่ยงเข้าไปในช่องอื่นๆ ซ้ำๆ กันหลายรอบจากการไหลเวียนอย่างต่อเนื่องของลมผสมผสานกับรูปแบบของใบพัด ทำให้ลมเกิดการหมุนเวียนด้วยความเร็วคงที่ จนกระทั่งเกิดแรงดันลมที่ถูกส่งออกใช้งานจะเป็นลมที่มีแรงดันพร้อมสำหรับประยุกต์ใช้กับงานต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการทดลองครั้งนี้ใช้เครื่องเป่าลมขนาด 3" ยี่ห้อ AKIRA electric blower รุ่น AK030 จำนวน 1 ตัว เป็นแบบหอยโข่ง ซึ่งเป็นเครื่องเป่าลมที่มีขนาดท่อ 3" ใช้เคลื่อนกระแสไฟฟ้า 220-240 V ใช้กระแสไฟฟ้า 2.0 Amp และมีความเร็วรอบ 3000/3600 rpm



รูปที่ 3.7 เครื่องเป่าลม (Air Blower)

### 3.3.5 ปั๊มน้ำ

ปั๊มน้ำ (Water Pump) คือ เครื่องมือกลที่ทำหน้าที่เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวเพื่อให้ของเหลวนั้นไหลผ่านระบบท่อปิดจากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่ง ปั๊มยี่ห้อ LINZ – ELECTRIC รุ่น BM 1 ขนาด 0.5 HP ใช้เคลื่อนกระแสไฟฟ้า 220 V ใช้กระแสไฟฟ้า 3.2 Amp ความเร็วรอบของมอเตอร์อยู่ที่ 2,900 rpm

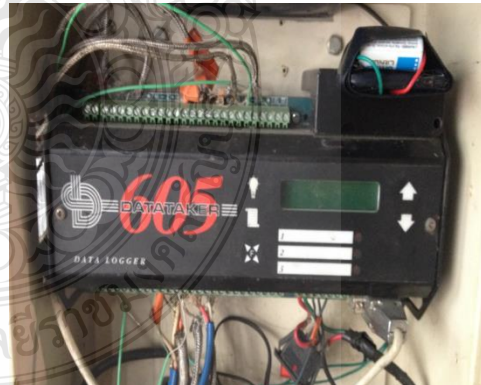




รูปที่ 3.8 ปั้มน้ำ (Pump)

### 3.3.6 เครื่องการบันทึกข้อมูล

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลที่เป็นสัญญาณต่างๆ โดย Data logger จะมี Memory สำหรับเก็บค่าที่วัดได้ของสัญญาณ ตามช่วงเวลาการบันทึกที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ สามารถใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการอ่านข้อมูลจาก Memory ของ Data logger มานำเสนอบนหน้าจอได้



รูปที่ 3.9 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ DATA TAKER รุ่น DL605

### 3.3.7 เครื่องวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ (Pyranometer )

เครื่องวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ หรือไพรานอมิเตอร์(Pyranometer ) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดค่ารังสีอาทิตย์ประกอบด้วย ตัวรับแสง (Detector) ที่ประกอบ เทอร์โมไพล์ (Thermopile) หลายชุดต่ออนุกรมกัน ตัวรับรังสีอาทิตย์บรรจุอยู่ใน โดมแก้วครึ่งทรงกลม



รูปที่ 3.10 เครื่องวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ (Pyranometer)

## 3.4 ขั้นตอนการออกแบบตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์

เป็นขั้นตอนการวางแผนและออกแบบงานการวิจัย โดยเริ่มต้นตั้งแต่การศึกษารายละเอียดองค์ประกอบต่างๆ ที่มีส่วนประกอบของงานวิจัยพร้อมทั้งกำหนดแผนงานระยะเวลาในการวิจัยโดยสรุปมาเป็นข้อๆ ดังนี้

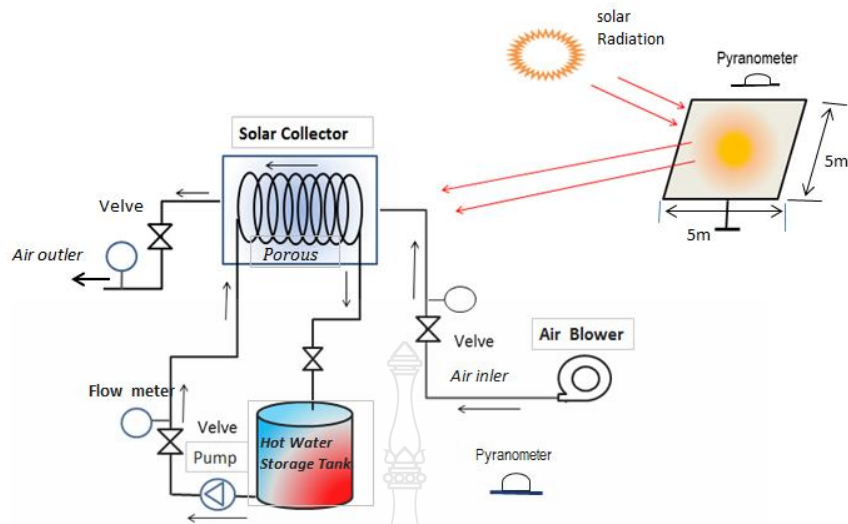
### 3.4.1 ศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบและสร้างตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์

ศึกษารายละเอียดต่างๆ ที่นำมาใช้ในการออกแบบและใช้ในการพัฒนาตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ คือ

3.4.1.1 ศึกษาค้นคว้าตำราและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน ตลอดจนศึกษาทฤษฎีของพลังงานแสงอาทิตย์

3.4.1.2 ศึกษาขั้นตอนการทำงานของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ

จากการศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการออกแบบและสร้างตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ จึงสามารถกำหนดรูปแบบแนวทางแผนผังระบบในการทดลองดังรูปที่ 3.11

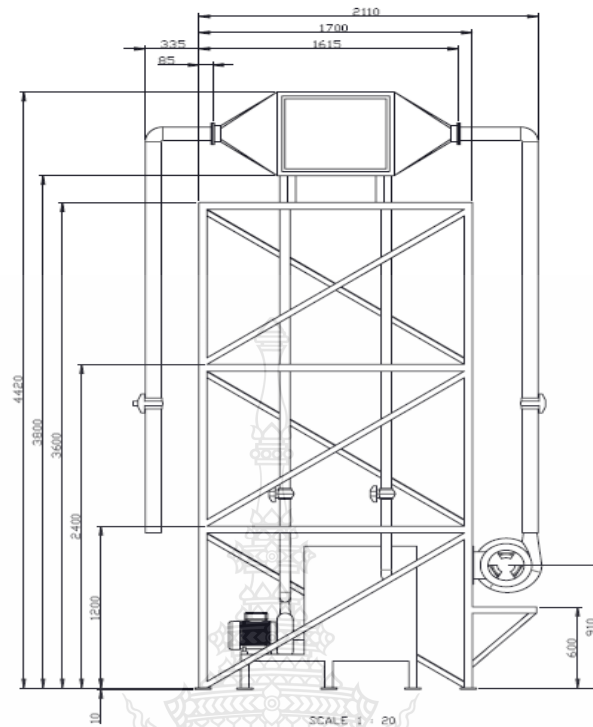


รูปที่ 3.11 แผนผังระบบการทดลอง

หลักการการทำงานของระบบผลิตความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อแสงอาทิตย์สะท้อนมายังชุดสะท้อนแสงทำให้แสงอาทิตย์เกิดการหักเหของแสงไปยังชุดอุปกรณ์รวมแสงอาทิตย์ ชุดอุปกรณ์แสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ เมื่อป้อนตัวแปรเข้าระบบผลิตภายในตัวเก็บความร้อน ซึ่งความร้อนที่อยู่ภายในตัวเก็บความร้อนจะถูกตัวแปรที่ป้อนเข้าภายในตัวเก็บออกมา จะเกิดการพาความร้อนออกมาที่ทางออก ซึ่งตัวแปรนี้ผู้ทดสอบได้ทดสอบ 2 ตัวแปร คือระบบการผลิตลมร้อน และระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

### 3.5 การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์

การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ ในการทดลองครั้งนี้ แสดงได้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โครงสร้างชุดทดลองตัวเก็บความร้อนความส่องอาทิตย์



รูปที่ 3.13 ภาพวัสดุพูนที่ใช้ในการศึกษา

### 3.6 วิธีการทดสอบและบันทึกผลการทดลอง

การทดสอบระบบการเพิ่มประสิทธิภาพตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์โดยการเพิ่มความเข้มแสงอาทิตย์ โดยใช้วัสดุพูน ซึ่งการทดสอบจะเป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระบบประสิทธิภาพของการเพิ่มวัสดุพูน โดยจะทดสอบ 2 ตัวแปร ได้แก่ ลมร้อน และน้ำร้อน โดยจะกำหนดอัตราการไหลของน้ำและอุณหภูมิทางเข้าให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด ซึ่งวิธีการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.6.1 ทำความสะอาดชุดอุปกรณ์แผงกระจกสะท้อนแสงก่อนการทดสอบ

3.6.2 ทำการติดตั้งควบแสงสะท้อนสายและระบบท่อน้ำกับแผงผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งทางเข้าและทางออก

3.6.3 ติดตั้งเครื่องมือวัด และอุปกรณ์ต่างๆ

3.6.4 ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม วัดอุณหภูมิของน้ำทางเข้าและทางออก และต่อเข้าเครื่องบันทึกข้อมูล

3.6.5 ติดตั้งระบบควบคุมอัตราการไหลของน้ำซึ่งประกอบด้วย ถังกักเก็บน้ำ ปั๊มน้ำ

3.6.6 เริ่มทำงานทดสอบตามเงื่อนไขการทดสอบ

3.6.7 บันทึกผลการทดสอบค่า อุณหภูมิน้ำเข้า ( $T_i$ ) ค่าอุณหภูมิน้ำออก ( $T_o$ ) ค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ( $T_a$ ) ค่าอัตราการไหลของน้ำ ( $m$ ) และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวม ( $I_{rr}$ ) ตามมาตรฐานของASHRAE Standard 93-77

3.6.8 เริ่มทำงานทดสอบต่างๆ (กรณีมีวัสดุพูน) ตามเงื่อนไขการวัดค่า

จากการทดสอบสมรรถนะได้ใช้มาตรฐาน การทดสอบแผงสะสมความร้อนแสงอาทิตย์ ของ ISO 9459-2 แต่ทำการทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น (ยังไม่ได้ทดสอบหาค่าและ  $F_R(\tau\alpha)$  และ  $F_R U_L$  ของแผง) กล่าวคือ ทำการทดสอบเพื่อหาค่าอัตราความร้อนใช้ประโยชน์ (Useful Energy Gain, ) ในช่วงสภาวะคงตัวเท่านั้น โดยคำนวณจากสมการที่ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (3.1)$$

และ 
$$\eta_c = \dot{Q}_u / A_c G_T \quad (3.2)$$

เมื่อ

$Q_u$	= อัตราการผลิตความร้อน หน่วยคือ W
$\dot{m}$	= อัตราการไหลเชิงมวลน้ำ ร้อน หน่วยคือ kg/s
$C_p$	= ความร้อนจำเพาะของน้ำร้อน หน่วยคือ KJ/ kg . K
$T_{c,o}$	= อุณหภูมิที่ทางออกของแผง หน่วยคือ °C
$T_{c,i}$	= อุณหภูมิที่ทางเข้าของแผง หน่วยคือ °C
$\eta_c$	= ประสิทธิภาพของแผง
$A_c$	= พื้นที่รับแสง หน่วยคือ m <sup>2</sup>
$G_T$	= ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ หน่วยคือ W/m <sup>2</sup>



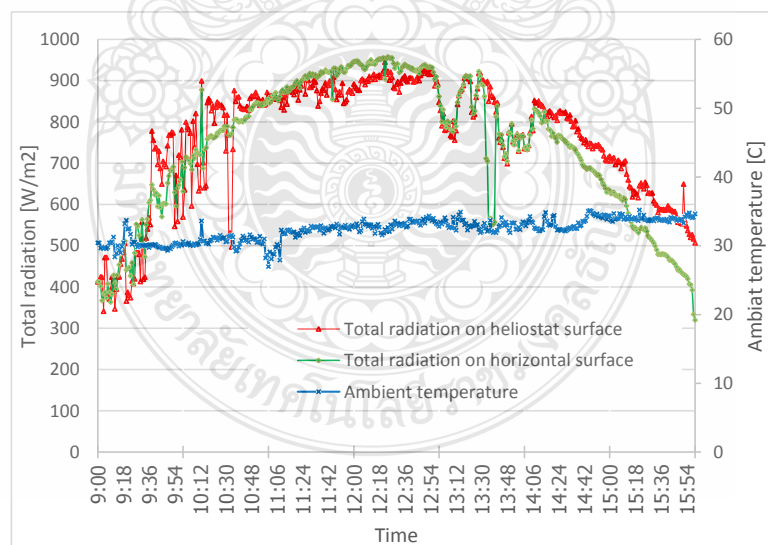
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในการศึกษาครั้งนี้ เป็นการศึกษาทดลองหาสมรรถนะของระบบตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ และยังมี การเพิ่มสมรรถนะโดยการใช้วัสดุพอรุน เพื่อหาประสิทธิภาพสูงสุด เป็นการทดลองเชิงเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างกรณีที่ใช้วัสดุพอรุนและกรณีที่ไม่มีวัสดุพอรุน ซึ่งการทดสอบ จะทำการทดสอบ 2 ระบบ ได้แก่ 1) ระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ และ 2) ระบบผลิตน้ำร้อน ซึ่งจะ ใช้ อย่างน้อย 6 วัน โดยจะทำการทดลองในช่วงเวลาตั้งแต่ 9.00-16.00 ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึง เดือน มีนาคม และในช่วงเดือน ตุลาคม ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ทดสอบภายใต้มาตรฐานการ ทดสอบตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ ISO 94592-2 [21] มีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

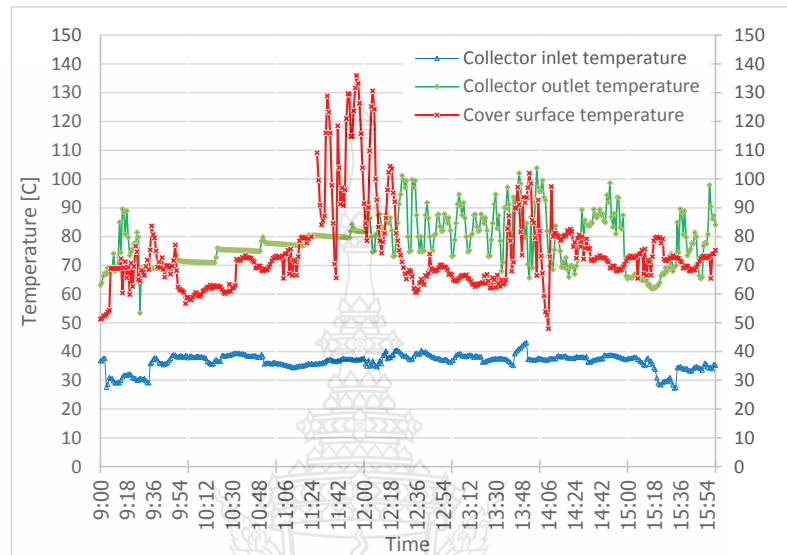
#### 4.1 การวิเคราะห์ระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนแสงอาทิตย์เชิงเปรียบเทียบกรณีที่ไม่มี วัสดุพอรุนและกรณีที่มีวัสดุพอรุน

##### 4.1.1 การวิเคราะห์ระบบผลิตลมร้อนกรณีไม่มีวัสดุพอรุน



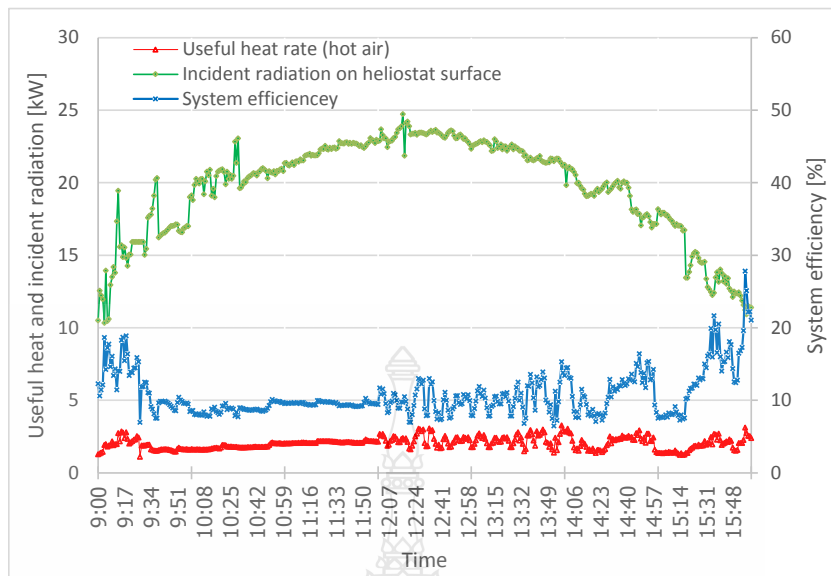
รูปที่ 4.1 แสดงระบบการทดสอบกรณีไม่มีวัสดุพอรุน

จากรูปที่ 4.1 จะที่แสดงจะเห็นค่าของความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เวลาต่างๆ ตลอดทั้งวันที่ทำการทดลอง จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 930 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิที่ทางเข้าและออกของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์กรณีไม่มีวัสดุพูนขณะทดลอง

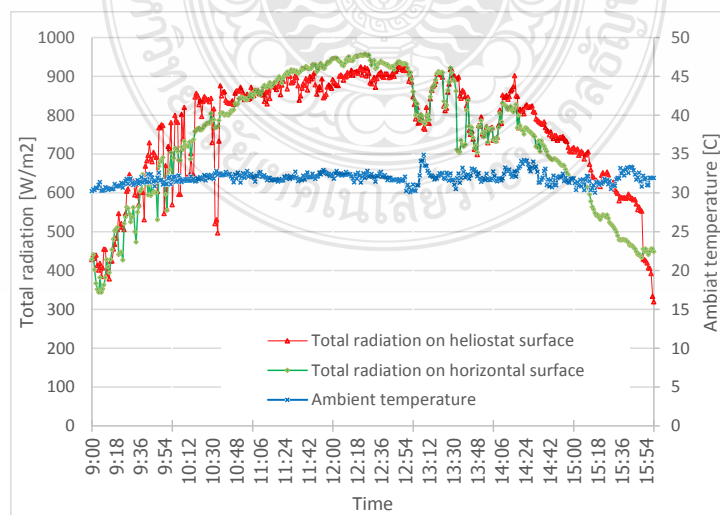
จากรูปที่ 4.2 เป็นข้อมูลที่แสดงค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางเข้าและทางออกของตัวเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิผิวกระจกที่วัดได้ขณะทำการทดลองตลอดทั้งวัน โดยมีอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.05 กิโลกรัมต่อวินาที ข้อมูลจากกราฟจะเห็นได้ว่าลมร้อนที่ผลิตได้นั้นมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 98.6 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 แสดงค่าประสิทธิภาพของระบบการทดลองกรณีไม่มีวัสดุพูน

จากรูปที่ 4.3 แสดงข้อมูลประสิทธิภาพของระบบการทดลอง โดยการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์กรณีไม่มีวัสดุพูน เป็นการคำนวณด้วยสมการที่ได้ค่าประสิทธิภาพขณะใดขณะหนึ่ง ดังปรากฏในรูป พบว่าข้อมูลที่แสดงในช่วงที่ระบบเข้าใกล้สภาวะคงตัวระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 11.94

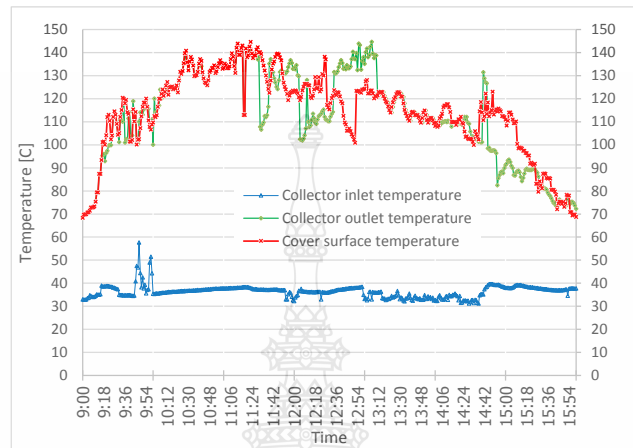
#### 4.1.2 การวิเคราะห์ทดลองระบบผลิตความร้อนแบบมีวัสดุพูน



รูปที่ 4.4 แสดงค่าของความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ขณะทดลอง

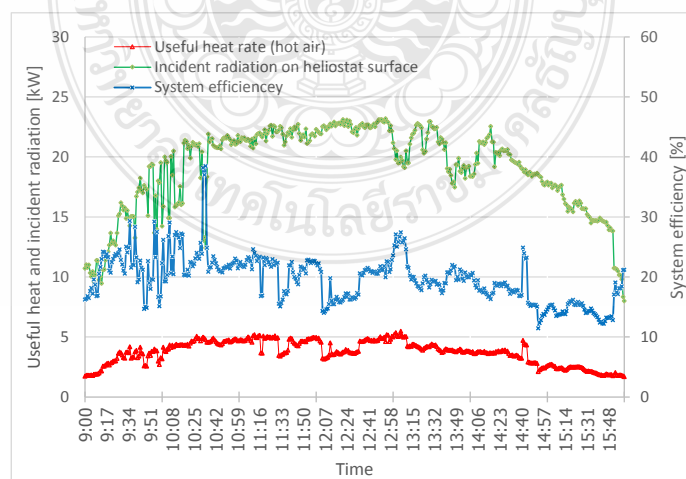


จากรูปที่ 4.4 แสดงค่าของความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เวลาต่างๆ ขณะทำการทดลองตลอดทั้งวัน ข้อมูลจากกราฟแสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์อยู่ที่ประมาณ 950 วัตต์ต่อตารางเมตร



รูปที่ 4.5 แสดงอุณหภูมิที่ทางเข้าและออกของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์กรณีมีวัสดุพูนขณะทดลอง

รูปที่ 4.5 เป็นข้อมูลที่แสดงค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางเข้าและทางออกของตัวเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิผิวกระจกที่วัดได้ขณะทำการทดลองตลอดทั้งวัน โดยมีอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.05 กิโลกรัมต่อวินาที ข้อมูลจากกราฟจะเห็นได้ว่าลมร้อนที่ผลิตได้นั้นมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 121.8 องศาเซลเซียส



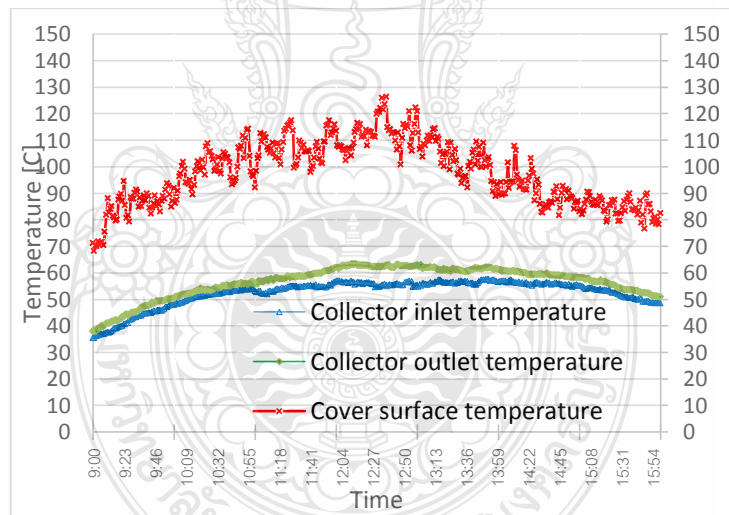
รูปที่ 4.6 แสดงค่าประสิทธิภาพของระบบการทดลองกรณีมีวัสดุพูน

จากรูปที่ 4.6 แสดงข้อมูลประสิทธิภาพของระบบการทดลอง โดยการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์กรณีไม่มีวัสดุพูน เป็นการคำนวณด้วยสมการที่ได้ค่าประสิทธิภาพขณะใดขณะหนึ่ง ดังปรากฏในรูป พบว่าข้อมูลที่แสดงในช่วงที่ระบบเข้าใกล้สภาวะคงตัวระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 21.60

#### 4.2 การทดลองและวิเคราะห์ระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

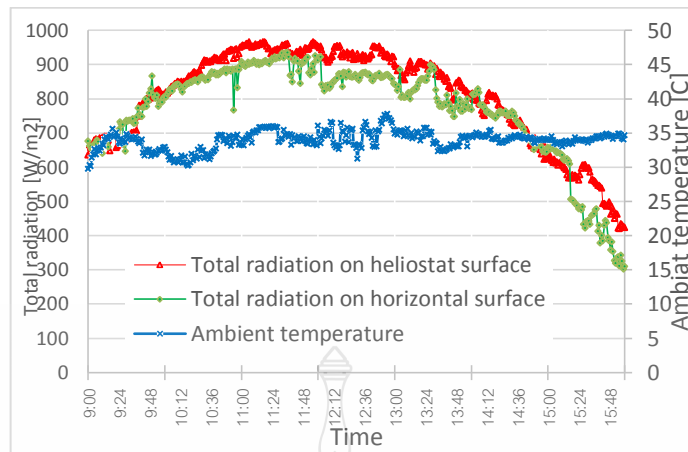
ในการทดลองระบบน้ำร้อนเป็นทดลองด้วยกันทั้งหมดไม่น้อยกว่า 6 วัน โดยแบ่งช่วงการทดสอบจะทำการทดสอบ 2 ระบบ ได้แก่ 1) ระบบกรณีที่ไม่มีวัสดุพูน และ 2) ระบบกรณีที่มีวัสดุพูน ซึ่งเป็นการนำผลการทดลองทั้งสองแบบนี้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อหาสัมประสิทธิ์ที่สูงที่สุด โดยเริ่มบันทึกผลการทดลองในช่วงเวลาตั้งแต่ 9.00-16.00 ในช่วงเดือน กุมภาพันธ์ ถึง เดือนมีนาคม และในช่วงเดือน ตุลาคม ถึง เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2560 มีขั้นตอนในการดำเนินการ ดังนี้

##### 4.2.1 การวิเคราะห์ระบบผลิตน้ำร้อนกรณีที่ไม่มีวัสดุพูน



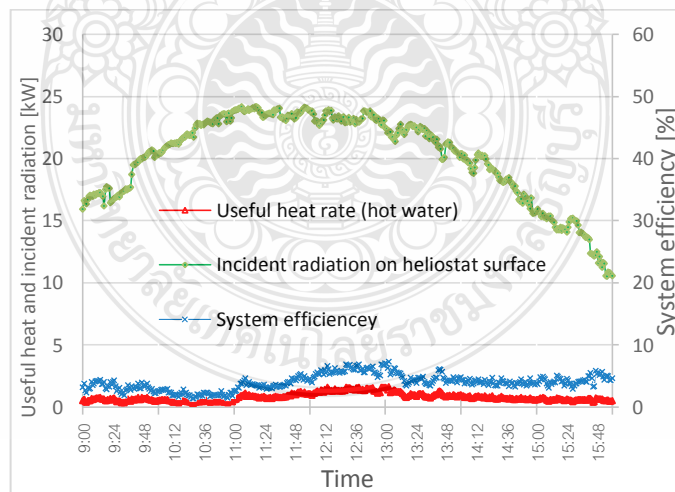
รูปที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออก และอุณหภูมิของภายในตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์กรณีไม่มีวัสดุพูนขณะทดลอง

จากรูปที่ 4.7 ข้อมูลจากกราฟ แสดงให้เห็นถึงค่าของอุณหภูมิภายในระบบผลิตน้ำร้อนขณะทำการทดลองตลอดทั้งวัน โดยอุณหภูมิน้ำเข้าเฉลี่ยจะอยู่ที่ 55.30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำร้อนที่ทางออกของระบบผลิตน้ำร้อน อุณหภูมิจะเฉลี่ยอยู่ที่ 62.14 องศาเซลเซียส โดยจะใช้อัตราการไหลของน้ำคงที่ 0.14 กิโลกรัมต่อวินาที



รูปที่ 4.8 แสดงค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมไม่มีวัสดุพูนขณะทดลอง

จากรูปที่ 4.8 ข้อมูลจากกราฟ แสดงให้เห็นถึงค่าของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ขณะทำการทดลองตลอดทั้งวัน โดยใช้อุปกรณ์ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) เป็นเครื่องมือในการวัด ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์โดยความเข้มแสงอาทิตย์จะมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร จากกราฟค่าความเข้มแสงมีอัตราการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อแสงมากขึ้นนั้น คือใกล้เคียง เฉลี่ยที่ค่าสูงสุด 966.50 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีอัตราการลดลงเมื่อแสงอาทิตย์ค่อยๆ หม่นลง

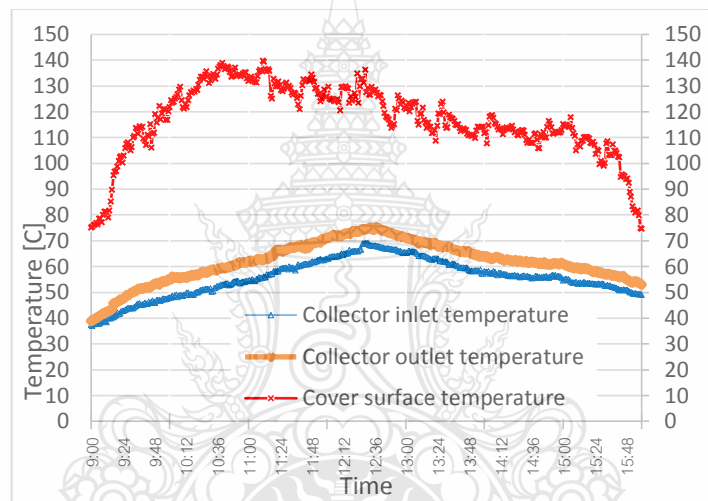


รูปที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบที่อัตราการไหลกรณีไม่มีวัสดุพูนขณะทดลอง

จากรูปที่ 4.9 ข้อมูลจากกราฟ แสดงให้เห็นว่าค่าของประสิทธิภาพของระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะค่อยๆขึ้นเพียงเล็กน้อยขณะทำการทดลองตลอดทั้งวัน โดยจะมีอัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 7.27

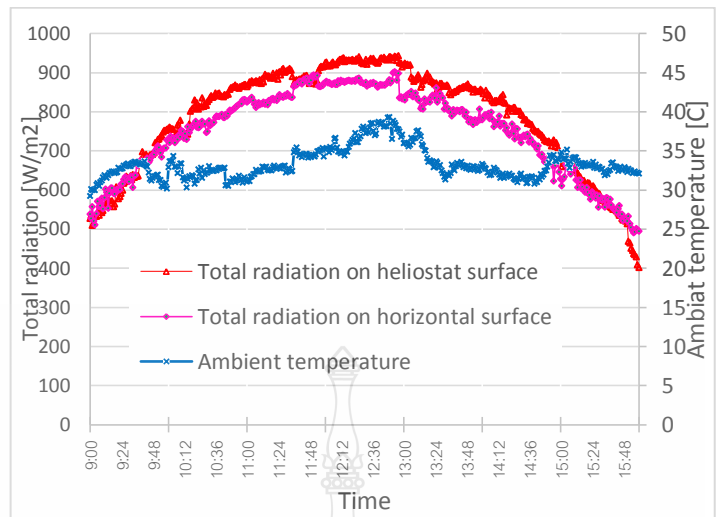
#### 4.2.2 การวิเคราะห์ระบบผลิตน้ำร้อนแบบเพิ่มความเข้มของแสงกรณีที่มีวัสดุพูน

เป็นการทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะคัดเลือกวันที่อากาศใกล้เคียงกัน เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย เพื่อเปรียบเทียบผลทดลอง กรณีที่มีการเพิ่มความเข้มแสงโดยใช้วัสดุพูน ในการทดลองระยะนี้ กำหนดให้ทำการทดลองในช่วงเดือนตุลาคม 2560 ได้ผลการทดลอง ดังนี้



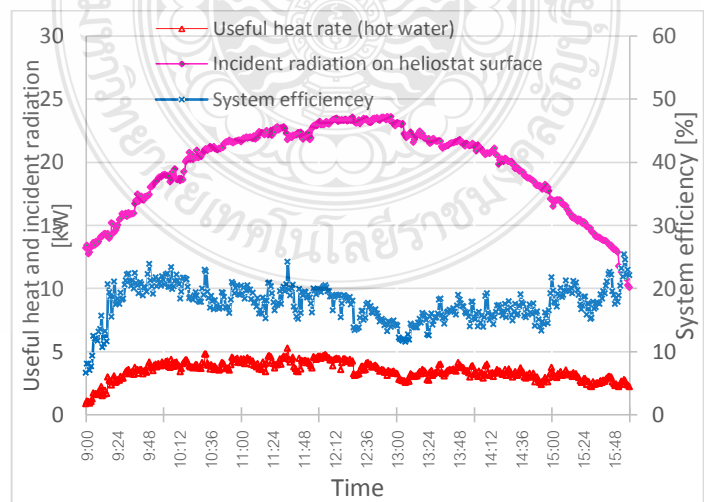
รูปที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกกรณีมีวัสดุพูนขณะทดลอง

จากรูปที่ 4.10 ข้อมูลจากการแสดงให้เห็นถึงค่าอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิออกขณะทำการทดลองตลอดทั้งวัน โดยจะใช้อุปกรณ์บันทึกผล DATA LOGGER โดยจะบันทึกผลทุกๆ 1 นาที จากกราฟจะเห็นว่าอุณหภูมิความร้อนภายในระบบจะเฉลี่ยสูงสุดที่ 123.50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิขณะน้ำเข้าจะเฉลี่ยสูงสุดที่ 59.25 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขณะน้ำออกเฉลี่ยสูงสุดที่ 67.75 องศาเซลเซียส โดยจะใช้อัตราการไหลคงที่อยู่ที่ 0.14 กิโลกรัมต่อวินาที



รูปที่ 4.11 แสดงค่ารังสีแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกรณีมีวัสดุพูนขณะทดลอง

จากรูปที่ 4.11 ข้อมูลจากกราฟแสดงให้เห็นถึงค่าของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่เวลาต่างๆ ขณะทำการทดลองตลอดทั้งวัน โดยใช้อุปกรณ์ ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) เป็นเครื่องมือในการวัดค่าความเข้มของแสงอาทิตย์โดยความเข้มแสงอาทิตย์จะมีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร จากกราฟค่าความเข้มแสงมีอัตราการเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อแสงมากขึ้นนั้น คือใกล้เคียง เฉลี่ยที่ค่าสูงสุด 870.50 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีอัตราการลดลงเมื่อแสงอาทิตย์ค่อยๆ หดลง และใช้เทอร์โมคัปเปิล (Type K) ในการวัดค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม โดยจากกราฟอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม พบว่า มีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาเพียงเล็กน้อย



รูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบที่อัตราการไหลกรณีมีวัสดุพูนขณะทดลอง

จากรูปที่ 4.12 ข้อมูลจากกราฟ แสดงให้เห็นว่าค่าของประสิทธิภาพของระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขณะทำการทดลองตลอดทั้งวัน จะมีอัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 17.25

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตน้ำร้อนทั้ง 2 กรณี คือ กรณีที่ไม่มีวัสดุพูนและกรณีที่มีวัสดุพูนจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของระบบที่ไม่มีวัสดุพูนประสิทธิภาพจะเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 7.27 และเมื่อมีการนำวัสดุพูนมาใช้กับระบบผลิตน้ำร้อนจะทำให้ค่าทั้งสองกรณีเพิ่มอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือ อุณหภูมิน้ำร้อนประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 17.25 ซึ่งค่าสมรรถนะที่สูงขึ้นนี้เป็นผลมาจากการนำวัสดุพูนที่มีคุณสมบัติมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงมีการนำความร้อนและแผ่รังสีความร้อนได้ดีมาใช้เป็นตัวส่งเสริมการถ่ายโอนความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มีการเพิ่มความเข้มแสงจนมีอุณหภูมิสูงโดยสามารถกักเก็บหรือดึง (extract) ความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งถ่ายโอนพลังงานความร้อนนี้ให้กับอากาศที่ไหลผ่านวัสดุพูนที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก มีการนำความร้อนภายในเนื้อของวัสดุพูนเข้าสู่ภายในห้องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger chamber) ได้ดีและกระจายความร้อนไปยังส่วนต่างๆ ของวัสดุพูนได้มากขึ้น จึงส่งผลให้กลไกการถ่ายโอนความร้อนทั้งสามรูปแบบคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนมีประสิทธิภาพสูง ในขณะที่กรณีไม่มีวัสดุพูนมีเพียงกลไกการพาความร้อนเท่านั้น



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอระบบการผลิตความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบใหม่ที่มีการนำวัสดุพูนมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งวัสดุพูนมีคุณสมบัติในการนำความร้อนและแผ่รังสีความร้อนได้ดีกว่าอากาศมาก สามารถส่งเสริมการถ่ายโอนความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่สามารถกักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพพร้อมทั้งถ่ายโอนพลังงานความร้อนนี้ให้กับอากาศที่ไหลผ่านวัสดุพูนที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จึงส่งผลให้กลไกการถ่ายโอนความร้อนทั้งสามรูปแบบคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน มีประสิทธิภาพสูง ในขณะที่กรณีไม่มีวัสดุพูนมีเพียงกลไกการพาความร้อนเท่านั้น โดยการทดลองการเพิ่มประสิทธิภาพจะทดสอบโดยใช้ 2 ตัวแปร คือ น้ำ ในรูปแบบของน้ำร้อน และอากาศ ในรูปแบบของลมร้อน

#### 5.1 ผลการวิเคราะห์

5.1.1 ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องทำลมร้อนกรณีไม่มีวัสดุพูนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 11.94 และกรณีที่มีวัสดุพูน พบว่าประสิทธิภาพลมร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 21.60 มีอัตราการเพิ่มสูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 70

5.1.2 ผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของระบบผลิตน้ำร้อนกรณีไม่มีวัสดุพูนเฉลี่ยอยู่ที่ 7.27 และกรณีมีวัสดุพูน พบว่าประสิทธิภาพลมร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 17.25

ซึ่งจากการทดสอบตัวแปรทั้ง 2 แบบ จึงสรุปได้ว่าวัสดุพูนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้อย่างดี เนื่องจากวัสดุพูนที่ใช้มีโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อนและยังสามารถดูดกักความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์เป็นอย่างดี เหมาะสมกับการนำมาใช้ทดสอบในครั้งนี้

#### 5.2 ปัญหาและอุปสรรคในการดำเนินงานวิจัย

5.2.1 ในการทดลองบางช่วงขณะ เกิดเมฆบางส่วนทำให้ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ลดลงส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตลมร้อนและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งอาจมีค่าที่อาจคลาดเคลื่อนได้เป็นบางเวลา คือ เนื่องจากอาจมีเมฆมาบังดวงอาทิตย์จึงทำให้แสงตกกระทบแผงสะท้อนรังสีของแสงอาทิตย์ได้น้อยลง และในช่วงเวลาประมาณ 15.00-16.00 น. ได้มีร่มเงาของต้นไม้



ที่อยู่บริเวณนั้นมาบังแสงสะท้อนรังสีของแสงอาทิตย์เป็นบางส่วนจึงทำให้ได้ค่าแสงอาทิตย์ที่ไม่เต็ม 100% ของขนาดของแผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์นี้ที่ส่งออกไปยังตัวรับแสงอาทิตย์นี้

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ผลการทดลองระบบผลิตความร้อนและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการทดลอง ช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ถ้าจะประเมินสมรรถนะได้อย่างเต็มรูปแบบ ควรทำการทดลองตลอดช่วง ฤดูกาล เพื่อทำการเปรียบเทียบข้อมูล

5.3.2 ระบบผลิตความร้อนและน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นั้นสามารถนำไปศึกษาต่อยอดได้ อาทิเช่น การผลิตระบบน้ำร้อนใช้เองในครัวเรือน เป็นต้น



## บรรณานุกรม

- [1] Donald, R. (1981). Solar Energy. London, England: Prentice-Hall International, Inc.
- [2] Ursula, E. (2003). **Solar Technologies for Building**. New York, NY: A Wile-Interscience Publication.
- [3] มหาวิทยาลัยศิลปากรและกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานร่วมกับภาควิชาฟิสิกส์. (2542). **แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมสำหรับประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2552). **ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสงในประเทศไทย**. กรุงเทพฯ: บริษัท จีริงรัชต์ จำกัด.
- [5] จงจิตร หิรัญลาภ. (2541). **กระบวนการพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อน**. กรุงเทพฯ: คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- [6] จีรพงษ์ พงษ์สีทอง. (2555). **การวิเคราะห์แรงแผลผลิตน้ำร้อนจากวัสดุโพลีเมอร์โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ**. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- [7] ปรัชญา ศรีสวัสดิ์. (2549). **ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนรวมแสง กรณีศึกษาสำหรับจังหวัดร้อยเอ็ด**. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร).
- [8] Grass, W., Hertlen, H. P., Winter, C. J., & Vant-Hull, L. L. (1991). **Solar Power Plants**. New York, NY: Springer and Business.
- [9] Kaplan, M. & Hall, M. J. (1995). The Combustion of Liquid Fuels Within a Porous Media Radiant Burner. **Experimental Thermal and Fluid Science**, 11(1), 13-20.
- [10] Wongwatcharaphon, "K. Numerical Simulation of High Efficiency Porous Burner for Liquid Fuel Combustion without Spray Atomization," D.Eng., Mechanical Engineering Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2011.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] ปรีชา ชันดีโกมล และคณะ (2555) การเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบฉนวนความร้อนสำหรับแก๊สร้อนไหลโดยใช้วัสดุพูนเซลล์ลู่วิ่งเปิดแผ่นประกบ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ศูนย์กลางนครราชสีมา. คณะ วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
- [12] จีรพงษ์ พงษ์สีทอง. (2555). การวิเคราะห์แผงผลิตน้ำร้อนจากวัสดุโพลีเมอร์โดยวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- [13] อำนาจ เงินพลับพลา. (2556). การศึกษาประสิทธิภาพความเข้มแสงของแผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์สำหรับระบบหอคอยรวมแสงอาทิตย์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- [14] สุริยะ สุกรินทร์. (2554). การพัฒนาระบบจัดการงานซ่อมบำรุงระบบผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ด้วยคอมพิวเตอร์. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- [15] Brogren, M., & Karlsson, B. (2001). Low-concentrating water-cooled PV– thermal hybrid systems for high latitudes, 17th EUPVSEC.
- [16] Coventry, J. S. (2005). Performance of a concentrating photovoltaic/thermal solar collector. **Solar Energy**, 78(2), 211–222.
- [17] Peter, D. J. & Lili, W. (2000). Concentration distributions in cylindrical receiver/paraboloidal dish concentrator systems. **Solar Energy**, 54(2), 115-123.
- [18] Reddy, K. s. & Sendhil, K. N. (2008). Combined laminar natural convection and surface radiation heat transfer in a modified cavity receiver of solar parabolic dish. **International Journal of Thermal Sciences**, 47(12), 1647-1657.
- [19] Robert, P. F., Gordon, J.M., & Harald, R. (2002). Compact high-flux two-stage solar collectors based on tailored edge-ray concentrators. **Solar Energy**, 56(6), 607-615.
- [20] Sopian, K. S., Liu, H. T., Kakac, S., & Veziroglu, T. N. (2000). Performance of a double pass photovoltaic thermal solar collector suitable for solar drying systems. **Energy Conversion and Management**, 41(4), 353–365.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, Th., Souliotis, M., & Yianoulis, P. (2002). Hybrid photovoltaic/thermal solar systems. *Solar Energy*, 72(3), 217–234.
- [22] Duffie, J. A., & Beckman, W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes* (2nd ed.). New York, NY: John Wiley & Sons.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก  
ข้อมูลจำเพาะของอุปกรณ์การทดลอง



## GL820 midi Logger



**Built-in 5.7" TFT LCD  
Color Display**

**Stand-alone or PC-  
connected operation**

**20 Analog Channels  
Standard, Expandable to  
200**

**Input-to-output and  
channel-to-channel  
Isolation**

**USB and Ethernet PC  
Interfaces**



### Features

#### **Voltage, Current, and Temperature Measurement Functions**

Use the GL820 to measure voltages, currents, 4-20 mA process currents, as well as thermocouple- and RTD-based temperatures.

#### **Four Unique 'Pulse' Inputs for Discrete Measurements**

The GL820 provides discrete input channels that can be used for counting and rotational speed measurement applications. Or program the discrete inputs as simple logic level input channels.

#### **Four Alarm Outputs**

Program the GL820 to trigger its open-collector outputs as a function of analog input signal level judgment, pulse judgment, or logic pattern.

#### **Wide Sample Interval Selections**

Sample intervals can be programmed to be one of sixteen values ranging from 10 ms to one hour.

#### **Bright TFT LCD Color Display**

The focal point of the GL820 is its built-in 5.7-inch color display that allows real time trending, data review, and complete instrument configuration.

#### **Engineering Units Scaling**

Each GL820 channel allows up to four break points to be programmed for accurate scaling into meaningful units like psi, grams, newtons, gallons per minute, etc.

#### **Flexible Triggering Options**

The GL820 allows data capture to be started or stopped based upon signal level, an external event, date/time, alarm, duration, or Boolean channel combinations. Analog signal triggers can be programmed based upon level and window tests: above threshold, below threshold, inside window, or outside window.

#### **Real Time and Post-recorded Calculations**

The GL820 may be programmed to calculate average value, peak value, minimum value, rms, and arithmetic operations (+, -, ×, /) between channels.

#### **Flexible Power Requirements**

Power the GL820 from its provided international AC adaptor, from an optional built-in battery pack, or from any 9 to 24 VDC source using an optional cable.

#### **PC Connectivity via USB or Ethernet**

Allows data transfer to the PC either in real time or from the GL820's memory. Also allows complete configuration of the GL820.

#### **PC Software Bundle Included**

The GL820 includes a Windows application for direct capture, measurement, and monitoring of GL820 data. In addition to waveform and data value capture and display, the application can export data to an Excel file for further analysis and report creation. The software includes built-in help for quick reference.

With its color monitor and internal memory the GL820 is a compact, lightweight, multi-channel data logger that provides 20 standard analog measurement channels, expandable to 200. The GL820 is equipped with a large internal flash memory to allow the direct capture of acquired data, and its built-in USB port may be used to connect any standard USB flash drive for incremental capacity. Alternatively, the USB or the integral Ethernet port may be connected to a PC to allow data upload in real time or from memory, as well as local or remote configuration and real time data acquisition. The Ethernet feature includes WEB and FTP server functions, which allows monitoring from a remote location as well as data transfer.

#### **Wide Voltage Measurement Range**

Each GL820 analog channel can measure from 20 mV to 50 VFS across eleven programmable measurement ranges.

#### **Full Electrical Isolation Per Channel**

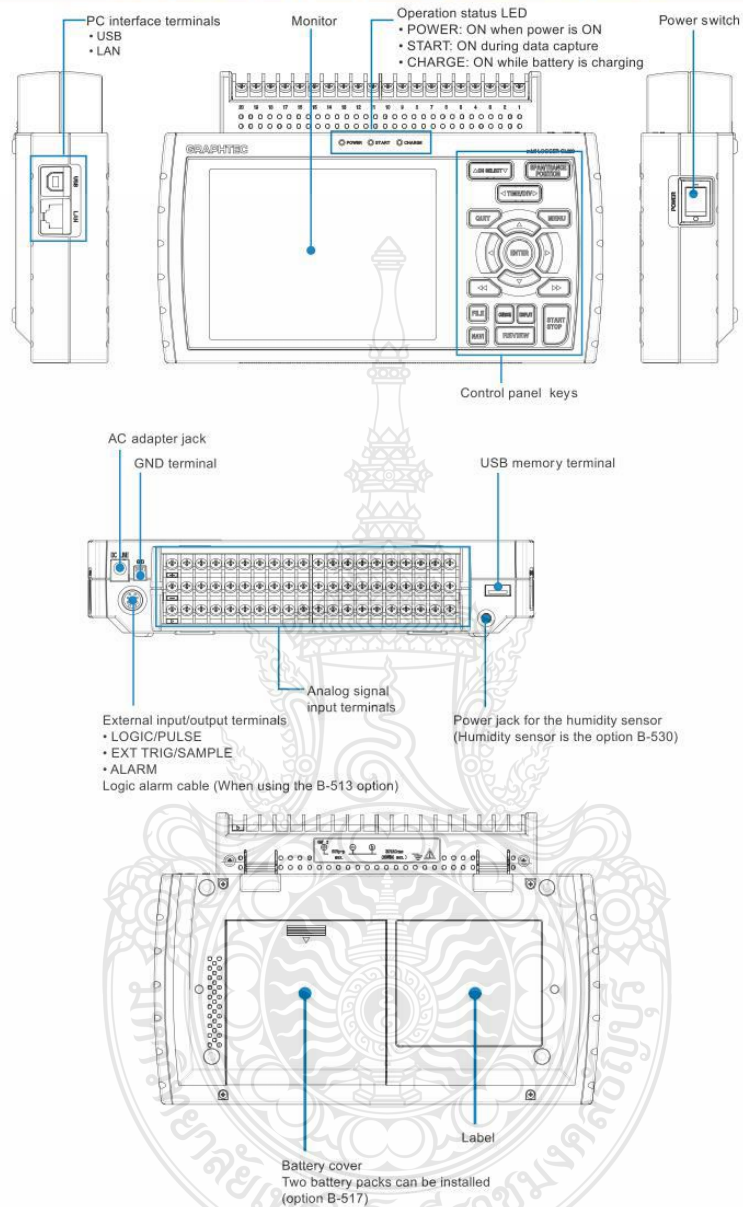
Each analog GL820 channel is electrically isolated from all others and from instrument ground to allow accurate and safe measurements in industrial applications where ground potential differences are common.

DATAQ Instruments, Inc. • 241 Springside Drive • Akron, Ohio 44333 • Tel: 330-668-1444 • Email: support@dataq.com • www.dataq.com

รูปที่ ก.1 ข้อมูลจำเพาะเครื่องบันทึกข้อมูล Data Logger GL 820



## GL820 Display, I/O, and Control Overview



330-668-1444

2

www.dataq.com

รูปที่ ก.1 ข้อมูลจำเพาะเครื่องบันทึกข้อมูล Data Logger GL 820 (ต่อ)

**MAXIMUM TEMPERATURE RANGE**

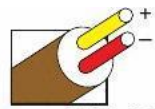
Thermocouple Grade  
-328 to 2282 °F  
-200 to 1250 °C

Extension Grade  
32 to 392 °F  
0 to 200 °C

**LIMITS OF ERROR**  
(whichever is greater)  
Standard: 2.2 °C or 0.75% Above 0 °C  
2.2 °C or 2.0% Below 0 °C  
Special: 1.1 °C or 0.4%

**COMMENTS, BARE WIRE ENVIRONMENT:**  
Clean Oxidizing and Inert; Limited Use in Vacuum or Reducing; Wide Temperature Range; Most Popular Calibration

**TEMPERATURE IN DEGREES °F  
REFERENCE JUNCTION AT 32 °F**



Thermocouple Grade

**Nickel-Chromium  
vs.  
Nickel-Aluminum**

Extension Grade



**Revised Thermocouple  
Reference Tables**

**TYPE  
K**  
Reference  
Tables  
N.I.S.T.  
Monograph 175  
Revised to  
ITS-90

Z

**Thermoelectric Voltage in Millivolts**

Table with columns for temperature in °F and °C, and rows for thermoelectric voltage in millivolts. The table is divided into two main sections for different temperature ranges.

Z-218

รูปที่ ก.2 ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ Thermocouple Type K

# ML-020 series Small Sensors

## High performance

Combining the special designed filters with the high efficient detector makes it possible to characterize "spectral response" which is close to the ideal response. Temperature dependence is quite small, max. 1%, in actual measurement.

## Small and lightweight

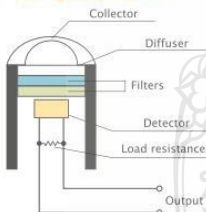
The sensors are suitable for the use in limited space and at multi point measurement.

## High durability

The sensors are designed to use continuously in all weather condition.

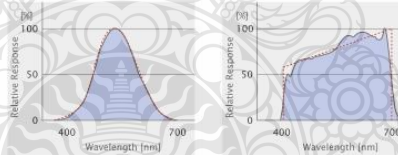
When creatures or plants receive natural and artificial light as illuminance or light energy, reactions are very big difference spectrally depends on the types. Human eye reacts to illuminance and plants react to number of photon. According to this fact, natural and artificial light should be selected very carefully for measurement of fundamental study of applied research. Based on these backgrounds, we have developed three sensors for such individual measuring purpose by taking our advantage of long experience for energy measuring.

## PRINCIPLE OF MEASUREMENT



Special designed collector and diffuser are mounted on the upper part of the detector. This optical component realizes excellent character for cosine response and sensitivity. The transmitting light flux reached to the filters whose spectral response coincides for individual measuring purpose: illuminance, photon number and irradiance, as shown in the following figure, the Si-photodiode detects the flux through the filters and converts accurately to electric signal proportional to the flux.

## PSPECTRAL CHARACTERISTICS

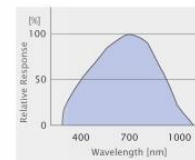


Luxmeter  
ML-020S-1, ML-020S-0

Photon sensor  
ML-020P



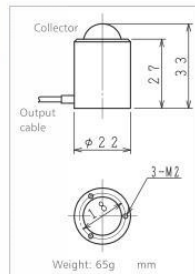
with option leveling plate



Pyranometer  
ML-020VM

## Specifications

	Luxmeter ML-020S-0 High illuminance	Luxmeter ML-020S-1 Low illuminance	Photon sensor ML-020P	Pyranometer ML-020VM
Spectral response	CIE Photopic Curve		Photophysically Photon Flux Density	Solar Irradiance (300 to 1100nm)
Measuring range	~150,000	~30,000	~3000	~1.4
Unit	lx	lx	$\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$	$\text{kW}/\text{m}^2$
Output	~30mV	~30mV	~10mV	~10mV
Internal resistance	280 $\Omega$	1.3 k $\Omega$	160 $\Omega$	10 $\Omega$
Temperature response (-10 to +50 °C)	0.3%	0.4%	1.1%	0.5%
COS response (at 30/60/80 deg.)	1 / 1.5 / 17%			
Spectral error	2.3%	2.3%	7.7%	—
Output cable	5m, standard			



รูปที่ ก.3 ข้อมูลจำเพาะอุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์ Pyranometer Eko ML-020



ภาคผนวก ข

ขั้นตอนดำเนินการก่อสร้าง





รูปที่ ข.1 โครงสร้างของเสาที่ใช้ตั้งแผง



รูปที่ ข.2 โครงสร้างของเสาที่ใช้วางตัวรับแสง



รูปที่ ข.3 เป้าที่ใช้ในการตั้งแผ่นกระจกให้รวมอยู่จุดเดียว



รูปที่ ข.4 ติดตั้งประกอบแผงโครงสร้าง





รูปที่ ข.5 แผงที่ติดตั้งกระจากสะท้อน



รูปที่ ข.6 การคุมผ้าเพื่อจะใช้ในการปรับกระจาก





รูปที่ ข.7 การปรับกระจกให้แสงส่องมายังเป้ารับเดียวกัน

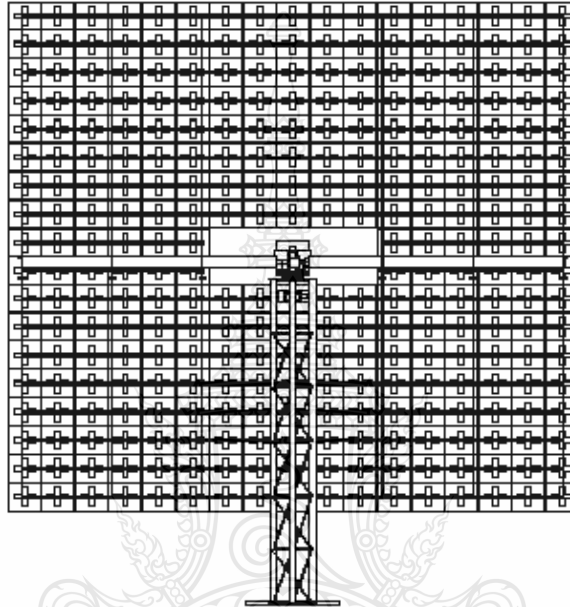
\



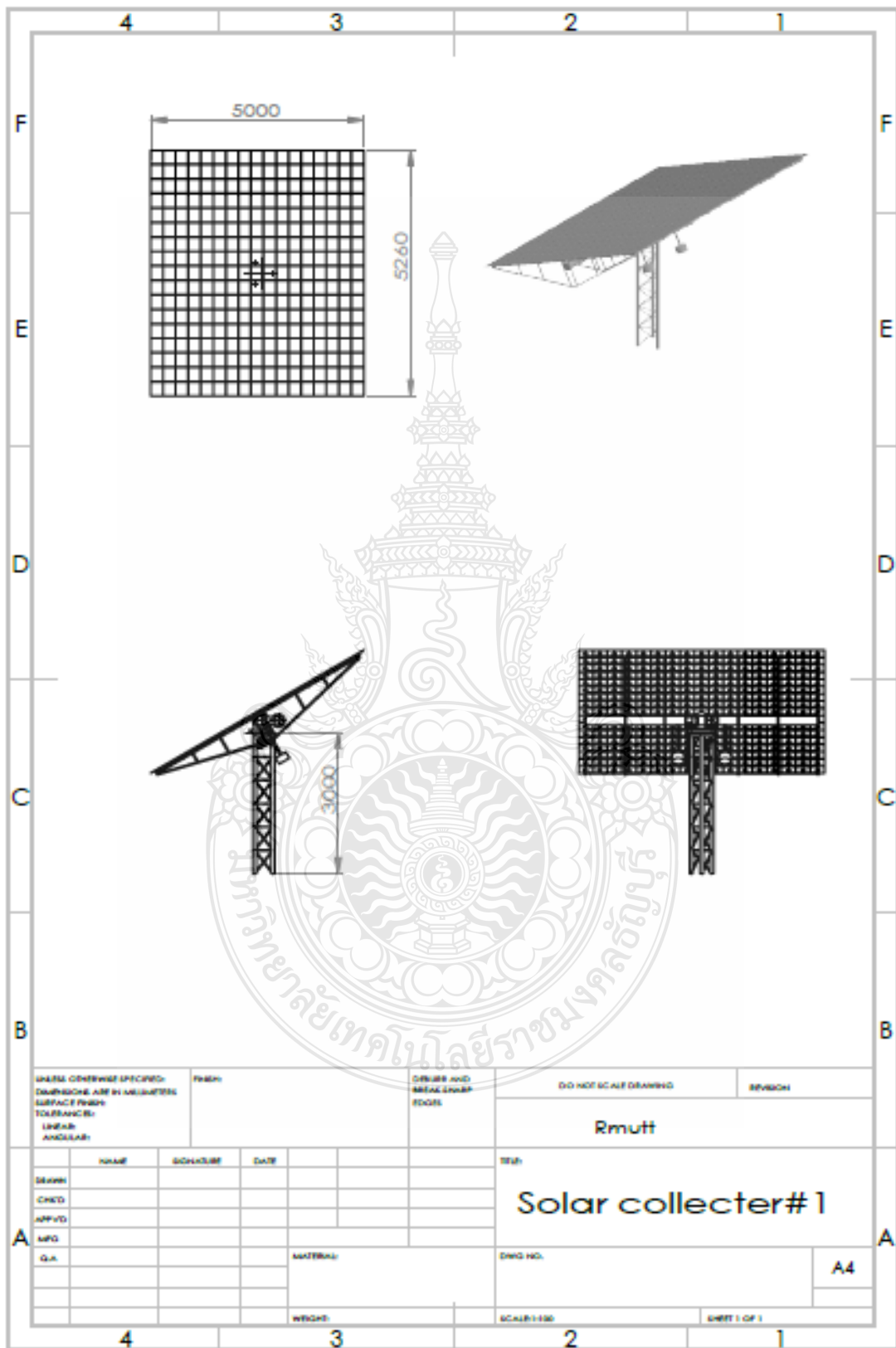
รูปที่ ข.8 แสงที่ส่องมายังเป้าตัวรับที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนของน้ำ



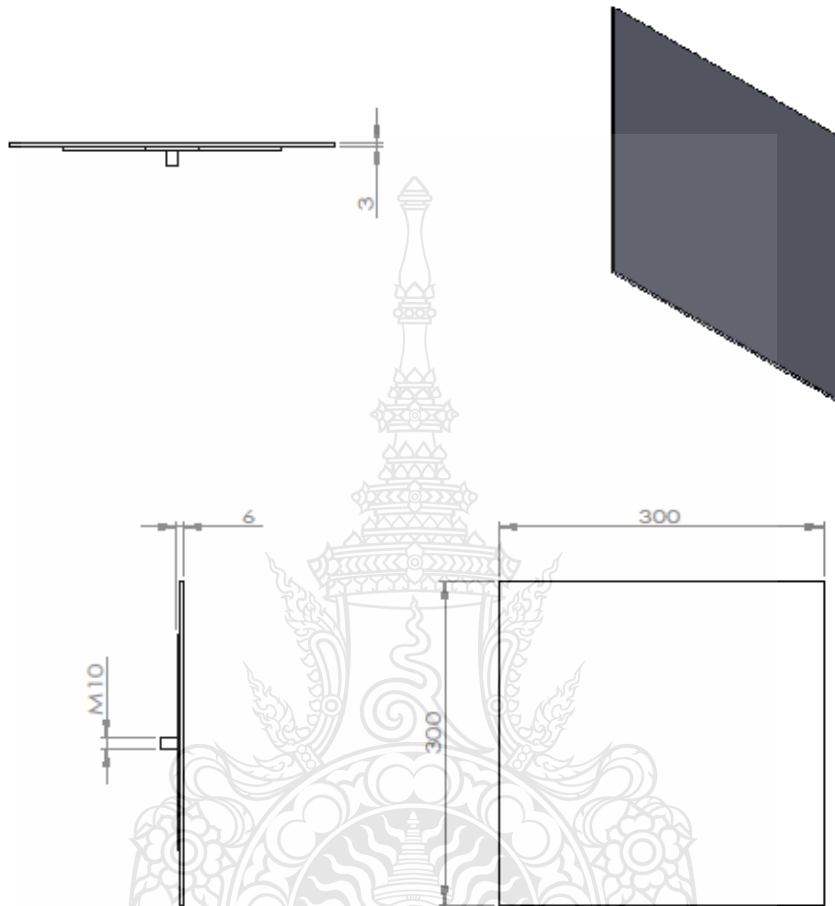
**ภาคผนวก ค**  
**แบบแปลนโครงสร้าง**



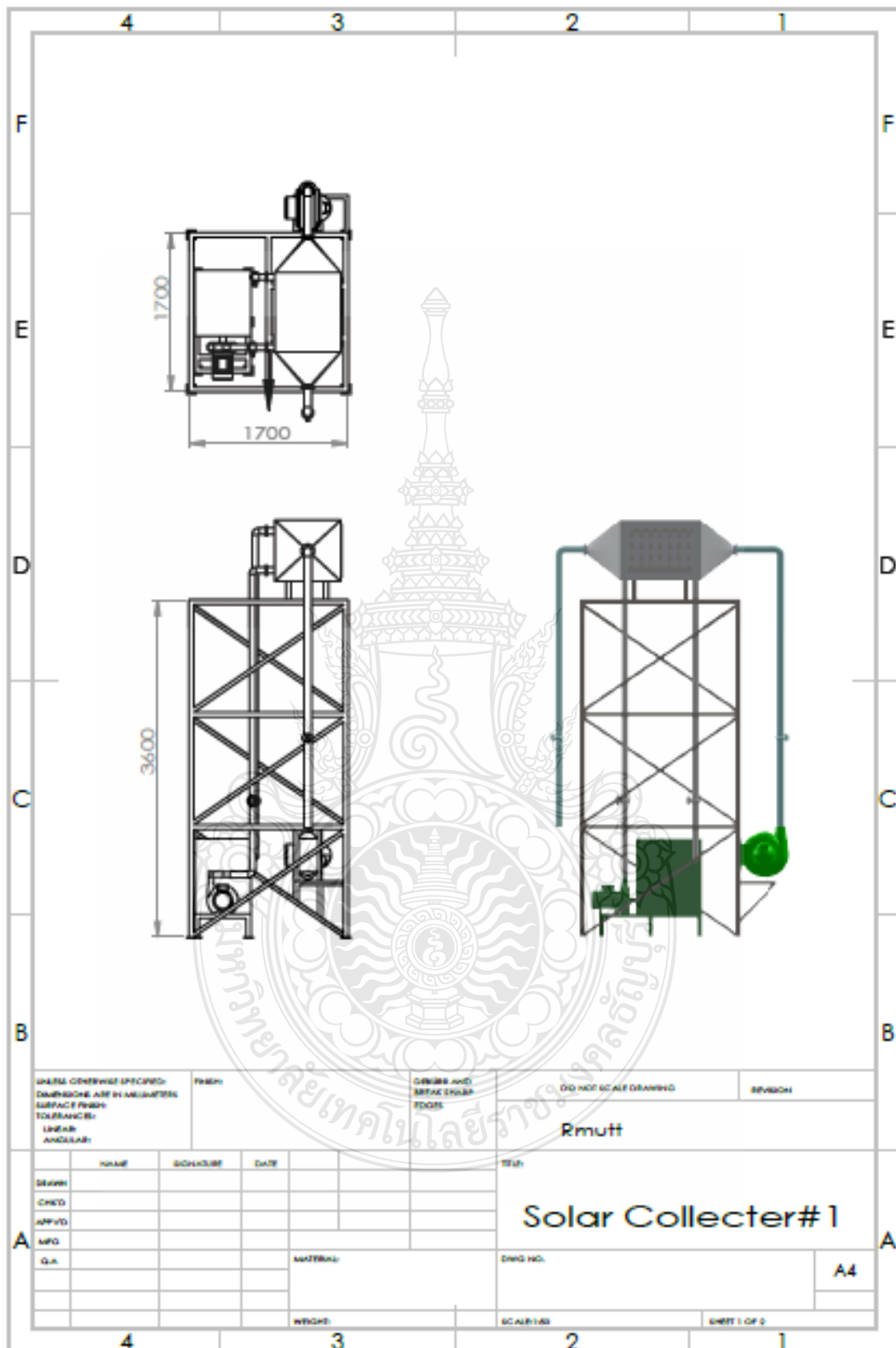
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		CORNER AND EDGE SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
	NAME	SIGNATURE	DATE			TITLE:			
DRAWN						Concentrated Solar Heliostat 01			
CHECK									
APPROVED									
MPG									
G.A.					MATERIAL:	DWG NO.	1		A4
					WEIGHT:	SCALE:1:100	SHEET 1 OF 1		



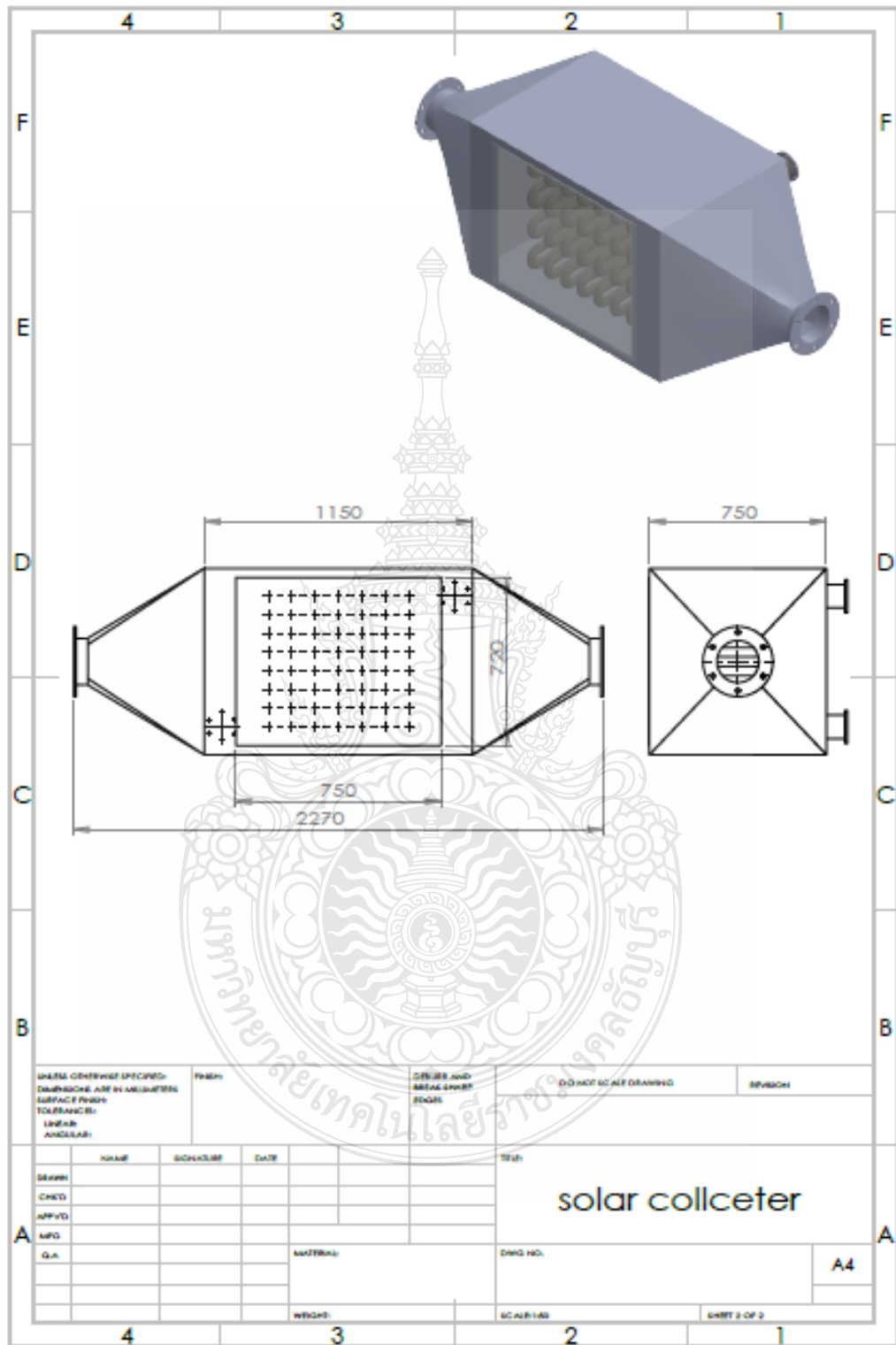
UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETRES SURFACE FINISH TOLERANCES: LINEAR ANGULAR		FINISH	DIMENSIONS AND AREAS UNDER EDGES		DO NOT SCALE DRAWING	REVISION
					Rmutt	
					TITLE	
					Solar collector# 1	
			MATERIAL:		DWG. NO.	
			WEIGHT:		SCALE: 1:100	
					SHEET 1 OF 1	



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH		CORNER AND EDGE SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE			
DRAWN						<b>Concentrated Solar Heliostat 05</b>			
CHKD									
APPVD									
MPG									
G.A.				MATERIAL:		DWG NO.		<b>5</b>	
								<b>A4</b>	
				WEIGHT:		SCALE: 1:5		SHEET 1 OF 1	



GENERAL CONSTRUCTION SPECIFICATIONS: DIMENSIONS: ALL IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEWORK: ANGLES:		FINISH:	DESIGN AND DETAIL ENGINEER:	DO NOT SCALE DRAWING	REVISION:
				Rmutt	
DESIGN	NAME	SCHEDULE	DATE	TITLE	
CHECKED				<b>Solar Collector# 1</b>	
APPROVED					
MFG.					
Q.A.					
			MATERIAL:	DWG NO.	A4
			WORKS:	SCALE: 1:100	SHEET 1 OF 2





ภาคผนวก ง  
ผลการทดลองค่าอุณหภูมิ



**ตารางที่ ง.1** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
9:00	30.44	28.02	32.99	53.80	90.50	88.30	4.91	4.91
9:01	30.44	28.02	32.95	54.70	87.40	76.10	4.91	4.91
9:02	29.68	27.90	32.89	54.90	91.70	76.70	5.06	4.79
9:03	29.84	27.97	33.01	56.20	86.40	76.40	5.04	4.37
9:04	29.58	28.09	33.59	57.70	80.00	78.00	4.06	4.57
9:05	29.71	28.07	33.70	55.20	74.70	74.40	5.61	4.61
9:06	29.60	28.09	34.75	58.20	75.10	74.40	5.61	4.44
9:07	29.80	28.19	34.47	56.00	80.30	73.40	4.56	4.85
9:08	30.42	28.15	34.11	61.00	80.90	73.60	4.42	4.62
9:09	30.42	28.20	34.05	59.60	87.40	79.60	4.69	4.33
9:10	30.58	28.16	34.17	58.50	87.70	85.10	5.05	4.55
9:11	31.27	28.38	34.57	52.50	83.50	88.00	4.96	5.10
9:12	28.38	28.50	35.15	50.10	81.80	87.40	4.13	4.88
9:13	28.91	28.59	35.08	49.10	82.10	88.70	4.71	4.71
9:14	30.01	28.72	35.11	54.70	87.80	92.70	5.05	5.11
9:15	29.36	28.66	35.25	50.20	86.60	77.90	5.06	5.40
9:16	28.98	28.72	39.00	51.20	84.60	78.70	5.43	5.73
9:17	29.90	28.88	38.60	50.10	86.50	77.90	5.57	5.98
9:18	30.48	28.90	38.60	49.90	82.10	73.00	5.76	6.04
9:19	33.21	28.96	38.70	49.40	73.10	80.10	6.02	6.09
9:20	33.69	28.93	38.80	50.40	73.30	82.80	4.36	5.25
9:21	32.39	29.01	38.80	50.30	78.80	82.40	4.61	5.30
9:22	32.53	29.09	38.70	50.20	84.60	78.60	4.52	5.33
9:23	31.67	29.31	38.60	49.90	91.30	85.80	4.46	5.09
9:24	30.20	29.33	38.50	46.80	94.60	87.70	4.94	5.46
9:25	30.60	29.40	38.40	57.20	87.40	83.50	4.86	4.85
9:26	30.52	29.55	38.20	67.60	87.90	81.80	5.00	5.75
9:27	30.22	29.55	38.10	68.70	85.60	82.10	5.98	6.57
9:28	29.82	29.59	37.80	68.30	84.90	87.80	5.83	6.50
9:29	30.10	29.72	37.60	62.40	94.50	86.60	5.70	6.25
9:30	30.09	29.65	37.40	53.30	91.90	84.60	4.92	5.95
9:31	30.03	29.82	35.11	64.60	98.60	86.50	6.64	6.70
9:32	30.03	29.95	34.94	63.60	86.90	83.91	4.99	5.95
9:33	30.04	29.92	34.85	62.20	83.30	83.36	5.05	5.64
9:34	30.14	30.14	34.93	60.80	88.00	84.61	6.17	6.56
9:35	29.98	30.07	34.69	60.90	81.00	82.47	6.43	6.72
9:36	29.75	30.07	34.92	62.80	93.60	88.52	6.76	7.20
9:37	30.15	30.09	34.76	65.00	93.50	91.52	6.57	7.27
9:38	30.12	30.47	34.78	64.10	83.20	93.53	9.26	7.71

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
9:39	30.03	30.52	34.80	64.50	82.60	89.43	9.00	7.58
9:40	30.22	30.60	34.86	64.70	77.90	88.84	8.75	7.42
9:41	30.12	30.62	34.79	65.30	76.80	88.70	8.79	7.47
9:42	29.92	30.62	34.58	67.00	86.80	81.75	8.30	7.09
9:43	29.78	30.63	34.52	68.60	90.50	78.74	8.68	7.40
9:44	29.82	30.58	34.72	66.80	90.60	72.08	8.18	7.06
9:45	29.66	30.59	40.87	64.90	85.70	68.68	7.74	6.79
9:46	29.58	30.60	47.47	67.10	78.80	77.68	8.39	7.17
9:47	29.58	29.94	46.88	67.50	73.00	83.49	8.30	7.16
9:48	29.68	30.59	57.67	71.10	67.80	90.54	8.24	7.16
9:49	29.33	30.61	44.44	76.70	66.90	86.88	8.84	7.77
9:50	29.66	30.57	38.23	74.60	76.90	90.30	9.14	7.96
9:51	29.55	30.57	42.57	79.20	85.90	89.14	9.15	8.14
9:52	29.86	30.70	37.79	78.70	90.70	84.59	9.23	8.12
9:53	30.09	30.76	39.36	74.60	92.40	82.08	9.21	8.23
9:54	30.36	30.38	35.65	77.20	96.80	83.67	6.51	7.49
9:55	30.42	30.68	71.13	77.80	92.30	81.12	7.99	7.09
9:56	30.23	30.79	52.55	77.00	94.10	78.16	6.65	7.61
9:57	29.95	30.94	49.02	76.80	86.00	73.93	8.57	7.70
9:58	30.23	31.13	51.55	78.30	75.10	76.88	8.50	7.86
9:59	30.11	31.33	44.36	79.10	70.60	69.77	9.30	8.38
10:00	30.63	30.95	35.43	76.10	79.00	76.86	6.78	7.52
10:01	30.17	30.96	35.40	73.50	83.90	82.83	7.57	8.21
10:02	30.29	31.43	35.53	71.70	82.80	81.02	9.52	8.51
10:03	30.22	31.59	35.60	69.90	83.40	75.87	9.37	8.49
10:04	30.44	31.75	35.56	66.40	83.90	73.26	9.31	8.42
10:05	30.09	31.90	35.72	73.80	78.20	68.27	9.20	8.32
10:06	30.21	31.67	35.77	79.50	79.00	76.79	7.10	8.14
10:07	30.03	32.31	35.85	82.30	86.30	88.39	9.55	8.56
10:08	30.31	32.18	35.91	84.00	91.10	90.82	8.80	8.48
10:09	30.14	32.60	35.94	85.20	97.40	84.25	9.76	8.73
10:10	30.21	32.34	35.95	79.00	98.00	78.76	8.30	8.63
10:11	30.30	32.40	36.08	76.80	94.90	78.08	7.54	8.61
10:12	30.93	32.54	36.11	76.40	89.30	79.70	7.63	8.58
10:13	33.63	32.99	36.29	77.40	82.20	75.29	10.71	10.46
10:14	30.67	32.95	36.20	78.30	85.40	77.85	8.35	8.18
10:15	30.69	32.89	36.18	78.50	84.90	77.96	7.63	8.73
10:16	30.37	33.01	36.36	77.90	90.50	85.36	7.68	8.78
10:17	30.40	33.59	36.35	77.20	92.20	86.64	10.08	9.03

**ตารางที่ ง.1** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
10:18	30.24	33.70	36.36	73.10	93.70	90.66	10.19	9.08
10:19	30.71	33.79	36.33	73.20	93.90	92.91	10.14	9.12
10:20	30.84	33.98	36.37	72.90	90.00	97.15	9.85	9.13
10:21	31.28	34.04	36.48	72.50	79.60	102.40	9.99	9.08
10:22	31.19	34.12	36.55	70.10	71.30	102.02	9.49	9.08
10:23	31.14	34.27	36.61	67.50	66.70	95.22	9.95	9.12
10:24	30.82	34.33	36.66	65.30	63.90	100.05	10.10	9.21
10:25	31.06	34.39	36.59	64.60	70.60	104.98	10.05	9.22
10:26	31.52	34.45	36.62	72.60	75.40	102.63	9.99	9.28
10:27	31.21	34.57	36.75	74.80	81.90	109.11	10.01	9.28
10:28	31.06	34.69	36.70	75.30	87.90	107.28	9.94	9.28
10:29	31.21	34.57	36.78	73.70	88.00	97.28	9.73	9.39
10:30	30.60	34.75	36.76	70.70	89.30	90.58	8.69	9.39
10:31	30.64	34.47	36.84	64.01	87.20	95.59	9.73	9.39
10:32	31.30	34.11	36.73	61.90	85.60	105.49	6.20	9.14
10:33	31.42	34.05	36.82	69.25	78.00	107.34	6.33	9.15
10:34	31.53	34.17	36.93	60.52	76.70	109.57	5.92	9.19
10:35	31.26	34.57	36.89	63.65	75.30	114.52	8.74	9.37
10:36	29.82	35.15	36.91	63.48	106.00	122.96	10.43	9.59
10:37	29.22	35.08	36.99	52.54	98.90	119.37	10.12	9.60
10:38	29.32	35.11	37.11	60.24	94.10	119.62	10.23	9.60
10:39	29.78	35.25	37.04	60.49	94.00	119.25	10.25	9.53
10:40	30.26	35.44	37.08	64.01	96.80	117.46	9.98	9.54
10:41	30.76	35.32	37.18	59.79	89.00	118.53	9.92	9.57
10:42	31.44	35.30	37.17	60.05	79.90	114.91	9.90	9.52
10:43	31.14	35.30	37.23	65.15	78.50	110.48	9.89	9.57
10:44	30.83	35.11	37.26	63.87	77.60	108.58	9.90	9.66
10:45	30.78	34.94	37.41	66.29	84.40	104.00	9.97	9.66
10:46	30.53	34.85	37.36	64.45	90.00	104.22	9.86	9.69
10:47	31.60	34.93	37.42	65.03	100.80	106.77	10.20	9.90
10:48	31.27	34.69	37.37	65.76	89.50	108.94	10.28	9.88
10:49	30.95	34.92	37.49	63.74	109.57	109.71	10.25	9.96
10:50	31.04	34.76	37.55	66.19	114.52	110.96	10.27	10.03
10:51	30.89	34.78	37.59	61.58	122.96	114.91	10.38	10.06
10:52	30.50	34.80	37.61	62.43	119.37	112.71	10.28	10.08
10:53	30.56	34.86	37.65	67.75	119.62	114.21	10.21	10.07
10:54	31.40	34.79	37.67	65.43	119.25	114.86	10.01	10.01
10:55	30.39	34.58	37.64	64.25	117.46	113.91	10.09	10.05
10:56	30.25	34.52	37.74	69.76	118.53	111.20	10.17	9.99

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
10:57	31.01	34.72	37.81	65.10	114.91	111.57	10.02	10.07
10:58	28.24	40.87	37.78	66.86	110.48	112.29	10.04	10.05
10:59	28.67	47.47	37.80	65.17	108.58	113.20	10.38	10.17
11:00	26.96	46.88	37.78	67.05	102.93	110.70	10.16	10.19
11:01	29.12	57.67	37.75	71.08	101.16	112.02	10.13	10.07
11:02	28.08	44.44	37.84	68.89	102.86	111.96	10.29	10.15
11:03	28.88	38.23	37.77	76.22	106.22	115.18	10.26	10.29
11:04	28.77	42.57	37.88	72.41	102.77	118.22	10.29	10.23
11:05	29.79	37.79	37.89	76.42	104.75	112.96	10.19	10.37
11:06	30.20	39.36	37.94	81.63	100.55	113.93	10.18	10.20
11:07	29.97	35.65	37.93	70.40	95.66	118.97	10.22	10.15
11:08	27.92	71.13	37.98	72.10	92.54	119.27	10.15	10.26
11:09	32.27	52.55	37.96	72.50	92.60	112.57	9.95	10.39
11:10	31.90	49.02	37.99	72.10	76.62	25.63	10.23	10.45
11:11	31.71	51.55	38.01	71.80	79.67	104.98	9.88	10.39
11:12	31.75	44.36	38.12	71.20	77.24	101.49	10.29	10.38
11:13	32.18	35.43	38.04	70.80	79.11	99.76	10.04	10.53
11:14	32.30	35.40	38.17	71.50	82.26	102.93	10.41	10.40
11:15	32.34	35.53	38.19	72.60	80.40	101.16	10.46	10.44
11:16	32.03	35.60	38.28	73.10	78.73	102.86	10.48	10.52
11:17	31.94	35.56	38.32	73.30	84.15	106.22	10.39	10.53
11:18	32.03	35.72	38.35	73.50	115.80	102.77	10.32	10.57
11:19	31.23	35.77	38.34	73.80	103.90	104.75	10.41	10.65
11:20	31.82	35.85	38.38	74.10	91.50	100.55	10.60	10.71
11:21	31.59	35.91	38.28	74.20	84.50	95.66	10.16	10.64
11:22	31.49	35.94	38.07	73.70	78.60	92.54	10.45	10.52
11:23	32.21	35.95	37.95	73.00	90.10	92.60	10.57	10.68
11:24	32.30	36.08	37.78	71.70	109.80	97.56	10.76	10.75
11:25	32.60	36.11	37.55	70.80	125.20	93.59	10.78	10.78
11:26	31.93	36.29	37.40	71.00	130.60	90.37	10.34	10.85
11:27	32.34	36.20	37.53	71.40	124.30	97.56	10.77	10.78
11:28	32.09	36.18	37.38	71.70	100.10	89.58	10.72	10.84
11:29	32.18	36.36	37.32	71.80	92.80	84.62	10.52	10.92
11:30	32.87	36.35	37.27	71.80	83.30	89.58	10.53	10.85
11:31	32.61	36.36	37.32	72.60	78.60	89.28	10.59	10.90
11:32	32.76	36.33	37.34	73.60	74.30	91.42	10.74	10.87
11:33	32.74	36.37	37.21	75.00	78.10	88.40	10.68	10.89
11:34	32.73	36.48	37.28	76.50	81.10	91.63	10.43	10.81
11:35	32.69	36.55	37.10	77.20	86.40	88.58	9.98	10.84

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
11:36	32.25	36.61	37.23	77.70	96.20	90.87	10.12	10.88
11:37	32.95	36.66	37.13	78.40	102.30	95.22	10.36	10.97
11:38	32.47	36.59	37.12	79.10	104.50	94.68	10.49	10.94
11:39	31.83	36.62	37.18	79.50	103.60	91.42	10.44	10.97
11:40	32.63	36.75	37.24	79.50	95.20	96.44	10.65	11.03
11:41	32.46	36.70	37.27	79.40	92.10	98.06	10.30	10.98
11:42	32.25	36.78	37.35	78.70	105.90	94.55	10.58	10.96
11:43	32.43	36.76	37.29	77.50	100.20	92.62	10.71	10.96
11:44	32.83	36.84	37.31	75.60	97.30	88.55	10.64	10.97
11:45	32.73	36.73	37.31	73.90	96.10	89.89	10.71	10.18
11:46	32.88	36.82	37.25	72.90	97.50	97.17	10.82	11.07
11:47	32.58	36.93	37.04	73.00	108.10	95.93	10.46	11.07
11:48	33.15	36.89	37.01	73.70	117.20	92.82	10.18	10.86
11:49	32.90	36.91	37.07	74.40	123.40	89.93	10.31	10.93
11:50	31.70	36.99	36.98	75.30	124.70	86.99	10.40	11.04
11:51	32.69	37.11	37.03	76.20	130.50	91.73	10.31	11.11
11:52	32.60	37.04	37.09	77.00	113.00	89.56	10.64	11.08
11:53	32.72	37.08	33.06	77.90	101.50	28.94	10.06	10.96
11:54	32.97	37.18	33.06	78.60	100.50	91.87	10.10	10.97
11:55	32.67	37.17	35.30	67.40	105.80	93.13	10.17	11.07
11:56	32.64	37.23	36.10	67.40	115.70	91.27	10.39	11.15
11:57	32.41	37.26	35.96	75.70	117.20	89.63	10.45	11.13
11:58	32.83	37.41	34.17	76.20	112.90	90.41	10.42	11.16
11:59	32.98	37.36	32.61	76.50	109.30	88.29	10.35	11.23
12:00	32.81	37.42	32.25	71.30	103.30	82.00	10.62	11.26
12:01	32.66	37.37	33.83	76.80	107.70	79.73	10.55	11.27
12:02	33.20	37.49	34.50	76.10	118.60	78.88	10.50	11.29
12:03	32.87	37.55	34.90	75.60	121.00	77.09	10.45	11.27
12:04	32.04	37.59	36.77	75.50	124.30	75.54	10.44	11.21
12:05	32.23	37.61	36.60	75.00	123.30	75.70	10.73	11.17
12:06	33.50	37.65	37.64	74.80	121.40	81.70	10.77	11.16
12:07	33.87	37.67	36.57	74.50	102.70	84.02	10.71	11.06
12:08	33.20	37.64	36.47	69.20	92.80	81.29	10.60	11.04
12:09	33.10	37.74	36.40	71.10	97.60	81.84	10.72	11.12
12:10	32.84	37.81	36.38	69.80	107.10	80.11	10.70	11.23
12:11	33.07	37.78	36.28	73.10	100.10	83.01	10.84	11.19
12:12	33.06	37.80	36.21	66.30	109.90	86.04	10.75	11.32
12:13	32.55	37.78	36.23	64.90	116.30	86.02	10.82	11.21
12:14	32.84	37.75	36.19	66.70	116.00	89.74	10.91	11.21

**ตารางที่ ง.1** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
12:15	31.79	37.84	36.30	64.90	100.70	88.17	10.76	11.20
12:16	32.75	37.77	36.20	64.90	97.40	89.75	10.84	11.29
12:17	33.11	37.88	36.09	65.60	105.10	91.14	10.85	11.32
12:18	32.72	37.89	36.21	69.20	116.00	91.31	10.87	11.34
12:19	31.89	37.94	36.24	70.00	119.90	88.65	10.82	11.34
12:20	31.59	37.93	36.28	66.20	100.90	87.20	10.92	11.36
12:21	31.84	37.98	36.27	67.90	92.10	84.18	11.01	11.37
12:22	32.38	37.96	36.27	69.60	95.30	83.61	11.25	10.76
12:23	32.08	37.99	33.01	65.10	89.00	83.13	10.90	11.36
12:24	32.69	38.01	36.16	67.70	82.70	83.11	10.99	11.41
12:25	32.07	38.12	36.05	67.80	87.60	38.13	10.73	11.37
12:26	33.07	38.04	36.03	66.90	94.60	84.44	10.96	11.35
12:27	32.44	38.17	35.96	63.10	106.10	85.91	10.82	11.37
12:28	33.08	38.19	35.96	62.60	111.20	87.28	10.52	11.21
12:29	33.60	38.28	36.08	60.60	118.10	78.80	10.49	11.07
12:30	33.06	38.32	36.15	62.50	119.60	84.60	10.61	11.18
12:31	33.32	38.35	36.40	65.00	115.90	91.30	10.69	11.20
12:32	32.91	38.34	36.45	62.20	109.10	94.60	10.39	10.96
12:33	33.21	38.38	36.55	64.40	105.50	102.60	10.65	10.99
12:34	33.11	38.28	36.71	61.60	108.80	98.10	10.77	11.11
12:35	32.90	38.07	36.85	62.50	110.70	91.10	10.80	11.13
12:36	33.27	37.95	37.02	62.10	107.60	98.40	10.85	11.18
12:37	32.72	37.78	37.12	60.40	112.50	107.40	10.72	11.15
12:38	32.91	37.55	37.19	61.90	115.40	106.00	10.68	11.12
12:39	33.83	37.40	37.26	61.30	115.60	98.90	10.79	11.11
12:40	33.90	37.53	37.37	61.10	106.70	103.70	10.79	11.06
12:41	33.44	37.38	37.45	60.90	98.50	98.30	10.79	11.08
12:42	33.40	37.32	37.46	60.30	88.10	91.90	10.68	11.01
12:43	33.59	37.27	37.46	59.20	80.80	94.80	10.70	11.00
12:44	33.52	37.32	37.69	60.20	95.00	95.80	10.75	11.01
12:45	33.63	37.34	37.74	60.80	93.60	95.10	10.84	11.03
12:46	33.27	37.21	37.83	62.10	95.10	92.60	10.72	10.92
12:47	32.96	37.28	37.92	61.90	89.50	93.20	10.87	11.08
12:48	33.56	37.10	37.88	61.00	93.70	89.00	10.93	11.11
12:49	33.89	37.23	37.95	61.20	102.10	87.90	11.01	11.16
12:50	33.27	37.13	37.92	61.70	111.00	83.00	11.00	11.17
12:51	34.14	37.12	37.99	60.80	116.30	82.20	11.01	11.13
12:52	33.94	37.18	38.10	62.00	115.00	80.80	10.93	11.10
12:53	34.34	37.24	38.08	62.30	107.40	79.90	10.90	11.10



ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
12:54	33.97	37.27	38.11	62.30	99.90	105.60	11.05	11.11
12:55	33.67	37.35	38.13	61.10	96.30	107.70	10.94	11.10
12:56	33.99	37.29	38.30	60.20	98.90	101.20	10.90	10.96
12:57	33.51	37.31	38.40	62.70	100.10	102.70	10.57	10.77
12:58	33.25	37.31	38.45	60.80	99.90	101.50	10.77	10.83
13:00	33.10	37.25	35.00	56.80	96.10	102.60	10.63	10.55
13:59	32.83	37.04	33.24	52.80	92.00	98.10	10.09	10.26
13:01	33.42	37.01	33.62	53.10	90.80	91.10	9.85	9.99
13:02	33.16	37.07	32.66	69.90	93.10	98.40	9.42	9.53
13:03	33.47	36.98	33.33	79.20	99.80	107.40	9.77	9.88
13:04	34.08	37.03	36.27	71.30	105.40	106.00	9.28	9.50
13:05	33.58	37.09	36.27	68.00	104.50	98.90	9.30	9.37
13:06	32.96	37.02	33.01	64.30	101.60	94.10	9.52	9.54
13:07	32.64	36.53	36.16	63.70	95.40	94.00	9.39	9.50
13:08	32.78	36.46	36.05	60.70	88.00	96.80	9.14	9.30
13:09	32.60	36.52	36.03	61.20	93.00	89.00	9.10	9.26
13:10	34.17	36.52	35.96	60.30	104.00	94.26	9.55	9.25
13:11	32.61	36.44	35.96	60.10	110.70	94.16	9.00	9.55
13:12	32.25	36.53	36.08	68.20	112.10	93.30	9.28	9.39
13:13	33.83	36.46	36.15	73.30	93.60	91.34	10.03	10.09
13:14	34.50	36.52	36.40	70.70	87.00	88.85	10.29	10.28
13:15	34.90	36.52	33.62	69.10	87.50	86.92	10.42	10.41
13:16	33.69	36.58	33.36	66.20	92.60	84.65	10.47	10.46
13:17	33.72	36.64	33.37	70.60	106.40	83.46	10.57	10.61
13:18	33.04	36.69	32.72	70.20	113.60	85.34	10.79	10.81
13:19	33.23	36.68	33.03	71.40	115.90	86.88	10.86	10.86
13:20	32.28	36.57	33.33	69.00	110.80	84.75	10.81	10.84
13:21	32.94	36.47	33.26	64.30	108.40	82.52	10.77	10.81
13:22	32.72	36.40	33.71	63.70	112.60	79.42	10.69	10.85
13:23	32.90	36.38	34.56	60.70	118.30	76.85	9.81	9.96
13:24	32.89	36.28	33.88	61.20	118.80	75.37	9.67	9.76
13:25	33.55	36.21	34.11	60.30	114.80	77.07	9.74	9.83
13:26	32.96	36.23	34.39	60.10	107.40	80.43	10.24	10.29
13:27	33.09	36.19	34.87	67.00	112.40	84.90	10.48	10.55
13:28	32.41	36.30	36.65	69.10	119.90	86.85	10.93	10.98
13:29	31.93	36.20	34.76	68.70	124.20	91.68	10.93	10.84
13:30	32.11	36.09	33.13	70.40	124.00	91.07	10.74	10.62
13:31	32.74	36.21	33.84	70.60	119.70	89.87	10.73	10.58
13:32	33.28	36.24	33.49	72.00	110.90	90.78	10.64	10.26

**ตารางที่ ง.1** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
13:33	32.60	36.28	32.57	70.60	106.80	90.88	10.65	8.47
13:34	32.09	36.27	32.21	67.60	97.80	89.67	10.69	8.39
13:35	32.29	36.27	33.37	68.30	87.70	87.94	10.13	6.41
13:36	33.71	33.01	33.47	69.40	97.00	86.33	10.54	6.75
13:37	32.15	36.16	33.99	70.10	107.00	86.83	10.29	6.62
13:38	31.90	36.05	35.59	70.20	116.90	87.28	10.24	6.57
13:39	32.02	36.03	33.77	69.40	121.50	85.08	10.10	6.63
13:40	31.93	35.96	32.86	69.20	121.80	87.07	9.82	9.68
13:41	32.24	35.96	32.42	72.30	116.80	85.44	10.08	9.99
13:42	32.80	36.08	33.88	74.20	110.20	88.21	9.07	9.18
13:43	32.97	36.15	34.57	74.30	97.80	89.15	8.94	8.97
13:44	34.12	36.40	33.53	73.60	95.00	89.76	9.04	9.15
13:45	33.35	36.45	33.35	73.80	106.20	87.86	8.80	8.84
13:46	32.93	36.55	33.13	73.10	115.70	86.70	8.48	8.53
13:47	33.46	36.71	33.52	70.70	118.90	84.94	8.53	8.61
13:48	32.96	36.85	32.82	67.30	117.80	82.67	8.32	8.39
13:49	32.26	37.02	32.84	64.90	114.60	81.15	9.21	9.21
13:50	31.92	37.12	32.94	66.40	112.50	80.31	9.20	9.19
13:51	33.36	37.19	34.85	69.10	113.00	79.67	9.47	9.47
13:52	33.28	37.26	33.52	70.00	111.40	81.46	8.96	8.98
13:53	33.33	37.37	33.22	70.50	101.30	81.40	8.90	8.86
13:54	32.39	37.45	34.32	72.30	90.10	79.83	9.06	9.02
13:55	32.43	37.46	33.66	68.90	83.40	78.91	9.18	9.17
13:56	32.66	37.46	33.92	71.50	79.30	78.96	8.68	8.70
13:57	32.37	37.69	33.21	66.10	76.70	77.20	9.11	9.11
13:58	33.09	37.74	33.79	63.70	79.40	77.54	9.13	9.07
13:59	33.45	37.83	32.60	61.40	78.50	77.63	9.16	9.13
14:00	33.36	37.92	32.75	59.40	79.60	76.06	8.76	8.77
14:01	32.92	37.88	32.39	77.00	86.20	74.73	8.77	8.80
14:02	33.34	37.95	32.34	93.30	91.90	74.41	8.75	8.72
14:03	33.65	37.92	34.24	81.10	91.40	75.47	8.85	8.84
14:04	34.25	37.99	34.83	78.00	86.10	75.70	9.23	9.15
14:05	33.51	38.10	33.63	92.70	77.60	73.96	9.68	9.58
14:06	33.34	38.08	33.05	80.50	73.50	72.52	9.28	9.32
14:07	32.62	38.11	32.97	72.50	72.80	70.66	10.14	9.90
14:08	32.43	38.13	33.10	74.40	75.80	72.25	10.09	9.86
14:09	32.51	38.67	34.27	78.90	82.10	52.94	10.08	9.83
14:10	32.18	38.72	34.40	76.70	92.80	75.79	10.13	9.77
14:11	32.17	38.57	32.84	82.70	100.40	76.18	10.02	9.70

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
14:12	32.39	38.43	34.96	80.80	107.20	76.11	10.02	9.50
14:13	32.34	38.69	34.45	62.30	112.30	71.98	9.98	9.54
14:14	34.24	38.67	34.38	76.20	107.80	70.81	9.87	9.81
14:15	34.83	38.73	35.03	76.50	93.80	71.47	9.74	9.54
14:16	33.63	38.70	35.03	75.70	92.60	71.81	9.68	9.55
14:17	33.05	38.67	35.53	74.40	95.60	76.12	9.81	9.32
14:18	32.97	38.59	34.85	73.00	86.70	87.70	9.84	9.29
14:19	33.10	38.55	34.40	71.20	85.70	83.50	9.79	9.11
14:20	34.27	38.40	32.64	68.60	89.00	81.80	9.71	9.21
14:21	34.40	38.41	34.50	66.40	100.50	82.10	9.66	9.09
14:22	32.84	38.26	31.52	63.80	110.80	87.80	9.71	9.06
14:23	32.29	38.52	31.74	61.70	111.10	86.60	9.57	8.94
14:24	32.32	39.22	32.58	61.60	107.50	84.60	9.80	9.14
14:25	32.38	39.68	32.49	62.10	99.90	86.50	9.84	9.13
14:26	32.20	39.69	32.56	65.70	98.70	90.50	9.77	9.07
14:27	32.38	39.68	32.20	67.40	102.30	87.40	9.78	9.03
14:28	32.28	39.70	32.48	68.40	103.70	91.70	9.78	9.01
14:29	32.13	39.45	31.21	67.80	107.30	86.40	9.81	8.95
14:30	32.28	39.30	31.90	66.10	84.50	80.00	9.64	8.93
14:31	32.52	39.30	32.64	67.50	78.50	74.70	9.62	8.87
14:32	32.64	39.26	32.73	67.80	87.00	75.10	9.73	8.79
14:33	32.44	39.42	31.44	69.30	93.70	80.30	9.55	8.83
14:34	32.76	39.17	32.88	67.80	88.40	80.90	9.39	8.79
14:35	32.83	38.89	32.62	67.50	81.80	87.40	9.40	8.77
14:36	32.53	38.64	31.53	68.10	78.10	87.70	9.56	8.71
14:37	32.53	38.51	31.21	68.40	79.30	83.50	9.25	8.63
14:38	33.36	38.26	34.79	67.90	75.40	81.80	9.32	8.58
14:39	32.88	38.12	35.30	67.70	78.50	82.10	9.15	8.49
14:40	32.99	38.02	35.36	66.30	77.30	87.80	9.07	8.42
14:41	33.59	38.04	35.19	67.50	76.90	86.60	9.04	8.30
14:42	33.50	37.93	35.36	68.80	77.00	84.60	8.93	8.24
14:43	33.67	37.89	38.26	68.80	75.10	86.50	9.02	8.20
14:44	34.29	37.94	38.52	69.30	73.30	82.10	8.89	8.16
14:45	35.01	38.15	39.22	69.60	71.10	73.10	8.81	8.18
14:46	35.13	38.53	39.68	71.00	70.00	73.30	8.91	8.19
14:47	35.03	33.86	39.69	69.90	67.60	78.80	8.90	8.17
14:48	34.74	34.34	39.68	69.00	64.00	84.60	8.76	8.13
14:49	34.57	33.58	39.70	69.00	61.90	91.30	8.82	8.09
14:50	34.40	34.01	39.45	69.30	57.20	94.60	8.85	8.04

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
14:51	34.63	34.29	39.30	69.40	56.60	81.90	8.84	7.99
14:52	34.26	33.70	39.30	70.10	65.90	82.00	8.87	8.00
14:53	34.40	32.74	39.26	69.80	69.40	81.10	8.82	7.98
14:54	34.18	34.25	39.42	70.40	72.00	79.90	8.76	7.87
14:55	34.04	34.41	39.17	70.60	66.20	80.00	8.72	7.76
14:56	34.49	34.65	38.89	71.10	67.90	79.10	8.55	7.70
14:57	34.45	34.81	38.64	71.10	70.00	78.90	8.43	7.60
14:58	33.85	35.28	38.51	71.10	73.80	77.90	8.40	7.50
14:59	34.38	34.95	38.26	70.00	67.00	73.80	8.50	7.57
15:00	34.34	35.52	38.12	70.40	62.10	71.20	8.54	7.55
15:01	33.74	35.45	38.02	70.00	66.00	70.50	8.40	7.46
15:02	33.55	35.70	38.04	69.40	73.80	71.60	8.47	7.48
15:03	34.67	35.37	37.93	69.50	78.40	70.90	8.49	7.49
15:04	33.85	35.49	37.89	69.60	83.50	75.50	8.30	7.41
15:05	33.97	35.43	37.94	69.10	80.90	76.40	8.36	7.40
15:06	33.97	35.51	38.15	69.30	77.40	76.50	8.42	7.38
15:07	34.69	33.85	38.53	69.40	66.90	76.00	8.37	7.40
15:08	34.17	34.82	39.01	69.70	63.30	77.90	8.19	7.29
15:09	34.62	35.08	39.20	70.00	66.60	72.30	8.32	7.27
15:10	33.85	34.93	39.26	69.30	77.70	75.40	8.37	7.33
15:11	34.20	34.61	39.11	69.00	76.00	81.90	8.40	7.29
15:12	33.88	33.83	39.22	70.30	76.20	82.00	8.02	7.10
15:13	33.86	34.23	39.26	70.10	76.00	81.10	7.85	6.89
15:14	34.26	34.10	38.97	70.50	76.40	79.90	7.67	6.72
15:15	33.90	34.17	38.97	71.30	76.20	80.00	7.63	6.64
15:16	33.88	34.18	38.75	70.10	75.80	79.10	7.36	6.53
15:17	33.91	34.63	38.64	69.40	75.20	78.90	7.53	6.45
15:18	34.13	34.30	38.50	68.90	73.10	77.90	7.50	6.47
15:19	33.86	34.23	38.43	67.50	70.50	73.80	7.45	6.40
15:20	33.68	33.91	38.27	67.50	69.80	71.20	7.34	6.33
15:21	35.20	34.63	38.32	67.90	69.20	70.50	7.69	6.43
15:22	34.01	34.61	38.17	69.30	69.90	71.60	7.76	6.48
15:23	33.96	34.55	38.25	70.80	70.60	70.90	7.67	6.45
15:24	34.46	33.42	38.11	71.30	71.50	75.50	7.60	6.41
15:25	33.80	34.36	38.11	71.60	73.10	76.40	7.78	6.47
15:26	33.78	33.96	37.92	70.90	75.80	76.50	7.69	6.37
15:27	33.61	33.82	37.95	68.40	76.20	76.00	7.47	6.24
15:28	33.64	33.04	37.79	69.90	76.50	77.90	7.47	6.18
15:29	33.83	33.37	37.67	67.10	75.70	72.30	7.46	6.15

ตารางที่ ง.1 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
15:30	33.78	34.08	37.77	69.70	74.40	69.90	7.48	6.09
15:31	33.64	34.19	37.60	68.80	73.00	71.20	7.25	6.03
15:32	33.95	33.94	37.49	67.80	71.20	71.80	7.18	5.95
15:33	34.08	34.64	37.43	69.70	68.60	68.50	7.13	5.84
15:34	33.97	33.99	37.44	69.80	66.40	70.50	6.90	5.70
15:35	33.70	33.84	37.39	69.30	63.80	90.50	7.01	5.71
15:36	33.84	34.40	37.32	68.00	61.70	87.40	7.01	5.70
15:37	33.76	34.44	37.20	67.10	61.60	91.70	6.99	5.72
15:38	33.65	34.33	37.15	66.40	62.10	86.40	7.00	5.70
15:39	33.71	34.24	37.13	64.60	65.70	80.00	6.98	5.70
15:40	33.89	34.27	37.07	64.70	67.40	74.70	7.01	5.67
15:41	33.60	34.49	37.02	65.40	68.40	75.10	7.10	5.62
15:42	33.44	34.83	37.02	65.10	67.80	80.30	7.04	5.54
15:43	34.10	34.79	37.00	65.60	66.10	80.90	6.99	5.54
15:44	34.01	33.94	36.97	66.20	62.00	87.40	6.97	5.52
15:45	34.00	35.34	36.99	66.10	60.80	87.70	6.93	5.47
15:46	33.91	35.04	37.01	67.00	60.50	83.50	6.94	5.42
15:47	33.70	35.19	36.98	67.50	61.60	81.80	6.80	5.34
15:48	33.85	34.90	37.00	66.70	63.90	82.10	6.63	5.25
15:49	33.64	35.00	37.01	66.50	65.20	87.80	6.72	5.27
15:50	33.83	34.62	37.18	47.40	64.40	86.60	6.61	5.20
15:51	33.80	34.45	37.28	46.90	63.30	84.60	6.59	5.17
15:52	33.31	33.92	37.28	54.00	62.70	86.50	7.73	5.12
15:53	34.18	33.73	34.63	50.20	62.00	82.10	6.68	5.10
15:54	34.58	33.87	37.57	50.50	61.90	73.10	6.53	5.07
15:55	34.31	34.36	37.77	55.50	61.50	73.30	6.39	5.00
15:56	34.80	34.52	37.78	56.50	62.30	78.80	6.29	4.85
15:57	34.23	35.72	37.84	54.70	62.00	84.60	6.20	4.83
15:58	34.06	34.45	37.82	54.10	62.20	91.30	6.27	4.67
15:59	34.16	34.07	37.74	55.00	61.80	94.60	6.15	3.98
16:00	34.65	37.84	37.75	54.50	60.90	94.60	6.04	3.81

ตารางที่ ง.2 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
9:00	30.22	26.70	32.99	68.41	68.41	59.74	5.10	5.10
9:01	30.49	26.80	32.95	69.74	69.74	62.10	5.25	5.25
9:02	30.38	27.20	32.89	69.85	69.85	63.41	5.14	4.79
9:03	30.67	27.70	33.01	69.99	69.99	62.10	5.24	4.37
9:04	30.62	27.90	33.59	70.71	70.71	67.00	4.92	4.19
9:05	31.04	28.10	33.70	70.84	70.84	79.41	4.78	4.10
9:06	31.39	27.80	34.75	71.41	71.41	79.41	4.98	4.55
9:07	30.31	27.70	34.47	72.84	72.84	87.45	4.58	4.10
9:08	30.31	28.00	34.11	72.89	72.89	87.48	4.85	4.20
9:09	30.35	28.40	34.05	72.99	72.99	93.40	5.42	4.33
9:10	30.73	29.00	34.17	73.30	73.30	95.40	5.41	4.55
9:11	30.65	29.10	34.57	75.41	75.41	96.00	4.65	5.10
9:12	30.41	29.60	35.15	79.41	79.41	97.74	4.78	4.88
9:13	30.52	29.70	35.08	79.41	79.41	97.41	4.51	4.71
9:14	30.58	30.00	35.11	87.45	87.45	96.74	5.05	5.11
9:15	30.48	30.00	35.25	87.48	87.48	98.10	5.06	5.40
9:16	30.52	29.70	39.00	93.40	93.40	97.84	5.43	5.73
9:17	31.15	29.70	38.60	101.20	95.40	91.41	5.57	5.98
9:18	30.85	30.40	38.60	101.45	96.00	93.40	5.76	6.04
9:19	30.86	31.10	38.70	100.10	93.00	95.40	6.02	6.09
9:20	30.85	31.20	38.80	104.21	96.50	96.00	6.51	5.25
9:21	30.97	30.40	38.80	112.00	97.41	87.40	6.10	5.30
9:22	31.31	30.70	38.70	113.10	99.65	101.54	6.20	5.33
9:23	30.66	31.20	38.60	110.41	99.89	102.10	6.10	5.09
9:24	31.19	32.10	38.50	102.40	99.87	100.14	6.02	6.20
9:25	31.55	33.20	38.40	104.11	104.11	117.10	6.51	6.41
9:26	31.82	33.30	38.20	112.13	112.13	115.14	7.20	6.71
9:27	31.18	32.70	38.10	114.54	114.54	100.10	7.27	6.67
9:28	31.74	30.90	37.80	113.10	113.10	101.54	7.71	6.50
9:29	31.86	30.80	37.60	109.14	109.14	102.10	7.58	6.25
9:30	31.32	30.50	37.40	104.41	104.41	100.14	7.42	6.41
9:31	31.03	30.30	35.11	105.10	101.20	104.00	7.51	6.70
9:32	31.18	30.10	34.94	112.10	110.84	108.00	7.09	5.95
9:33	31.36	31.30	34.85	115.10	111.10	110.00	7.40	5.64
9:34	31.65	32.10	34.93	120.45	110.10	110.10	7.06	6.56
9:35	31.18	32.70	34.69	120.00	120.00	120.00	6.79	6.72
9:36	31.46	32.40	34.92	118.00	101.00	101.00	7.17	7.20
9:37	32.04	32.20	34.76	119.48	102.50	102.50	7.16	7.27
9:38	31.35	31.90	34.78	114.20	102.10	102.10	7.16	7.71

ตารางที่ ง.2 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพอรุน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
9:39	31.52	31.30	34.80	113.42	111.45	102.70	6.32	7.58
9:40	31.73	31.00	34.86	121.45	114.10	101.45	7.96	7.42
9:41	31.38	32.20	34.79	121.40	101.40	101.40	8.14	7.47
9:42	32.45	31.00	34.58	122.10	104.10	100.12	8.30	7.09
9:43	31.39	31.00	34.52	115.40	119.00	115.40	8.68	7.40
9:44	32.41	31.80	34.72	111.15	110.15	110.15	8.18	7.06
9:45	31.96	31.10	40.87	118.32	114.32	114.32	8.10	7.41
9:46	31.48	30.80	47.47	100.20	100.20	100.20	8.39	7.17
9:47	30.88	30.80	46.88	102.20	100.56	100.56	8.30	7.16
9:48	31.54	30.70	57.67	102.50	110.10	110.10	8.24	7.16
9:49	31.97	30.90	44.44	107.30	114.10	114.10	7.19	7.32
9:50	32.59	30.80	38.23	112.40	112.51	112.51	9.14	7.96
9:51	31.58	31.10	42.57	116.50	113.10	113.10	9.15	8.14
9:52	31.73	30.80	37.79	118.30	115.40	115.40	9.23	8.12
9:53	31.08	30.90	39.36	118.30	116.40	116.40	9.21	8.23
9:54	31.43	31.30	35.65	120.10	117.10	117.10	9.51	7.49
9:55	31.15	31.50	37.10	116.50	116.50	116.50	8.99	7.10
9:56	31.15	31.50	37.41	110.60	115.70	115.70	8.65	7.61
9:57	31.87	31.80	49.02	107.80	110.10	110.10	8.57	7.70
9:58	32.06	31.20	51.55	115.33	106.60	106.60	8.50	7.86
9:59	31.11	31.40	44.36	118.80	111.10	111.10	9.30	8.38
10:00	31.69	31.20	35.43	119.70	100.10	100.10	9.78	8.52
10:01	32.04	31.00	35.40	112.50	120.10	120.10	9.57	8.21
10:02	32.14	30.70	35.53	118.00	114.10	114.10	9.52	8.51
10:03	31.45	30.00	35.60	119.90	112.90	112.90	9.37	8.49
10:04	31.55	30.40	35.56	119.50	116.50	116.50	9.31	8.42
10:05	32.26	31.50	35.72	120.00	117.10	117.10	9.10	8.14
10:06	31.74	31.90	35.77	120.10	124.00	124.00	9.10	8.14
10:07	31.41	31.90	35.85	122.10	120.10	120.10	9.55	8.56
10:08	31.60	32.50	35.91	124.00	124.00	102.50	9.80	8.48
10:09	31.59	32.10	35.94	121.30	121.30	102.10	9.76	8.73
10:10	31.76	31.80	35.95	123.00	123.00	102.70	9.54	8.61
10:11	31.78	32.40	36.08	125.70	125.70	101.45	9.63	8.58
10:12	31.60	32.20	36.11	127.30	124.10	101.40	9.63	8.58
10:13	31.60	32.50	36.29	121.80	123.85	100.12	9.70	8.71
10:14	32.14	32.50	36.20	124.84	124.84	115.40	9.35	8.18
10:15	31.58	31.60	36.18	125.14	125.14	110.15	9.63	8.73
10:16	31.82	32.30	36.36	125.30	125.30	114.32	9.68	8.78
10:17	31.49	32.20	36.35	124.14	124.14	100.20	10.08	9.03



ตารางที่ ง.2 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
10:18	31.53	32.50	36.36	124.74	124.74	100.56	10.19	9.08
10:19	31.90	32.60	36.33	124.51	124.51	110.10	10.14	9.12
10:20	31.74	32.70	36.37	125.74	125.74	114.10	9.85	9.13
10:21	32.03	33.00	36.48	129.80	122.80	112.51	9.99	9.08
10:22	31.79	32.90	36.55	129.90	127.90	113.10	9.99	9.08
10:23	31.92	33.50	36.61	133.70	131.70	115.40	9.95	9.12
10:24	32.30	33.90	36.66	134.70	130.70	116.40	10.10	9.21
10:25	31.63	34.40	36.59	135.00	132.00	117.10	10.05	9.22
10:26	32.17	34.60	36.62	135.40	135.40	116.50	9.99	9.28
10:27	32.33	35.00	36.75	139.70	139.70	115.70	10.01	9.28
10:28	31.95	34.40	36.70	140.80	136.41	110.10	9.94	9.28
10:29	32.29	33.90	36.78	135.80	135.80	106.60	10.05	9.58
10:30	32.08	33.80	36.76	132.30	132.30	111.10	8.69	9.39
10:31	31.84	33.30	36.84	136.20	136.20	100.10	9.73	9.39
10:32	32.51	33.50	36.73	138.10	138.10	120.10	9.20	9.14
10:33	32.83	33.80	36.82	137.00	137.00	114.10	9.33	9.15
10:34	32.32	34.10	36.93	134.40	134.40	112.90	9.92	9.19
10:35	32.48	34.00	36.89	129.80	129.80	116.50	9.74	9.37
10:36	32.52	33.80	36.91	130.10	130.10	117.10	10.43	9.59
10:37	32.27	34.40	36.99	130.30	130.30	124.00	10.12	9.60
10:38	32.32	35.00	37.11	131.70	131.70	120.10	10.23	9.60
10:39	32.39	35.20	37.04	135.20	135.20	124.00	10.25	9.53
10:40	32.71	35.50	37.08	137.20	137.20	121.30	9.98	9.54
10:41	32.48	35.60	37.18	136.40	134.10	123.00	9.92	9.57
10:42	32.34	35.30	37.17	131.50	131.50	125.70	9.90	9.52
10:43	32.42	35.30	37.23	128.90	128.90	124.10	9.89	9.57
10:44	32.14	35.40	37.26	128.10	127.10	123.85	9.90	9.66
10:45	31.89	35.20	37.41	129.74	126.74	124.84	9.97	9.66
10:46	31.38	34.60	37.36	127.84	125.84	125.14	9.86	9.69
10:47	32.38	34.70	37.42	128.00	128.00	125.30	10.20	9.90
10:48	31.86	34.80	37.37	131.60	131.60	124.14	10.28	9.88
10:49	32.59	34.50	37.49	132.20	132.20	124.74	10.28	9.88
10:50	32.24	34.80	37.55	133.25	133.25	124.51	10.27	10.03
10:51	31.34	35.00	37.59	135.85	133.41	125.74	10.38	10.06
10:52	32.06	34.40	37.61	134.50	134.50	122.80	10.28	10.08
10:53	32.55	34.50	37.65	133.80	131.10	127.90	10.21	10.07
10:54	31.95	35.10	37.67	134.50	131.90	114.54	10.01	10.01
10:55	32.40	35.60	37.64	135.70	133.70	113.10	10.09	10.05
10:56	32.84	35.80	37.74	137.70	135.30	109.14	10.17	9.99

ตารางที่ ง.2 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพอรุน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
10:57	32.10	35.60	37.81	137.10	136.70	104.41	10.02	10.07
10:58	32.25	35.60	37.78	135.50	135.50	101.20	10.04	10.17
10:59	32.45	35.90	37.80	134.00	133.00	110.84	10.38	10.19
11:00	32.09	35.50	37.78	134.46	133.40	111.10	10.16	10.07
11:01	31.97	34.80	37.75	137.21	135.21	110.10	10.13	10.15
11:02	31.48	34.50	37.84	137.60	134.60	130.30	10.29	10.29
11:03	32.21	35.20	37.77	135.30	133.30	131.70	10.26	10.23
11:04	32.17	34.30	37.88	138.30	133.30	135.20	10.29	10.28
11:05	32.50	34.40	37.89	138.00	134.00	137.20	10.19	10.20
11:06	32.69	34.00	37.94	137.20	137.20	134.10	10.18	10.15
11:07	32.10	34.50	37.93	139.75	139.75	131.50	10.22	10.26
11:08	32.14	34.50	37.98	138.20	138.20	128.90	10.15	10.39
11:09	32.30	35.80	37.96	137.20	134.20	127.10	9.95	10.45
11:10	31.99	35.70	37.99	139.20	131.20	96.40	10.23	10.39
11:11	31.65	36.10	38.01	142.10	142.10	100.10	9.88	10.38
11:12	31.97	35.40	38.12	143.90	143.90	104.10	10.29	10.46
11:13	31.92	36.10	38.04	139.10	139.10	104.50	10.04	10.53
11:14	31.62	35.70	38.17	139.10	139.10	101.40	10.41	10.40
11:15	31.65	35.10	38.19	142.00	142.00	102.10	10.46	10.44
11:16	31.71	35.30	38.28	143.10	143.10	110.10	10.48	10.52
11:17	31.72	35.20	38.32	139.00	113.00	116.45	10.39	10.53
11:18	31.72	34.10	38.35	133.00	113.00	116.41	10.32	10.57
11:19	31.46	34.70	38.34	141.80	141.80	114.10	10.41	10.65
11:20	31.79	34.00	38.38	138.00	138.00	101.00	10.60	10.71
11:21	31.62	34.30	38.28	138.90	138.90	102.50	10.16	10.64
11:22	31.59	34.40	38.07	142.60	140.78	102.10	10.45	10.52
11:23	31.62	34.70	37.95	144.70	139.41	102.70	10.57	10.68
11:24	32.11	34.40	37.78	139.60	139.60	104.10	10.76	10.75
11:25	31.87	34.20	37.55	139.70	137.70	105.10	10.78	10.78
11:26	32.20	34.50	37.40	138.90	138.90	104.20	10.34	10.85
11:27	31.98	34.40	37.53	138.80	138.80	105.74	10.77	10.78
11:28	31.81	34.70	37.38	141.30	141.30	104.24	10.72	10.84
11:29	32.11	35.20	37.32	142.30	137.10	104.25	10.52	10.92
11:30	31.91	34.80	37.27	140.20	138.10	104.25	10.53	10.85
11:31	32.13	34.90	37.32	140.20	107.80	102.20	10.59	10.90
11:32	32.73	34.70	37.34	139.40	106.60	102.50	10.74	10.87
11:33	32.00	36.20	37.21	136.70	108.80	107.30	10.68	10.89
11:34	31.53	36.00	37.28	134.40	109.70	112.40	10.43	10.81
11:35	31.72	36.80	37.10	132.20	112.50	116.50	9.98	10.84

ตารางที่ ง.2 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพอรุน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
11:36	31.80	38.00	37.23	130.10	112.00	118.30	10.12	10.88
11:37	31.66	37.90	37.13	127.40	112.90	118.30	10.36	10.97
11:38	32.22	36.90	37.12	124.30	116.50	120.10	10.49	10.94
11:39	31.75	36.20	37.18	122.60	135.20	116.50	10.44	10.97
11:40	32.22	35.90	37.24	127.90	137.20	110.60	10.65	11.03
11:41	32.64	36.00	37.27	132.70	136.40	107.80	10.30	10.98
11:42	32.03	36.60	37.35	135.20	131.50	106.60	10.58	10.96
11:43	32.05	35.30	37.29	136.20	128.90	108.80	10.71	10.96
11:44	32.08	35.20	37.31	138.10	127.10	109.70	10.64	10.97
11:45	32.49	35.70	37.31	139.30	125.10	112.50	10.71	11.07
11:46	32.07	36.30	37.25	139.60	124.20	112.00	10.82	11.07
11:47	31.82	35.70	37.04	139.20	128.00	112.90	10.46	11.07
11:48	32.11	36.50	37.01	137.90	131.60	116.50	10.18	10.86
11:49	32.17	36.70	37.07	136.60	132.20	120.00	10.31	10.93
11:50	32.64	37.00	36.98	131.00	131.10	120.10	10.40	11.04
11:51	32.39	38.50	37.03	127.00	131.60	122.10	10.31	11.11
11:52	32.69	38.50	37.09	125.20	130.90	124.00	10.64	11.08
11:53	32.94	35.80	33.06	124.00	131.10	121.30	10.06	10.96
11:54	32.72	37.70	33.06	122.10	131.90	123.00	10.10	10.97
11:55	32.57	35.30	35.30	119.40	133.70	125.70	10.17	11.07
11:56	32.47	38.40	36.10	121.40	135.30	127.30	10.39	11.15
11:57	32.42	37.40	35.96	122.70	136.70	121.80	10.45	11.13
11:58	32.23	35.20	34.17	123.00	135.50	115.70	10.42	11.16
11:59	32.42	35.00	32.61	123.50	133.00	111.00	10.35	11.23
12:00	32.20	37.60	32.25	122.90	133.40	110.60	10.62	11.26
12:01	31.84	36.60	33.83	123.60	132.80	113.30	10.55	11.27
12:02	32.51	36.20	34.50	123.30	134.60	115.90	10.50	11.29
12:03	32.83	34.90	34.90	122.40	130.20	115.10	10.45	11.27
12:04	32.32	35.00	36.77	120.70	129.78	117.50	10.44	11.21
12:05	32.48	35.40	36.60	119.40	102.40	122.80	10.73	11.17
12:06	32.52	35.20	37.64	120.80	102.20	127.90	10.77	11.16
12:07	32.27	36.30	36.57	123.60	101.90	131.70	10.71	11.06
12:08	32.32	34.20	36.47	125.20	102.70	130.70	10.60	11.04
12:09	32.39	40.30	36.40	126.41	104.10	132.00	10.72	11.12
12:10	32.71	33.80	36.38	126.41	107.20	135.40	10.70	11.23
12:11	32.48	38.60	36.28	126.41	128.10	139.70	10.84	11.19
12:12	32.34	37.80	36.21	125.89	110.00	140.80	10.75	11.32
12:13	32.42	36.70	36.23	125.74	117.80	135.80	10.82	11.21
12:14	32.14	38.50	36.19	120.80	118.40	132.30	10.91	11.21

**ตารางที่ ง.2** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพอรุน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
12:15	31.89	38.20	36.30	120.30	120.80	136.20	10.76	11.20
12:16	31.38	38.70	36.20	121.40	123.50	138.10	10.84	11.29
12:17	32.38	38.00	36.09	124.00	121.60	137.00	10.85	11.32
12:18	31.86	37.90	36.21	129.40	119.80	134.40	10.87	11.34
12:19	32.59	36.40	36.24	124.51	120.10	129.80	10.82	11.34
12:20	32.24	38.20	36.28	124.74	121.20	130.10	10.92	11.36
12:21	31.34	39.30	36.27	129.41	122.50	130.30	11.01	11.37
12:22	32.06	40.50	36.27	123.20	123.00	131.70	10.76	11.36
12:23	32.55	41.00	33.01	124.10	123.50	135.20	10.90	11.36
12:24	31.95	39.80	36.16	130.74	124.60	137.20	10.99	11.41
12:25	32.40	38.10	36.05	130.10	125.30	136.40	10.73	11.37
12:26	32.84	36.40	36.03	138.20	122.10	131.50	10.96	11.35
12:27	32.10	37.70	35.96	137.10	131.00	128.90	10.82	11.37
12:28	32.25	36.80	35.96	117.41	123.80	127.10	10.52	11.21
12:29	32.45	35.70	36.08	116.20	124.30	125.10	10.49	11.07
12:30	32.09	37.20	36.15	115.41	125.30	124.20	10.61	11.18
12:31	31.97	39.70	36.40	118.10	122.20	128.00	10.69	11.20
12:32	31.48	38.10	36.45	120.30	123.40	131.60	10.39	10.96
12:33	32.21	37.00	36.55	121.30	124.30	132.20	10.65	10.99
12:34	32.17	39.60	36.71	123.70	131.60	131.10	10.77	11.11
12:35	32.50	34.60	36.85	122.10	130.90	131.60	10.80	11.13
12:36	32.69	36.70	37.02	121.60	131.10	130.90	10.85	11.18
12:37	32.10	36.30	37.12	122.90	131.90	131.10	10.72	11.15
12:38	32.14	34.00	37.19	122.60	133.70	131.90	10.68	11.12
12:39	32.30	34.60	37.26	121.00	135.30	133.70	10.79	11.11
12:40	31.99	37.90	37.37	118.90	136.70	135.30	10.79	11.06
12:41	31.65	36.10	37.45	118.00	135.50	136.70	10.79	11.08
12:42	31.97	34.20	37.46	112.60	133.00	135.50	10.68	11.01
12:43	31.92	35.90	37.46	109.70	133.40	133.00	10.70	11.00
12:44	31.62	36.10	37.69	108.90	132.80	133.40	10.75	11.01
12:45	31.65	35.70	37.74	106.10	134.60	132.80	10.84	11.03
12:46	31.71	39.50	37.83	106.10	133.30	134.60	10.72	10.92
12:47	31.72	37.10	37.92	107.10	133.30	133.30	10.87	11.08
12:48	31.72	39.60	37.88	106.00	134.00	133.30	10.93	11.11
12:49	31.46	37.80	37.95	104.60	137.20	134.00	11.01	11.16
12:50	31.79	39.20	37.92	103.70	140.40	132.10	11.00	11.17
12:51	31.62	36.10	37.99	102.30	137.50	134.70	11.01	11.13
12:52	31.59	40.30	38.10	100.90	137.20	130.00	10.93	11.10
12:53	31.62	36.80	38.08	123.40	139.80	132.00	10.90	11.10

**ตารางที่ ง.2** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
12:54	32.11	38.60	38.11	123.30	132.41	133.12	11.05	11.11
12:55	30.25	35.30	38.13	123.40	143.90	120.10	10.94	11.10
12:56	31.05	38.20	38.30	123.00	143.30	139.87	10.90	10.96
12:57	30.69	39.80	38.40	122.60	132.56	137.10	10.57	10.77
12:58	30.11	38.70	38.45	124.00	136.41	135.10	10.77	10.83
13:00	30.39	35.00	35.00	124.10	138.00	135.10	10.55	10.63
13:09	31.09	37.50	33.24	124.40	135.10	138.40	10.91	10.26
13:01	30.34	38.20	33.62	127.56	140.14	135.10	9.85	10.99
13:02	30.25	40.50	32.66	128.10	141.80	136.30	9.97	10.53
13:03	30.98	40.10	33.33	122.30	138.00	137.23	9.77	10.88
13:04	30.99	38.00	36.27	122.30	138.90	138.00	9.84	10.50
13:05	32.27	37.90	36.27	123.50	142.60	138.90	9.83	10.37
13:06	34.09	38.80	33.01	123.60	144.70	139.41	9.95	10.54
13:07	34.20	39.40	36.16	122.30	139.60	137.12	9.91	10.50
13:08	34.91	38.70	36.05	120.20	137.70	139.60	9.83	10.30
13:09	33.57	36.30	36.03	121.20	138.90	137.70	9.98	10.26
13:10	33.50	36.70	35.96	120.80	138.80	138.90	9.88	10.37
13:11	32.84	38.40	35.96	121.50	122.30	138.80	9.84	10.54
13:12	32.59	38.70	36.08	123.00	121.50	122.30	9.87	10.39
13:13	32.26	35.90	36.15	122.60	123.00	123.50	10.03	10.09
13:14	32.22	36.60	36.40	123.00	122.60	123.60	10.29	10.28
13:15	32.06	37.70	33.62	122.90	123.00	122.30	10.42	10.41
13:16	31.75	41.50	33.36	121.20	122.90	120.20	10.47	10.46
13:17	31.96	39.10	33.37	120.10	121.20	121.20	10.57	10.61
13:18	31.86	40.10	32.72	118.90	120.10	120.80	10.79	10.81
13:19	32.18	40.10	33.03	118.30	118.90	121.50	10.86	10.86
13:20	32.53	39.80	33.33	116.70	118.30	123.00	10.81	10.84
13:21	32.28	39.30	33.26	115.10	116.70	122.60	10.77	10.81
13:22	32.57	39.60	33.71	114.00	115.10	123.00	10.69	10.85
13:23	31.93	36.90	34.56	116.40	114.00	122.90	10.81	10.25
13:24	31.81	37.30	33.88	118.40	116.40	121.20	10.67	10.45
13:25	32.62	38.10	34.11	119.90	118.40	120.10	10.74	10.25
13:26	32.28	37.50	34.39	120.60	119.90	118.90	10.24	10.29
13:27	31.60	37.70	34.87	122.00	120.60	118.30	10.48	10.55
13:28	32.52	38.10	36.65	122.80	122.00	116.70	10.93	10.98
13:29	31.70	38.00	34.76	122.90	122.80	115.10	10.93	10.84
13:30	31.69	38.40	33.13	122.30	122.90	132.00	10.74	10.62
13:31	31.04	38.00	33.84	121.00	122.30	134.00	10.73	10.58
13:32	30.52	37.80	33.49	120.80	121.00	135.00	10.64	10.26

**ตารางที่ ง.2** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพอรุน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
13:33	31.92	38.00	32.57	118.00	120.80	130.00	10.65	8.47
13:34	32.52	36.80	32.21	115.20	118.00	131.00	10.69	8.39
13:35	31.30	35.30	33.37	113.70	115.20	127.00	10.13	8.41
13:36	31.95	35.50	33.47	112.60	113.70	125.20	10.04	8.75
13:37	33.23	35.30	33.99	111.40	112.60	124.00	10.29	8.62
13:38	32.70	36.90	35.59	110.40	115.40	122.10	10.24	8.57
13:39	31.99	35.70	33.77	112.70	115.40	119.40	10.10	8.63
13:40	32.20	35.80	32.86	114.10	117.70	121.40	9.82	9.68
13:41	32.37	36.50	32.42	114.40	114.10	122.70	10.08	9.99
13:42	31.85	35.40	33.88	114.00	114.40	123.00	9.66	9.18
13:43	32.30	35.70	34.57	113.00	114.00	123.50	9.94	8.97
13:44	33.16	35.20	33.53	112.80	113.00	122.90	9.99	9.15
13:45	32.86	35.10	33.35	113.00	112.80	123.60	9.80	8.84
13:46	33.06	35.20	33.13	112.00	113.00	123.30	9.48	8.53
13:47	32.72	35.50	33.52	110.40	112.00	122.40	9.53	8.61
13:48	32.15	36.50	32.82	109.60	124.40	120.70	9.83	8.39
13:49	32.57	35.50	32.84	111.70	129.60	119.40	9.72	9.19
13:50	31.87	36.80	32.94	114.00	121.70	120.80	9.98	9.19
13:51	31.43	36.30	34.85	114.90	124.00	123.60	9.47	9.36
13:52	31.66	37.20	33.52	113.00	114.90	125.20	9.96	8.98
13:53	31.91	35.50	33.22	110.80	113.00	123.60	9.90	8.86
13:54	31.68	35.10	34.32	109.60	110.80	120.20	9.61	9.02
13:55	32.47	35.10	33.66	111.00	129.60	118.20	9.83	9.17
13:56	31.89	35.30	33.92	111.70	121.00	119.00	10.07	8.70
13:57	31.68	35.40	33.21	111.70	111.70	120.20	10.11	9.11
13:58	31.65	35.40	33.79	110.70	111.70	120.80	10.13	9.07
13:59	31.84	35.40	32.60	109.40	110.70	120.30	10.16	9.13
14:00	32.77	36.60	32.75	108.20	109.40	119.50	10.76	8.77
14:01	32.20	36.50	32.39	109.70	108.20	116.60	10.77	8.80
14:02	31.65	36.20	32.34	107.80	109.70	111.20	10.75	8.72
14:03	31.50	36.50	34.24	108.40	107.80	106.10	10.85	8.84
14:04	31.86	36.80	34.83	111.60	108.40	108.90	10.23	9.15
14:05	31.85	36.60	33.63	112.30	109.10	111.60	10.68	9.58
14:06	31.63	36.60	33.05	113.50	110.20	112.30	10.28	9.32
14:07	31.87	35.90	32.97	116.30	109.90	113.50	10.14	9.90
14:08	32.44	36.80	33.10	117.10	110.20	116.30	10.09	9.86
14:09	33.27	34.30	34.27	117.00	110.30	117.10	10.08	9.83
14:10	32.99	35.70	34.40	117.60	109.90	117.00	10.13	9.77
14:11	32.79	36.20	32.84	117.60	110.40	117.60	10.02	9.70

**ตารางที่ ง.2** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพอรุน (ต่อ)

เวลา	(amb) (°C)	(Bower) (°C)	(ลมเข้า) (°C)	(Cover) (°C)	(ลมออก) (°C)	(Inside col) (°C)	(On hel) (mV)	(Horizon) (mV)
14:12	33.02	34.70	34.96	116.20	110.20	117.60	10.10	9.75
14:13	32.48	35.50	34.45	114.30	109.70	116.20	10.27	9.78
14:14	32.06	35.70	34.38	110.00	107.90	114.30	10.32	9.67
14:15	32.24	37.20	35.03	109.90	110.00	118.10	10.41	9.64
14:16	32.76	36.00	35.03	109.90	109.90	120.30	10.74	9.74
14:17	32.14	35.70	35.53	110.00	109.90	121.30	10.12	9.85
14:18	32.84	38.40	34.85	108.70	110.00	123.70	10.11	9.14
14:19	33.25	37.00	34.40	110.00	108.70	122.10	9.14	9.52
14:20	33.44	37.40	32.64	111.10	110.00	121.60	9.71	9.21
14:21	34.09	37.50	34.50	110.90	111.10	122.90	9.66	9.09
14:22	33.75	37.50	31.52	112.20	110.00	122.60	9.71	9.06
14:23	34.26	37.30	31.74	109.60	108.70	121.00	9.57	8.94
14:24	34.11	37.40	32.58	109.10	110.00	118.90	9.80	9.14
14:25	34.16	37.20	32.49	105.80	112.10	118.00	9.84	9.13
14:26	33.69	37.10	32.56	103.40	110.90	112.60	9.77	9.07
14:27	33.19	36.30	32.20	103.70	112.10	109.70	9.78	9.03
14:28	32.79	36.40	32.48	102.80	109.60	108.90	9.78	9.01
14:29	33.29	37.60	31.21	102.50	109.10	106.10	9.81	8.95
14:30	34.05	37.40	31.90	102.70	105.80	106.10	9.64	8.93
14:31	33.22	38.00	32.64	102.40	103.40	107.10	9.62	8.87
14:32	33.38	37.40	32.73	101.40	103.70	106.00	9.41	8.56
14:33	32.74	38.90	31.44	100.00	102.80	104.60	9.38	8.54
14:34	31.35	37.90	32.88	106.00	102.50	103.70	9.34	8.74
14:35	31.36	37.40	32.62	104.60	102.70	102.30	9.30	8.41
14:36	31.72	38.10	31.53	103.70	102.40	100.90	9.28	8.74
14:37	31.98	37.70	31.21	102.30	101.40	131.50	9.25	8.63
14:38	32.84	37.40	34.79	114.52	102.10	128.90	9.32	8.58
14:39	33.12	36.20	35.30	118.60	101.10	127.10	9.15	8.49
14:40	31.01	36.10	35.36	114.10	101.23	126.74	9.07	8.42
14:41	31.75	35.60	35.19	110.74	131.50	110.10	9.04	8.30
14:42	30.87	35.60	37.41	112.42	128.90	82.00	8.93	8.24
14:43	31.66	35.50	38.26	122.21	127.10	86.10	9.02	8.20
14:44	30.74	35.00	38.52	113.40	126.74	90.80	8.89	8.16
14:45	32.22	35.20	39.22	118.41	98.45	93.60	8.81	8.18
14:46	31.03	34.50	39.68	112.41	98.74	95.60	8.91	8.19
14:47	31.00	34.40	39.69	114.10	97.52	95.40	8.90	8.17
14:48	31.94	34.70	39.68	115.14	97.42	91.40	8.76	8.13
14:49	32.07	33.80	39.70	123.10	97.52	86.80	8.82	8.09
14:50	32.12	34.00	39.45	113.20	97.65	82.70	8.85	8.04



**ตารางที่ ง.2** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพอรุน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
14:51	32.10	34.20	39.30	114.74	97.41	79.40	8.84	7.99
14:52	32.47	34.10	39.30	115.40	96.40	76.60	8.87	8.00
14:53	31.52	34.70	39.26	114.50	82.50	77.20	8.82	7.98
14:54	31.96	34.90	39.42	115.78	85.60	81.70	8.76	7.87
14:55	31.60	35.00	39.17	115.10	87.00	86.20	8.72	7.76
14:56	31.39	35.30	38.89	114.58	88.20	88.00	8.55	7.70
14:57	31.30	35.30	38.64	112.49	88.50	86.30	8.43	7.60
14:58	31.83	35.50	38.51	112.41	87.70	86.00	8.40	7.50
14:59	31.84	35.70	38.26	112.02	90.00	89.40	8.50	7.57
15:00	31.87	35.80	38.12	110.89	91.30	91.80	8.54	7.55
15:01	31.26	35.60	38.02	108.40	91.80	92.70	8.40	7.46
15:02	30.38	36.00	38.04	110.45	93.20	96.20	8.47	7.48
15:03	31.40	35.60	37.93	114.00	93.60	97.10	8.49	7.49
15:04	30.93	35.50	37.89	114.10	92.60	94.90	8.30	7.41
15:05	31.68	35.30	37.94	113.10	90.90	93.00	8.36	7.40
15:06	30.86	35.20	38.15	110.98	90.00	90.10	8.42	7.38
15:07	31.74	34.90	38.53	109.45	86.90	85.50	8.37	7.40
15:08	30.37	35.20	39.01	109.41	86.70	84.70	8.19	7.29
15:09	31.68	35.70	39.20	110.20	88.00	86.40	8.32	7.27
15:10	32.19	35.70	39.26	100.45	88.60	87.50	8.37	7.33
15:11	32.14	35.70	39.11	98.45	88.80	87.50	8.40	7.29
15:12	31.53	35.90	39.22	98.94	88.10	85.80	8.02	7.10
15:13	30.35	35.70	39.26	98.74	86.00	82.60	7.85	6.89
15:14	30.65	35.80	38.97	98.40	84.30	80.70	7.67	6.72
15:15	30.99	35.90	38.97	97.41	85.70	85.20	7.63	6.64
15:16	30.04	36.10	38.75	97.41	87.50	89.00	7.36	6.53
15:17	31.41	36.30	38.64	96.54	89.20	90.80	7.53	6.45
15:18	31.34	36.40	38.50	96.41	89.70	91.10	7.50	6.47
15:19	31.07	36.30	38.43	95.41	89.20	89.80	7.45	6.40
15:20	31.26	36.00	38.27	95.41	89.10	91.80	7.34	6.33
15:21	31.20	35.80	38.32	91.80	89.10	92.30	7.69	6.43
15:22	31.38	36.00	38.17	92.30	89.10	91.60	7.76	6.48
15:23	31.82	35.90	38.25	91.60	89.50	91.30	7.67	6.45
15:24	31.50	36.30	38.11	91.30	89.70	91.80	7.60	6.41
15:25	31.70	35.60	38.11	91.80	89.40	90.90	7.78	6.47
15:26	31.12	35.70	37.92	83.10	88.50	89.80	7.69	6.37
15:27	31.54	35.80	37.95	83.10	87.90	87.90	7.47	6.24
15:28	30.51	36.70	37.79	79.70	86.30	85.00	7.47	6.18
15:29	31.04	35.50	37.67	84.20	84.20	80.80	7.46	6.15

ตารางที่ ง.2 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตลมร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพอรุน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (ลมเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (ลมออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
15:30	30.95	35.80	37.77	82.50	82.50	77.70	7.48	6.09
15:31	30.93	35.90	37.60	81.20	81.20	76.00	7.25	6.03
15:32	31.76	35.70	37.49	87.45	81.60	76.20	7.18	5.95
15:33	31.93	35.90	37.43	87.65	81.00	76.00	7.13	5.84
15:34	31.88	36.10	37.44	87.45	81.00	76.40	6.90	5.70
15:35	33.21	36.10	37.39	85.62	80.60	76.20	7.01	5.71
15:36	32.50	36.20	37.32	85.41	79.30	75.80	7.01	5.70
15:37	32.90	36.30	37.20	85.62	78.50	75.20	6.99	5.72
15:38	32.27	36.10	37.15	85.42	77.80	73.10	7.00	5.70
15:39	33.02	36.00	37.13	80.54	76.90	70.50	6.98	5.70
15:40	33.27	36.00	37.07	80.56	75.70	69.80	7.01	5.67
15:41	32.59	35.50	37.02	80.51	74.70	69.20	7.10	5.62
15:42	33.26	35.90	37.02	79.82	74.80	69.90	7.04	5.54
15:43	33.37	36.00	37.00	78.41	73.60	70.60	6.99	5.54
15:44	33.26	35.90	36.97	72.10	73.40	71.50	6.97	5.52
15:45	32.92	36.50	36.99	74.60	74.60	73.10	6.93	5.47
15:46	32.37	35.90	37.01	75.41	76.30	74.12	6.94	5.42
15:47	31.73	35.90	36.98	75.40	75.40	72.10	6.80	5.34
15:48	32.00	35.60	37.00	74.40	74.40	72.22	6.63	5.25
15:49	32.60	35.60	37.01	75.30	75.30	72.10	6.72	5.27
15:50	31.50	35.60	37.18	73.10	75.30	72.30	6.61	5.20
15:51	30.82	35.90	37.28	74.70	73.40	72.10	6.59	5.17
15:52	32.21	35.80	37.28	78.41	74.60	72.14	5.12	5.42
15:53	31.74	35.30	34.63	78.00	76.30	72.85	5.10	5.34
15:54	31.94	35.20	37.57	78.00	75.40	72.41	5.07	5.42
15:55	31.03	35.40	37.77	70.89	74.40	72.41	5.00	5.34
15:56	30.98	34.60	37.78	70.84	75.30	71.20	4.85	5.25
15:57	31.93	34.60	37.84	69.41	75.30	68.60	4.83	5.34
15:58	31.93	34.40	37.82	69.87	74.70	66.40	4.67	5.42
15:59	31.93	34.30	37.74	69.74	73.70	63.80	4.98	5.42
16:00	31.93	34.40	37.75	68.74	72.30	55.40	4.81	5.34

ตารางที่ ง.3 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
9:00	30.22	35.22	35.22	68.41	38.72	59.74	5.10	5.10
9:01	30.49	38.55	35.44	69.74	39.87	62.10	5.25	5.25
9:02	30.38	38.45	36.74	69.85	38.89	63.41	5.14	4.79
9:03	30.67	38.70	36.22	69.99	38.70	62.10	5.24	4.37
9:04	30.62	46.98	36.75	70.71	39.81	67.00	4.92	4.19
9:05	31.04	47.00	36.84	70.84	39.91	79.41	4.78	4.10
9:06	31.39	47.21	36.87	71.41	39.87	79.41	4.98	4.55
9:07	30.31	47.49	36.91	72.84	41.91	87.45	4.58	4.10
9:08	30.31	47.60	37.44	72.89	40.87	87.48	4.85	4.20
9:09	30.35	48.35	37.25	72.99	41.89	93.40	5.42	4.33
9:10	30.73	49.47	37.22	73.30	42.72	95.40	5.41	4.55
9:11	30.65	49.86	37.41	75.41	43.18	96.00	5.65	5.10
9:12	30.41	50.17	37.52	79.41	42.75	97.74	4.78	4.88
9:13	30.52	50.39	37.41	79.41	42.88	97.41	4.51	4.71
9:14	30.58	49.69	37.61	87.45	43.50	96.74	5.05	5.11
9:15	30.48	49.84	38.45	87.48	42.81	98.10	5.06	5.40
9:16	30.52	50.58	38.55	93.40	42.60	97.84	5.43	5.73
9:17	31.15	50.40	38.45	101.20	43.20	91.41	5.57	5.98
9:18	30.85	50.48	39.77	101.45	43.10	93.40	5.76	6.04
9:19	30.86	49.61	39.74	100.10	43.50	95.40	6.02	6.09
9:20	30.85	48.91	39.72	104.21	46.52	96.00	6.51	5.25
9:21	30.97	48.52	39.84	112.00	46.12	87.40	6.10	5.30
9:22	31.31	48.22	39.86	113.10	45.21	101.54	6.20	5.33
9:23	30.66	50.21	40.25	110.41	45.23	102.10	6.10	5.09
9:24	31.19	52.47	45.74	102.40	45.74	100.14	6.02	6.20
9:25	31.55	53.24	41.22	104.11	46.90	117.10	6.51	6.41
9:26	31.82	52.16	41.50	112.13	45.00	115.14	7.20	6.71
9:27	31.18	50.90	42.55	114.54	49.30	100.10	7.27	6.67
9:28	31.74	50.32	42.51	113.10	46.50	101.54	7.71	6.50
9:29	31.86	49.94	42.58	109.14	48.20	102.10	7.58	6.25
9:30	31.32	49.73	43.62	104.41	45.45	100.14	7.42	6.41
9:31	31.03	49.57	43.78	105.10	45.02	104.00	7.51	6.70
9:32	31.18	49.46	43.55	112.10	46.13	108.00	7.09	5.95
9:33	31.36	49.35	44.58	115.10	46.12	110.00	7.40	5.64
9:34	31.65	49.26	46.70	120.45	47.11	110.10	7.06	6.56
9:35	31.18	49.19	46.90	120.00	47.09	120.00	6.79	6.72
9:36	31.46	49.12	47.50	118.00	48.83	101.00	7.17	7.20
9:37	32.04	49.05	47.70	119.48	48.83	102.50	7.16	7.27
9:38	31.35	49.04	47.70	114.20	48.86	102.10	7.16	7.71

ตารางที่ ง.3 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
9:39	31.52	49.03	48.00	113.42	49.02	102.70	6.32	7.58
9:40	31.73	49.00	48.30	101.45	49.20	101.45	7.96	7.42
9:41	31.38	48.96	48.80	101.40	49.37	101.40	8.14	7.47
9:42	32.45	48.93	48.20	102.10	49.50	100.12	8.30	7.09
9:43	31.39	48.89	48.80	115.40	49.77	115.40	8.68	7.40
9:44	32.41	48.86	48.90	110.15	50.98	110.15	8.18	7.06
9:45	31.96	48.83	50.55	114.32	52.72	114.32	8.10	7.41
9:46	31.48	48.83	50.74	100.20	52.89	100.20	8.39	7.17
9:47	30.88	48.86	50.20	102.20	51.71	100.56	8.30	7.16
9:48	31.54	49.02	50.20	102.50	51.75	110.10	8.24	7.16
9:49	31.97	49.24	50.20	107.30	51.71	114.10	7.19	6.32
9:50	32.59	49.37	50.10	112.40	51.61	112.51	9.14	7.96
9:51	31.58	49.52	50.20	116.50	51.51	113.10	9.15	8.14
9:52	31.73	49.77	50.40	118.30	51.47	115.40	9.23	8.12
9:53	31.08	50.98	51.20	118.30	51.95	116.40	9.21	8.23
9:54	31.43	50.25	51.50	120.10	52.33	117.10	7.51	7.49
9:55	31.15	52.89	51.10	116.50	52.25	116.50	7.99	7.10
9:56	31.15	51.20	50.60	110.60	52.14	115.70	6.65	6.61
9:57	31.87	54.82	50.60	107.80	52.06	110.10	8.57	7.70
9:58	32.06	55.08	51.30	106.60	52.01	106.60	8.50	7.86
9:59	31.11	54.72	51.20	108.80	52.10	111.10	9.30	8.38
10:00	31.69	55.07	50.60	109.70	52.10	100.10	7.78	7.52
10:01	32.04	54.48	50.40	112.50	55.28	120.10	7.57	8.21
10:02	32.14	53.07	50.40	112.00	54.91	114.10	9.52	8.51
10:03	31.45	51.89	50.40	112.90	55.63	112.90	9.37	8.49
10:04	31.55	51.28	50.30	116.50	55.39	116.50	9.31	8.42
10:05	32.26	50.91	50.30	120.00	55.18	117.10	7.10	8.14
10:06	31.74	50.63	50.30	120.10	54.48	124.00	7.10	8.14
10:07	31.41	50.39	50.10	122.10	55.07	120.10	9.55	8.56
10:08	31.60	50.18	50.50	124.00	55.89	102.50	8.80	8.48
10:09	31.59	50.03	50.40	121.30	55.28	102.10	9.76	8.73
10:10	31.76	51.42	50.90	123.00	55.91	102.70	7.54	8.61
10:11	31.78	51.23	51.90	125.70	55.63	101.45	7.63	8.58
10:12	31.60	51.23	52.50	127.30	55.39	101.40	7.63	8.58
10:13	31.60	51.78	52.10	121.80	55.18	100.12	7.70	8.71
10:14	32.14	51.74	51.70	124.84	55.03	115.40	8.35	8.18
10:15	31.58	51.77	52.40	125.14	55.60	110.15	7.63	8.73
10:16	31.82	51.89	52.80	125.30	55.00	114.32	7.68	8.78
10:17	31.49	51.95	52.80	124.14	56.58	100.20	10.08	9.03

ตารางที่ ง.3 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
10:18	31.53	51.02	52.40	124.74	56.31	100.56	10.19	9.08
10:19	31.9	51.13	52.10	124.51	56.25	110.10	10.14	9.12
10:20	31.74	51.12	51.80	125.74	56.71	114.10	9.85	9.13
10:21	32.03	51.11	51.50	122.80	55.07	112.51	9.99	9.08
10:22	31.79	51.09	51.80	127.90	55.89	113.10	9.49	9.08
10:23	31.92	51.09	51.90	131.70	55.28	115.40	9.95	9.12
10:24	32.30	51.11	52.30	130.70	55.91	116.40	10.10	9.21
10:25	31.63	51.14	52.80	132.00	55.63	117.10	10.05	9.22
10:26	32.17	51.18	53.60	135.40	55.39	116.50	9.99	9.28
10:27	32.33	51.21	53.50	139.70	55.18	115.70	10.01	9.28
10:28	31.95	51.23	53.70	140.80	55.03	110.10	9.94	9.28
10:29	32.29	51.25	53.80	135.80	55.60	106.60	10.05	9.58
10:30	32.08	51.29	53.90	132.30	55.00	111.10	8.69	9.39
10:31	31.84	51.34	53.90	136.20	56.58	100.10	9.73	9.39
10:32	32.51	51.38	53.70	138.10	56.31	120.10	6.20	9.14
10:33	32.83	51.41	53.80	137.00	55.32	114.10	6.33	9.15
10:34	32.32	51.44	54.10	134.40	55.24	112.90	6.92	9.19
10:35	32.48	51.5	54.00	129.80	55.22	116.50	8.74	9.37
10:36	32.52	51.6	53.80	130.10	51.71	117.10	10.43	9.59
10:37	32.27	51.71	53.50	130.30	51.75	124.00	10.12	9.60
10:38	32.32	51.75	53.30	131.70	51.71	120.10	10.23	9.60
10:39	32.39	51.71	53.90	135.20	51.61	124.00	10.25	9.53
10:40	32.71	51.61	54.30	137.20	51.51	121.30	9.98	9.54
10:41	32.48	51.51	54.30	136.40	51.47	123.00	9.92	9.57
10:42	32.34	51.47	54.20	131.50	51.95	125.70	9.90	9.52
10:43	32.42	51.95	54.30	128.90	52.33	124.10	9.89	9.57
10:44	32.14	52.33	54.40	127.10	52.25	123.85	9.90	9.66
10:45	31.89	52.25	54.60	126.74	52.14	124.84	9.97	9.66
10:46	31.38	52.14	55.10	125.84	52.06	125.14	9.86	9.69
10:47	32.38	51.2	55.10	128.00	52.01	125.30	10.20	9.90
10:48	31.86	54.82	55.00	131.60	52.10	124.14	10.28	9.88
10:49	32.59	55.08	56.70	132.20	52.10	124.74	10.28	9.88
10:50	32.24	54.72	53.30	133.25	52.11	124.51	10.27	10.03
10:51	31.34	55.07	51.00	133.41	52.11	125.74	10.38	10.06
10:52	32.06	54.48	50.20	134.50	51.89	122.80	10.28	10.08
10:53	32.55	52.02	50.20	131.10	52.02	127.90	10.21	10.07
10:54	31.95	5.32	50.20	131.90	53.30	114.54	10.01	10.01
10:55	32.40	55.3	50.10	133.70	55.30	113.10	10.09	10.05
10:56	32.84	56.37	50.20	135.30	56.37	109.14	10.17	9.99

ตารางที่ ง.3 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
10:57	32.10	56.80	50.40	136.70	56.80	104.41	10.02	10.07
10:58	32.25	56.99	51.20	135.50	56.99	101.20	10.04	10.17
10:59	32.45	57.16	51.50	133.00	55.23	110.84	10.38	10.19
11:00	32.09	57.25	51.10	133.40	55.22	111.10	10.16	10.07
11:01	31.97	57.40	50.60	135.21	54.22	110.10	10.13	10.15
11:02	31.48	57.54	50.60	134.60	54.20	130.30	10.29	10.29
11:03	32.21	57.53	51.30	133.30	57.54	131.70	10.26	10.23
11:04	32.17	57.61	51.20	133.30	57.53	135.20	10.29	10.28
11:05	32.50	57.75	50.60	134.00	57.61	137.20	10.19	10.20
11:06	32.69	57.69	50.40	137.20	57.75	134.10	10.18	10.15
11:07	32.10	57.47	50.40	139.75	57.69	131.50	10.22	10.26
11:08	32.14	57.59	50.40	138.20	57.98	128.90	10.15	10.39
11:09	32.30	57.85	50.30	134.20	58.03	127.10	9.95	10.45
11:10	31.99	57.98	50.30	131.20	58.03	125.54	10.23	10.39
11:11	31.65	58.03	50.30	142.10	58.08	132.22	9.88	10.38
11:12	31.97	58.03	50.10	143.90	58.18	112.33	10.29	10.46
11:13	31.92	58.08	50.50	139.10	58.23	104.50	10.04	10.53
11:14	31.62	58.18	50.40	139.10	57.67	101.40	10.41	10.40
11:15	31.65	58.23	50.90	142.00	58.04	102.10	10.46	10.44
11:16	31.71	57.67	51.90	143.10	58.35	110.10	10.48	10.52
11:17	31.72	58.04	52.50	113.00	57.98	116.45	10.39	10.53
11:18	31.72	58.35	52.10	113.00	58.03	116.41	10.32	10.57
11:19	31.46	57.60	51.70	141.80	58.03	114.10	10.41	10.65
11:20	31.79	57.00	52.40	138.00	58.08	112.55	10.60	10.71
11:21	31.62	56.58	52.80	138.90	58.18	102.50	10.16	10.64
11:22	31.59	56.31	52.80	142.60	58.23	122.36	10.45	10.52
11:23	31.62	56.25	52.40	144.70	58.26	102.70	10.57	10.68
11:24	32.11	56.71	52.10	139.60	58.92	104.10	10.76	10.75
11:25	31.87	57.35	51.80	137.70	58.80	105.10	10.78	10.78
11:26	32.20	57.03	51.50	138.90	58.26	104.20	10.34	10.85
11:27	31.98	57.35	51.80	138.80	58.92	105.74	10.77	10.78
11:28	31.81	58.26	51.90	141.30	58.80	104.24	10.72	10.84
11:29	32.11	58.92	52.30	142.30	58.92	104.25	10.52	10.92
11:30	31.91	58.8	52.80	140.20	58.80	104.25	10.53	10.85
11:31	32.13	57.49	53.60	140.20	58.78	102.20	10.59	10.90
11:32	32.73	56.53	53.50	139.40	58.95	102.50	10.74	10.87
11:33	32.00	56.06	53.70	136.70	58.75	107.30	10.68	10.89
11:34	31.53	55.76	53.80	134.40	57.89	112.40	10.43	10.81
11:35	31.72	55.57	53.90	132.20	58.61	116.50	9.98	10.84



**ตารางที่ ง.3** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
11:36	31.8	55.43	53.90	130.10	58.40	118.30	10.12	10.88
11:37	31.66	55.32	53.70	127.40	58.21	118.30	10.36	10.97
11:38	32.22	55.24	53.80	124.30	58.74	120.10	10.49	10.94
11:39	31.75	55.22	54.10	122.60	58.74	116.50	10.44	10.97
11:40	32.22	55.26	54.00	127.90	58.74	110.60	10.65	11.03
11:41	32.64	55.30	53.80	132.70	58.74	107.80	10.30	10.98
11:42	32.03	55.37	53.50	135.20	58.74	106.60	10.58	10.96
11:43	32.05	55.50	53.30	136.20	58.95	108.80	10.71	10.96
11:44	32.08	56.16	53.90	138.10	59.00	109.70	10.64	10.97
11:45	32.49	57.74	54.30	139.30	59.00	112.50	10.71	11.07
11:46	32.07	58.45	54.30	139.60	59.17	112.00	10.82	11.07
11:47	31.82	57.49	54.20	139.20	59.24	112.90	10.46	11.07
11:48	32.11	56.65	54.30	137.90	59.34	116.50	10.18	10.86
11:49	32.17	55.9	54.40	136.60	59.41	120.00	10.31	10.93
11:50	32.64	55.43	54.60	131.00	59.74	120.10	10.40	11.04
11:51	32.39	55.12	55.10	127.00	59.62	122.10	10.31	11.11
11:52	32.69	54.95	55.10	125.20	59.84	124.00	10.64	11.08
11:53	32.94	54.82	55.00	124.00	59.84	121.30	10.06	10.96
11:54	32.72	54.77	56.70	122.10	59.85	123.00	10.10	10.97
11:55	32.57	54.77	51.71	119.40	59.89	125.70	10.17	11.07
11:56	32.47	55.15	51.75	121.40	59.90	127.30	10.39	11.15
11:57	32.42	56.12	51.71	122.70	60.18	121.80	10.45	11.13
11:58	32.23	56.69	51.61	123.00	60.25	115.70	10.42	11.16
11:59	32.42	56.89	51.51	123.50	60.30	111.00	10.35	11.23
12:00	32.20	56.94	51.47	122.90	60.84	110.60	10.62	11.26
12:01	31.84	57.74	51.95	123.60	60.41	113.30	10.55	11.27
12:02	32.51	58.45	52.33	123.30	60.47	115.90	10.50	11.29
12:03	32.83	57.49	52.25	122.40	60.84	115.10	10.45	11.27
12:04	32.32	56.65	52.14	120.70	60.78	117.50	10.44	11.21
12:05	32.48	55.90	52.06	119.40	60.84	122.80	10.73	11.17
12:06	32.52	55.43	52.01	120.80	61.25	127.90	10.77	11.16
12:07	32.27	55.12	51.95	123.60	61.42	131.70	10.71	11.06
12:08	32.32	54.95	51.89	125.20	61.30	130.70	10.60	11.04
12:09	32.39	54.82	51.86	126.41	61.40	132.00	10.72	11.12
12:10	32.71	54.77	51.86	126.41	61.78	135.40	10.70	11.23
12:11	32.48	54.77	51.89	126.41	61.85	139.70	10.84	11.19
12:12	32.34	55.15	52.02	125.89	61.40	140.80	10.75	11.32
12:13	32.42	56.12	53.30	125.74	62.34	135.80	10.82	11.21
12:14	32.14	56.69	55.30	120.80	62.58	132.30	10.91	11.21

ตารางที่ ง.3 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
12:15	31.89	56.89	56.37	120.30	62.74	136.20	10.76	11.20
12:16	31.38	56.94	56.80	121.40	62.45	138.10	10.84	11.29
12:17	32.38	55.60	56.99	124.00	61.77	137.00	10.85	11.32
12:18	31.86	53.30	53.41	129.40	61.44	134.40	10.87	11.34
12:19	32.59	51.60	53.89	124.51	61.33	129.80	10.82	11.34
12:20	32.24	72.60	54.12	124.74	61.30	130.10	10.92	11.36
12:21	31.34	67.00	56.41	129.41	61.78	130.30	11.01	11.37
12:22	32.06	84.4	56.12	123.20	61.25	131.70	10.76	11.36
12:23	32.55	72.60	56.47	124.10	61.30	135.20	10.90	11.36
12:24	31.95	69.30	56.74	130.74	61.45	137.20	10.99	11.41
12:25	32.40	68.20	57.60	130.10	61.32	136.40	10.73	11.37
12:26	32.84	61.70	57.00	138.20	61.45	131.50	10.96	11.35
12:27	32.10	66.00	56.58	137.10	61.41	128.90	10.82	11.37
12:28	32.25	62.10	56.31	117.41	61.30	127.10	10.52	11.21
12:29	32.45	63.70	56.25	116.20	61.23	125.10	10.49	11.07
12:30	32.09	72.10	56.71	115.41	61.20	124.20	10.61	11.18
12:31	31.97	64.50	57.35	118.10	61.30	128.00	10.69	11.20
12:32	31.48	64.10	57.03	120.30	61.20	131.60	10.39	10.96
12:33	32.21	69.70	57.35	121.30	61.18	132.20	10.65	10.99
12:34	32.17	64.70	58.26	123.70	61.11	131.10	10.77	11.11
12:35	32.50	71.90	58.92	122.10	61.08	131.60	10.80	11.13
12:36	32.69	73.40	58.80	121.60	61.04	130.90	10.85	11.18
12:37	32.10	66.00	58.03	122.90	60.98	131.10	10.72	11.15
12:38	32.14	59.80	58.03	122.60	60.52	131.90	10.68	11.12
12:39	32.30	58.30	58.08	121.00	60.41	133.70	10.79	11.11
12:40	31.99	67.00	58.18	118.90	60.41	135.30	10.79	11.06
12:41	31.65	86.7	58.23	118.00	60.52	136.70	10.79	11.08
12:42	31.97	90.00	57.67	112.60	60.51	135.50	10.68	11.01
12:43	31.92	88.00	58.04	109.70	60.49	133.00	10.70	11.00
12:44	31.62	84.70	58.35	108.90	60.47	133.40	10.75	11.01
12:45	31.65	71.90	57.60	106.10	60.41	132.80	10.84	11.03
12:46	31.71	66.70	57.00	106.10	60.38	134.60	10.72	10.92
12:47	31.72	61.80	56.58	107.10	60.34	133.30	10.87	11.08
12:48	31.72	56.30	56.31	106.00	60.29	133.30	10.93	11.11
12:49	31.46	51.70	56.25	104.60	60.24	134.00	11.01	11.16
12:50	31.79	72.00	56.71	103.70	60.20	132.10	11.00	11.17
12:51	31.62	63.10	57.35	102.30	60.18	134.70	11.01	11.13
12:52	31.59	63.90	57.03	100.90	60.10	130.00	10.93	11.10
12:53	31.62	62.70	57.35	123.40	60.04	132.00	10.90	11.10

ตารางที่ ง.3 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
12:54	32.11	62.80	58.26	123.30	60.01	133.12	11.05	11.11
12:55	30.25	59.40	58.92	123.40	60.00	120.10	10.94	11.10
12:56	31.05	59.00	58.80	123.00	59.98	139.87	10.90	10.96
12:57	30.69	55.70	54.48	122.60	59.78	137.10	10.57	10.77
12:58	30.11	69.80	53.07	124.00	59.65	135.10	10.77	10.83
13:00	30.39	67.50	51.89	124.10	59.65	135.10	10.55	10.63
13:59	31.09	61.90	51.28	124.40	59.98	138.40	10.09	10.26
13:01	30.34	64.20	50.91	127.56	59.48	135.10	9.85	9.99
13:02	30.25	57.70	50.63	128.10	59.67	136.30	9.42	9.53
13:03	30.98	59.00	50.39	122.30	59.74	137.23	9.77	9.88
13:04	30.99	64.20	50.18	122.30	59.64	138.00	9.28	9.50
13:05	32.27	61.10	50.03	123.50	58.98	138.90	9.30	9.37
13:06	34.09	58.70	57.60	123.60	58.95	139.41	9.52	9.54
13:07	34.20	54.10	57.00	122.30	58.54	137.12	9.39	9.50
13:08	34.91	59.80	56.58	120.20	58.22	139.60	9.14	9.30
13:09	33.57	69.50	56.31	121.20	58.62	137.70	9.10	9.26
13:10	33.50	74.90	56.25	120.80	58.21	138.90	9.77	9.37
13:11	32.84	56.41	56.71	121.50	58.33	138.80	9.28	9.54
13:12	32.59	84.30	57.35	123.00	58.31	122.30	9.28	9.39
13:13	32.26	84.20	57.03	122.60	56.58	123.50	10.03	10.09
13:14	32.22	81.90	57.35	123.00	56.31	123.60	10.29	10.28
13:15	32.06	76.60	58.26	122.90	56.25	122.30	10.42	10.41
13:16	31.75	70.50	58.92	121.20	56.71	120.20	10.47	10.46
13:17	31.96	64.50	58.80	120.10	57.35	121.20	10.57	10.61
13:18	31.86	64.40	57.49	118.90	57.03	120.80	10.79	10.81
13:19	32.18	58.50	56.53	118.30	57.35	121.50	10.86	10.86
13:20	32.53	55.80	56.06	116.70	58.26	123.00	10.81	10.84
13:21	32.28	49.60	55.76	115.10	58.92	122.60	10.77	10.81
13:22	32.57	48.70	55.57	114.00	58.80	123.00	10.69	10.85
13:23	31.93	47.00	55.43	116.40	58.03	122.90	9.81	9.96
13:24	31.81	46.50	55.32	118.40	58.03	121.20	9.67	9.76
13:25	32.62	44.90	55.24	119.90	58.08	120.10	9.74	9.83
13:26	32.28	46.60	55.22	120.60	58.18	118.90	10.24	10.29
13:27	31.60	45.90	51.71	122.00	58.23	118.30	10.48	10.55
13:28	32.52	47.30	51.75	122.80	57.67	116.70	10.93	10.98
13:29	31.70	46.20	51.71	122.90	58.04	115.10	10.93	10.84
13:30	31.69	45.00	51.61	122.30	58.35	132.00	10.74	10.62
13:31	31.04	45.00	51.51	121.00	57.60	134.00	10.73	10.58
13:32	30.52	47.90	51.47	120.80	57.00	135.00	10.64	10.26

**ตารางที่ ง.3** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
13:33	31.92	48.10	51.95	118.00	56.58	130.00	10.65	8.47
13:34	32.52	58.10	52.33	115.20	56.31	131.00	10.69	8.39
13:35	31.30	69.00	52.25	113.70	56.25	127.00	10.13	8.41
13:36	31.95	66.10	52.14	112.60	56.71	125.20	10.04	8.75
13:37	33.23	65.10	52.06	111.40	57.35	124.00	10.29	8.62
13:38	32.70	65.60	52.01	110.40	57.03	122.10	10.24	8.57
13:39	31.99	67.30	51.95	112.70	57.35	119.40	10.10	8.63
13:40	32.20	65.30	51.89	114.10	58.26	121.40	9.82	9.68
13:41	32.37	62.60	51.86	114.40	58.92	122.70	10.08	9.99
13:42	31.85	61.10	51.86	114.00	62.81	123.00	9.07	9.18
13:43	32.30	55.30	51.89	113.00	61.91	123.50	8.94	8.97
13:44	33.16	51.40	52.02	112.80	62.09	122.90	9.04	9.15
13:45	32.86	48.80	53.30	113.00	61.85	123.60	8.80	8.84
13:46	33.06	55.90	55.30	112.00	62.64	123.30	8.48	8.53
13:47	32.72	58.00	56.37	110.40	62.15	122.40	8.53	8.61
13:48	32.15	55.20	56.80	109.60	61.79	120.70	8.32	8.39
13:49	32.57	54.00	57.16	111.70	61.61	119.40	9.21	9.19
13:50	31.87	52.40	57.25	114.00	62.13	120.80	9.20	9.19
13:51	31.43	50.20	57.40	114.90	61.89	123.60	9.47	9.36
13:52	31.66	52.40	57.54	113.00	62.07	125.20	8.96	8.98
13:53	31.91	62.00	57.53	110.80	62.72	123.60	8.90	8.86
13:54	31.68	61.10	58.32	109.60	62.89	120.20	9.06	9.02
13:55	32.47	56.80	58.05	111.00	62.49	118.20	9.18	9.17
13:56	31.89	52.90	57.39	111.70	62.29	119.00	8.68	8.70
13:57	31.68	49.80	57.33	111.70	62.00	120.20	9.11	9.11
13:58	31.65	46.40	56.70	110.70	61.58	120.80	9.13	9.07
13:59	31.84	44.40	57.27	109.40	60.92	120.30	9.16	9.13
14:00	32.77	48.30	57.10	108.20	61.03	119.50	8.76	8.77
14:01	32.20	49.90	56.74	109.70	60.86	116.60	8.77	8.80
14:02	31.65	52.90	56.41	107.80	60.56	111.20	8.75	8.72
14:03	31.50	53.40	56.35	108.40	60.32	106.10	8.85	8.84
14:04	31.86	48.00	56.56	111.60	60.23	108.90	9.23	9.15
14:05	31.85	44.70	57.39	112.30	60.06	111.60	9.68	9.58
14:06	31.63	43.60	57.47	113.50	60.41	112.30	9.28	9.32
14:07	31.87	43.40	57.14	116.30	60.12	113.50	10.14	9.90
14:08	32.44	42.60	57.59	117.10	60.42	116.30	10.09	9.86
14:09	33.27	58.32	57.76	117.00	59.74	117.10	10.08	9.83
14:10	32.99	58.05	57.60	117.60	59.69	117.00	10.13	9.77
14:11	32.79	57.39	56.60	117.60	59.62	117.60	10.02	9.70

ตารางที่ ง.3 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
14:12	33.02	57.33	56.70	116.20	59.42	117.60	10.10	9.75
14:13	32.48	56.70	56.37	114.30	59.36	116.20	10.27	9.78
14:14	32.06	57.27	56.46	110.00	59.77	114.30	10.32	9.67
14:15	32.24	57.10	57.03	109.90	59.45	118.10	10.41	9.64
14:16	32.76	56.74	56.84	109.90	59.23	120.30	10.74	9.74
14:17	32.14	56.41	56.23	110.00	59.42	121.30	10.12	9.85
14:18	32.84	56.35	56.49	108.70	58.88	123.70	10.11	9.14
14:19	33.25	56.56	56.25	110.00	58.45	122.10	9.14	9.52
14:20	33.44	57.39	56.54	111.10	58.55	121.60	9.71	9.21
14:21	34.09	57.47	56.16	110.90	58.55	122.90	9.66	9.09
14:22	33.75	57.14	55.90	112.20	58.08	122.60	9.71	9.06
14:23	34.26	57.59	55.38	109.60	58.27	121.00	9.57	8.94
14:24	34.11	57.76	55.87	109.10	58.25	118.90	9.80	9.14
14:25	34.16	57.60	55.25	105.80	58.66	118.00	9.84	9.13
14:26	33.69	56.60	56.29	103.40	58.55	112.60	9.77	9.07
14:27	33.19	56.70	56.18	103.70	58.60	109.70	9.78	9.03
14:28	32.79	56.37	55.59	102.80	58.24	108.90	9.78	9.01
14:29	33.29	56.46	56.15	102.50	58.25	106.10	9.81	8.95
14:30	34.05	57.03	55.80	102.70	58.42	106.10	9.64	8.93
14:31	33.22	56.84	55.59	102.40	58.14	107.10	9.62	8.87
14:32	33.38	56.23	54.67	101.40	58.43	106.00	9.41	8.56
14:33	32.74	56.49	54.73	100.00	58.32	104.60	9.38	8.54
14:34	31.35	56.25	54.78	106.00	58.25	103.70	9.34	8.74
14:35	31.36	56.54	55.25	104.60	58.57	102.30	9.30	8.41
14:36	31.72	56.16	55.30	103.70	58.76	100.90	9.28	8.74
14:37	31.98	55.90	55.57	102.30	58.83	131.50	9.25	8.63
14:38	32.84	55.38	54.77	114.52	58.81	128.90	9.32	8.58
14:39	33.12	55.87	55.05	118.60	58.51	127.10	9.15	8.49
14:40	31.01	55.25	55.38	114.10	58.43	126.74	9.07	8.42
14:41	31.75	56.29	55.65	110.74	58.56	110.10	9.04	8.30
14:42	30.87	56.18	55.66	112.42	58.51	82.00	8.93	8.24
14:43	31.66	55.59	55.17	122.21	58.46	86.10	9.02	8.20
14:44	30.74	56.15	54.79	113.40	58.58	90.80	8.89	8.16
14:45	32.22	55.80	55.08	118.41	58.74	93.60	8.81	8.18
14:46	31.03	55.59	55.00	112.41	58.78	95.60	8.91	8.19
14:47	31.00	54.67	55.14	114.10	58.55	95.40	8.90	8.17
14:48	31.94	54.73	54.67	115.14	58.32	91.40	8.76	8.13
14:49	32.07	54.78	54.81	123.10	58.21	86.80	8.82	8.09
14:50	32.12	55.25	54.19	113.20	58.11	82.70	8.85	8.04

**ตารางที่ ง.3** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
14:51	32.10	55.30	54.33	114.74	57.89	79.40	8.84	7.99
14:52	32.47	55.57	54.94	115.40	57.93	76.60	8.87	8.00
14:53	31.52	54.77	54.46	114.50	57.87	77.20	8.82	7.98
14:54	31.96	55.05	54.46	115.78	57.54	81.70	8.76	7.87
14:55	31.60	55.38	53.78	115.10	57.92	86.20	8.72	7.76
14:56	31.39	55.65	54.10	114.58	57.19	88.00	8.55	7.70
14:57	31.30	55.66	54.30	112.49	57.30	86.30	8.43	7.60
14:58	31.83	55.17	54.11	112.41	57.57	86.00	8.40	7.50
14:59	31.84	54.79	54.20	112.02	57.12	89.40	8.50	7.57
15:00	31.87	55.08	53.70	110.89	57.27	91.80	8.54	7.55
15:01	31.26	55.00	53.93	108.40	57.17	92.70	8.40	7.46
15:02	30.38	55.14	53.89	110.45	56.95	96.20	8.47	7.48
15:03	31.40	54.67	53.24	114.00	56.82	97.10	8.49	7.49
15:04	30.93	54.81	53.15	114.10	56.46	94.90	8.30	7.41
15:05	31.68	54.19	53.27	113.10	56.59	93.00	8.36	7.40
15:06	30.86	54.33	53.74	110.98	56.77	90.10	8.42	7.38
15:07	31.74	54.94	53.79	109.45	56.86	85.50	8.37	7.40
15:08	30.37	54.46	53.22	109.41	56.43	84.70	8.19	7.29
15:09	31.68	54.46	53.07	110.20	56.06	86.40	8.32	7.27
15:10	32.19	53.78	53.31	100.45	55.55	87.50	8.37	7.33
15:11	32.14	54.10	52.93	98.45	55.92	87.50	8.40	7.29
15:12	31.53	54.30	53.06	98.94	55.59	85.80	8.02	7.10
15:13	30.35	54.11	52.74	98.74	55.54	82.60	7.85	6.89
15:14	30.65	54.20	52.71	98.40	55.38	80.70	7.67	6.72
15:15	30.99	53.70	52.91	97.41	55.37	85.20	7.63	6.64
15:16	30.04	53.93	52.53	97.41	56.34	89.00	7.36	6.53
15:17	31.41	53.89	52.11	96.54	55.71	90.80	7.53	6.45
15:18	31.34	53.24	51.65	96.41	55.65	91.10	7.50	6.47
15:19	31.07	53.15	52.21	95.41	55.54	89.80	7.45	6.40
15:20	31.26	53.27	52.29	95.41	55.42	91.80	7.34	6.33
15:21	31.20	53.74	52.33	91.80	55.09	92.30	7.69	6.43
15:22	31.38	53.79	52.47	92.30	54.98	91.60	7.76	6.48
15:23	31.82	53.22	51.83	91.60	54.23	91.30	7.67	6.45
15:24	31.50	53.07	52.43	91.30	54.67	91.80	7.60	6.41
15:25	31.70	53.31	52.06	91.80	54.85	90.90	7.78	6.47
15:26	31.12	52.93	51.76	83.10	54.45	89.80	7.69	6.37
15:27	31.54	53.06	51.56	83.10	54.23	87.90	7.47	6.24
15:28	30.51	52.74	50.35	79.70	54.12	85.00	7.47	6.18
15:29	31.04	52.06	48.46	84.20	53.43	80.80	7.46	6.15

ตารางที่ ง.3 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
15:30	30.95	51.76	47.11	82.50	53.43	77.70	7.48	6.09
15:31	30.93	51.56	40.66	81.20	53.66	76.00	7.25	6.03
15:32	31.76	50.35	40.93	87.45	53.75	76.20	7.18	5.95
15:33	31.93	48.46	53.48	87.65	53.28	76.00	7.13	5.84
15:34	31.88	47.11	40.68	87.45	53.39	76.40	6.90	5.70
15:35	33.21	40.66	45.10	85.62	53.31	76.20	7.01	5.71
15:36	32.50	40.93	52.13	85.41	53.16	75.80	7.01	5.70
15:37	32.90	53.48	52.06	85.62	53.25	75.20	6.99	5.72
15:38	32.27	40.68	52.05	85.42	53.32	73.10	7.00	5.70
15:39	33.02	45.10	51.80	80.54	53.33	70.50	6.98	5.70
15:40	33.27	52.13	51.72	80.56	53.20	69.80	7.01	5.67
15:41	32.59	52.06	50.94	80.51	53.16	69.20	7.10	5.62
15:42	33.26	52.05	51.06	79.82	53.12	69.90	7.04	5.54
15:43	33.37	51.80	50.87	78.41	53.02	70.60	6.99	5.54
15:44	33.26	51.72	50.61	72.10	52.97	71.50	6.97	5.52
15:45	32.92	50.94	50.72	74.60	52.99	73.10	6.93	5.47
15:46	32.37	51.06	50.26	75.41	52.80	74.12	6.94	5.42
15:47	31.73	50.87	51.12	75.40	52.68	72.10	6.80	5.34
15:48	32.00	50.61	51.08	74.40	52.53	72.22	6.63	5.25
15:49	32.60	50.72	51.13	75.30	52.38	72.10	6.72	5.27
15:50	31.50	50.26	51.14	73.10	52.34	72.30	6.61	5.20
15:51	30.82	51.12	51.40	74.70	52.43	72.10	6.59	5.17
15:52	32.21	51.08	51.23	78.41	52.43	72.14	5.12	5.42
15:53	31.74	51.13	50.99	78.00	53.08	72.85	5.10	5.34
15:54	31.94	51.14	50.78	78.00	52.92	72.41	5.07	5.42
15:55	31.03	51.40	50.78	70.89	52.82	72.41	5.00	5.34
15:56	30.98	51.23	50.29	70.84	52.67	71.20	4.85	5.25
15:57	31.93	50.99	49.52	69.41	52.38	68.60	4.83	5.34
15:58	31.93	50.78	49.74	69.87	52.16	66.40	4.67	5.42
15:59	31.93	50.78	49.64	69.74	52.17	63.80	3.98	5.42
16:00	31.93	50.29	49.52	68.74	52.02	55.40	3.81	5.34



**ตารางที่ ง.4** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
9:00	30.44	37.45	34.49	53.80	41.72	88.30	8.06	7.91
9:01	30.44	37.10	34.78	54.70	41.58	76.10	8.19	7.81
9:02	29.68	38.45	35.01	54.90	41.31	76.70	8.28	7.79
9:03	29.84	39.41	36.97	56.20	42.09	76.40	8.28	7.37
9:04	29.58	39.70	36.33	57.70	45.80	78.00	8.35	7.57
9:05	29.71	39.60	38.70	55.20	46.84	74.40	8.42	7.61
9:06	29.60	39.44	34.24	58.20	47.00	74.40	8.43	7.44
9:07	29.80	39.82	34.72	56.00	47.49	73.40	8.36	7.85
9:08	30.42	39.25	34.97	61.00	47.60	73.60	8.40	7.62
9:09	30.42	39.26	35.55	59.60	48.35	79.60	8.39	7.33
9:10	30.58	39.83	36.06	58.50	48.35	85.10	8.34	7.55
9:11	31.27	38.74	37.23	52.50	48.35	88.00	8.25	7.10
9:12	28.38	39.06	37.17	50.10	48.35	87.40	8.41	7.88
9:13	28.91	42.51	37.47	49.10	48.35	88.70	8.59	7.71
9:14	30.01	42.65	37.51	54.70	48.95	92.70	8.73	7.45
9:15	29.36	43.64	38.43	50.20	48.52	77.90	8.84	7.40
9:16	28.98	43.10	38.73	51.20	48.75	78.70	8.84	7.45
9:17	29.90	43.24	39.56	50.10	48.65	77.90	8.87	7.98
9:18	30.48	43.51	39.48	49.90	48.89	73.00	8.91	8.04
9:19	33.21	41.02	39.20	49.40	49.90	80.10	8.91	8.09
9:20	33.69	42.42	39.05	50.40	49.32	82.80	8.87	8.25
9:21	32.39	42.16	39.89	50.30	49.94	82.40	8.87	8.30
9:22	32.53	42.92	39.88	50.20	49.94	78.60	8.91	8.33
9:23	31.67	41.09	40.01	49.90	49.57	85.80	8.97	8.09
9:24	30.20	41.66	40.45	46.80	49.46	87.70	9.07	8.46
9:25	30.60	42.22	40.59	57.20	49.35	83.50	9.11	8.85
9:26	30.52	43.05	40.51	67.60	50.10	81.80	9.13	8.75
9:27	30.22	42.10	40.85	68.70	50.21	82.10	9.14	8.57
9:28	29.82	42.88	40.95	68.30	50.24	87.80	9.25	6.50
9:29	30.10	43.45	41.09	62.40	50.98	86.60	9.22	6.25
9:30	30.09	44.25	41.04	53.30	52.72	84.60	9.25	8.95
9:31	30.03	44.23	41.63	64.60	52.89	86.50	9.32	8.70
9:32	30.03	44.78	42.07	63.60	53.83	83.91	9.37	8.95
9:33	30.04	44.45	42.55	62.20	54.82	83.36	9.43	8.64
9:34	30.14	44.32	42.77	60.80	54.08	84.61	9.52	8.56
9:35	29.98	44.23	42.88	60.90	54.72	82.47	9.51	8.72
9:36	29.75	44.75	43.83	62.80	53.83	88.52	9.53	8.20
9:37	30.15	48.83	44.83	65.00	53.82	91.52	9.58	8.27
9:38	30.12	48.86	44.86	64.10	53.08	93.53	9.58	8.71

ตารางที่ ง.4 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
9:39	30.03	49.02	44.02	64.50	54.72	89.43	9.65	8.58
9:40	30.22	49.20	45.20	64.70	54.07	88.84	9.66	8.42
9:41	30.12	49.37	45.37	65.30	54.48	88.70	9.62	8.47
9:42	29.92	49.50	46.50	67.00	53.07	81.75	9.66	8.09
9:43	29.78	49.77	46.77	68.60	54.82	78.74	9.71	8.40
9:44	29.82	50.98	47.98	66.80	55.08	72.08	9.71	8.06
9:45	29.66	52.72	47.52	64.90	54.72	68.68	9.79	8.79
9:46	29.58	52.89	49.89	67.10	55.07	77.68	9.83	8.17
9:47	29.58	53.83	49.83	67.50	54.48	83.49	9.86	8.16
9:48	29.68	54.82	49.82	71.10	53.07	90.54	9.78	8.16
9:49	29.33	55.08	49.08	76.70	51.89	86.88	9.77	8.77
9:50	29.66	54.72	49.72	74.60	51.28	90.30	9.84	9.96
9:51	29.55	55.07	49.07	79.20	52.91	89.14	9.89	8.14
9:52	29.86	54.48	49.00	78.70	53.33	84.59	9.92	8.12
9:53	30.09	53.07	49.07	74.60	53.66	82.08	9.95	8.23
9:54	30.36	51.82	49.82	77.20	53.85	83.67	9.99	8.49
9:55	30.42	52.08	50.08	77.80	53.00	81.12	10.03	7.09
9:56	30.23	54.72	50.72	77.00	54.75	78.16	9.86	7.61
9:57	29.95	55.07	50.07	76.80	54.16	73.93	9.78	7.70
9:58	30.23	54.48	50.48	78.30	54.97	76.88	9.78	7.86
9:59	30.11	53.07	50.07	79.10	55.78	69.77	9.73	8.38
10:00	30.63	51.89	50.60	76.10	55.29	76.86	9.60	8.52
10:01	30.17	51.28	50.97	73.50	55.75	82.83	9.90	8.21
10:02	30.29	50.91	50.63	71.70	55.22	81.02	9.90	8.51
10:03	30.22	50.63	50.81	69.90	55.64	75.87	9.91	8.49
10:04	30.44	50.39	50.03	66.40	55.43	73.26	10.11	8.42
10:05	30.09	50.18	50.66	73.80	55.39	68.27	10.25	8.32
10:06	30.21	54.48	50.65	79.50	55.91	76.79	10.23	8.14
10:07	30.03	53.07	50.71	82.30	55.76	88.39	10.31	8.56
10:08	30.31	51.89	50.28	84.00	55.00	90.82	10.41	8.48
10:09	30.14	51.28	50.34	85.20	55.24	84.25	10.43	8.73
10:10	30.21	50.91	50.55	79.00	55.66	78.76	10.47	8.63
10:11	30.30	50.63	50.22	76.80	55.11	78.08	10.46	8.61
10:12	30.93	50.39	51.00	76.40	55.11	79.70	10.42	8.58
10:13	33.63	50.18	51.92	77.40	55.11	75.29	10.39	8.46
10:14	30.67	50.03	51.79	78.30	55.11	77.85	10.26	8.18
10:15	30.69	51.71	50.97	78.50	55.16	77.96	10.31	8.73
10:16	30.37	51.75	50.89	77.90	55.81	85.36	10.37	8.78
10:17	30.40	51.71	51.25	77.20	52.28	86.64	10.4	9.03

ตารางที่ ง.4 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพอรุน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
10:18	30.24	51.61	51.23	73.10	55.44	90.66	10.44	9.08
10:19	30.71	51.51	51.47	73.20	55.97	92.91	10.51	9.12
10:20	30.84	51.47	51.74	72.90	55.97	97.15	10.51	9.13
10:21	31.28	51.95	51.23	72.50	55.97	102.40	10.51	9.08
10:22	31.19	57.03	51.20	70.10	55.97	102.02	10.6	9.08
10:23	31.14	57.35	51.40	67.50	54.24	95.22	10.74	9.12
10:24	30.82	58.26	51.44	65.30	54.68	100.05	10.78	9.21
10:25	31.06	58.92	51.46	64.60	55.68	104.98	10.62	9.22
10:26	31.52	58.80	51.47	72.60	55.13	102.63	10.62	9.28
10:27	31.21	57.49	51.41	74.80	55.29	109.11	10.78	9.28
10:28	31.06	56.53	51.24	75.30	56.23	107.28	10.44	9.28
10:29	31.21	56.06	51.41	73.70	56.47	97.28	10.67	9.39
10:30	30.60	55.76	50.17	70.70	56.64	90.58	10.96	9.39
10:31	30.64	55.57	50.53	64.01	56.87	95.59	11.05	9.39
10:32	31.30	55.43	50.62	61.90	57.09	105.49	11.04	9.14
10:33	31.42	55.32	50.14	58.37	56.74	107.34	11.08	9.15
10:34	31.53	55.24	51.35	60.52	57.10	109.57	10.90	9.19
10:35	31.26	55.22	51.33	63.65	57.37	114.52	10.87	9.37
10:36	29.82	51.71	51.47	63.48	57.05	122.96	10.84	9.59
10:37	29.22	51.75	51.34	52.54	56.48	119.37	11.07	9.60
10:38	29.32	51.71	50.60	60.24	56.51	119.62	11.04	9.60
10:39	29.78	51.61	50.69	60.49	57.14	119.25	11.13	9.53
10:40	30.26	51.51	50.30	64.01	57.08	117.46	11.15	9.54
10:41	30.76	51.47	51.19	59.79	57.30	118.53	11.10	9.57
10:42	31.44	51.95	51.19	60.05	57.49	114.91	10.97	9.52
10:43	31.14	52.33	51.46	65.15	57.60	110.48	10.89	9.57
10:44	30.83	52.25	51.57	63.87	57.80	108.58	10.99	9.66
10:45	30.78	52.14	51.70	66.29	57.76	104.00	11.03	9.66
10:46	30.53	54.04	51.78	64.45	58.18	104.22	11.19	9.69
10:47	31.60	54.20	51.35	65.03	57.39	106.77	11.2	9.90
10:48	31.27	54.45	52.09	65.76	57.66	108.94	11.19	9.88
10:49	30.95	54.64	50.96	63.74	58.85	109.71	11.17	9.96
10:50	31.04	54.39	52.31	66.19	58.84	110.96	11.12	10.03
10:51	30.89	55.36	52.80	61.58	58.86	114.91	11.22	10.06
10:52	30.50	55.75	52.79	62.43	59.47	112.71	11.30	10.08
10:53	30.56	55.78	53.40	67.75	59.86	114.21	11.29	10.07
10:54	31.40	55.89	53.01	65.43	59.31	114.86	10.39	10.01
10:55	30.39	56.09	52.66	64.25	59.24	113.91	11.29	10.05
10:56	30.25	56.28	52.43	69.76	59.50	111.20	11.57	9.99

ตารางที่ ง.4 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
10:57	31.01	55.98	52.78	65.10	59.49	111.57	10.76	10.07
10:58	28.24	56.24	52.63	66.86	59.53	112.29	11.50	10.05
10:59	28.67	56.24	51.67	65.17	59.63	113.20	11.85	10.17
11:00	26.96	56.67	53.14	67.05	59.50	110.70	11.86	10.19
11:01	29.12	56.66	49.86	71.08	59.93	112.02	11.79	10.07
11:02	28.08	56.63	51.95	68.89	59.99	111.96	11.69	10.15
11:03	28.88	57.01	52.75	76.22	60.17	115.18	11.69	10.29
11:04	28.77	56.77	52.05	72.41	60.01	118.22	11.78	10.23
11:05	29.79	56.91	53.36	76.42	60.27	112.96	11.83	10.37
11:06	30.20	56.47	51.82	81.63	60.50	113.93	11.94	10.20
11:07	29.97	56.66	51.71	70.40	59.97	118.97	11.61	10.15
11:08	27.92	56.73	53.40	72.10	60.11	119.27	11.74	10.26
11:09	32.27	57.10	53.65	72.50	59.96	112.57	11.84	10.39
11:10	31.90	56.81	52.56	72.10	60.21	25.63	11.72	10.45
11:11	31.71	57.03	54.44	71.80	60.36	104.98	11.83	10.39
11:12	31.75	57.33	54.91	71.20	60.65	101.49	11.77	10.38
11:13	32.18	56.68	53.82	70.80	61.19	99.76	11.72	10.53
11:14	32.30	56.60	54.28	71.50	61.15	102.93	11.68	10.40
11:15	32.34	57.06	55.47	72.60	61.25	101.16	11.72	10.44
11:16	32.03	57.32	54.95	73.10	61.12	102.86	11.72	10.52
11:17	31.94	54.06	64.98	73.30	61.00	106.22	11.76	10.53
11:18	32.03	54.43	64.03	73.50	61.27	102.77	11.77	10.57
11:19	31.23	56.08	64.03	73.80	61.16	104.75	11.91	10.65
11:20	31.82	56.73	65.08	74.10	61.51	100.55	11.60	10.71
11:21	31.59	56.67	65.18	74.20	61.42	95.66	10.16	10.64
11:22	31.49	58.15	66.23	73.70	61.25	92.54	10.45	10.52
11:23	32.21	55.70	65.26	73.00	61.21	92.60	10.57	10.68
11:24	32.30	58.11	65.92	71.70	60.00	97.56	10.76	10.75
11:25	32.60	59.38	65.80	70.80	59.65	93.59	10.78	10.78
11:26	31.93	59.43	64.26	71.00	59.31	90.37	10.34	10.85
11:27	32.34	59.37	64.92	71.40	58.32	97.56	10.77	10.78
11:28	32.09	59.43	65.80	71.70	58.75	89.58	10.72	10.84
11:29	32.18	59.47	65.92	71.80	59.77	84.62	10.52	10.92
11:30	32.87	59.65	66.80	71.80	60.15	89.58	10.53	10.85
11:31	32.61	59.23	66.78	72.60	60.31	89.28	10.59	10.90
11:32	32.76	58.26	67.95	73.60	60.46	91.42	10.74	10.87
11:33	32.74	58.18	67.75	75.00	60.41	88.40	10.68	10.89
11:34	32.73	58.13	67.89	76.50	60.74	91.63	10.43	10.81
11:35	32.69	58.58	67.61	77.20	60.24	88.58	10.98	10.84

**ตารางที่ ง.4** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพอรุน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
11:36	32.25	58.34	68.40	77.70	60.75	90.87	10.12	10.88
11:37	32.95	60.18	68.21	78.40	60.42	95.22	10.36	10.97
11:38	32.47	58.34	68.74	79.10	60.74	94.68	10.49	10.94
11:39	31.83	56.81	68.74	79.50	60.85	91.42	10.44	10.97
11:40	32.63	55.98	68.74	79.50	60.42	96.44	10.65	11.03
11:41	32.46	55.54	68.74	79.40	60.41	98.06	10.30	10.98
11:42	32.25	56.89	68.15	78.70	60.46	94.55	10.58	10.96
11:43	32.43	56.28	67.95	77.50	60.49	92.62	10.71	10.96
11:44	32.83	55.55	69.00	75.60	61.02	88.55	10.64	10.97
11:45	32.73	57.00	69.12	73.90	62.42	89.89	10.71	10.18
11:46	32.88	55.55	69.17	72.90	65.74	97.17	10.82	11.07
11:47	32.58	55.12	69.24	73.00	65.74	95.93	10.46	11.07
11:48	33.15	55.32	68.34	73.70	65.80	92.82	10.18	10.86
11:49	32.90	56.05	67.41	74.40	65.98	89.93	10.31	10.93
11:50	31.70	56.86	67.74	75.30	67.14	86.99	10.40	11.04
11:51	32.69	59.28	67.62	76.20	68.41	91.73	10.31	11.11
11:52	32.60	59.78	67.45	77.00	68.74	89.56	10.64	11.08
11:53	32.72	59.15	67.84	77.90	68.84	28.94	10.06	10.96
11:54	32.97	58.36	69.85	78.60	68.92	91.87	10.10	10.97
11:55	32.67	58.59	69.89	67.40	68.74	93.13	10.17	11.07
11:56	32.64	58.54	69.90	67.40	69.74	91.27	10.39	11.15
11:57	32.41	58.03	70.18	75.70	69.52	89.63	10.45	11.13
11:58	32.83	58.14	71.25	76.20	69.54	90.41	10.42	11.16
11:59	32.98	58.03	71.30	76.50	69.63	88.29	10.35	11.23
12:00	32.81	58.02	71.84	71.30	69.67	82.00	10.62	11.26
12:01	32.66	57.32	71.41	76.80	69.74	79.73	10.55	11.27
12:02	33.20	57.27	69.47	76.10	69.82	78.88	10.50	11.29
12:03	32.87	56.13	69.84	75.60	69.91	77.09	10.45	11.27
12:04	32.04	55.89	58.03	75.50	69.98	75.54	10.44	11.21
12:05	32.23	55.43	58.14	75.00	70.10	75.70	10.73	11.17
12:06	33.50	55.30	67.25	74.80	70.16	81.70	10.77	11.16
12:07	33.87	54.44	68.42	74.50	71.42	84.02	10.71	11.06
12:08	33.20	53.99	68.30	69.20	71.20	81.29	10.60	11.04
12:09	33.10	54.59	57.27	71.10	71.42	81.84	10.72	11.12
12:10	32.84	54.89	56.13	69.80	70.45	80.11	10.70	11.23
12:11	33.07	54.83	55.89	73.10	70.68	83.01	10.84	11.19
12:12	33.06	54.50	55.43	66.30	70.72	86.04	10.75	11.32
12:13	32.55	54.13	55.30	64.90	70.24	86.02	10.82	11.21
12:14	32.84	53.45	54.44	66.70	70.56	89.74	10.91	11.21

**ตารางที่ ง.4** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
12:15	31.79	53.33	53.99	64.90	70.74	88.17	10.76	11.20
12:16	32.75	52.90	54.59	64.90	70.68	89.75	10.84	11.29
12:17	33.11	53.12	54.89	65.60	71.20	91.14	10.85	11.32
12:18	32.72	53.17	54.83	69.20	71.89	91.31	10.87	11.34
12:19	31.89	53.02	54.50	70.00	71.24	88.65	10.82	11.34
12:20	31.59	53.03	54.13	66.20	71.42	87.20	10.92	11.36
12:21	31.84	53.23	53.45	67.90	71.30	84.18	11.01	11.37
12:22	32.38	53.37	53.33	69.60	71.20	83.61	11.25	10.76
12:23	32.08	53.07	52.90	65.10	71.32	83.13	10.90	11.36
12:24	32.69	53.45	53.12	67.70	70.77	83.11	10.99	11.41
12:25	32.07	53.41	53.17	67.80	70.41	38.13	10.73	11.37
12:26	33.07	53.19	53.02	66.90	73.70	84.44	10.96	11.35
12:27	32.44	53.44	53.03	63.10	72.10	85.91	10.82	11.37
12:28	33.08	53.50	53.23	62.60	71.60	87.28	10.52	11.21
12:29	33.60	64.04	53.37	60.60	71.50	78.80	10.49	11.07
12:30	33.06	60.98	53.07	62.50	71.40	84.60	10.61	11.18
12:31	33.32	54.01	53.45	65.00	71.40	91.30	10.69	11.20
12:32	32.91	51.98	53.41	62.20	71.40	94.60	10.39	10.96
12:33	33.21	52.18	53.19	64.40	72.45	102.60	10.65	10.99
12:34	33.11	53.21	53.44	61.60	72.75	98.10	10.77	11.11
12:35	32.90	52.90	53.50	62.50	72.85	91.10	10.80	11.13
12:36	33.27	53.27	64.04	62.10	72.86	98.40	10.85	11.18
12:37	32.72	54.13	60.98	60.40	72.95	107.40	10.72	11.15
12:38	32.91	54.04	54.01	61.90	72.41	106.00	10.68	11.12
12:39	33.83	53.30	54.42	61.30	73.49	98.90	10.79	11.11
12:40	33.90	53.87	54.61	61.10	73.84	103.70	10.79	11.06
12:41	33.44	54.42	54.71	60.90	74.85	98.30	10.79	11.08
12:42	33.40	54.61	54.90	60.30	72.41	91.90	10.68	11.01
12:43	33.59	55.23	54.86	59.20	72.45	94.80	10.70	11.00
12:44	33.52	54.15	55.08	60.20	73.25	95.80	10.75	11.01
12:45	33.63	54.37	55.14	60.80	73.42	95.10	10.84	11.03
12:46	33.27	54.74	55.54	62.10	73.75	92.60	10.72	10.92
12:47	32.96	54.19	54.78	61.90	73.57	93.20	10.87	11.08
12:48	33.56	54.54	54.60	61.00	73.48	89.00	10.93	11.11
12:49	33.89	55.09	54.89	61.20	73.27	87.90	11.01	11.16
12:50	33.27	54.57	54.42	61.70	72.41	83.00	11.00	11.17
12:51	34.14	55.04	54.43	60.80	73.48	82.20	11.01	11.13
12:52	33.94	55.31	54.75	62.00	73.48	80.80	10.93	11.10
12:53	34.34	54.92	54.95	62.30	72.80	79.90	10.90	11.10
12:54	33.97	54.06	54.41	62.30	74.51	105.60	11.05	11.11

ตารางที่ ง.4 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถึงน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
12:55	33.67	54.87	54.58	61.10	75.70	107.70	10.94	11.10
12:56	33.99	55.30	54.36	60.20	75.50	101.20	10.90	10.96
12:57	33.51	55.36	54.76	62.70	75.50	102.70	10.57	10.77
12:58	33.25	55.13	54.43	60.80	75.50	101.50	10.77	10.83
12:59	33.10	54.30	54.72	56.80	75.50	102.60	10.63	10.55
13:00	32.83	54.23	54.97	52.80	75.40	98.10	10.09	10.26
13:01	33.42	54.72	54.94	53.10	75.40	91.10	10.85	9.99
13:02	33.16	54.45	55.12	69.90	75.40	98.40	10.42	9.53
13:03	33.47	54.45	54.85	79.20	75.40	107.40	10.77	9.88
13:04	34.08	54.15	54.72	71.30	75.40	106.00	10.28	9.50
13:05	33.58	53.59	54.63	68.00	75.30	98.90	10.10	9.37
13:06	32.96	54.58	54.59	64.30	75.30	94.10	10.52	9.54
13:07	32.64	54.66	54.42	63.70	75.30	94.00	10.39	9.50
13:08	32.78	54.65	54.87	60.70	75.30	96.80	10.14	9.30
13:09	32.60	54.99	55.24	61.20	75.20	89.00	10.89	9.26
13:10	34.17	55.47	55.65	60.30	75.20	94.26	10.92	9.25
13:11	32.61	55.50	55.22	60.10	75.30	94.16	10.94	9.55
13:12	32.25	55.74	55.33	68.20	75.20	93.30	10.75	9.39
13:13	33.83	56.05	55.76	73.30	74.98	91.34	10.03	10.09
13:14	34.50	55.10	55.74	70.70	74.75	88.85	10.29	10.28
13:15	34.90	56.07	55.98	69.10	74.69	86.92	10.42	10.41
13:16	33.69	56.28	62.45	66.20	74.37	84.65	10.47	10.46
13:17	33.72	56.44	62.35	70.60	73.12	83.46	10.57	10.61
13:18	33.04	56.21	62.03	70.20	73.45	85.34	10.79	10.81
13:19	33.23	56.07	62.35	71.40	73.74	86.88	10.86	10.86
13:20	32.28	56.68	62.26	69.00	73.84	84.75	10.81	10.84
13:21	32.94	57.18	61.92	64.30	73.85	82.52	10.77	10.81
13:22	32.72	56.64	64.80	63.70	73.84	79.42	10.69	10.85
13:23	32.90	56.49	63.03	60.70	72.41	76.85	10.81	9.96
13:24	32.89	56.60	63.03	61.20	72.14	75.37	10.67	9.76
13:25	33.55	56.50	63.12	60.30	70.42	77.07	10.74	9.83
13:26	32.96	56.77	64.41	60.10	70.85	80.43	10.24	10.29
13:27	33.09	57.03	63.15	67.00	73.84	84.90	10.48	10.55
13:28	32.41	57.84	57.62	69.10	73.85	86.85	10.93	10.98
13:29	31.93	57.74	61.41	68.70	73.84	91.68	10.93	10.84
13:30	32.11	57.79	61.41	70.40	72.41	91.07	10.74	10.62
13:31	32.74	57.29	58.01	70.60	72.14	89.87	10.73	10.58
13:32	33.28	57.26	58.25	72.00	69.75	90.78	10.64	10.26
13:33	32.60	57.01	57.64	70.60	69.74	90.88	10.65	9.47



**ตารางที่ ง.4** การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
13:34	32.09	56.99	57.54	67.60	69.25	89.67	10.69	9.39
13:35	32.29	56.95	56.84	68.30	68.24	87.94	10.13	9.41
13:36	33.71	57.40	56.40	69.40	68.74	86.33	10.54	9.75
13:37	32.15	57.10	55.63	70.10	67.45	86.83	10.29	9.62
13:38	31.90	56.40	55.58	70.20	67.32	87.28	10.24	9.57
13:39	32.02	57.04	56.67	69.40	70.77	85.08	10.10	9.63
13:40	31.93	57.21	56.95	69.20	70.41	87.07	9.82	9.68
13:41	32.24	57.18	56.80	72.30	70.42	85.44	10.08	9.99
13:42	32.80	57.49	57.08	74.20	63.84	88.21	9.74	9.18
13:43	32.97	57.00	57.55	74.30	64.30	89.15	8.94	8.97
13:44	34.12	57.08	57.45	73.60	64.27	89.76	9.04	9.15
13:45	33.35	57.49	57.59	73.80	63.81	87.86	8.80	8.84
13:46	32.93	58.05	56.64	73.10	63.46	86.70	8.48	8.53
13:47	33.46	58.07	55.83	70.70	63.77	84.94	8.53	8.61
13:48	32.96	57.90	57.25	67.30	64.09	82.67	8.32	8.39
13:49	32.26	57.84	57.48	64.90	64.62	81.15	9.21	9.21
13:50	31.92	57.65	57.81	66.40	64.64	80.31	9.20	9.19
13:51	33.36	58.22	56.70	69.10	64.81	79.67	9.47	9.47
13:52	33.28	58.76	56.32	70.00	64.66	81.46	8.96	8.98
13:53	33.33	58.88	57.06	70.50	64.28	81.40	8.90	8.86
13:54	32.39	58.41	57.49	72.30	64.14	79.83	9.06	9.02
13:55	32.43	58.69	57.95	68.90	63.99	78.91	9.18	9.17
13:56	32.66	57.63	57.67	71.50	63.54	78.96	8.68	8.70
13:57	32.37	58.32	57.76	66.10	63.41	77.20	9.11	9.11
13:58	33.09	58.05	57.22	63.70	63.61	77.54	9.13	9.07
13:59	33.45	57.39	57.21	61.40	63.55	77.63	9.16	9.13
14:00	33.36	57.33	56.95	59.40	63.27	76.06	8.76	8.77
14:01	32.92	56.70	57.16	77.00	63.05	74.73	8.77	8.80
14:02	33.34	57.27	56.63	93.30	63.36	74.41	8.75	8.72
14:03	33.65	57.10	56.16	81.10	62.54	75.47	8.85	8.84
14:04	34.25	56.74	55.89	78.00	62.70	75.70	9.23	9.15
14:05	33.51	56.41	56.68	92.70	62.47	73.96	9.68	9.58
14:06	33.34	56.35	57.33	80.50	63.11	72.52	9.28	9.32
14:07	32.62	56.56	59.76	72.50	63.35	70.66	9.14	9.90
14:08	32.43	57.39	59.57	74.40	63.48	72.25	9.09	9.86
14:09	32.51	57.47	57.43	78.90	63.58	52.94	9.08	9.83
14:10	32.18	57.14	56.13	76.70	63.71	75.79	9.13	9.77
14:11	32.17	57.59	58.24	82.70	63.17	76.18	9.48	9.70
14:12	32.39	57.76	58.45	80.80	62.45	76.11	9.74	9.50

ตารางที่ ง.4 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
14:13	32.34	57.60	58.71	62.30	62.44	71.98	9.78	9.54
14:14	34.24	56.60	56.49	76.20	62.28	70.81	9.87	9.81
14:15	34.83	56.70	51.71	76.50	61.88	71.47	9.74	9.54
14:16	33.63	56.37	55.60	75.70	61.69	71.81	9.68	9.55
14:17	33.05	56.46	56.58	74.40	61.32	76.12	9.81	9.32
14:18	32.97	57.03	59.47	73.00	61.54	87.70	9.84	9.29
14:19	33.10	56.84	55.69	71.20	62.24	83.50	9.79	9.11
14:20	34.27	56.23	55.16	68.60	62.19	81.80	9.71	9.21
14:21	34.40	56.49	55.31	66.40	61.55	82.10	9.66	9.09
14:22	32.84	56.25	54.73	63.80	61.28	87.80	9.71	9.06
14:23	32.29	56.54	55.29	61.70	61.81	86.60	9.57	8.94
14:24	32.32	56.16	56.24	61.60	61.78	84.60	9.80	9.14
14:25	32.38	55.90	59.95	62.10	61.23	86.50	9.84	9.13
14:26	32.20	55.38	55.83	65.70	61.03	90.50	9.77	9.07
14:27	32.38	55.87	56.20	67.40	61.31	87.40	9.78	9.03
14:28	32.28	55.25	55.78	68.40	61.85	91.70	9.78	9.01
14:29	32.13	56.29	55.33	67.80	61.79	86.40	9.81	8.95
14:30	32.28	56.18	55.78	66.10	61.82	80.00	9.64	8.93
14:31	32.52	55.59	56.23	67.50	61.95	74.70	9.62	8.87
14:32	32.64	56.15	56.71	67.80	62.10	75.10	9.73	8.79
14:33	32.44	55.80	56.77	69.30	61.56	80.30	9.55	8.83
14:34	32.76	55.59	55.99	67.80	61.35	80.90	9.39	8.79
14:35	32.83	54.67	56.45	67.50	61.56	87.40	9.40	8.77
14:36	32.53	54.73	55.63	68.10	61.59	87.70	9.56	8.71
14:37	32.53	54.78	55.62	68.40	61.80	83.50	9.25	8.63
14:38	33.36	55.25	55.26	67.90	61.66	81.80	9.32	8.58
14:39	32.88	55.30	56.44	67.70	61.40	82.10	9.15	8.49
14:40	32.99	55.57	56.80	66.30	61.54	87.80	9.07	8.42
14:41	33.59	54.77	57.10	67.50	61.58	86.60	9.04	8.30
14:42	33.50	55.05	56.62	68.80	61.31	84.60	8.93	8.24
14:43	33.67	55.38	55.75	68.80	61.50	86.50	9.02	8.20
14:44	34.29	55.65	56.11	69.30	61.16	82.10	8.89	8.16
14:45	35.01	55.66	56.31	69.60	61.38	73.10	8.81	8.18
14:46	35.13	55.17	56.45	71.00	61.79	73.30	8.91	8.19
14:47	35.03	54.79	56.67	69.90	61.55	78.80	8.90	8.17
14:48	34.74	55.08	55.51	69.00	61.47	84.60	8.76	8.13
14:49	34.57	55.00	56.02	69.00	61.47	91.30	8.82	8.09
14:50	34.40	55.14	57.51	69.30	61.21	94.60	8.85	8.04
14:51	34.63	54.67	58.23	69.40	61.18	81.90	8.84	7.99

ตารางที่ ง.4 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (ถังน้ำ) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
14:52	34.26	54.81	58.45	70.10	61.25	82.00	8.87	8.00
14:53	34.40	54.19	57.22	69.80	61.70	81.10	8.82	7.98
14:54	34.18	54.33	57.88	70.40	61.37	79.90	8.76	7.87
14:55	34.04	54.94	58.26	70.60	61.26	80.00	8.72	7.76
14:56	34.49	54.46	57.71	71.10	61.18	79.10	8.55	7.70
14:57	34.45	54.46	57.63	71.10	61.49	78.90	8.43	7.60
14:58	33.85	53.78	57.34	71.10	61.33	77.90	8.40	7.50
14:59	34.38	54.10	57.19	70.00	61.36	73.80	8.50	7.57
15:00	34.34	54.30	57.17	70.40	61.33	71.20	8.54	7.55
15:01	33.74	54.11	56.48	70.00	61.14	70.50	8.40	7.46
15:02	33.55	54.20	56.33	69.40	60.63	71.60	8.47	7.48
15:03	34.67	53.70	56.19	69.50	60.69	70.90	8.49	7.49
15:04	33.85	53.93	55.30	69.60	60.58	75.50	8.30	7.41
15:05	33.97	53.89	55.13	69.10	60.71	76.40	8.36	7.40
15:06	33.97	53.24	54.54	69.30	60.18	76.50	8.42	7.38
15:07	34.69	53.15	53.86	69.40	59.60	76.00	8.37	7.40
15:08	34.17	53.27	54.10	69.70	59.66	77.90	8.19	7.29
15:09	34.62	53.74	53.69	70.00	59.64	72.30	8.32	7.27
15:10	33.85	53.79	53.76	69.30	59.34	75.40	8.37	7.33
15:11	34.20	53.22	52.33	69.00	58.84	81.90	8.40	7.29
15:12	33.88	53.07	52.84	70.30	58.33	82.00	8.02	7.10
15:13	33.86	53.31	53.51	70.10	58.41	81.10	7.85	6.89
15:14	34.26	52.93	52.67	70.50	58.79	79.90	7.67	6.72
15:15	33.90	53.06	53.66	71.30	58.90	80.00	7.63	6.64
15:16	33.88	52.74	55.38	70.10	59.02	79.10	7.36	6.53
15:17	33.91	52.71	54.06	69.40	58.96	78.90	7.53	6.45
15:18	34.13	52.91	53.21	68.90	58.60	77.90	7.50	6.47
15:19	33.86	52.53	54.65	67.50	58.62	73.80	7.45	6.40
15:20	33.68	52.11	54.53	67.50	58.28	71.20	7.34	6.33
15:21	35.20	51.65	54.18	67.90	58.23	70.50	7.69	6.43
15:22	34.01	52.21	54.19	69.30	57.81	71.60	7.76	6.48
15:23	33.96	52.29	54.68	70.80	57.45	70.90	7.67	6.45
15:24	34.46	52.33	54.14	71.30	57.25	75.50	7.60	6.41
15:25	33.80	52.47	54.88	71.60	57.61	76.40	7.78	6.47
15:26	33.78	51.83	54.89	70.90	57.60	76.50	7.69	6.37
15:27	33.61	52.43	55.57	68.40	57.50	76.00	7.47	6.24
15:28	33.64	52.06	56.77	69.90	57.67	77.90	7.47	6.18
15:29	33.83	51.76	56.03	67.10	57.61	72.30	7.46	6.15
15:30	33.78	51.56	55.08	69.70	57.28	69.90	7.48	6.09

ตารางที่ ง.4 การบันทึกผลการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน (ต่อ)

เวลา	T1 (amb) (°C)	T2 (Bower) (°C)	T3 (น้ำเข้า) (°C)	T4 (Cover) (°C)	T5 (น้ำออก) (°C)	T6 (Inside col) (°C)	G1 (On hel) (mV)	G2 (Horizon) (mV)
15:31	33.64	50.35	54.53	68.80	57.40	71.20	7.25	6.03
15:32	33.95	48.46	56.37	67.80	57.30	71.80	7.18	5.95
15:33	34.08	47.11	54.60	69.70	57.34	68.50	7.13	5.84
15:34	33.97	40.66	55.66	69.80	57.28	70.50	6.90	5.70
15:35	33.70	40.93	54.89	69.30	57.26	90.50	7.01	5.71
15:36	33.84	53.48	54.68	68.00	57.26	87.40	7.01	5.70
15:37	33.76	40.68	54.30	67.10	56.98	91.70	6.99	5.72
15:38	33.65	45.10	53.04	66.40	56.81	86.40	7.00	5.70
15:39	33.71	52.13	51.90	64.60	56.70	80.00	6.98	5.70
15:40	33.89	52.06	52.43	64.70	56.86	74.70	7.01	5.67
15:41	33.60	52.05	52.20	65.40	56.34	75.10	7.10	5.62
15:42	33.44	51.80	51.81	65.10	56.18	80.30	7.04	5.54
15:43	34.10	51.72	51.46	65.60	55.79	80.90	6.99	5.54
15:44	34.01	50.94	51.27	66.20	56.02	87.40	6.97	5.52
15:45	34.00	51.06	51.02	66.10	56.05	87.70	6.93	5.47
15:46	33.91	50.87	51.53	67.00	56.89	83.50	6.94	5.42
15:47	33.70	50.61	51.06	67.50	55.28	81.80	6.80	5.34
15:48	33.85	50.72	51.76	66.70	55.91	82.10	6.63	5.25
15:49	33.64	50.26	51.40	66.50	55.63	87.80	6.72	5.27
15:50	33.83	51.12	51.29	47.40	55.39	86.60	6.61	5.20
15:51	33.80	51.08	50.36	46.90	54.18	84.60	6.59	5.17
15:52	33.31	51.13	50.31	54.00	54.03	86.50	6.73	5.12
15:53	34.18	51.14	51.35	50.20	54.60	82.10	6.68	5.10
15:54	34.58	51.40	50.47	50.50	53.89	73.10	6.53	5.07
15:55	34.31	51.23	51.65	55.50	53.85	73.30	6.39	5.00
15:56	34.80	50.99	50.79	56.50	54.58	78.80	6.29	4.85
15:57	34.23	54.65	52.72	54.70	53.75	84.60	6.20	4.83
15:58	34.06	54.89	51.26	54.10	53.50	91.30	6.27	4.67
15:59	34.16	54.10	51.32	55.00	53.00	94.60	6.15	3.98
16:00	34.65	55.41	50.50	54.50	52.50	94.60	6.04	3.81



ภาคผนวก จ

ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่

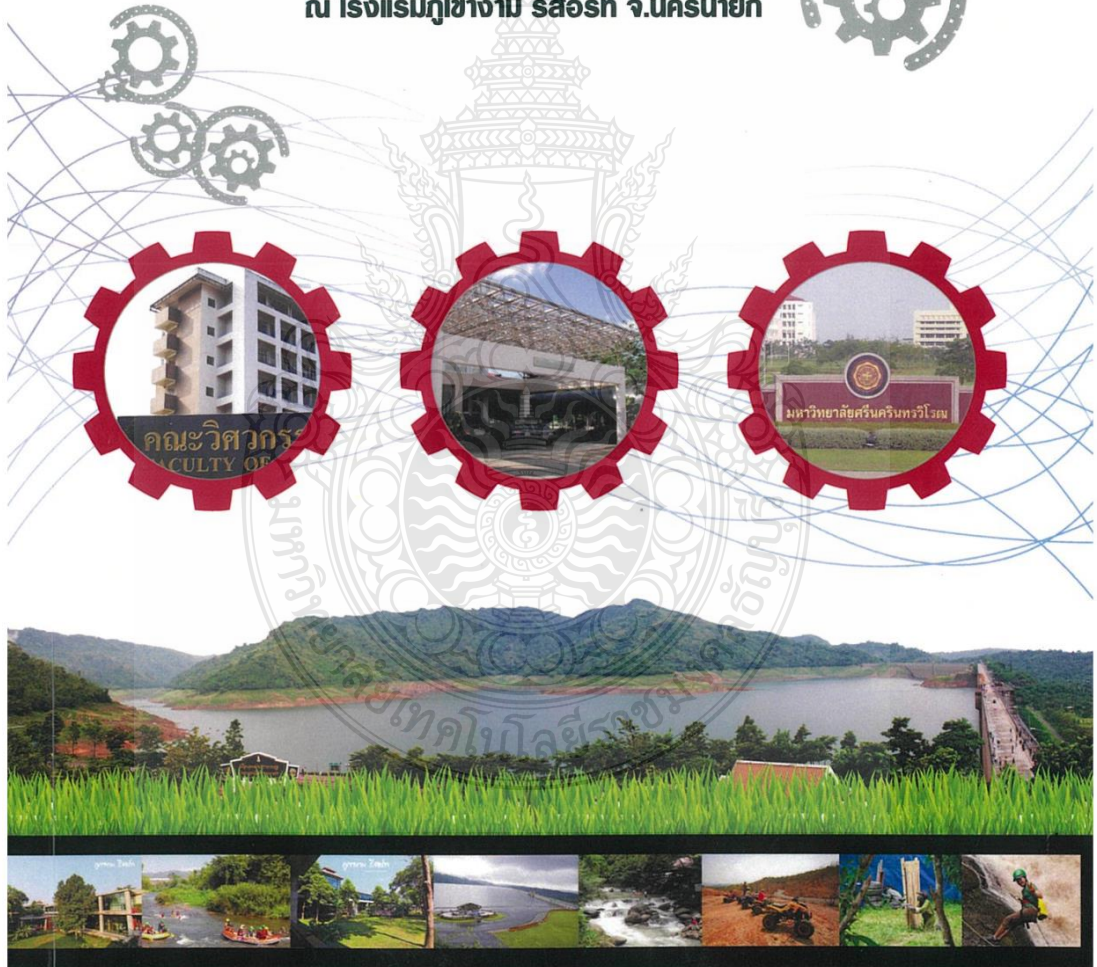


# Proceedings

## The 31<sup>st</sup> Conference

of Mechanical Engineering Network of Thailand

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31  
ระหว่างวันที่ 4 - 7 กรกฎาคม 2560  
ณ โรงแรมภูเขาแก้ว รีสอร์ท จ.นครนายก







## การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ ๓๑

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้เพื่อแสดงความ

รุ่งเพชร เกษอินทร์ และ บุญยฤทธิ์ ประสาทแก้ว

ได้เข้าร่วมเสนอบทความ

เรื่อง " การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแฝงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงโดยใช้วัสดุคัพรูบน "

ระหว่างวันที่ ๕ - ๗ กรกฎาคม ๒๕๖๖

ณ โรงแรมอูเตงาม รีสอร์ท นครนายก



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดา เจริญพรพาณิชย์

นายกสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลไทย



อาจารย์สมชาย น้อยใส

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

**รายชื่อคณะกรรมการจัดการประชุม  
วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ ๓๑**

**ที่ปรึกษา**

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

**คณะกรรมการอำนวยการจัดงาน**

- |   |                            |
|---|----------------------------|
| 1. อาจารย์สมชาย แฉ่มใส                      | ประธานกรรมการ              |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล            | กรรมการ                    |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญแนวณิชกุล | กรรมการ                    |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาศภูมิ ศรีรัมย์   | กรรมการ                    |
| 5. อาจารย์ ดร.สมมาศ แก้วล้วน                | กรรมการ                    |
| 6. อาจารย์ไทร ตะระนันท์                     | กรรมการและเลขานุการ        |
| 7. นางสาวสุวิษานันท์ นพพร                   | กรรมการและผู้ช่วยเลขานุการ |

**คณะกรรมการฝ่ายวิชาการ**

- |  |               |
|--|---------------|
| 1. รองศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล นามผล               | ประธานกรรมการ |
| 2. รองศาสตราจารย์ ดร.กัณวีร พลุปรายญ์          | กรรมการ       |
| 3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรภัทร หลิมบุญเรือง      | กรรมการ       |
| 4. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา บุญแนวณิชกุล    | กรรมการ       |
| 5. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สาทิศพรประศาสน์ | กรรมการ       |
| 6. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาวดี ศรีเจริญ      | กรรมการ       |
| 7. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาวี ศรีสุทธิกุล      | กรรมการ       |
| 8. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาศภูมิ ศรีรัมย์      | กรรมการ       |
| 9. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิริย อึ้งบุญนงศ์     | กรรมการ       |
| 10. ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิทัศน์ อธิชัย           | กรรมการ       |
| 11. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธเนศ อธิวิริยะวงศ์       | กรรมการ       |
| 12. ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกียรติชัย วัชรชาติ      | กรรมการ       |
| 13. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภัทล วรรณชัย         | กรรมการ       |
| 14. อาจารย์ ดร.สมมาศ แก้วล้วน                  | กรรมการ       |
| 15. อาจารย์ ดร.มนัส แป้งใส                     | กรรมการ       |
| 16. อาจารย์สมชาย แฉ่มใส                        | กรรมการ       |





## ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ

### การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ ๓๑

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ร่วมกับสมาคมวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ได้มีการเชิญผู้ทรงคุณวุฒิจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่เป็นสมาชิกเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย จากสถาบันการศึกษาต่างๆทั่วประเทศ จำนวนรวมทั้งสิ้น 39 สถาบัน ที่มีความเชี่ยวชาญในแต่ละสาขาเป็นผู้พิจารณาบทความ ซึ่งในการประชุมวิชาการวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ ๓๑ ดังนี้

#### สาขา Alternative Energy and Combustion (AEC)

ดร.อดิพงษ์ นันทพันธ์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ศ.ดร.สำเร็จ จักรใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ดร.อุษา มากมูล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.กุสภานา ภูษาฮา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ยศพงษ์ ลออนวล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.อมรรัตน์ แก้วประดับ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ผศ.ดร.ประสาน สถิตย์เรืองศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
รศ.ดร.ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผศ.ดร.บุญญฤทธิ์ ประสาทแก้ว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ดร.รัฐศักดิ์ พรหมมาศ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ผศ.ดร.จารุวัฒน์ เจริญจิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ดร.สุกิจ นิตินัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผศ.ดร.ปรีชา ชันติโกมล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รศ.ดร.รัชพล สันติวารการ	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ผศ.ดร.สรารุช วกกิจ	มหาวิทยาลัยมหิดล
ผศ.ดร.ธิบดินทร์ แสงสว่าง	มหาวิทยาลัยศิลปากร
ดร.กฤษ สมนึก	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.ธีระยุทธ หลีวิจิตร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
รศ.กำพล ประทีปชัยกูร	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผศ.ดร.ประชาสันติ ไตรยสุทธิ์	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ดร.ณัฐวุฒิ หลิวพิริยะวงศ์	มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์

รศ.ดร.จารุวัตร เจริญสุข  
รศ.ดร.ไพศาล นาผล  
ผศ.ดร.ภาคภูมิ ศรีธรรมรินทร์  
อ.ดร.สมมาส แก้วล้วน  
ผศ.ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์  
ผศ.ดร.ประชา บุณยวานิชกุล  
ผศ.ดร.พิชัย อัมภุมงคล  
ดร. มนัส แป้งใส  
ผศ.ดร.สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว  
รศ.ดร.ศิริวรรณ ศรีสรณ์  
ผศ.ดร.จันจิรา จัปศิลป์  
ผศ.ดร.ภรณ์ ศรีธรรมรินทร์  
ผศ.ดร.อาจรี ศุภสุทธิกุล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

#### สาขา Aerospace and Marine Engineering (AME)

ดร.ภาคพงศ์ จันทเปรมจิตต์  
ผศ.ดร.สิริวิทย์ เตชะเจษฎารังษี  
ผศ.ดร.ธนภัทร์ วานิชานนท์  
ผศ.ดร.บุญชัย วัจจะตรากุล  
ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ ผกามาศ  
รศ.ดร.เจริญยุทธ เดชายุกุล  
น.อ.ศ.ดร.สมชาย หาญกล้า  
น.อ.โอจตุศิลป์ นิลุบล

มหาวิทยาลัยบูรพา  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
มหาวิทยาลัยมหิดล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช  
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

#### สาขา Applied Mechanics, Materials and Manufacturing (AMM)

น.อ.ศ.ดร. สมชาย หาญกล้า  
ผศ.ดร.อลงกรณ์ พิมพ์พิณ  
รศ.ดร.ไพโรจน์ สิงหนัดกิจ  
ผศ.ดร.คุณยุต เอี่ยมสะอาด  
ผศ.ดร.หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ  
ดร.อรรถพร วิเศษสินธุ์

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รศ.ดร.จาร์วัตร เจริญสุข  
รศ.ดร.ไพศาล นาผล  
ผศ.ดร.ภาคภูมิ ศรีธรรมรินทร์  
อ.ดร.สมมาส แก้วล้วน  
ผศ.ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์  
ผศ.ดร.ประชา บุณยวานิชกุล  
ผศ.ดร.พิชัย อัมภุมงคล  
ดร. มนัส แป้งใส  
ผศ.ดร.สิทธิพันธ์ ท่อแก้ว  
รศ.ดร.ศิริวรรณ ศรีสรณ์  
ผศ.ดร.จันจิรา จัปศิลป์  
ผศ.ดร.ภรณ์ ศรีธรรมรินทร์  
ผศ.ดร.อาจรี ศุภสุทธิกุล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

#### สาขา Aerospace and Marine Engineering (AME)

ดร.ภาคพงศ์ จันทเปรมจิตต์  
ผศ.ดร.สิริวิทย์ เตชะเจษฎารังษี  
ผศ.ดร.ธนภัทร์ วานิชานนท์  
ผศ.ดร.บุญชัย วัจจะตราชกุล  
ผศ.ดร.พงษ์ศักดิ์ ผกามาศ  
รศ.ดร.เจริญยุทธ เดชายุกุล  
น.อ.ศ.ดร.สมชาย หาญกล้า  
น.อ.โอจตุศิลป์ นิลุบล

มหาวิทยาลัยบูรพา  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
มหาวิทยาลัยมหิดล  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช  
โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช

#### สาขา Applied Mechanics, Materials and Manufacturing (AMM)

น.อ.ศ.ดร. สมชาย หาญกล้า  
ผศ.ดร.อลงกรณ์ พิมพ์พิณ  
รศ.ดร.ไพโรจน์ สิงหนัดกิจ  
ผศ.ดร.คุณยุต เอี่ยมสะอาด  
ผศ.ดร.หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ  
ดร.อรรถพร วิเศษสินธุ์

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ผศ.ดร.อิทธิกร วงศชนนวิศ  
ผศ.ดร.ธีรนุช จันทโสภีพันธ์  
ผศ.ดร.ภัทรมน จงประดิษฐ์  
ผศ.ดร.กัมปนาท ศิริเวทิน  
ผศ.ดร.พิชัย จันทร์มณี  
ผศ.ดร. สโรชา เจริญวัย  
ดร.ประกอบ ชาตีกุศล  
ดร.รัตน์ บิริสุทธิกุล  
รศ.ดร. รุ่งทิพย์ พันธเมธากุล  
ดร.อัญชลี แสงชัย  
ดร.จารุพล สุริยวานากุล  
ผศ.ดร.นำพล มหายศนันท์  
ดร. จักรพันธ์ ชวนอาษา  
ดร. นิตติกร นรภัยพิพากษา  
ผศ.ดร. สมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย  
ผศ.ดร.บรรยงศ์ รุ่งเรืองด้วยบุญ  
ผศ.ดร.สัปปินันท์ เอกอำพน  
รศ.ดร.ชาวสวน กาญจโนมัย  
รศ.ดร.ดุสิตโชติ ชลศึกษ์  
รศ.ดร.ธีระ เจียศิริพงษ์กุล  
รศ.ดร.บุษบา พุกษาพันธุ์รัตน์  
ผศ.ดร.รัตนา การุญบุญญานันท์  
ดร.จิตติ พัทธวินิช  
ผศ.ดร.พุกธา จินครวั  
รศ.ดร.กิตติพงศ์ บุญโล่ง  
ผศ.ดร. สราวุธ เวชกิจ  
ผศ.ดร.ปัญญา อรุณจรัสธรรม  
รศ.ดร. สุธรรม นียมवास  
รศ.ดร.เจริญยุทธ เดชายุกุล  
รศ.ดร.วิริยะ ทองเรือง  
รศ.ปริญญ์รักษ์ งามศรีตระกูล  
รศ.ดร.ชเนศ รัตนวิไล  
ผศ.ดร.มนต์ศักดิ์ พิมสาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพมหานคร  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
มหาวิทยาลัยบูรพา  
มหาวิทยาลัยบูรพา  
มหาวิทยาลัยบูรพา  
มหาวิทยาลัยมหิดล  
มหาวิทยาลัยมหิดล  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร. กัญวริช พูลปราชญ์  
อ.สมชาย แยมใส  
อ.ไตร คระระนันท์  
รศ.วิชิต บัวแก้ว  
ผศ.นิตต์อลิน พันธุ์อภัย  
ผศ.ดร.สิทธินันท์ ท่อแก้ว  
รศ.ดร.ศิริวรรณ ศรีสรจันทร์  
ผศ.ดร.จันจิรา จับศิลป์  
ผศ.ดร.ภรณ์ ศรีมรินทร์  
ผศ.ธีรภัทร หลิมบุญเรือง

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

#### สาขา Biomechanics (BME)

ดร.ณัฐฉา หลิวพิริยะวงศ์  
ผศ.ดร.จักรกฤษณ์ ศุทธากรณ์  
ดร.พรทิพย์ แก่งอินทร์  
ผศ.ดร.ปัญญา อรุณจรัสธรรม  
ผศ.ดร. ชีรพจน์ เวศพันธ์  
ผศ.ดร.สิริวิทย์ เตชะเจษฎารังษี  
ผศ.ดร.ธีรนุช จันทโสภีพันธ์  
ผศ.ดร.บรรยงค์ รุ่งเรืองด้วยบุญ  
ผศ.ดร.อลงกรณ์ พิมพ์พิณ  
รศ.ดร.วิริยะ ทองเรือง  
อ.ชลิตา หิรัญสุข  
อ.ดร.อัมราพร บุญประทะทอง  
อ.ดร.วงวิทย์ เสนะวงศ์

มหาวิทยาลัยแห่งชาติสิงคโปร์  
มหาวิทยาลัยมหิดล  
มหาวิทยาลัยมหิดล  
มหาวิทยาลัยมหิดล  
มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

#### สาขา Computational and Simulation Techniques (CST)

น.อ.ศ.ดร. สมชาย หาญกล้า  
ศ.ดร.ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช  
ดร.พระพีพัฒน์ ภาสบุตร  
รศ.ดร.บุษบา พุกษาพันธุ์รัตน์

โรงเรียนนายเรืออากาศนวมินทกษัตริยาธิราช  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

TSF-06.....	1364
การหาค่าประสิทธิภาพการนำความร้อน (ETC) ของวัสดุพรุนชนิดเม็ดกลมอัดแน่นกรณี ค่าความพรุนเปลี่ยนแปลง <u>ไพลิน ทาญซุนทด<sup>1</sup>, จิตุพล ปองกัน<sup>2</sup> และบัณฑิต กฤตาคม<sup>3*</sup></u>	
TSF-07.....	1372
การเปรียบเทียบอัตราการไหลทางเข้าของท่อร่วมชุดกรองอากาศที่ปรับเปลี่ยนมุมทางออก <u>ณัฐภ วัคความสุข<sup>1</sup>, ภาคภูมิ ศรีรมรินทร์<sup>1</sup>, และสมมาส แก้วส่วน</u>	
TSF-08.....	1380
การหาค่าการซึมผ่านของวัสดุพรุนชนิดตาข่ายสแตนเลสโดยใช้สมการฟอยโซเมอร์ <u>รพีพงศ์ เปี่ยมสุวรรณ<sup>1</sup>, สาม ศรีสุโร<sup>1</sup>, อนุชา กล้าน้อย<sup>2</sup>, ญาดา พรภักดี<sup>2</sup> และ บัณฑิต กฤตาคม<sup>3*</sup></u>	
TSF-09.....	1386
การออกแบบและสร้างท่อระบายความร้อนสำหรับแทนทดสอบเครื่องยนต์ <u>วิวัฒน์ อภิลิทธิภิญโญ, ชีระ ชวบขุนทด<sup>1</sup>, อภิวัฒน์ เพชรวงษ์, ไพลิน ทาญซุนทด และ กิตติ แก้วชาติ</u>	
TSF-10.....	1395
การศึกษาการกระจายตัวทางอุณหภูมิและความชื้นของวัสดุพรุนหลายชั้นในกระบวนการทำ ความร้อนด้วยไมโครเวฟความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตในควิตีที่หน้าคลื่นแบบสี่เหลี่ยมโหมดทีอี 10 <u>ธีรวัฒน์ แจ่มใส, ศำรงพล กล่อมเกลี้ยง, ชัชพงษ์ ย้อนศรี และ ณัฐวุฒิ สุวรรณภูมิ*</u>	
TSF-11.....	1404
การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสง โดยใช้วัสดุพรุน <u>รุ่งเพชร เกษอินทร์ และ บุญยฤทธิ ประสาทแก้ว*</u>	
TSF-12.....	1411
การแพร่กระจายของยาใน Polyacrylamide gel โดยการฉีดยาแบบไม่ใช้เข็มที่ใช้ดูดซับจาก แม่เหล็กไฟฟ้า <u>อนันต์ มัทธจักริ<sup>1</sup>, กิตติพงษ์ ศรีพนากุล, ธมลพรรณ ไพเราะ และ นิภาพร ประหยัดทรัพย์</u>	
TSF-13.....	1421
การศึกษาการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบจืดกระแทบของของเหลว ของห้องไอทีเอ็มและไม่มีช่องการไหลขนาดเล็ก <u>สงกรานต์ วิริยะศาสตร์, ไพศาล นามล</u>	
TSF-14.....	1431
การระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ด้วยแผ่นความเย็นโดยใช้ของเหลว เป็นของไหลหล่อเย็น <u>สงกรานต์ วิริยะศาสตร์, ไพศาล นามล</u>	
TSF-15.....	1438
การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์กำเนิดรังสีอาทิตย์เทียมสำหรับใช้ทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ <u>สุภัทรชัย สุวรรณพันธ์<sup>1</sup>, สุรเชษฐ์ ลิขานาญ<sup>2</sup>, พัทธนะ เจริมทรง<sup>2</sup> และ ชีรพัฒน์ ชมภูคำ<sup>3*</sup></u>	





## การเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงโดยใช้วัสดุพรุน Efficiency Improvement of a Concentrated Solar Collector Using Porous Medium

รุ่งเพชร เกษอินทร์ และ บุญฤทธิ์ ประสาทแก้ว\*

ห้องปฏิบัติการการเผาไหม้และพลังงานแสงอาทิตย์ (CASE Lab.) คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี 39 หมู่ 1 ตำบลคลองหก อำเภอธัญบุรี ปทุมธานี 12110  
\*ติดต่อ: boonrt.p@en.rmutt.ac.th, 02-5493564

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสงสำหรับระบบผลิตความร้อนที่ใช่และไม่ใช้วัสดุพรุน การศึกษาเชิงทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับการส่งเสริมการถ่ายโอนความร้อนโดยใช้วัสดุพรุนเพื่อเพิ่มความสามารถในการดึงความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ให้กับสารทำงานภายในตัวเก็บความร้อน โดยมีตัวเก็บความร้อนหรือตัวรับรังสี ขนาด  $0.7 \times 0.7 \text{ m}^2$  ถูกติดตั้งไว้บนหอคอย รังสีแสงอาทิตย์ถูกเพิ่มความเข้มแสงโดยแผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจกหลายแผ่น มีพื้นที่รับแสงรวม  $25 \text{ m}^2$  วัสดุพรุนที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นเส้นใยโลหะเหลือทิ้งจากเครื่องกลึงโลหะ จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยของเครื่องทำความร้อน กรณีไม่มีวัสดุพรุนมีค่าเท่ากับ 11.49% และกรณีที่มีวัสดุพรุนมีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 21.60% เพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละประมาณ 70 จึงสรุปได้ว่า การใช้วัสดุพรุนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี

**คำหลัก:** ตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสง, แผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์, วัสดุพรุน

### Abstract

In this study, the thermal efficiency of a new concentrated solar collector for air heating systems with and without porous medium were performed. This experimental study aims at investigating comparatively on the effect of the heat transfer enhancement using porous medium to improve in heat extraction from solar radiation to the working substances inside the collector. A  $0.7 \times 0.7 \text{ m}^2$  collector or receiver was installed on the tower. The solar radiation was concentrated by a multi-mirror solar heliostat with  $25\text{-m}^2$  aperture. The experimental results show that the daily mean efficiency of the solar air heater, without porous medium, is 11.49%. On the other hand, the daily mean efficiency of the porous medium solar air heater is 21.60%. The efficiency increased about 70% of the first case. It can be concluded that using of porous medium can substantially enhance the efficiency of the proposed solar air heating

**Keywords:** Concentrated solar collector; Solar heliostat; Porous medium.

### 1. บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ แต่เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ที่มนุษย์ใช้เป็นพลังงานฟอสซิลซึ่งใช้แล้วหมดไป อีกทั้ง

กระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงานเหล่านี้มีการปลดปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม ส่งผลทำให้เกิดปัญหาด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ ยิ่งปัญหารุนแรงมากเท่าใดก็ทำให้การ



แก้ปัญหาหยาบขึ้นเป็นทวีคูณ ดังนั้นการแสวงหาพลังงานทดแทนโดยเฉพาะพลังงานหมุนเวียนควบคู่ไปกับการประหยัดพลังงานจึงเป็นแนวทางแก้ปัญหาวิกฤตการณ์ด้านพลังงานที่ดีที่สุดที่ควรได้รับการสนับสนุนโดยเร่งด่วน

ปัจจุบันพลังงานหมุนเวียนกำลังถูกเสาะแสวงหาเนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถลดปริมาณก๊าซ CO<sub>2</sub> ได้อย่างมีศักยภาพ โดยมีการคาดหมายว่าจะมีการนำพลังงานหมุนเวียนมาใช้มากขึ้นถึง 53 เปอร์เซ็นต์ ในช่วง พ.ศ. 2542 และ 2563 [1]

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่ใหญ่ที่สุดของโลก เป็นพลังงานสะอาด มีปริมาณมากใช้ได้ยาวนาน คาดว่าประมาณหนึ่งพันล้านปี พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกในช่วงเวลา 1 เดือน มีค่าพลังงานเท่ากับถ่านหิน 8×10<sup>12</sup> ตัน ซึ่งเป็นปริมาณถ่านหินที่คาดกันว่าเหลืออยู่ในโลกทั้งหมดขณะนี้ [2] ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่จะช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานและปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมได้อย่างแท้จริง

ประเทศไทยมีพิกัดอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงมีศักยภาพที่จะใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี และเนื่องจากประเทศไทยมีสภาพอากาศร้อนการใช้ประโยชน์ของพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนจึงมีประสิทธิภาพสูง ซึ่งหากเพิ่มความเข้มข้นของความร้อนนี้ก็สามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าได้เช่นเดียวกับเซลล์-แสงอาทิตย์ จากข้อมูลพบว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูงคือได้รับรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีในช่วง 18-20 MJ/m<sup>2</sup>-day [3]

การศึกษาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ในระบบใหญ่ในประเทศไทยถือว่ายังน้อยมากเมื่อเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้ว [4-5] ได้ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับระบบหอคอยแสงอาทิตย์ ซึ่งระบบหอคอยรวมแสงนี้จะมีแผงสะท้อนแสงหลายแผงและติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยแต่ละแผงจะทำงานอิสระต่อกัน แผงสะท้อนแสงจะทำหน้าที่สะท้อนแสงไปยังตัวรับแสงที่ถูกติดตั้งไว้บนหอคอยทำให้ความเข้มแสงสูงขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพระบบสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์และทดสอบความแม่นยำในการสะท้อนรังสี โดยศึกษาทั้งแผงสะท้อนรังสีแบบแผ่นเรียบและแบบที่มีการเพิ่มความเข้มแสง โดยมีการออกแบบโปรแกรมและ

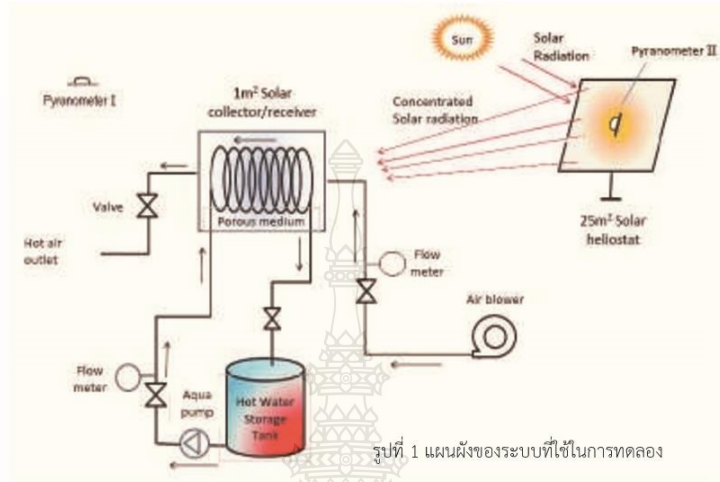
สร้างระบบควบคุมแผงสะท้อนแสงด้วยวิธีคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์เพื่อกำหนดมุมของแผง ผลการทดสอบแผงสะท้อนแบบแผ่นเรียบพบว่า ประสิทธิภาพความเข้มแสงสูงสุดเกิดขึ้นเวลาใกล้เที่ยงวันมีค่าประมาณ 11 เท่า และมีอัตราความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 9 เท่า ความแม่นยำของระบบสะท้อนแสงมีค่ายอมรับได้คือพื้นที่ตกกระทบที่ได้ไม่หลุดออกจากพื้นที่ของตัวรับแสง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตความร้อนหรืออากาศร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสง ซึ่งยังไม่เคยมีผู้ใดทำมาก่อน โดยใช้แผงสะท้อนแบบมีการเพิ่มความเข้มแสงเช่นเดียวกับ [4-5] และมีการเพิ่มประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ (solar collector) สำหรับระบบทำอากาศร้อนโดยใช้วัสดุพูน เป็นการศึกษาเชิงทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับการส่งเสริมการถ่ายโอนความร้อนกรณีที่มีและไม่มีการติดตั้งวัสดุพูนในตัวเก็บความร้อน

## 2. ระบบและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงแผนผังของระบบที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ แผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์แบบมีการเพิ่มความเข้มแสง และตัวรับหรือตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ โดยระบบตั้งอยู่ที่ละติจูด (latitude) 14.03N และลองจิจูด (longitude) 100.72E จุดศูนย์กลางของตัวรับรังสีและแผงสะท้อนอยู่ในระดับเดียวกันที่ระดับความสูง 3 m ติดตั้งในแนวเหนือ-ใต้ มีระยะห่าง 20 m โดยตัวรับรังสีแสงอาทิตย์อยู่ทางทิศใต้ของแผงสะท้อน

แผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 2 มีลักษณะและการทำงานเช่นเดียวกับการศึกษาของ [4-5] แต่มีขนาดใหญ่กว่า คือมีขนาด 5x5 m<sup>2</sup> ประกอบด้วยกระจกเงาขนาด 30 cm จำนวน 289 แผ่น แต่ละแผงสามารถปรับมุมเอียงหาระยะโฟกัสได้อย่างอิสระ แผงสะท้อนที่ใช้มีการปรับระยะโฟกัสเพียงครั้งเดียวตลอดการทดลอง โดยปรับโฟกัสด้วยแสงอาทิตย์ในช่วง 1-2 hr ก่อนและหลังเที่ยงวัน (1-2 before and after solar noon) ในเดือนกุมภาพันธ์ มีพื้นที่ตกกระทบของรับสีสะท้อนประมาณ 1 m<sup>2</sup>



ตัวรับรังสีหรือตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์มีลักษณะเป็นกล่องโลหะที่มีการเพิ่มและลดขนาด (concentric expander and reducer) และมีการหมุนวนโยแกวกับความร้อน ดังภาพในรูปที่ 3 มีด้านรับแสงเป็นกระจกใสชั้นเดียวขนาด 0.7x0.7 m<sup>2</sup> อากาศถูกป้อนเข้าตัวรับรังสีโดยเครื่องเป่า (blower) โดยมีการควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ตลอดทั้งการทดลอง ภายในตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์มีการติดตั้งกลุ่มท่อไว้สำหรับการทดลองระบบทำลมร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (ไม่ได้ใช้ในการทดลองนี้)

เพื่อศึกษาเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับการส่งเสริมการถ่ายโอนความร้อนโดยการใช้วัสดุพรุนเพื่อเพิ่มความสามารถในการดึงความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์ให้กับอากาศที่ป้อนเข้าสู่ตัวเก็บความร้อน จึงมีการบรรจุวัสดุพรุน โดยการศึกษาที่ใช้เส้นใยโลหะเหลือทิ้งจากเครื่องกลึงโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 4 ซึ่งเป็นวัสดุพรุนที่มีต้นทุนต่ำมากสามารถหาได้โดยทั่วไป การทดสอบตัวเก็บความร้อนนี้ทำตามมาตรฐานการทดสอบของ ISO 9459-2 [6] แต่ในบทความนี้จะรายงาน



รูปที่ 2 แผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์



รูปที่ 3 ตัวรับรังสีหรือตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์





รูปที่ 4 ลักษณะของวัสดุพูนที่ใช้ในการศึกษานี้

ผลการทดสอบเบื้องต้นเท่านั้น (ยังไม่ได้คำนวณหาค่า  $F_R(\tau\alpha)$  และ  $F_R U_L$  ของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์) กล่าวคือทดสอบเพื่อหาค่าอัตราความร้อนใช้ประโยชน์ (Useful Energy Gain,  $Q_u$ ) ในช่วงสภาวะคงตัวเท่านั้น โดยคำนวณจากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ [7]

$$\dot{Q}_u = \rho \dot{V} c_p (T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (1)$$

และ

$$\eta_c = (\dot{Q}_u / A_c G_T) \times 100\% \quad (2)$$

โดยที่

- $\dot{Q}_u$  = อัตราการผลิตความร้อน [W]
- $\rho$  = ความหนาแน่นของอากาศ  
[= 1.127 kg/s]
- $\dot{V}$  = อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ [kg/s]
- $c_p$  = ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ  
[= 1.007 kJ /kg.K]
- $T_{c,o}$  = อุณหภูมิที่ทางออกของตัวเก็บความร้อน [°C]
- $T_{c,i}$  = อุณหภูมิที่ทางเข้าของตัวเก็บความร้อน [°C]
- $\eta_c$  = ประสิทธิภาพของตัวเก็บความร้อน
- $A_c$  = พื้นที่รับแสงของแผงสะท้อนรังสี [m<sup>2</sup>]
- $G_T$  = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ [W/m<sup>2</sup>]

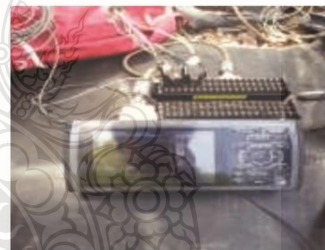
ขั้นตอนการทดลองเพื่อประเมินสมรรถนะของระบบผลิตความร้อนมีขั้นตอนดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

- เปิดเครื่องเป่าลมเพื่อป้อนอากาศให้กับตัวเก็บความร้อนก่อนเวลา 9:00 น. และทดสอบจนถึงเวลา 16:00 น.

- ปรับอัตราการไหลของอากาศที่วาล์วควบคุมการไหลตามที่ต้องการ
- เปิดระบบบันทึกข้อมูล และบันทึกอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าและทางออกของตัวเก็บความร้อน แสงอาทิตย์โดยบันทึกทุกๆ หนึ่งนาที การบันทึกค่ารังสีแสงอาทิตย์ด้วยไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) class A และอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น GL 820 (ตั้งรูปที่ 5 และ 6 ตามลำดับ) โดยที่ติดตั้งในระนาบเดียวกับตัวเก็บความร้อนและบันทึกค่าทุกๆ 1 นาที



รูปที่ 5 ไพราโนมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 6 อุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง

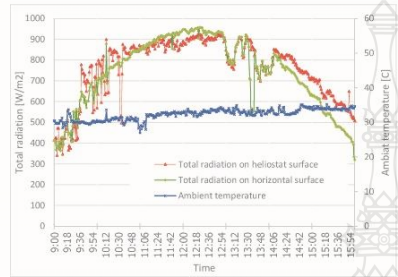
### 3. ผลการทดลอง

การทดสอบสมรรถนะของระบบผลิตความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในการศึกษานี้ ได้ทำการทดสอบเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 6 วัน ในช่วงปลายเดือนมกราคมถึงต้นเดือนกุมภาพันธ์ ทั้งกรณีที่มีและไม่มีวัสดุพูน โดยคัดเลือกผลการทดลองเฉพาะวันที่มีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ใกล้เคียงกันมาใช้ในการศึกษาเชิงเปรียบเทียบและนำเสนอในบทความนี้



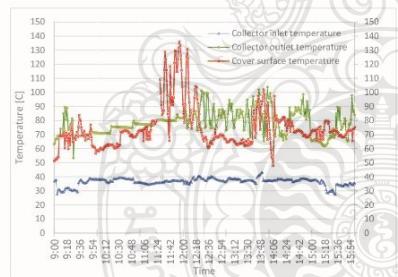
**3.1 ระบบผลิตลมร้อนแบบไม่มีวัสดุพอรุน**

รูปที่ 7 แสดงค่าของความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เวลาต่างๆ ตลอดทั้งวันที่ทำการทดลอง (29 มกราคม 2560) จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ 930 W/m<sup>2</sup>



รูปที่ 7 ค่าของความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ของวันที่ทำการทดลอง (29 มกราคม 2560)

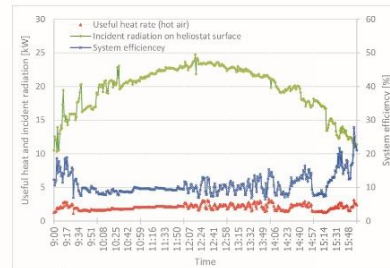
รูปที่ 8 แสดงค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางเข้าและทางออกของตัวเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิผิวกระจกที่วัดได้ตลอดทั้งวัน โดยมีอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.05 kg/s จากกราฟจะเห็นว่าลมร้อนที่ผลิตได้มีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 98.6°C



รูปที่ 8 อุณหภูมิที่ทางเข้าและออกของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ กรณีไม่มีวัสดุพอรุน

จากการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตลมร้อนพลังงานแสงอาทิตย์กรณีไม่มีวัสดุพอรุน โดยการคำนวณด้วยสมการที่ (2) ได้ค่าประสิทธิภาพขณะใดขณะหนึ่งดัง

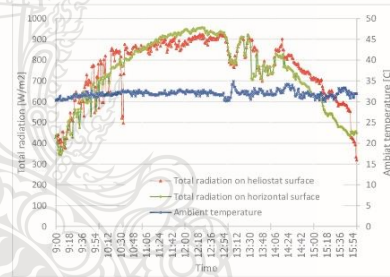
รูปที่ 9 พบว่าในช่วงที่ระบบเข้าใกล้สภาวะคงตัวระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 11.94%



รูปที่ 9 ประสิทธิภาพของระบบ กรณีไม่มีวัสดุพอรุน

**3.2 ระบบผลิตลมร้อนแบบมีวัสดุพอรุน**

รูปที่ 10 แสดงค่าของความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เวลาต่างๆ ตลอดทั้งวันที่ทำการทดลอง (12 กุมภาพันธ์ 2560) จากกราฟแสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยค่าจะอยู่ที่ประมาณ 950 W/m<sup>2</sup>



รูปที่ 10 ค่าของความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ของวันที่ทำการทดลอง (12 กุมภาพันธ์ 2560)

รูปที่ 11 แสดงค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ทางเข้าและทางออกของตัวเก็บความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิผิวกระจกที่วัดได้ตลอดทั้งวัน โดยมีอัตราการไหลของอากาศเท่ากับ 0.05 kg/s จากกราฟจะเห็นว่าลมร้อนที่ผลิตได้มีอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 121.8°C

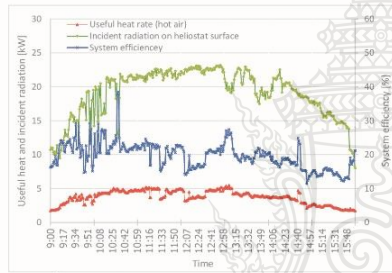
จากการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตลมร้อนพลังงานแสงอาทิตย์กรณีมีการติดตั้งวัสดุพอรุน โดยการคำนวณด้วยสมการที่ (2) ได้ค่าประสิทธิภาพขณะใด



ขณะหนึ่งดังรูปที่ 12 พบว่าในช่วงที่ระบบเข้าใกล้สภาวะคงตัวระบบมีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 21.60 %



รูปที่ 11 อุณหภูมิที่ทางเข้าและออกของตัวเก็บความร้อนแสงอาทิตย์ กรณีมีวัสดุพูน



รูปที่ 12 ประสิทธิภาพของระบบ กรณีไม่มีวัสดุพูน

จากผลการทดลอง เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบผลิตความร้อนระหว่างกรณีไม่มีและกรณีที่มีวัสดุพูน จะเห็นได้ว่า ทั้งค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ผลิตได้และประสิทธิภาพของระบบเมื่อมีการนำวัสดุพูนมาใช้กับระบบผลิตความร้อนจะทำให้ค่าทั้งสองมีค่าเพิ่มขึ้นเห็นได้ชัด กล่าวคืออุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้น 19.05% และประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้น 21.6% ซึ่งค่าสมรรถนะที่สูงขึ้นนี้เป็นผลมาจากการนำวัสดุพูนที่มีคุณสมบัติมีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง มีการนำความร้อนและแผ่รังสีความร้อนได้ดีมาใช้เป็นตัวส่งเสริมการถ่ายโอนความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มีการเพิ่มความเข้มแสงจนมีอุณหภูมิสูงโดยสามารถกักเก็บหรือดึง (extract) ความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพพร้อมทั้งถ่ายโอนพลังงานความร้อนนี้ให้กับอากาศที่ไหลผ่านวัสดุพูนที่มี

พื้นที่ผิวสัมผัสมาก มีการนำความร้อนภายในเนื้อของวัสดุพูนเข้าสู่ภายในห้องแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger chamber) ได้ลึกและกระจายความร้อนไปยังส่วนต่างๆ ของวัสดุพูนได้มากขึ้น จึงส่งผลให้กลไกการถ่ายโอนความร้อนทั้งสามรูปแบบคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน มีประสิทธิภาพสูง ในขณะที่กรณีไม่มีวัสดุพูนมีเพียงกลไกการพาความร้อนเท่านั้น

#### 4. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้นำเสนอระบบผลิตความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์รูปแบบใหม่ที่มีการนำวัสดุพูนมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งวัสดุพูนมีคุณสมบัติในการนำความร้อนและแผ่รังสีความร้อนได้ดีกว่าอากาศมาก สามารถส่งเสริมการถ่ายโอนความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่โดยสามารถกักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพพร้อมทั้งถ่ายโอนพลังงานความร้อนนี้ให้กับอากาศที่ไหลผ่านวัสดุพูนที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก จึงส่งผลให้กลไกการถ่ายโอนความร้อนทั้งสามรูปแบบคือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน มีประสิทธิภาพสูง ในขณะที่กรณีไม่มีวัสดุพูนมีเพียงกลไกการพาความร้อนเท่านั้น จากผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องทำลมร้อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.94% และ กรณีที่มีวัสดุพูนประสิทธิภาพลมร้อนเฉลี่ยอยู่ที่ 21.6% จะเพิ่มสูงขึ้นคิดเป็นร้อยละ 70% สรุปได้ว่าการวัสดุพูนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้อย่างดี เนื่องจากวัสดุพูนที่ใช้มีโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อนและยังสามารถกักเก็บความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์เป็นอย่างดี เหมาะสมกับการนำมาใช้ทดสอบในครั้งนี้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตรมหาวิทาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนงบประมาณในการวิจัยและเผยแพร่บทความครั้งนี้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

[1] Energy Information Administration (EIA). Independent Statistics and Analysis, (2010). Available online:





<http://www.eia.doe.gov/oiaf/1605/ggprt/index.html>.  
[Download: March 25, 2017].

[2] Tom Stoffel and Steve Wilcox, Solar Radiation Measurements: A Workshop for the National Association of State Universities and Land Grant Colleges, Hydrogen & Electric Technologies & Systems Center, 2004.

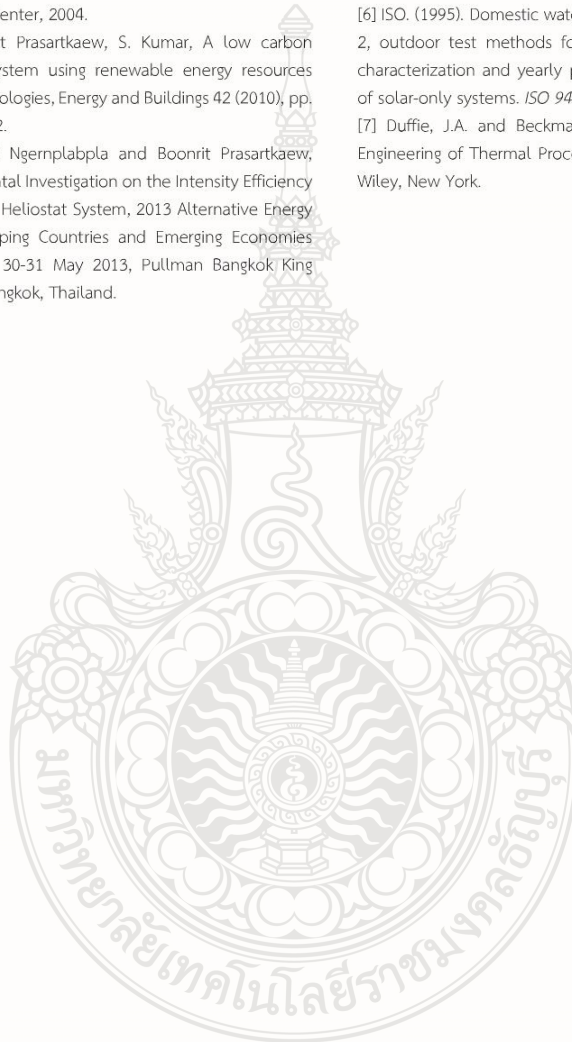
[3] Boonrit Prasartkaew, S. Kumar, A low carbon cooling system using renewable energy resources and technologies, *Energy and Buildings* 42 (2010), pp. 1453–1462.

[4] Amnaj Ngernplabpla and Boonrit Prasartkaew, Experimental Investigation on the Intensity Efficiency of a Solar Heliostat System, 2013 Alternative Energy in Developing Countries and Emerging Economies (AEDCEE), 30-31 May 2013, Pullman Bangkok King Power, Bangkok, Thailand.

[5] Boonrit Prasartkaew and Amnaj Ngernplabpla, Investigation on the Performance of a Paraboloids Heliostat for Concentrated Central Receiver Solar Collector, 2013 International Conference on Frontiers of Environment, Energy and Bioscience (ICFEEB 2013), Beijing, China, October 24-25, 2013.

[6] ISO. (1995). Domestic water heating systems\_Part 2, outdoor test methods for system performance characterization and yearly performance prediction of solar-only systems. *ISO 9459-2*.

[7] Duffie, J.A. and Beckman, W.A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*, second ed. John Wiley, New York.





## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายรุ่งเพชร เกษอินทร์
วัน เดือน ปีเกิด	17 ธันวาคม 2527
ที่อยู่	127 หมู่ 3 ตำบลขุนหาญ อำเภอขุนหาญ จังหวัดศรีสะเกษ 33150
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาเทคโนโลยีเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์การทำงาน	บริษัท โยโรซีเอ็นจีเนียริงซิสเต็ม (ไทยแลนด์) จำกัด ตั้งแต่ พ.ศ. 2555 ถึงปัจจุบัน
เบอร์โทรศัพท์	08-6773-0399
อีเมล	rungpatch@rmutt.ac.th

