

ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตท

A solar collector with a heliostat concentrator

ปริญญานิพนธ์

ของ

รณฤทธิ์ เพ็ญจันทร์อุบ 54010310463

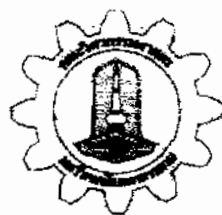
ยุรนันท์ ศิลาอุดม 54010310055

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ แล้วเห็นสมควรรับเป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลของ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด)

ประธานกรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จักรมาส์ เลหาวิช)

กรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เกสร วงศ์เกษม)
หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ เล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ต้องขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำอย่างเอาใจใส่ในทุก ๆ ขั้นตอนของการทำปริญญานิพนธ์ ทั้งการทดลอง การเขียนปริญญานิพนธ์ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ตลอดจนการวิชาการความรู้ต่าง ๆ แนะนำการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ และประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในด้านต่าง ๆ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ให้การสนับสนุนเครื่องมืออุปกรณ์ งบประมาณ ตลอดจนสถานที่เพื่อประกอบการทำวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ บิดา มารดา พี่นิตปริญญเอก นิตปริญญโท ตลอดจนเพื่อน ๆ นิตปริญญตรีทุกท่าน ที่ช่วยเหลือสนับสนุนทุกอย่างรวมทั้งเป็นกำลังในการทำปริญญานิพนธ์ รวมไปถึงเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลอง

ท้ายที่สุดหากปริญญานิพนธ์ เล่มนี้มีข้อบกพร่อง หรือผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องขอภัยไว้ ณ ที่นี้

รณฤทธิ์ เพี้ยจันทร์อุป
ยุรนันท์ ศิลาอุดม

ชื่อเรื่อง	ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ร่วมแสงแบบเฮลิโอสแตท
ผู้วิจัย	นายรณฤทธิ์ เพี้ยจันทร์อุป นายยุรนันท์ ศิลาอุดม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินดาพร จำรัสเลิศลักษณ์
ปริญญา	วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2558

บทคัดย่อ

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นการพัฒนาและทดสอบระบบตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ร่วมแสงแบบเฮลิโอสแตท โดยเฮลิโอสแตทมีความสูง 1.5 เมตร และมุมของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์มีค่า 60 องศาตามลำดับ ในการทดสอบนั้น ได้มีการปรับเปลี่ยนค่ามุมของแผงกระจกของเฮลิโอสแตท (15-45 องศา) และความสูงของตัวรับรังสีอาทิตย์ (2.5 และ 3 เมตร) เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่ออุณหภูมิบนผิวของตัวรับรังสีอาทิตย์ จากผลการทดสอบ พบว่า ที่ค่ามุมของแผงกระจก 30 องศาและความสูงของตัวรับรังสีอาทิตย์ 3 เมตร จะทำให้อุณหภูมิบนผิวตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่าสูงสุด (163.4 องศาเซลเซียส)

TITLE A solar collector with a heliostat concentrator.
AUTHOR Mr. Ronnarit Piachanoup
Mr. Yuranun Silaudom
ADVISORS Asst.Prof.Jindaporn Jamradloedluk, Ph.D.
DEGREE B.Eng (Mechanical Engineering)
UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2015

ABSTRACT

The solar tower with a solar receiver and a heliostat concentrator was developed and preliminarily tested in this senior project. Heights of heliostat concentrator and angle of solar receiver were fixed at 1.5 m and 60° , respectively. Influences of angle of the mirror frame of the heliostat concentrator ($15\text{--}45^\circ$) and height of the solar receiver (2.5 and 3 m) on temperature on the solar receiver surface were experimentally investigated. The test results showed that at the mirror frame angle of 30° and height of the solar receiver of 3 m, the highest temperature (163.4°C) on the solar receiver surface was obtained.

สารบัญ

บทที่	หน้า
1 บทนำ	1
ที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการศึกษา	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
งบประมาณ	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
ทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	5
การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์	7
ระบบรับรังสีรวมกลาง	10
การหาเวกเตอร์ตำแหน่ง	12
หลักการทำงานของเฮลิโอสแตท	16
สมการที่เกี่ยวข้อง	17
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
3 วิธีดำเนินการวิจัย	20
การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบ	20
ระบบรับแสงส่วนกลาง	23
หลักการทำงานและรายละเอียดของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบ- เฮลิโอสแตท.....	24
เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	25
การคำนวณ	27
วิธีดำเนินการวิจัย	28

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4 ผลการทดลอง	32
การกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งบน Receiver ตลอดวัน	32
อิทธิพลของมุมของแผงกระจกที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยบน Receiver	33
อิทธิพลของความสูงของ Receiver ที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยบน Receiver	34
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	35
สรุปผลการทดลอง	35
ข้อเสนอแนะ	37
บรรณานุกรม	38
ภาคผนวก	40
ภาคผนวก ก อุณหภูมิต่างๆ ของระบบ และความเข้มรังสีอาทิตย์ในการทดสอบ	41
ภาคผนวก ข การติดตั้งเครื่อง และแบบของเครื่อง	72
ประวัติย่อผู้วิจัย	75

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1 แผนการดำเนินการ	4
-------------------------	---



บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	5
2 แสดงทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า	6
3 ทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่กรุงเทพฯ	6
4 ทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่เมืองสตอกโฮล์ม	7
5 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง	8
6 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง	9
7 การแปรค่าของเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (δ) ตามเวลาในรอบปี	9
8 ระบบรับรังสีรวมกลาง (ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง)	11
9 อุปกรณ์ในระบบรับรังสีรวมกลาง	11
10 เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์	12
11 เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์	14
12 การสะท้อนแสงของเฮลิโอสแตท	16
13 รูปแบบการปรับมุมกระจก	17
14 การออกแบบโครงสร้าง Helio-stat	20
15 การออกแบบโครงสร้างกระจก	21
16 การออกแบบโครงสร้าง Receiver	21
17 เฮลิโอสแตท	22
18 แผ่นอลูมิเนียม	23
19 ระบบตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตท	24
20 เครื่องเก็บข้อมูล	25
21 เทอร์โมคัปเปิล	26
22 เครื่องวัดรังสีอาทิตย์	26
23 การติดตั้งเครื่องอุปกรณ์	28
24 การติดตั้งเครื่องไพโรนอมิเตอร์	29
25 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล	29
26 การปรับมุมของเฮลิโอสแตท	30

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
27 การปรับมุมของเฮลิโอสแตท	30
28 เก็บค่าทดลอง	31
29 อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งบน Receiver ที่สภาวะการทดสอบมุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร และระยะห่างระหว่าง Heliostat กับ Receiver 3.7 เมตร (ทดสอบ ณ วันที่ 29 พฤษภาคม 2558)	32
30 อิทธิพลของมุมของแผงกระจกที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยบน Receiver ที่สภาวะการทดสอบความสูงของ Receiver 3 เมตร	33
31 อิทธิพลของความสูงของ Receiver ที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยบน Receiver ที่สภาวะทดสอบมุมของแผงกระจก 15 องศา	34

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่สิ้นสุดและมีลักษณะกระจายไปถึงผู้ใช้โดยตรง อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง อย่างไรก็ตามการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของบริเวณที่จะใช้งานด้วย ซึ่งโดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง และสำหรับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้อุปกรณ์รวมแสงก็จำเป็นต้องทราบสัดส่วนของรังสีรวมต่อรังสีกระจายด้วย ที่มา: (การใช้พลังงานทดแทนเพื่อรองรับวิกฤตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย, 2556.) สำหรับประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่ในเขตร้อนย์สูตรทำให้ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์สูงเกือบตลอดทั้งปี โดยจากข้อมูลดาวเทียมประกอบการตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) พบว่า ประเทศไทยมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีประมาณ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตร ซึ่งพื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น ร้อยเอ็ด ศรีสะเกษ อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนอยู่ในพื้นที่ภาคกลางตอนล่าง เช่น สระบุรี ลพบุรี และพระนครศรีอยุธยา เป็นต้น ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ดังกล่าวส่งผลให้ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถึง 10,000 เมกะวัตต์ เทคโนโลยีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยทั่วไปจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (Solar thermal electric system/Concentrating solar power) และเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic technology) อย่างไรก็ตามนอกเหนือจากเทคโนโลยีทั้งสองประเภทยังมีเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าผ่านเทอร์โมอิเล็กทริกอีกรูปแบบหนึ่ง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกมีข้อดีคือขณะใช้งานจะไม่มีเสียงรบกวน ไม่มีการเคลื่อนไหวนำทำให้การสึกหรอต่ำ ค่าดูแลบำรุงรักษาจึงต่ำ นอกจากนี้ยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าจากรังสีดวงอาทิตย์

โดยการผลิตกระแสไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์มีการใช้ตัวรวมรังสีแบบพาราโบลกร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ไปยังแผ่นสะสมความร้อนที่ติดตั้งอยู่บนด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก แผ่นดูดซับความร้อนมีขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร

ใช้เรอร์โมอีเล็กทริกจำนวน 1 โมดูล ติดตั้งอยู่กับแผ่นดูดซับความร้อนเพื่อใช้ในการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้า ด้านเย็นของเรอร์โมอีเล็กทริกติดอยู่กับครีบบระบายความร้อนโดยใช้พัดลมระบายความร้อน ซึ่งในช่วงการทดลองการระบบติดตามดวงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องเพื่อให้รับรังสีตรงจากอาทิตย์ในปริมาณที่มากที่สุด ผลจากการทดลองพบว่า ความร้อนสะสมสูงสุดเรอร์โมอีเล็กทริกสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.32 วัตต์ ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นมีค่าเท่ากับ 72.3 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพการแปลงไฟฟ้าร้อยละ 2.5 ที่มา: (โกเมธ สุทธิสา, 2555.)

เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีที่สำคัญเนื่องจากจะทำให้ความเข้มข้นรังสีแสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งจะส่งผลให้สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ โดยอุปกรณ์รวมแสงที่นิยมใช้ ได้แก่ กระจกโค้งพาราโบลา รังพาราโบลา และเฮลิโอสแตท (Heliostat) เป็นต้น โดยเฮลิโอสแตทเป็นกระจกสะท้อนแสงซึ่งรวมแสงอาทิตย์ไปยังตัวรับบนยอด หอพลังงาน ที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเฮลิโอสแตท มีการพัฒนา และเพิ่มประสิทธิภาพของเฮลิโอสแตท

นอกจากนี้ มีศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับระบบหอคอยแสงอาทิตย์ โดยการออกแบบระบบหอคอยรวมแสง ซึ่งจะมีแผ่นเฮลิโอสแตทหลายแผ่น และติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ โดยทดสอบความแม่นยำในการสะท้อนรังสี และมีการวิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่า ประสิทธิภาพความเข้มแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-0.7 เปอร์เซนต์ และพบว่าประสิทธิภาพความเข้มแสงสูงสุดเกิดขึ้นเวลาใกล้เที่ยงวัน และมีอัตราความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 9 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่มา: (อำนาจ เงินพลับพลา, 2556.)

วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนา ทดสอบ และประเมินตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตท โดยทดสอบจากค่าความเข้มแสง และอุณหภูมิที่วัดได้ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของ Receiver

ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. แผ่นกระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ จำนวน 9 แผ่น ขนาด 30 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร
2. แผ่นอลูมิเนียมที่ใช้รับรังสีที่สะท้อนจากกระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ (heliostat) มีขนาด 30 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร

3. กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ (heliostat) มีการปรับเพื่อให้ติดตามดวงอาทิตย์เป็นแบบการปรับด้วยมือ
4. ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตต ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
5. ศึกษาตัวแปรที่ได้จากการทดลอง คือ ค่าความเข้มแสง และอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ของ Receiver
6. เก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 09.00 – 17.00 นาฬิกา เป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมงในแต่ละวัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถประยุกต์ใช้เป็นแหล่งผลิตน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ได้
2. เป็นแนวทางในการนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียนมาใช้ทดแทนพลังงานฟอสซิล
3. เป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนา เพื่อให้มีพลังงานทดแทนในรูปของพลังงานจากแสงอาทิตย์

สถานที่ดำเนินงาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

งบประมาณ

เหล็กโครงสร้าง	6,700	บาท
แผ่นอลูมิเนียม จำนวน 1 แผ่น	300	บาท
กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ จำนวน 9 แผ่น	3,000	บาท
รวม	10,000	บาท

ตาราง 1 แผนการดำเนินการ

หัวข้อ	ระยะเวลาดำเนินการ										
	ภาคเรียนที่ 1/2557						ภาคเรียนที่ 2/2557				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	
1. เสนอหัวข้อเค้าโครงวิทยานิพนธ์	↔										
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง		↔									
3. ดำเนินการจัดหาวัสดุอุปกรณ์			↔								
4. ดำเนินการสร้างเครื่องต้นแบบ					↔						
5. ทดสอบ และปรับปรุงเครื่องต้นแบบ						↔					
6. ทดลอง และเก็บข้อมูล							↔				
7. วิเคราะห์ข้อมูล								↔			
8. สรุปผล และข้อเสนอแนะ									↔		

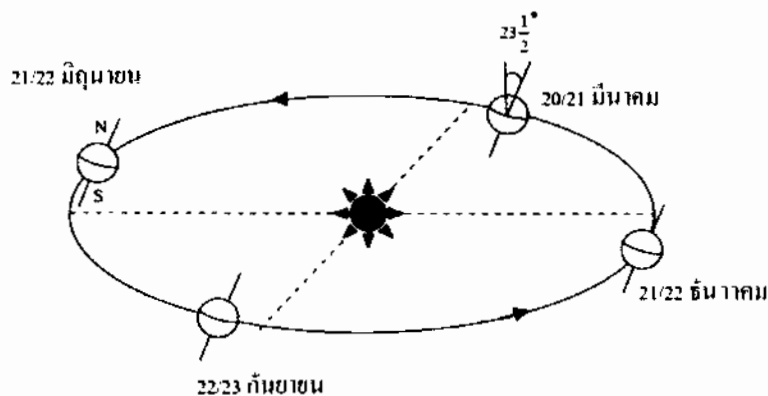
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า

โดยทั่วไปตำแหน่งของดาวฤกษ์จะอยู่คงที่เมื่อเทียบกับระนาบศูนย์สูตรของโลก ทั้งนี้เพราะดาวฤกษ์อยู่ไกลจากโลกมากจนไม่สามารถสังเกตการเคลื่อนที่ในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ ดังนั้นเราจึงเห็นดาวฤกษ์อยู่ในระนาบเดิมซึ่งขนานกับระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้า แต่กรณีของดาวเคราะห์ และดวงอาทิตย์จะมีการเปลี่ยนระนาบการเคลื่อนที่บนท้องฟ้าไปตามเวลาในรอบปี ทั้งนี้เพราะเทหวัตถุเหล่านี้อยู่ใกล้โลก และมีตำแหน่งเปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาเมื่อเทียบกับระนาบศูนย์สูตรของโลก

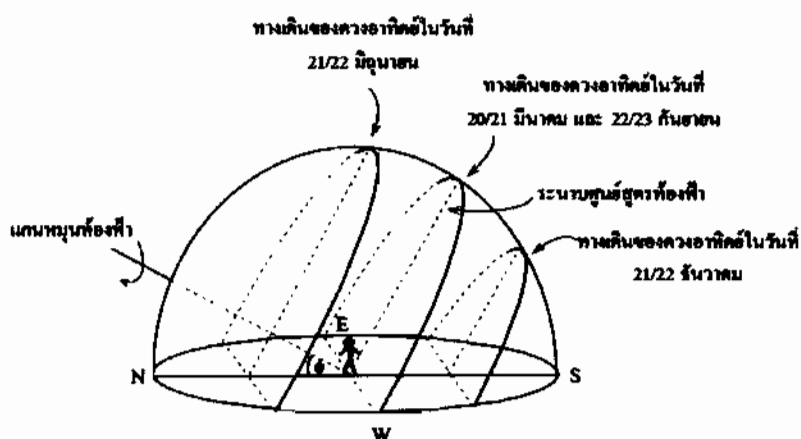
เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีโดยมีดวงอาทิตย์อยู่ที่ตำแหน่งโฟกัสหนึ่งของวงรีดังกล่าว และแกนหมุนของโลกทำมุมเอียงกับเส้นตั้งฉากของระนาบวงโคจรของโลกเป็นมุม $23\frac{1}{2}^{\circ}$ องศา ดังในภาพประกอบ 1 ที่มา: (เสริม จันทรฉาย. 2556.)



ภาพประกอบ 1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ที่มา: (เสริม จันทรฉาย. 2556.)

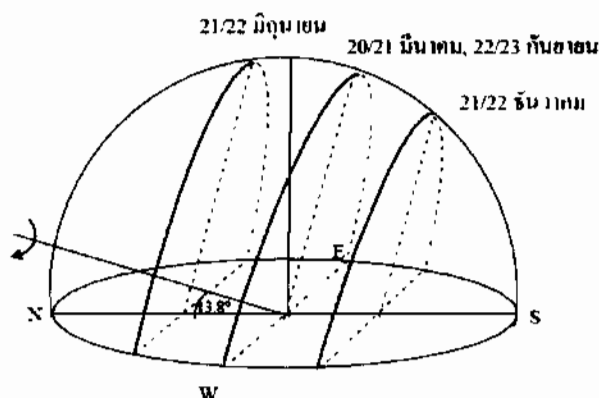
จากภาพประกอบ 1 จะเห็นว่าในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน โลกจะหันขั้วเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุดและในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคมโลกจะหันขั้วใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด สำหรับวันที่ 20 หรือ 21 มีนาคม และวันที่ 22 หรือ 23 กันยายน ดวงอาทิตย์จะอยู่ในแนวศูนย์สูตรของโลก โดยในวันที่ 20 หรือ 21 มีนาคม และ 22 หรือ 23 กันยายน เราจะเห็นดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ในแนวศูนย์สูตรท้องฟ้าและในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ไปเหนือสุดเมื่อเทียบกับศูนย์

ท้องฟ้า สำหรับในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนไปได้สุด เมื่อเทียบกับศูนย์สูตรท้องฟ้า ดังแสดงในภาพประกอบ 2 ที่มา: (เสริม จันทรฉาย. 2556.)

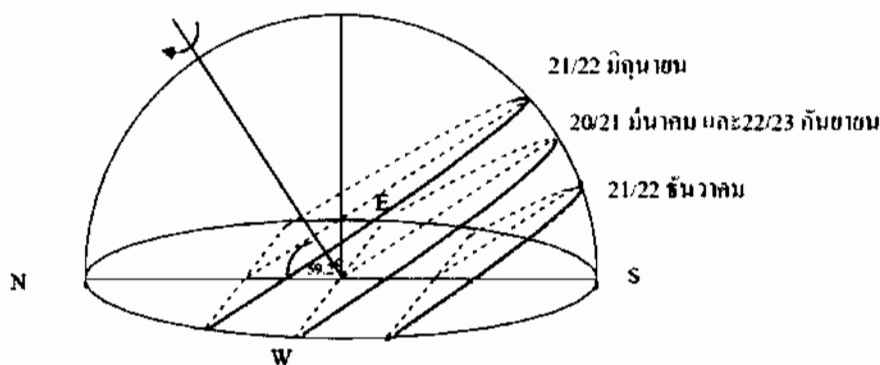


ภาพประกอบ 2 แสดงทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า ที่มา: (เสริม จันทรฉาย. 2556.)

ระนาบของทางเดินของเทหวัตถุต่างๆ บนท้องฟ้ารวมถึงดวงอาทิตย์จะขนานกับระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้า แต่เนื่องจากระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้าทำมุมตั้งฉากกับแกนหมุนของท้องฟ้าและแกนหมุนดังกล่าวจะทำมุมกับระนาบในแนวระดับเท่ากับละติจูดของผู้สังเกต ดังนั้นระนาบของทางเดินของดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งละติจูดต่างๆ บนผิวโลกจึงแตกต่างกันด้วย ดังตัวอย่างในภาพประกอบ 3 ซึ่งแสดงทางเดินของดวงอาทิตย์ที่กรุงเทพฯ (ละติจูด 13.8 องศาเหนือ) และภาพประกอบ 4 แสดงทางเดินของดวงอาทิตย์ที่เมืองสตอกโฮล์ม ประเทศสวีเดน (ละติจูด 59.2 องศาเหนือ) ที่มา: (เสริม จันทรฉาย. 2556.)



ภาพประกอบ 3 ทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่กรุงเทพฯ ที่มา: (เสริม จันทรฉาย. 2556.)



ภาพประกอบ 4 ทางเดินของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าที่เมืองสตอกโฮล์ม ที่มา: (เสริม จันทรฉาย, 2556.)

จากรูปที่ 3 และ 4 จะเห็นว่าในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน ซึ่งเป็นวันที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือขอบฟ้ายาวนานที่สุด ความยาวนานของวันดังกล่าวที่เมืองสตอกโฮล์มจะยาวกว่าที่กรุงเทพฯ มาก ในทางกลับกันในวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม ซึ่งเป็นวันที่ดวงอาทิตย์อยู่เหนือขอบฟ้าสั้นที่สุด ความยาวนานของวันที่กรุงเทพฯ จะยาวนานกว่าที่เมืองสตอกโฮล์มมาก ที่มา: (เสริม จันทรฉาย, 2556.)

การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์

การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบต่างๆ ทั้งที่อยู่บนบรรยากาศโลก และที่พื้นผิวดโลก จำเป็นต้องรู้จักตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า ในการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะพิจารณาว่าท้องฟ้าเป็นครึ่งหนึ่งของทรงกลม ที่เรียกว่า ทรงกลมท้องฟ้า โดยมีผู้สังเกตเป็นศูนย์กลาง เนื่องจากท้องฟ้ามีขนาดใหญ่มาก หรือมีรัศมีเป็นอนันต์ (infinity) ดังนั้นการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์จึงใช้มุมเพียง 2 มุม หรือใช้ส่วนโค้ง (arc) ของทรงกลมท้องฟ้า 2 ส่วนโค้ง ก็สามารถระบุตำแหน่งได้ ในงานด้านรังสีอาทิตย์สามารถบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้ 2 ระบบดังนี้

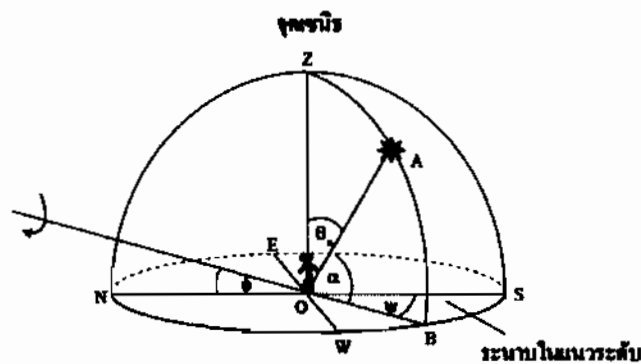
1. ระบบที่ใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง (horizontal system) ระบบนี้อาศัยมุม 2 มุม ในการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (ภาพประกอบ 5) ดังนี้

ก) มุมอาซิมุท (azimuth, Ψ) เป็นมุมที่วัดจากแนวทิศใต้ (OS ในภาพประกอบ 5) ไปยังภาพฉาย (projection) ของเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์บนระนาบในแนวระดับ (OB) โดยมีค่าเป็นบวกถ้าเงาดังกล่าวอยู่ซีกตะวันออก และเป็นลบถ้าอยู่ซีกตะวันตกของท้องฟ้าหรือ $-180^{\circ} \leq \Psi \leq 180^{\circ}$ องศา

ข) มุมอัลติจูด (altitude, α) หรือมุมเงยเป็นมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ (OA) กับภาพฉายของเส้นตรงดังกล่าวบนระนาบในแนวระดับ (OB) ซึ่งจะมีค่าจาก

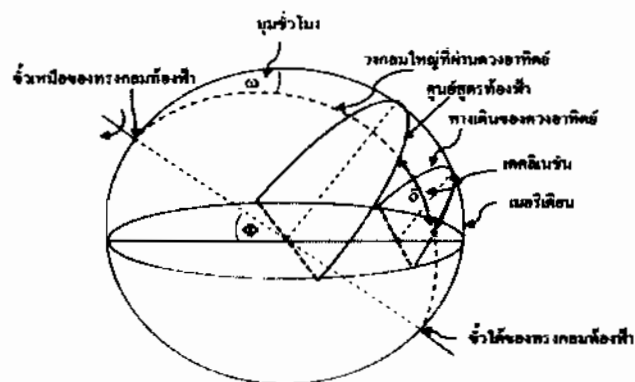
0-90 องศา สำหรับมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อกันระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ (OA) กับเส้นตรงที่เชื่อมต่อกันระหว่างผู้สังเกตกับจุดเซนิธ (OZ) จะเรียกว่า มุมเซนิธ (zenith angle, θ_z) ซึ่งนิยมใช้บอกตำแหน่งดวงอาทิตย์เช่นกัน โดยที่ $\theta_z = 90 - \alpha$

การบอกตำแหน่งโดยใช้ระบบระนาบในแนวระดับอ้างอิง มีข้อดี คือ เข้าใจได้ง่าย แต่มีข้อด้อยคือ คือ ค่ามุมอาซิมุท และมุมอัลติจูด จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงดวงอาทิตย์ตก และเปลี่ยนแปลงไปตามวันในรอบปีด้วย



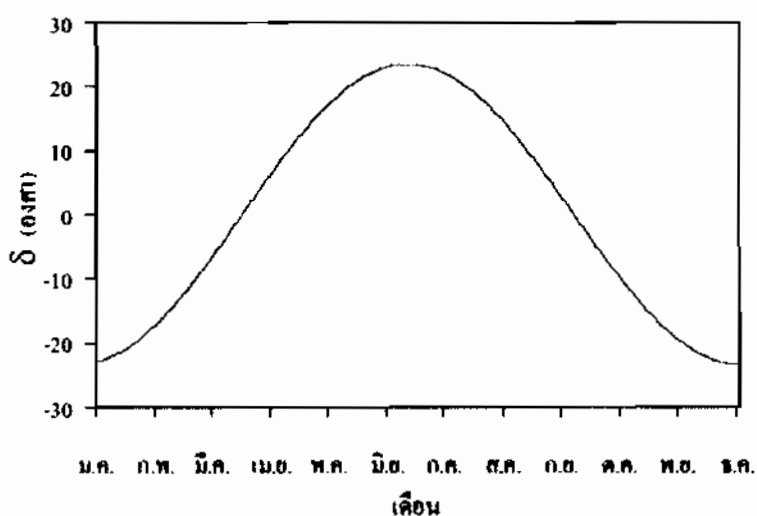
ภาพประกอบ 5 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง ที่มา: (เสริม จันทรฉาย. 2556.)

2. ระบบที่ใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง (equatorial system) เนื่องจากระนาบของทางเดินของดวงอาทิตย์บนทรงกลมท้องฟ้าจะขนานกับระนาบของศูนย์สูตรท้องฟ้า โดยในช่วงเวลา 1 วัน ระนาบของทางเดินของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนสามารถถือว่าคงที่ได้ ดังนั้นในระบบที่ใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิงจะบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยการลากวงกลมใหญ่ (great circle) จากขั้วหนึ่งของทรงกลมท้องฟ้าผ่านดวงอาทิตย์ไปยังอีกขั้วหนึ่ง (ภาพประกอบ 6) และใช้ระยะทางเชิงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับศูนย์สูตรท้องฟ้าบนวงกลมใหญ่ ดังกล่าวเป็นตัวแปรที่ 1 เพื่อบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และเรียกตัวแปรนี้ว่า เดคลิเนชัน (declination) สำหรับตัวแปรที่ 2 จะใช้มุมบนผิวทรงกลมท้องฟ้าระหว่างวงกลมใหญ่ที่ลากผ่านดวงอาทิตย์ และเส้นเมริเดียน โดยจะเรียกมุมนี้นี้ว่า มุมชั่วโมง (hour angle, ω)



ภาพประกอบ 6 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบ
ศูนย์สูตรอ้างอิง ที่มา: (เสริม จันทรฉาย. 2556.)

ค่าเดคลิเนชัน (δ) จะแปรค่าอยู่ระหว่าง $-23\frac{1}{2}$ องศา และ $23\frac{1}{2}$ องศา จากการสังเกตการณ์จะพบว่าค่า
เดคลิเนชันจะแปรตามเวลาในรอบปีตามกราฟในภาพประกอบ 7



ภาพประกอบ 7 การแปรค่าของเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (δ) ตามเวลาในรอบปี
ที่มา: (Bernard et al. 1980.)

กราฟในภาพประกอบ 7 สามารถแทนด้วยสมการเอมไพริคัล ได้ดังนี้

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070257 \sin \Gamma - 0.006758 \cos 2\Gamma) + 0.000907 \sin 2\Gamma - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \sin 3\Gamma (180/\pi) \dots (1)$$

เมื่อ δ คือ เดคลิเนชัน (องศา)

Γ คือ มุมวัน (day angle) (เรเดียน) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\Gamma = 2\pi(d_n - 1)/365 \dots (2)$$

เมื่อ d_n เป็นลำดับของวันในรอบปี โดย $d_n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม และ $d_n = 365$ ในวันที่ 31 ธันวาคม สำหรับเดือนกุมภาพันธ์จะคิดว่ามี 28 วัน

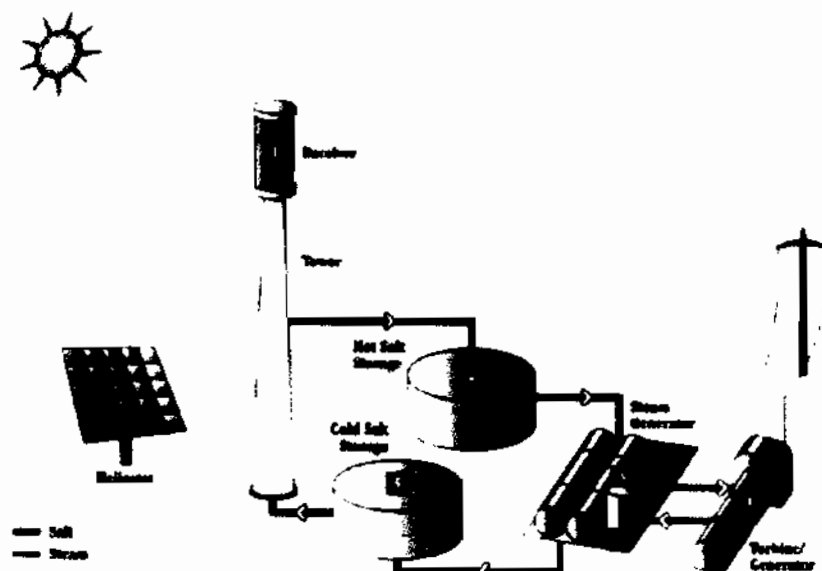
สมการ (2) จะให้ความละเอียดถูกต้องของค่าเดคลิเนชันสูง โดยมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 3 ลิปดา แต่การคำนวณโดยใช้สูตรดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นคูเปอร์ ที่มา: (Cooper, 1969) จึงเสนอสูตรที่ใช้งานได้สะดวกขึ้น ถึงแม้จะมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่สามารถใช้งานด้านพลังงานรังสีอาทิตย์ทั่วไปได้ ที่มา: (Diffie and Beckman, 1991) สูตรดังกล่าวเขียนได้ดังสมการ ที่มา: (เสริม จันทรฉาย. 2556.)

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (d_n + 284) \right] \dots (3)$$

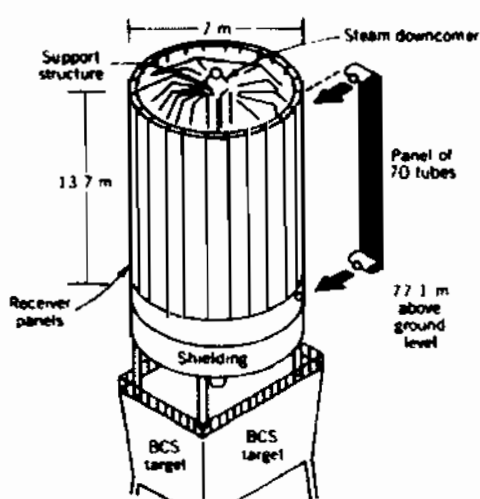
ระบบรับรังสีรวมกลาง (Central receiver system)

หลักการของระบบรับรังสีรวมกลางจะอยู่บนพื้นฐานของการสะท้อนแสงอาทิตย์ด้วยวัสดุสะท้อนแสง อาทิเช่น กระจก ไปยังตัวรับรังสี (Receiver) หรือหม้อต้ม (Boiler) ดังภาพประกอบ 9 ก) ที่ถูกติดตั้งไว้บนยอดของหอคอย (ภาพประกอบ 8) โดยที่กระจกจะถูกติดตั้งอยู่บนสายเสาที่สามารถหมุนรอบแกนได้ 2 แกน ที่เรียกว่า Heliostat ดังภาพประกอบ 9 ข) ซึ่งจะหมุนสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังตัวรับรังสีตลอดเวลา ตามปกติ 80 ถึง 95 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานแสงอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากกระจก จะถูกถ่ายเทไปยังของเหลวที่ไหลอยู่ภายในตัวรับรังสี ของเหลวที่รับพลังงานจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 540 ถึง 840 องศาเซลเซียส ของเหลวร้อนจะไหลกลับลงมายังหน่วยผลิตกระแสไฟฟ้าที่อยู่บนพื้นดิน ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1 ถึง 500 เมกะวัตต์ อุณหภูมิของเหลวหรือขนาดของความสามารถในการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นก็ขึ้นอยู่กับจำนวนของเสาสะท้อนแสงอาทิตย์

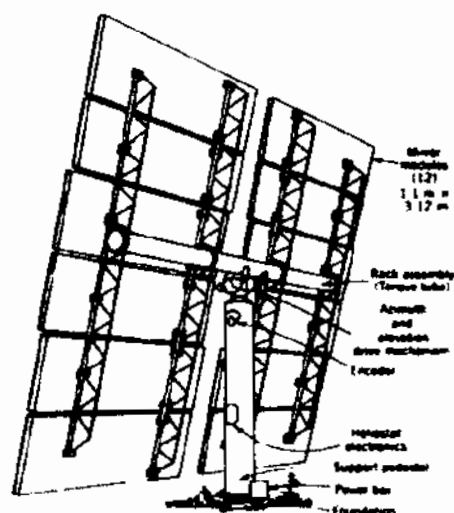
ความสามารถในการควบคุมมุมของการสะท้อนของเสา และความสามารถในการสะท้อนของวัสดุสะท้อนแสง (ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง) ที่มา: (มนุศักดิ์ จานทอง)



ภาพประกอบ 8 ระบบรับรังสีรวมกลาง (ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับระบบตัวรับรังสี รวมกลาง) ที่มา: (มนุศักดิ์ จานทอง)



ก. Receiver

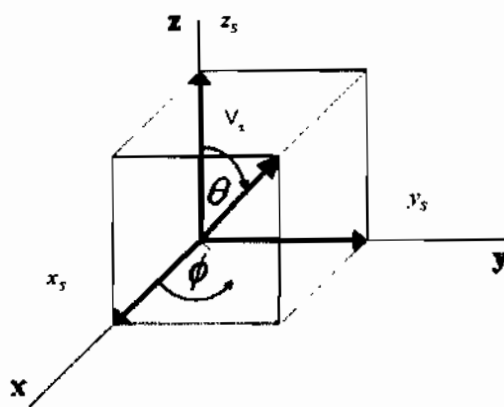


ข. Heliostat

ภาพประกอบ 9 อุปกรณ์ในระบบรับรังสีรวมกลาง (ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง) ที่มา: (มนุศักดิ์ จานทอง)

การหาเวกเตอร์ตำแหน่ง

ในการควบคุมระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ จำเป็นต้องหาเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ (Sun Position vector) โดยอาศัยการแปลงมุมในการหมุนมอเตอร์ของระบบติดตามดวงอาทิตย์ ให้เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ สามารถหาได้ดังนี้ (ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง) ที่มา: (มนุศักดิ์ จานทอง)



ภาพประกอบ 10 เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ (ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง) ที่มา: (มนุศักดิ์ จานทอง)

$$V_s = x_s i + y_s j + z_s k \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$|V_s| = \sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2 + (z_s)^2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

เมื่อ

V_s คือ เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์

$|V_s|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์

x_s คือ เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ในแกน x สามารถหาได้จาก

$$x_s = \sin \theta \cos \phi \quad \dots\dots\dots(6)$$

y_s คือ เวกเตอร์ดวงอาทิตย์ ในแกน y สามารถหาได้จาก

$$y_s = \sin \theta \cos \phi \quad \dots\dots\dots(7)$$

z_s คือ เวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์ ในแกน z สามารถหาได้จาก

$$z_s = \cos \theta \quad \dots\dots\dots(8)$$

θ คือ มุมซิมิซ

ϕ คือ มุมอซินูธ

จากสมการที่ (4) และ (5) สามารถหาเวกเตอร์หนึ่งหน่วย (Unit Vector) ได้ดังนี้

$$n_s = \frac{V_s}{|V_s|} = n_{sx}i + n_{sy}j + n_{sz}k \quad \dots\dots\dots(9)$$

เมื่อ

n_{sx} คือ เวกเตอร์ตั้งฉาก (Normal vector) ของดวงอาทิตย์ในแกน x สามารถหาได้จาก

$$n_{sx} = \frac{x_s}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2 + (z_s)^2}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

n_{sy} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของดวงอาทิตย์ ในแกน y สามารถหาได้จาก

$$n_{sy} = \frac{y_s}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2 + (z_s)^2}} \quad \dots\dots\dots(11)$$

n_{sz} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของดวงอาทิตย์ ในแกน z สามารถหาได้จาก

$$n_{sz} = \frac{z_s}{\sqrt{(x_s)^2 + (y_s)^2 + (z_s)^2}} \quad \dots\dots\dots(12)$$

เวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมาย (Target position vector) คือ ตำแหน่งเป้าหมายบริเวณที่ต้องการให้แสงอาทิตย์สะท้อนไปตกบริเวณนั้น สามารถหาได้โดยการวัดโดยตรง จะได้ดังนี้

$$V_T = x_Ti + y_Tj + z_Tk \quad \dots\dots\dots(13)$$

$$|V_T| = \sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2} \quad \dots\dots\dots(14)$$

เมื่อ

V_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมาย

$|V_T|$ คือ ขนาดของเวกเตอร์เป้าหมาย

x_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมายในแกน x

y_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมายในแกน y

z_T คือ เวกเตอร์ตำแหน่งเป้าหมายในแกน z

จากสมการที่ (13) และ (14) สามารถหาเวกเตอร์หนึ่งหน่วย ได้ดังนี้

$$n_T = \frac{v_T}{|v_T|} = n_{Tx}i + n_{Ty}j + n_{Tz}k \quad \dots\dots\dots(15)$$

เมื่อ

n_{Tx} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของเป้าหมายในแกน x สามารถหาได้จาก

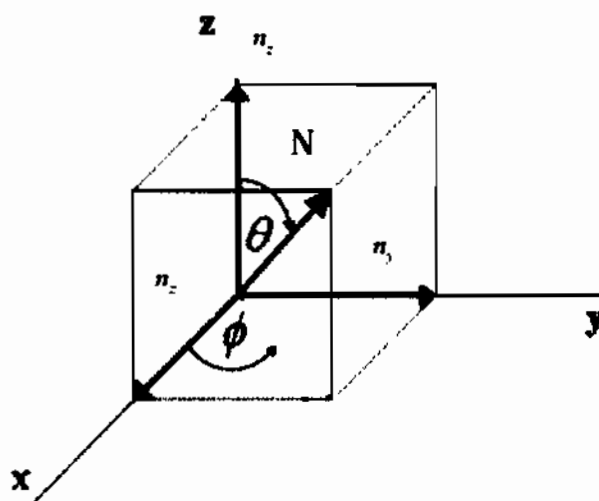
$$n_{Tx} = \frac{x_T}{\sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2}} \quad \dots\dots\dots(16)$$

n_{Ty} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของเป้าหมายในแกน y สามารถหาได้จาก

$$n_{Ty} = \frac{y_T}{\sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2}} \quad \dots\dots\dots(17)$$

n_{Tz} คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของเป้าหมายในแกน z สามารถหาได้จาก

$$n_{Tz} = \frac{z_T}{\sqrt{(x_T)^2 + (y_T)^2 + (z_T)^2}} \quad \dots\dots\dots(18)$$



ภาพประกอบ 11 เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ (ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับระบบตัวรับรังสีรวมกลาง) ที่มา: (มนูศักดิ์ จานทอง)

การหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สามารถหาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างเวกเตอร์ตำแหน่งดวงอาทิตย์และเวกเตอร์ตำแหน่งของเป้าหมาย โดยสามารถหาเวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ (N) ได้ดังนี้

$$N = \frac{n_s + n_T}{|n_s + n_T|} = n_x i + n_y j + n_z k \quad \dots\dots\dots(19)$$

เมื่อ

n_x คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ในแกน x สามารถหาได้จาก

$$n_x = \frac{(n_{sx} + n_{Tx})}{\sqrt{(n_{sx} + n_{Tx})^2 + (n_{sy} + n_{Ty})^2 + (n_{sz} + n_{Tz})^2}} \quad \dots\dots\dots(20)$$

n_y คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ในแกน y สามารถหาได้จาก

$$n_y = \frac{(n_{sy} + n_{Ty})}{\sqrt{(n_{sx} + n_{Tx})^2 + (n_{sy} + n_{Ty})^2 + (n_{sz} + n_{Tz})^2}} \quad \dots\dots\dots(21)$$

n_z คือ เวกเตอร์ตั้งฉากของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ในแกน z สามารถหาได้จาก

$$n_z = \frac{(n_{sz} + n_{Tz})}{\sqrt{(n_{sx} + n_{Tx})^2 + (n_{sy} + n_{Ty})^2 + (n_{sz} + n_{Tz})^2}} \quad \dots\dots\dots(22)$$

จากภาพประกอบ 2.11 จะสามารถหามุมในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ดังนี้

$$\theta = \cos^{-1}(n_z) \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$\phi = \sin^{-1} \left| \frac{n_y}{\sqrt{(n_x)^2 + (n_y)^2}} \right| \quad \dots\dots\dots(24)$$

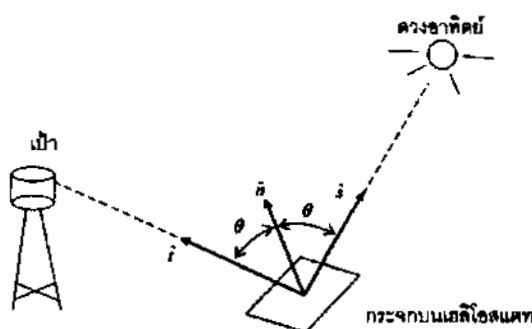
เมื่อ

θ คือ มุมซินิซในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ (มุมอัลติจูดเท่ากับ $90 - \theta$)

ϕ คือ มุมอซิมุสในการหมุนของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์

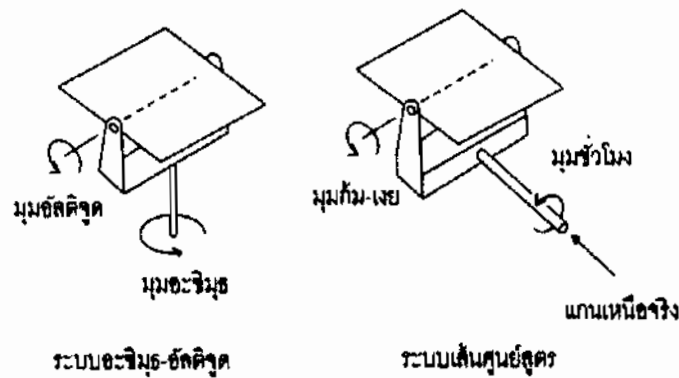
หลักการทำงานของเฮลิโอสแตท

เฮลิโอสแตทใช้ในการรวมแสงให้มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น ขึ้นส่วนหลักของเฮลิโอสแตทนั้น ประกอบไปด้วยกระจกแผ่นราบหรือกระจกโค้งเล็กน้อย ทำหน้าที่สะท้อนแสงไปรวมกันที่ตัวรับ ส่วนกลางการควบคุมเฮลิโอสแตทนั้นจะต้องมีการปรับมุมกระจกให้พอเหมาะตามเวลาในแต่ละวันและในแต่ละฤดู ซึ่งการปรับมุมกระจกนั้นขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (พิจารณาให้โลกอยู่กับที่) และตำแหน่งตัวรับส่วนกลางกับตำแหน่งเฮลิโอสแตท นั้นหมายความว่า เฮลิโอสแตทแต่ละตัวที่วางคนละตำแหน่งจะเคลื่อนที่ไม่เหมือนกันเพื่อให้สะท้อนแสงไปยังตำแหน่งเดียวกัน ตำแหน่งการวางตัวแสดง ดังภาพประกอบ 12



ภาพประกอบ 12 การสะท้อนแสงของเฮลิโอสแตท (การออกแบบระบบขับเคลื่อนของเฮลิโอสแตทโดยใช้ระบบเฟือง) ที่มา: (สุริยา อุ่นจิตติ)

เมื่อทราบค่าแวกเตอร์หนึ่งหน่วยของกระจก (N) แล้วจะต้องมีระบบควบคุมในการปรับมุมกระจกให้ได้ตามต้องการ โดยการปรับนั้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของกลไกในการปรับกระจก รวมทั้งตำแหน่งและการวางตัว (orientation) ของกระจกแต่ละตัวเทียบกับเป้า ในระบบทั่วๆ ไปนั้นการปรับมุมกระจกจะสามารถทำได้ในสองแฉกดังภาพประกอบ 13 ในแบบแรกเป็นแบบอะซิมูท-อัลติจูด ที่มีการปรับในแนวราบมุมอิมูท และในแนวระดับอัลติจูด ซึ่งมีข้อดีคือสามารถสร้างได้ง่าย อีกแบบเป็นระบบเส้นศูนย์สูตร (equatorial) ซึ่งจะต้องติดตั้งให้แกนของมุมชั่วโมง (hour angle) นั้นตรงกับแกนเหนือ-จริง (celestial north) ข้อดีของระบบแบบนี้คือ การติดตามดวงอาทิตย์ในแต่ละวันนั้นสามารถทำได้โดยปรับเพียงแกนชั่วโมง แต่ข้อเสียคือผลิตได้ยากกว่า และเหมาะกับการติดตามดวงอาทิตย์เท่านั้น ไม่เหมาะในการใช้สะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการเพราะการสะท้อนแสงจำเป็นต้องใช้การปรับสองแฉก (การออกแบบระบบขับเคลื่อนของเฮลิโอสแตทโดยใช้ระบบเฟือง) ที่มา: (สุริยา อุ่นจิตติ)



ภาพประกอบ 13 รูปแบบการปรับมุมกระจก (การออกแบบระบบขับเคลื่อนของเฮลิโอสแตตโดยใช้ระบบเฟือง) ที่มา: (สุริยา อุ่นจิตติ)

สมการที่เกี่ยวข้อง

คำนวณหาระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver

$$R = \frac{H - h}{\tan \lambda}$$

- เมื่อ
- R = ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver
 - H = ความสูงของ Receiver จากพื้น
 - h = ความสูงของ heliostat
 - λ = มุมของโครงกระจก

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โกเมธ สุทธิสา (2555 : บทคัดย่อ) การผลิตกระแสไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์โดยใช้ตัวรวมรังสีแบบพาราโบลิกร่วมกับเทอร์โมอิเล็กทริก เครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าจากเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยตัวรวมรังสีแบบพาราโบลิคมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร มีพื้นที่ผิว 2.06 ตารางเมตร เพื่อใช้รังสีอาทิตย์ไปยังแผ่นสะสมความร้อนที่ติดตั้งอยู่บนด้านร้อนของเทอร์โมอิเล็กทริก แผ่นดูดซับความร้อนมีขนาดความกว้าง 10 เซนติเมตร ความยาว 10 เซนติเมตร ใช้เทอร์โมอิเล็กทริกจำนวน 1 โมดูล ติดตั้งอยู่กับแผ่นดูดซับความร้อนเพื่อใช้ในการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกติดอยู่กับครีบบระบายความร้อนโดยใช้พัดลมระบายความร้อนขนาด 3 วัตต์ เพื่อใช้

ในการระบายความร้อนด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริก ในช่วงการทดลองการระบบติดตามดวงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้รับรังสีตรงจากอาทิตย์ในปริมาณที่มากที่สุด เมื่อความร้อนสะสมสูงสุดเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.32 วัตต์ ที่ความแตกต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็นมีค่าเท่ากับ 72.3 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพแปลงไฟฟ้าร้อยละ 2.5 ดังนั้นการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้านี้มีผลการทดลองที่ดีจึงควรมีการศึกษาและพัฒนาต่อไป

อนุรักษ์ แหวนวงศ์ และ วัชรโยธ (2553: บทคัดย่อ) ในปริญญาณิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าโดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับตัวรวมรังสีพาราโบลา ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยกระจกใส ช่องอากาศ แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ และถังเก็บน้ำ ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบผสมความร้อนไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก จะมีการผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนออกมา โดยมีพื้นที่รับรังสีและพื้นที่ดูดกลืนรังสี 2.55 ตารางเมตร และ 1.5 ตารางเมตร ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า การเพิ่มความร้อนและประสิทธิภาพโดยรวมขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยได้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานความร้อนสูงสุดและประสิทธิภาพโดยรวมร้อยละ 1.30 และ ร้อยละ 10.17 ตามลำดับ ในขณะที่เดียวกันกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการแปลงพลังงานไฟฟ้าขึ้นอยู่กับผลต่างอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล ที่ผลต่างอุณหภูมิ 15.66 องศาเซลเซียส จะได้กำลังไฟฟ้า 0.93 วัตต์ และประสิทธิภาพการแปลงพลังงานไฟฟ้าร้อยละ 3.37

นาย ชัยวัช ชูชัยและ นาย สรอรธ ธนศิลป์ (2555 : บทคัดย่อ) ในปัจจุบันไฟฟ้ามีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์แต่เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ทำให้ระบบไฟฟ้าขัดข้อง อยู่ในสถานที่ที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง หรือเมื่อระบบไฟฟ้าสำรองหมดลงก็จะไม่สามารถใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่จำเป็นได้อย่างไรก็ตามการนำพลังงานความร้อนมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถผลิตไฟฟ้าสำหรับการนำมาใช้ในสถานการณ์ดังกล่าว เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นอุปกรณ์ที่ทำการเปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) และชนิดพี(p-type) เรียงสลับกัน โดยมีโลหะนำไฟฟ้าเชื่อมต่อให้มีลักษณะสลับกันไปเป็นคู่ๆ ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างด้านร้อนและด้านเย็นของเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้า และเมื่อทำการต่อโหลดจะเกิดกระแสไหลในวงจรในโครงการนี้คณะผู้จัดทำได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับการชาร์จแบตเตอรี่โทรศัพท์มือถือ ในระบบประกอบไปด้วย เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลสองตัว อุปกรณ์ระบายความร้อน และ วงจรรักษาระดับแรงดัน เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ระหว่างการชาร์จแบตเตอรี่ขนาด 3.7 วัตต์ พบว่าระบบสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในขนาด 760 มิลลิวัตต์ คิดเป็น 28.5 เปอร์เซ็นต์ ของประสิทธิภาพทั้งหมดที่ควรจะได้

อำนาจ เงินพลับพลา (2556 : บทคัดย่อ) วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับสมรรถนะของระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับระบบหอคอยแสงอาทิตย์ ซึ่งระบบหอคอยรวมแสงนี้จะมีแผงสะท้อนแสงหลายแผงและติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่เหมาะสม โดยแต่ละแผงจะทำงานอิสระต่อกัน แผงสะท้อนแสงจะทำหน้าที่สะท้อนแสงไปยังตัวรับแสงที่ถูกติดตั้งไว้บนหอคอยทำให้ความเข้มแสงสูงขึ้น ความเข้มแสงเฉลี่ยที่ตกกระทบบนตัวรับแสงในแต่ละวันจะขึ้นอยู่กับตัวแปรที่สำคัญ เช่น จำนวนแผง ลักษณะและคุณสมบัติของตัวสะท้อนแสง ตำแหน่งของแผงและตัวรับแสง เป็นต้น ซึ่งตัวแปรเหล่านี้มีผลต่อความเข้มแสง กล่าวคือจะทำให้ขนาดพื้นที่ที่ตกกระทบของแสงบนตัวรับแสงที่เวลาใดๆ มีค่าแตกต่างกันไป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพระบบสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ที่มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดที่ใช้ในงานจริงและทดสอบความแม่นยำในการสะท้อนรังสี โดยศึกษาทางแผงสะท้อนรังสีแบบแผ่นเรียบและแบบที่มีการเพิ่มความเข้มแสง มีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพความเข้มของแสงที่เปลี่ยนไป อันเนื่องมาจากมุมสะท้อนที่เปลี่ยนแปลงตลอดวัน โดยมีการออกแบบโปรแกรมและสร้างระบบควบคุมแผงสะท้อนแสงด้วยวิธีคำนวณหาตำแหน่งดวงอาทิตย์เพื่อกำหนดมุมของแผง

ผลการทดสอบแผงสะท้อนแสงแบบแผ่นเรียบพบว่า ประสิทธิภาพความเข้มแสงมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5-0.7 ผลการทดลองแผงสะท้อนแสงแบบที่มีการเพิ่มความเข้มแสงพบว่าประสิทธิภาพความเข้มแสงสูงสุดเกิดขึ้นเวลาใกล้เคียงวันมีค่าประมาณ 11 และมีอัตราความเข้มแสงเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 9 และความเข้มของแสงจะลดลงในช่วงเช้าและบ่ายโดยทั้งช่วงเช้าและบ่ายมีอัตราความเข้มแสงลดลงและมีค่าใกล้เคียงกันในเชิงสมมาตรโดยมีค่าความเข้มแสงอยู่ระหว่าง 5-7 จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแบบที่มีการเพิ่มความเข้มแสงให้ประสิทธิภาพความเข้มแสงสูงกว่าแบบแผ่นเรียบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 6.5 สำหรับความแม่นยำของระบบสะท้อนแสงมีค่ายอมรับได้คือพื้นที่ตกกระทบที่ได้ ไม่หลุดออกจากพื้นที่ของตัวรับแสง

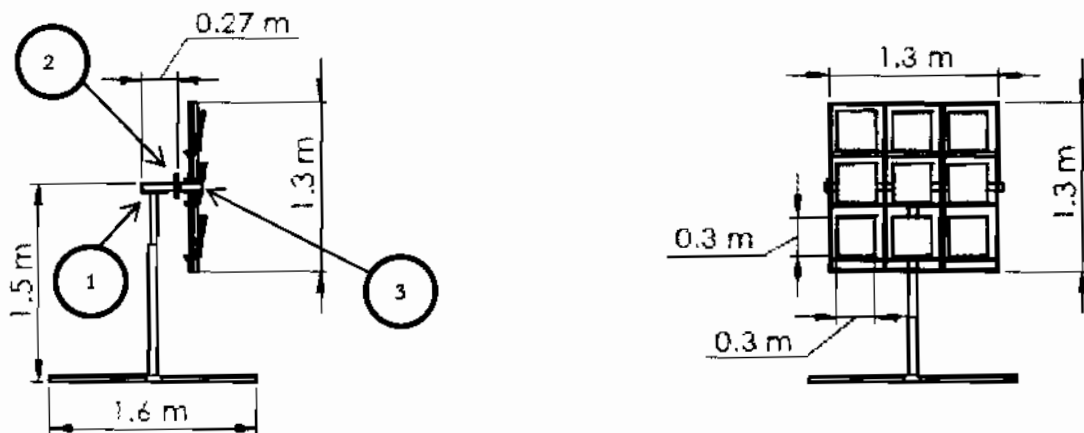
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ปริญญานิพนธ์นี้มุ่งเน้นเพื่อพัฒนา ทดสอบ และประเมินประสิทธิภาพของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตท โดยตัวรับรังสีดวงอาทิตย์จะมีส่วนประกอบเป็นแผ่นอลูมิเนียม เมื่อเฮลิโอสแตทสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังตัวรับตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Receiver) ซึ่งจะมีรังสีตรงสะท้อนไปยังตัวรับรังสีดวงอาทิตย์และจะทำให้อุณหภูมิที่แผ่นอลูมิเนียมมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แล้วทำการวัดค่าและประเมินผลต่างๆ ที่ได้จากการทดลองตั้งขึ้นรายละเอียดต่อไปนี้

การออกแบบโครงสร้างและส่วนประกอบ

การออกแบบโครงสร้างเครื่องต้นแบบมีรายละเอียด ดังภาพประกอบ 14



ภาพประกอบ 14 การออกแบบโครงสร้าง Heliostat

จากภาพประกอบ 14 จะเป็นการออกแบบเครื่อง Heliostat โดยมีความสูงที่สามารถปรับระดับได้ 2 ระดับ คือ 1.5 และ 2 เมตร ฐานรองรับเครื่องมีความกว้าง 1.6 เมตร และในส่วนของโครงสร้างที่ใช้ติดตั้งกระจกทั้ง 9 แผ่น ใช้เหล็กกล่องในการเชื่อมติดกันมีขนาด 1.3 x 1.3 เมตร ดังภาพประกอบ 14 และได้มีการออกแบบให้ Heliostat สามารถหมุนได้ทั้ง 3 แกน โดยใช้จานหมุนเหล็กเป็นตัวทำให้ Heliostat หมุน โดยติดตั้งจานหมุนเหล็กไว้ 3 จุด จากภาพประกอบ 14 จุดที่ 1 ติดตั้งบนสุดของเสา Heliostat โดยจะสามารถหมุนโครงสร้างได้ 360 องศา จุดที่ 2 ติดตั้งที่ตัวยึดโครง Heliostat กับ เสา และจุดที่ 3 ติดตั้งที่ด้านข้างโครง

กระจกทั้ง 2 ข้าง จะสามารถปรับขึ้นลงได้ และเมื่อได้โครงสร้างที่ออกแบบเสร็จแล้วจะนำกระจกทั้ง 9 แผ่นมาติดตั้ง

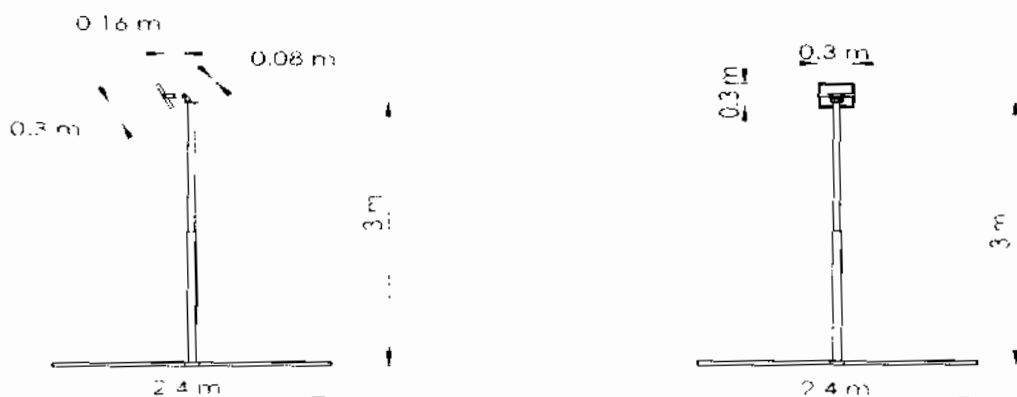
การออกแบบกระจกในการสะท้อนแสงอาทิตย์มีรายละเอียด ดังภาพประกอบ 15



ภาพประกอบ 15 การออกแบบโครงสร้างกระจก

จากภาพประกอบ 15 จะใช้กระจกขนาด 30×30 เซนติเมตร และมีความ 5 มิลลิเมตร จำนวน 9 แผ่น โดยออกแบบให้กระจกสามารถหมุนได้ 3 แกน เพื่อให้การสะท้อนแสงไปยัง Receiver มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยใช้จานหมุนเหล็ก 2 ชั้น ติดตั้งดังภาพประกอบ 15 และมีท่อนกลมขนาดเล็กใช้ในการยึดติดกับโครงสร้าง Heliostats

การออกแบบโครงสร้าง Receiver มีรายละเอียด ดังภาพประกอบ 16



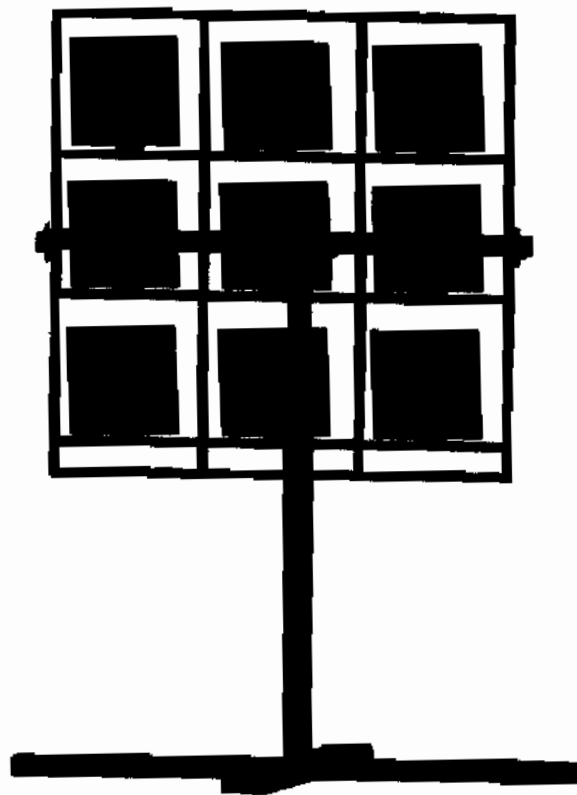
ภาพประกอบ 16 การออกแบบโครงสร้าง Receiver

จากภาพประกอบ 16 โครงสร้างของ Receiver ออกแบบให้มีความสูงที่ปรับได้ 2 ระดับ คือ 2.5 และ 3 เมตร เพื่อศึกษาว่าความสูงมีอิทธิพลต่อการสะท้อนแสงอาทิตย์หรือไม่ และมีการติดตั้ง Receiver ไว้จุดบนสุดของเสา Receiver โดยตัว Receiver ใช้แผ่นอลูมิเนียมในการรับแสงอาทิตย์ ซึ่ง Receiver สามารถปรับมุมได้ เพื่อให้สามารถรับแสงที่สะท้อนจาก Heliostats ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ Receiver มีขนาด 30 x 30 เซนติเมตร

ส่วนประกอบและโครงสร้างทางกลของระบบตัวรับแสงส่วนกลาง (central receiver system)

1. ตัวสะท้อนแสง (heliostat)

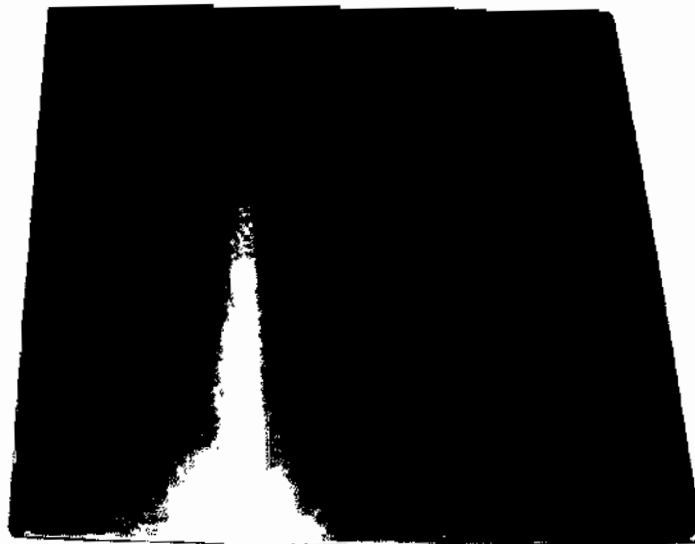
ตัวสะท้อนแสงประกอบด้วยกระจกสะท้อนเงาราวขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร และความหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 9 แผ่น ซึ่งจะติดตั้งกับโครงกระจก โดยโครงกระจกจะสามารถถอดประกอบกับเสาที่สูง 1.5 เมตร และสามารถปรับเพื่อให้ติดตามดวงอาทิตย์ได้ในลักษณะ 3 แกน กระจกแต่ละแผ่นปรับแบบอิสระต่อกัน เป็นระบบปรับด้วยมือ เพื่อให้ตัวรับแสงรับแสงได้เต็มที่และให้เรอร์โมอิเล็กทริกได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดตัวสะท้อนแสงแสดงรายละเอียด ดังภาพประกอบ 17



ภาพประกอบ 17 เฮลิโอสแตท (Heliostat)

2. แผ่นอลูมิเนียม (Aluminium)

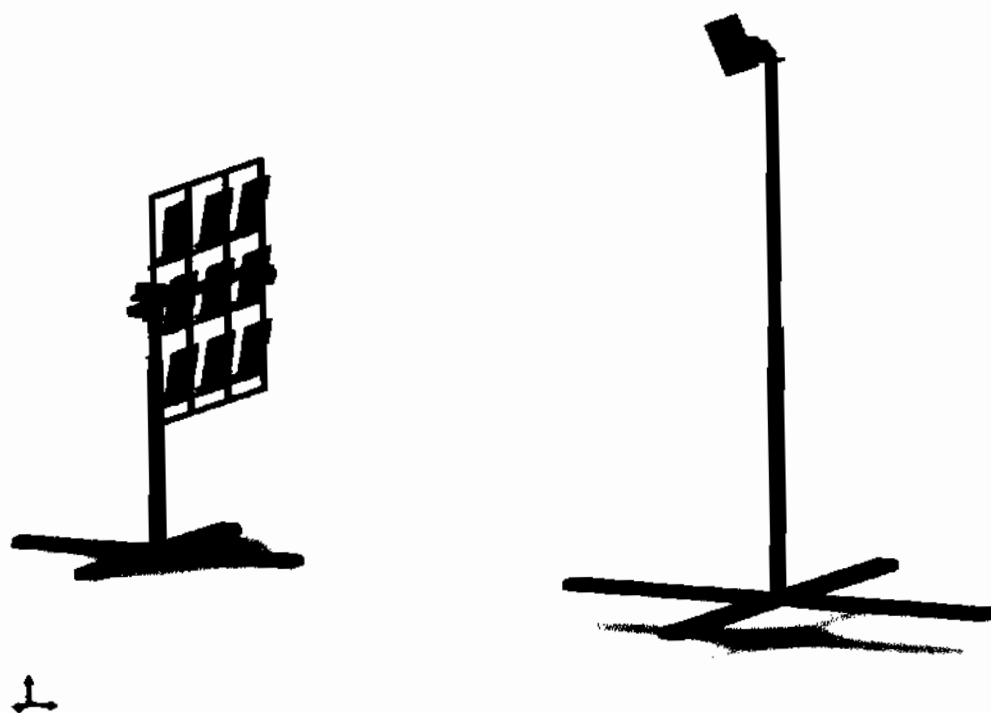
แผ่นอลูมิเนียมที่ใช้มีขนาดความกว้าง 30 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร และความหนา 3 มิลลิเมตร จำนวน 1 แผ่น ใช้เพื่อเป็นตัวรับแสงอาทิตย์ที่สะท้อนมาจากกระจกเงาราบ (heliostat) และจะทำการวัดอุณหภูมิของแผ่นอลูมิเนียมด้านที่ไม่ได้รับแสงสะท้อน โดยจะแบ่งการวัดออกเป็น 5 จุดด้วยกัน คือ จุดบนซ้าย จุดบนขวา ตรงกลาง จุดซ้ายล่าง และจุดขวาล่าง ดังภาพประกอบ 18



ภาพประกอบ 18 แผ่นอลูมิเนียม (Aluminium)

ระบบรับแสงส่วนกลาง (central receiver system)

ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตท มีส่วนประกอบคือ แผ่นอลูมิเนียม (Receiver) ซึ่งจะทำหน้าที่รับรังสีตรงที่ได้จากการสะท้อนแสงอาทิตย์ของเฮลิโอสแตทให้เป็นความร้อน กระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ที่ใช้มีขนาด 30 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 9 แผ่น และนอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่นๆ และภาพรวมของระบบ ดังภาพประกอบ 19



ภาพประกอบ 19 ระบบตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตท

หลักการทำงานและรายละเอียดของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตท

ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตทมีส่วนประกอบที่สำคัญหลายส่วน ซึ่งสถานะการทำงานเริ่มต้นจากตัวสะท้อนแสง (heliostat) สะท้อนรังสีตรงไปยังตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Receiver) โดยกระจกสะท้อนแสง (heliostat) สามารถปรับเพื่อให้ติดตามดวงอาทิตย์ได้ทั้ง 3 แกน โดยจะมีการปรับมุมแบบการปรับด้วยมือ จะทำการปรับมุมที่โครงเฮลิโอสแตท และปรับมุมให้มีขนาด 15 องศา 30 องศา และ 45 องศา ซึ่งตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Receiver) มีการตั้งมุมไว้ 60 องศา แล้วทำการปรับแผ่นกระจกทั้ง 9 แผ่น โดยจะปรับให้รังสีตรงสะท้อนไปยังตรงกลางของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Receiver) กระจกสะท้อนแสง (heliostat) มีทั้งหมด 9 แผ่น แต่ละแผ่นมีขนาด 30 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร หนา 5 มิลลิเมตร พื้นที่การสะท้อนแสง 0.81 ตารางเมตร และตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Receiver) มีพื้นที่รับแสง 0.09 ตารางเมตร เมื่อสะท้อนรังสีตรงไปยังตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Receiver) จะทำให้แผ่นอลูมิเนียมร้อน และมีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยจะวัดค่าของอุณหภูมิ บันทึกผลและประเมินผลต่างๆ ของการทดลอง

เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการวัดค่าและประเมินผลของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตทจำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ในการทดสอบดังนี้

1. เครื่องเก็บข้อมูล (Data Logger)

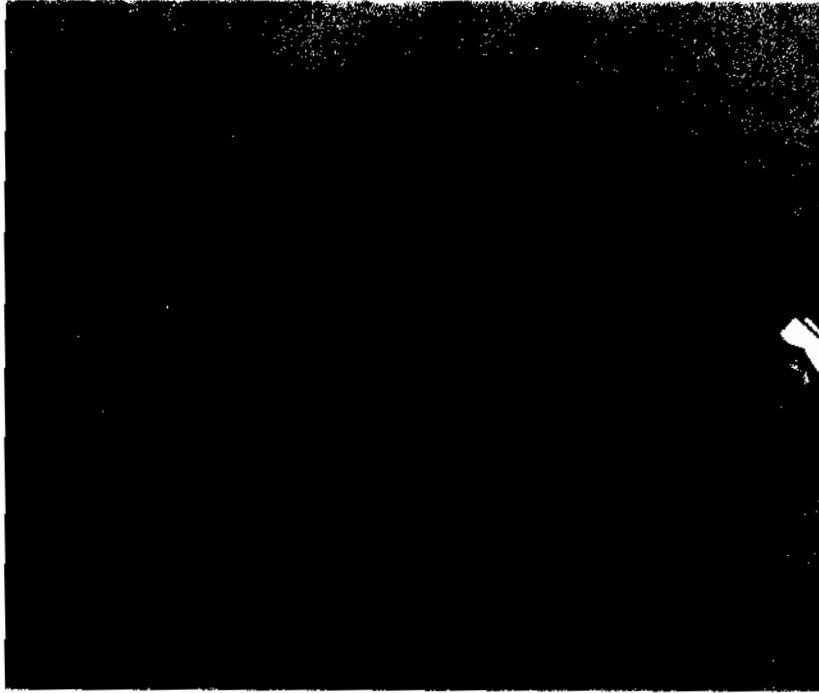
เครื่องเก็บข้อมูล (Data Logger) ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น IM MX 100 เพื่อใช้ในการบันทึกอุณหภูมิจุดต่างๆ ของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบเทอร์โมอิเล็กทริก ดังภาพประกอบ 20



ภาพประกอบ 20 เครื่องเก็บข้อมูล (Data Logger)

2. เทอร์โมคัปเปิล แบบ K (Type Chromel V.S.Alumel)

เทอร์โมคัปเปิล แบบ K (Type Chromel V.S.Alumel) ซึ่งสายลบบทามาจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 90 เปอร์เซ็นต์ + โครเมียม 10 เปอร์เซ็นต์ และสายบวกทำจากโลหะผสมระหว่างนิกเกิล 95 เปอร์เซ็นต์ + 5 เปอร์เซ็นต์ ของส่วนผสมระหว่างอลูมิเนียม แมงกานีสและซิลิคอน สามารถใช้งานกับสถานะที่เป็น Oxidizing หรือ Inert และงานที่ต้องรับการแผ่รังสีโดยตรงจากแหล่งกำเนิดความร้อนได้ดี ทนต่ออุณหภูมิได้สูงถึง 1260 ดังภาพประกอบ 21



ภาพประกอบ 21 เทอร์โมคัปเปิล แบบ K

3. เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Pyranometer)

เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ ยี่ห้อ EKO รุ่น MS-64 ใช้สำหรับวัดปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ มีค่าความถูกต้อง ± 1.5 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 1 เครื่อง ดังภาพประกอบ 22



ภาพประกอบ 22 เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Pyranometer)

การคำนวณ

คำนวณหาประสิทธิภาพ จากสมการ ดังนี้

$$\eta_s = \eta_c \frac{M - 1}{M + (T_c/T_h)}$$

$$\eta_{th} = \frac{Q_{th}}{Aa \cdot G}$$

$$Q_{th} = mCp(T_o + T_i)$$

$$\eta_o = \eta_{th} + \frac{\eta_s}{\eta_{power}}$$

$$\eta_c = \frac{T_h - T_c}{T_h}$$

$$M = \sqrt{1 + ZT_m}$$

$$T_m = 0.5(T_h + T_c)$$

คำนวณหากำลังไฟฟ้า ได้จากสมการดังนี้

$$P = IV_o$$

เมื่อ

P = กำลังไฟฟ้า, I = กระแสไฟฟ้า, V_o = แรงดันไฟ

คำนวณหาระยะทางระหว่าง heliostat กับ Receiver

$$R = \frac{H - h}{\tan \lambda}$$

เมื่อ

R = ระยะทางระหว่าง heliostat กับ Receiver

H = ความสูงของ Receiver จากพื้น

h = ความสูงของ heliostat

λ = มุมของโคจรกระจก

วิธีดำเนินการวิจัย

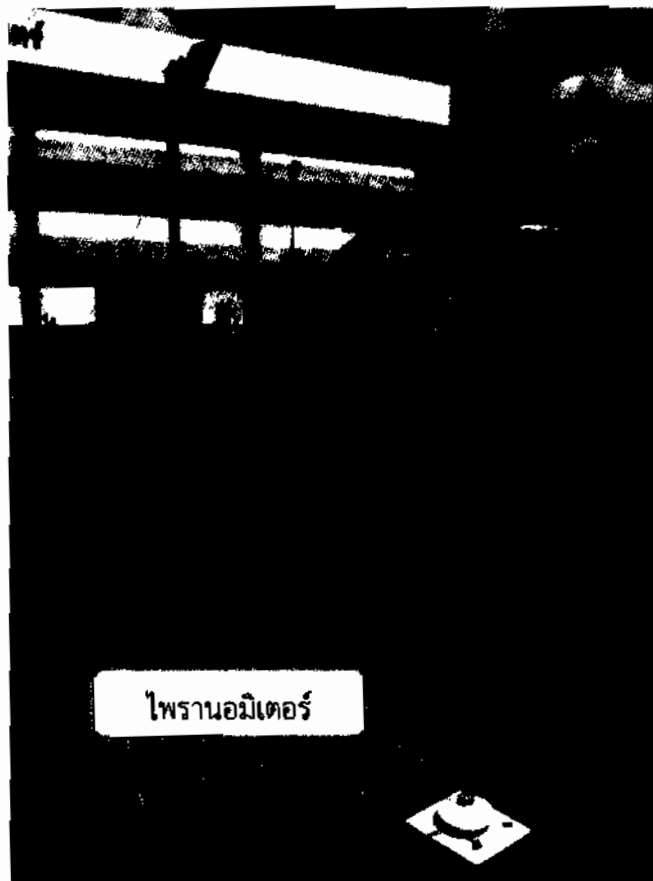
ในการศึกษา เพื่อพัฒนา ทดสอบ และประเมินประสิทธิภาพของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตท ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. ทำการติดตั้งเครื่องอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตท (heliostat) จุดที่ 1 และตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (receiver) จุดที่ 2 แล้วทำการปรับมุมอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตท (heliostat) ตามที่กำหนดไว้ และปรับมุมตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (receiver) ดังภาพประกอบ 23



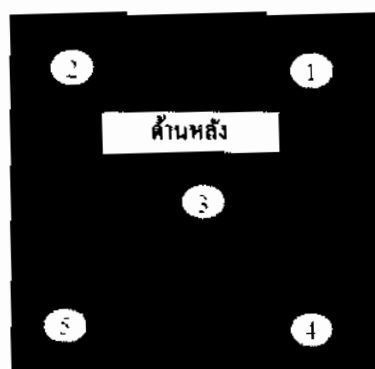
ภาพประกอบ 23 การติดตั้งเครื่องอุปกรณ์

2. ติดตั้งเครื่องไพรานอมิเตอร์บริเวณแวดล้อมเพื่อวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ แล้วต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) เพื่อทำการวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ดังภาพประกอบ 24



ภาพประกอบ 24 การติดตั้งเครื่องไพรานอมิเตอร์

3. ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล แบบ K ที่ตัวรับแสงส่วนกลาง เพื่อวัดอุณหภูมิที่ตัวรับแสงส่วนกลาง ทั้งหมด 5 จุดดังนี้ ดังภาพประกอบ 25



ภาพประกอบ 25 การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

4. ทำการปรับมุมของกระจกทั้ง 9 แผ่น เพื่อสะท้อนรังสีไปยังตรงกลางตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (receiver) โดยจะปรับกระจกทุก 5 นาที ดังภาพประกอบ 26, 27



ภาพประกอบ 26 การปรับมุมของเฮลิโอสแตท



ภาพประกอบ 27 การปรับมุมของเฮลิโอสแตท

5. บันทึกข้อมูลด้วยเครื่องเก็บข้อมูล (Data Logger) ทุก 5 นาที และทำการคำนวณค่าที่ได้จากการบันทึก ดังภาพประกอบ 28



ภาพประกอบ 28 เก็บค่าทดลอง

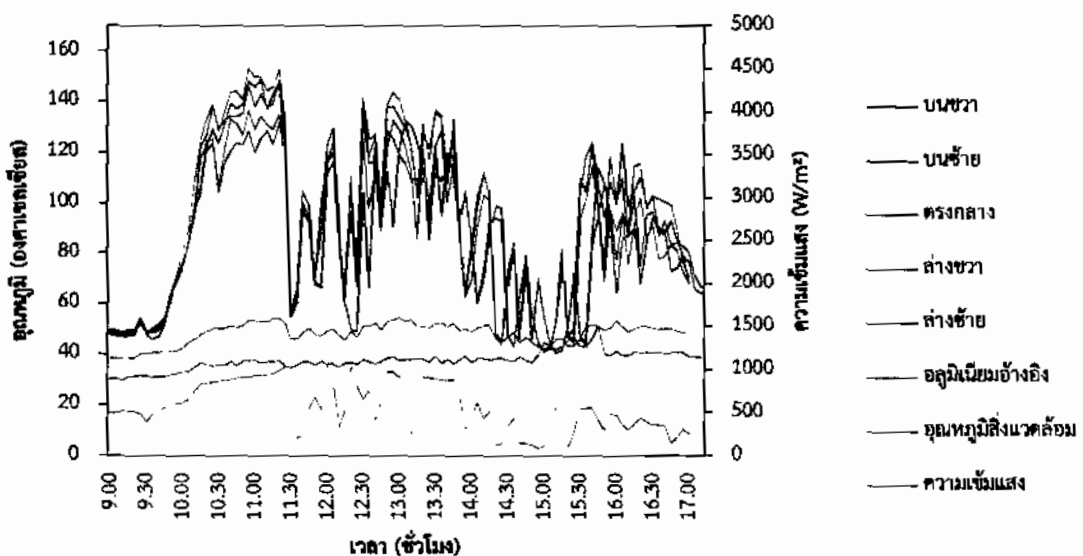
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการพัฒนาต้นแบบตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตท และทำการทดสอบระบบในช่วงระหว่างวันที่ 10-31 พฤษภาคม 2558 โดยทำการการศึกษาอิทธิพลของมุมของแผงกระจก (15-45 องศา) และความสูงของ Receiver (2.5 และ 3 เมตร) ที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิบนตัว Receiver โดยกำหนดความสูงของ Heliosat และมุมของ Receiver คงที่ที่ระยะ 1.5 เมตร และ 60 องศา ตามลำดับ ซึ่งจากการศึกษาดังกล่าวได้ผลดังต่อไปนี้

การกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งบน Receiver ตลอดวัน

ในการทดสอบระบบตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่ติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงแบบเฮลิโอสแตทนั้น ได้ทำการวัดอุณหภูมิบนตัว Receiver 5 ตำแหน่ง คือ บนขวา บนซ้าย ตรงกลาง ล่างขวา และล่างซ้าย โดยในการทดสอบได้ทำการวัดอุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิบนแผ่นอะลูมิเนียมอ้างอิงไว้เพื่อเปรียบเทียบ ซึ่งได้ผลการทดสอบดังแสดงในภาพประกอบ 29

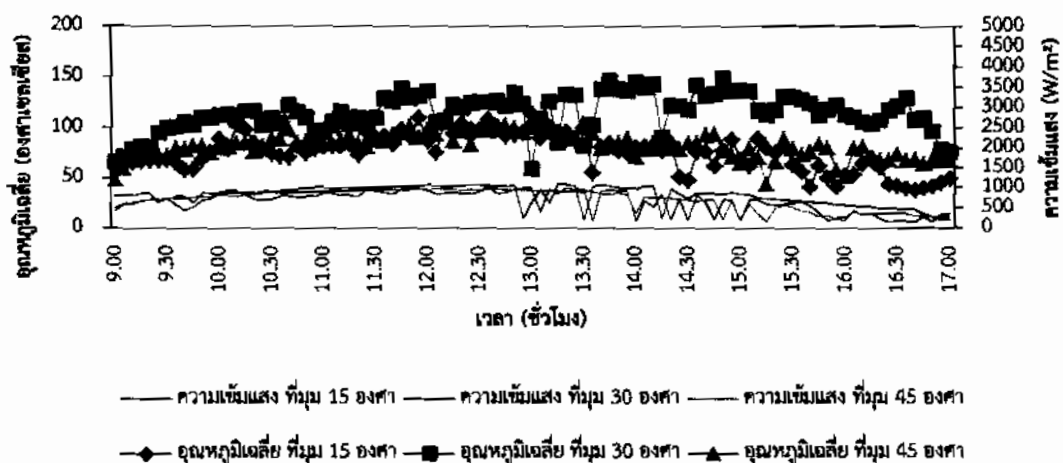


ภาพประกอบ 29 อุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งบน Receiver ที่สภาวะการทดสอบมุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร และระยะห่างระหว่าง Heliostat กับ Receiver 3.7 เมตร (ทดสอบ ณ วันที่ 29 พฤษภาคม 2558)

จากภาพประกอบ 29 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิในทุกตำแหน่งจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 09.30 นาฬิกา ถึงเวลา 10.30 นาฬิกา หลังจากนั้นจึงจะเริ่มมีการผันผวนของอุณหภูมิเป็นระยะๆ อุณหภูมิจะลดลงเป็นสองช่วงเวลาหลักๆ คือ ที่เวลา 11.15 นาฬิกา ถึงเวลา 12.15 นาฬิกา โดยอุณหภูมิต่ำสุดนี้คือ 54.6 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิบริเวณล่างซ้ายของ Receiver ที่เวลา 11.20 นาฬิกา และอีกช่วงเวลาที่อุณหภูมิลดลงคือ ที่เวลา 14.05 นาฬิกา ถึงเวลา 15.20 นาฬิกา อุณหภูมิต่ำสุดของช่วงเวลานี้คือ 40.2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิบริเวณล่างขวาของ Receiver ที่เวลา 15.00 นาฬิกา โดยอุณหภูมิสูงสุดของ Receiver ที่วัดได้ของวันที่ทำการทดสอบ คือ 152.9 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิตรงกลางของ Receiver ที่เวลา 10.55 นาฬิกา และอุณหภูมิต่ำสุดของ Receiver คือ 40.2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิบริเวณล่างขวาของ Receiver ที่เวลา 15.00 นาฬิกา ความผันผวนของอุณหภูมิตาม Receiver เป็นผลเนื่องจากท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมจึงทำให้ความเข้มแสงมีค่ากวัดแกว่งเป็นระยะ เมื่อพิจารณาภาพรวมของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ พบว่า อุณหภูมิบริเวณตรงกลางจะมีอุณหภูมิสูงที่สุด ในขณะที่อุณหภูมิบริเวณล่างซ้ายจะมีอุณหภูมิต่ำสุด

อิทธิพลของมุมของแผงกระจกที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยบน Receiver

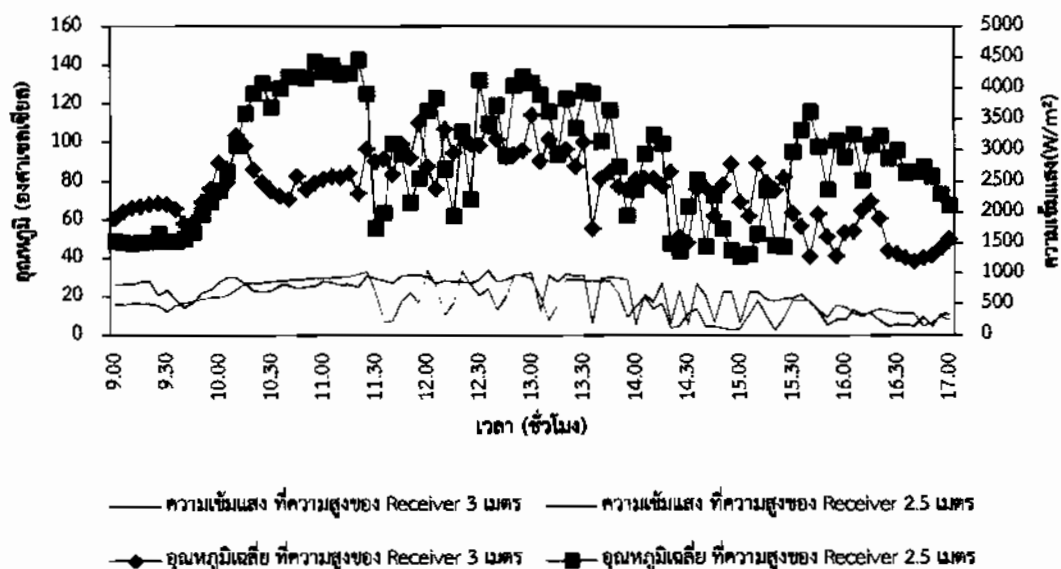
การปรับเปลี่ยนมุมของแผงกระจกจาก 15 องศา เป็น 30 และ 45 องศา ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยบนตัว Receiver ดังแสดงในภาพประกอบ 30 ซึ่งจากภาพดังกล่าวจะเห็นว่า ที่มุม 15 องศา และ 45 องศา จะให้อุณหภูมิเฉลี่ยบนตัว Receiver ที่มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ในขณะที่มุม 30 องศา จะให้อุณหภูมิเฉลี่ยที่มีค่าสูงกว่าประมาณ 35 องศาเซลเซียส โดยมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด 149.54 องศาเซลเซียส ที่เวลา 14.50 นาฬิกา



ภาพประกอบ 30 อิทธิพลของมุมของแผงกระจกที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยบน Receiver ที่สภาวะการทดสอบความสูงของ Receiver 3 เมตร

อิทธิพลของความสูงของ Receiver ที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยบน Receiver

การเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของ Receiver ตั้งมุมของ heliostat 15 องศา ดังภาพประกอบ 31



ภาพประกอบ 31 อิทธิพลของความสูงของ Receiver ที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยบน Receiver ที่สภาวะทดสอบมุมของแผงกระจก 15 องศา

จากภาพประกอบ 31 จะเห็นได้ว่า ที่ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร จะให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงบน Receiver ที่สูงกว่าที่ความสูงของ Receiver 3 เมตร โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุด (142.92 องศาเซลเซียส) ที่เวลา 11.20 นาฬิกา ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่ความสูงของ Receiver 3 เมตร มีค่าเท่ากับ 114.26 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัยศึกษาครั้งนี้ได้ทำการนำรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ใช้ประโยชน์ โดยทำให้ตัวรับแสง (Receiver) มีอุณหภูมิที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งตัวรับแสง (Receiver) มีขนาด 30 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตร โดยจะนำแผ่นกระจกขนาด 30 เซนติเมตร x 30 เซนติเมตรหนา 5 มิลลิเมตร จำนวน 9 แผ่น ในการสะท้อนรังสีอาทิตย์ไปยังตัวรับ (Receiver) เก็บข้อมูลรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ ตั้งแต่เวลา 09.00 นาฬิกา ถึงเวลา 17.00 นาฬิกา โดยจะมีการปรับมุมกระจกทั้ง 9 แผ่น เพื่อหาผลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ตัวรับรังสี (Receiver) ทุก ๆ 5 นาที สรุปได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 3.7 เมตร ที่ตำแหน่งต่างๆ ที่ทำการวัดอุณหภูมิ ของตัวรับรังสี (Receiver) ทั้ง 5 จุด ซึ่งกรณีนี้มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ไม่เสถียรตลอดทั้งวัน คือการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่างกันมาก เนื่องจากท้องฟ้ามีเมฆฝนปกคลุมเป็นระยะตลอดทั้งวัน เมื่อเมฆฝนปกคลุมท้องฟ้า ก็จะทำให้ค่าความเข้มแสงต่ำ และเมื่อเมฆฝนเคลื่อนที่ออกจากดวงอาทิตย์ ค่าความเข้มแสงก็จะสูง โดยจะเป็นแบบนี้ตลอดทั้งวัน ซึ่งค่าอุณหภูมิของ Receiver จะแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสง อุณหภูมิสูงสุดคือ 152.9 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิบริเวณตรงกลางของ Receiver ที่เวลา 10.55 นาฬิกา และอุณหภูมิต่ำสุดของ Receiver คือ 40.2 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิบริเวณขาล่างของ Receiver ที่เวลา 15.00 นาฬิกา

กรณีที่ 2 ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.7 เมตร โดยช่วงอุณหภูมิสูงจะอยู่ที่เวลา 10.35 นาฬิกา ถึงเวลา 12.00 นาฬิกา อุณหภูมิสูงสุดของช่วงเวลานี้คือ 145.1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิบริเวณขาล่างของ Receiver ที่เวลา 12.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นอุณหภูมิสูงสุดของกรณีนี้ ส่วนอุณหภูมิต่ำสุดของกรณีนี้คือ 41.3 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15.50 นาฬิกา ซึ่งเป็นอุณหภูมิบริเวณซ้ายล่างของ Receiver

กรณีที่ 3 ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1 เมตร จะเห็นได้ว่ากราฟอุณหภูมิมีแนวโน้มดี ที่เวลา 09.00 นาฬิกา ถึงเวลา 15.00 นาฬิกา อุณหภูมิมีแนวโน้มที่สูง และมีค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแตกต่างกันไม่มาก อุณหภูมิสูงสุดของกรณีนี้คือ 116.30

องศาเซลเซียส ที่เวลา 11.40 นาฬิกา ซึ่งเป็นตำแหน่งตรงกลางของ Receiver และอุณหภูมิต่ำสุดคือ 37.90 องศาเซลเซียส ที่เวลา 09.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นอุณหภูมิตำแหน่งขาล่างของ Receiver

กรณีที่ 4 ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 5.6 เมตร การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆของ Receiver ที่ได้จากการทดลองวันนี้ (20 พฤษภาคม 2558) มีแนวโน้มที่ดี และช่วงเวลา 10.30 นาฬิกา ถึงเวลา 14.00 นาฬิกา มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ไม่ต่างกันมาก โดยอุณหภูมิสูงสุดของกรณีนี้คือ 125.40 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นอุณหภูมิตำแหน่งตรงกลางของ Receiver และอุณหภูมิต่ำสุดของกรณีนี้คือ 37.70 องศาเซลเซียส ที่เวลา 16.40 นาฬิกา ซึ่งเป็นอุณหภูมิตำแหน่งขาล่างของ Receiver

กรณีที่ 5 ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 2.6 เมตร อุณหภูมิมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นจากเวลา 09.00 นาฬิกา จนถึงเวลา 12.55 นาฬิกา อุณหภูมิสูงสุดของช่วงเวลานี้คือ 145.1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิบริเวณตรงกลางของ Receiver อุณหภูมิจะสูงสุดของกรณีนี้คือ 163.4 องศาเซลเซียส ที่เวลา 14.50 นาฬิกา ซึ่งเป็นอุณหภูมิบริเวณบนขวาของ Receiver และอุณหภูมิต่ำสุดของกรณีนี้คือ 54.6 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13.00 นาฬิกา ซึ่งเป็นอุณหภูมิจากบริเวณขาล่างของ Receiver

กรณีที่ 6 ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.5 เมตร จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิสูงสุดคือ 114.2 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12.10 นาฬิกา ซึ่งเป็นอุณหภูมิตรงกลางของ Receiver และอุณหภูมิต่ำสุดคือ 41.8 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15.15 นาฬิกา ซึ่งเป็นอุณหภูมิจากบริเวณขาล่างของ Receiver

จากผลทดลองค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งบน Receiver ตลอดวันพบว่า กรณีที่ 5 ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 2.6 เมตร มีความเหมาะสมที่สุดในการให้ความร้อนแก่ตัวรับรังสี (Receiver) โดยอุณหภูมิสูงสุด คือ 163.4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดคือ 54.6 องศาเซลเซียส

และอิทธิพลของมุมของแผงกระจกที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยบน Receiver พบว่าที่มุม 30 องศา จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า และอิทธิพลของความสูงของ Receiver ที่ส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิเฉลี่ยบน Receiver พบว่าที่ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร จะให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงบน Receiver ที่สูงกว่าที่ความสูงของ Receiver 3 เมตร

ประโยชน์ในการใช้ความร้อนที่ได้

ความร้อนที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปใช้ในการผลิตน้ำร้อน และยังสามารถประยุกต์ใช้เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กได้โดยใช้เทอร์โมอิเล็กทริกในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งสามารถเก็บกระแสไฟฟ้าเข้ากับแบตเตอรี่เพื่อใช้เป็นพลังงานไฟฟ้าสำรองได้

ข้อเสนอแนะ

1. หากเพิ่มจำนวนของกระจุก ก็สามารถเพิ่มอุณหภูมิได้มากกว่านี้
2. ถ้ามีการควบคุมการปรับมุมของกระจุกระบบจะดีมาก เพราะถ้าไม่มีการควบคุมการปรับมุมของกระจุกให้สะท้อนไปที่จุดกลางของตัวรับรังสี (Receiver) อุณหภูมิของตัวรับรังสีจะลดต่ำลง หากเพิ่มระบบการควบคุมการปรับมุมของกระจุก อุณหภูมิน่าจะสูงกว่าเดิม

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ . มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2551.
- โกเมธ สุทธิสา . การผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบพาราโบลิค . ปริญญานิพนธ์ . วศ.บ. มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม . 2553.
- ชัยธวัช ชูชัย และ สรอรธ อนุศิลป์.เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก . ปริญญานิพนธ์ . วศ.บ. ขอนแก่น: มหาวิทยาลัยขอนแก่น . 2555.
- บทความวิชาการ การใช้พลังงานทดแทนเพื่อรองรับวิกฤตพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย . ฉบับที่ 4,2556.
- ปริญญา ศรีสวัสดิ์ . ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ระบบความร้อนแบบรวมแสง กรณีศึกษาสำหรับจังหวัดร้อยเอ็ด . 2549.
- มานุศักดิ์ จานทอง , ธนัช ศรีพนม และ วรพันธ์ สาระสุรีย์ภรณ์ . ตัวต้นแบบระบบสะท้อนแสงอาทิตย์ สำหรับตัวรับรังสีรวมกลาง . 2553.
- สุริยา ชุ่มจิตติ . การออกแบบระบบขับเคลื่อนของเฮลิโอสแตทโดยใช้ระบบเฟือง . 2551.
- อธิวัฒน์ เพียรขุนทด และวรุฒิ กุลวงศ์ . การศึกษาสมรรถนะของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบเทอร์โมอิเล็กทริกร่วมกับฮีทปั๊ม . ปริญญานิพนธ์ . วศ.บ . มหาสารคาม: มหาวิทยาลัยมหาสารคาม . 2554.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

อุณหภูมิต่างๆ ของระบบ และความเข้มรังสีอาทิตย์ในการทดสอบ

ตาราง 1 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (29 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 3.7 เมตร

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
9:00:00	48.5	49.4	49.5	48.2	47.8	38.5	30.3	493.18
9:05:00	47.8	48.8	49.4	48.2	47.3	38.6	30.6	495.13
9:10:00	47.4	48.4	48.8	47.7	46.9	38.4	29.9	526.32
9:15:00	47.7	48.3	49.5	48.2	47.1	38.1	30.8	510.72
9:20:00	48.0	48.5	49.3	48.7	47.3	38.5	31.2	506.82
9:25:00	52.2	54.0	54.3	52.0	53.3	39.9	31.5	485.38
9:30:00	49.2	49.3	49.2	48.6	47.9	40.0	31.4	389.86
9:35:00	50.0	48.3	49.2	48.5	45.8	40.5	30.9	481.48
9:40:00	52.0	49.2	50.8	50.7	46.8	40.6	30.8	518.52
9:45:00	54.1	53.1	54.3	54.1	51.2	41.6	31.1	553.61
9:50:00	62.8	63.2	64.4	60.3	61.8	40.9	31.9	580.90
9:55:00	69.3	68.4	70.8	70.2	68.3	41.3	32.3	604.29
10:00:00	75.3	73.2	79.4	73.2	74.6	42.3	32.8	608.19
10:05:00	83.2	83.4	89.8	85.2	84.3	44.5	33.2	653.02
10:10:00	95.3	94.2	107.8	98.3	97.2	45.9	34.8	750.49
10:15:00	118.1	107.4	124.8	122.1	104.1	47.9	36.4	830.41
10:20:00	122.2	124.6	133.2	126.9	120.4	48.9	35.9	838.21
10:25:00	129.2	125.0	138.8	137.8	123.6	49.8	35.1	847.95
10:30:00	123.5	106.2	128.1	129.7	104.0	50.0	35.8	861.60
10:35:00	131.6	122.1	136.4	133.0	116.1	50.2	35.4	879.14
10:40:00	139.2	133.2	143.5	134.3	120.8	51.2	37.3	884.99
10:45:00	137.3	131.3	144.1	134.1	123.7	50.3	35.3	900.58
10:50:00	139.0	126.9	140.8	135.5	123.0	51.4	37.3	910.33
10:55:00	147.8	136.5	152.9	145.9	128.2	53.3	37.3	914.23

ตาราง 1 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (29 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 3.7 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
11:00:00	145.7	129.2	149.4	137.9	119.9	52.8	37.8	918.13
11:05:00	148.3	134.2	149.5	142.7	125.5	53.2	36.4	923.98
11:10:00	136.9	130.9	144.0	137.9	128.5	52.7	36.9	935.67
11:15:00	142.5	129.0	145.8	139.0	123.0	53.9	36.8	951.27
11:20:00	147.3	135.0	152.6	148.2	131.5	54.0	37.4	986.35
11:25:00	128.3	123.5	132.8	124.1	117.1	52.2	35.3	1027.29
11:30:00	56.9	56.3	56.5	54.4	54.6	45.7	34.6	707.60
11:35:00	66.5	60.5	64.5	66.3	60.3	45.9	35.6	208.58
11:40:00	100.3	96.9	104.6	98.6	96.6	48.5	36.9	233.92
11:45:00	93.1	91.4	98.5	95.0	91.6	50.1	36.6	551.66
11:50:00	70.1	69.0	69.8	68.5	67.6	47.9	35.6	688.11
11:55:00	89.1	66.7	87.7	99.3	66.1	47.0	37.3	528.27
12:00:00	116.4	111.0	122.7	117.0	114.4	49.2	35.9	1056.53
12:05:00	119.6	116.2	129.8	124.6	124.6	50.0	35.9	803.12
12:10:00	87.7	84.5	87.9	87.1	85.4	47.3	34.9	321.64
12:15:00	64.8	60.3	60.0	64.1	59.4	45.6	36.4	526.32
12:20:00	108.8	108.7	110.3	96.3	103.9	49.0	36.7	1038.99
12:25:00	76.6	69.6	74.7	66.8	66.3	46.6	35.9	805.07
12:30:00	140.6	125.3	141.5	132.3	121.9	50.9	38.0	651.07
12:35:00	125.3	98.0	118.2	115.7	92.7	50.9	37.0	754.39
12:40:00	126.7	114.5	127.1	115.7	112.2	52.2	36.1	407.41
12:45:00	98.5	90.3	99.0	88.8	90.5	49.7	37.3	621.83
12:50:00	137.6	121.7	139.3	128.7	120.3	52.9	38.5	966.86
12:55:00	138.0	132.6	143.6	125.1	132.3	53.4	38.9	964.91

ตาราง 1 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (29 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 3.7 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
13:00:00	134.0	129.3	141.1	119.0	130.3	54.4	37.4	914.23
13:05:00	129.6	122.3	132.7	115.6	123.5	53.0	37.7	615.98
13:10:00	121.7	112.7	123.0	109.1	112.5	53.7	38.0	243.66
13:15:00	102.1	86.0	102.1	92.6	85.4	50.4	37.0	500.97
13:20:00	126.7	121.1	131.1	111.9	121.6	51.1	39.2	908.38
13:25:00	121.8	96.8	116.4	108.7	94.7	50.3	36.4	900.58
13:30:00	136.4	122.6	135.6	119.5	119.6	51.9	38.0	888.89
13:35:00	134.2	128.7	134.0	112.0	118.2	52.4	36.2	875.24
13:40:00	110.1	100.7	107.6	89.8	94.6	50.7	38.0	871.35
13:45:00	133.0	115.7	127.1	104.8	103.5	52.1	39.3	877.19
13:50:00	92.9	88.3	90.9	82.6	84.2	49.4	36.7	672.51
13:55:00	64.5	62.6	63.1	60.7	60.4	50.0	38.3	296.30
14:00:00	84.9	69.5	79.7	73.8	69.3	48.9	38.3	461.99
14:05:00	103.4	90.5	98.1	93.4	86.9	50.5	37.7	615.98
14:10:00	111.7	103.2	111.3	93.9	99.0	51.1	38.3	430.80
14:15:00	103.0	100.8	103.1	92.7	97.8	51.1	38.3	512.67
14:20:00	48.5	48.2	47.9	47.0	47.0	45.8	37.8	118.91
14:25:00	44.2	43.8	43.7	43.3	43.1	44.6	37.2	148.15
14:30:00	72.2	64.9	70.5	63.9	63.9	46.6	39.0	352.83
14:35:00	83.6	81.8	82.0	77.7	78.7	48.5	37.7	434.70
14:40:00	46.9	46.6	46.1	45.3	45.5	44.6	36.6	144.25
14:45:00	78.2	70.8	76.8	69.7	69.6	46.9	39.6	134.50
14:50:00	56.6	56.1	56.1	54.4	54.4	44.9	37.1	122.81
14:55:00	44.8	44.6	44.2	43.2	43.7	43.0	36.9	87.72

ตาราง 1 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (29 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 3.7 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
15:00:00	41.3	41.1	40.9	40.4	40.5	42.0	35.9	107.21
15:05:00	43.5	42.2	42.1	41.7	41.7	43.0	37.7	325.54
15:10:00	53.0	52.0	53.0	52.2	51.9	45.9	37.8	561.40
15:15:00	81.6	73.4	81.5	68.6	72.0	46.3	38.5	319.69
15:20:00	47.4	47.7	47.1	45.6	46.8	43.0	36.3	89.67
15:25:00	50.2	44.3	45.3	46.0	43.3	43.1	39.0	270.96
15:30:00	109.8	93.8	103.7	86.7	83.2	46.6	39.9	551.66
15:35:00	104.4	101.5	118.3	114.1	94.9	50.9	40.7	557.50
15:40:00	124.3	114.5	124.2	107.8	108.1	51.7	40.0	551.66
15:45:00	107.0	96.9	100.5	95.8	90.1	51.1	39.6	397.66
15:50:00	94.2	68.7	74.8	76.7	64.4	49.4	41.3	296.30
15:55:00	108.0	96.8	118.4	96.2	86.2	50.3	39.5	485.38
16:00:00	99.4	89.0	99.9	87.7	86.7	53.1	39.4	465.89
16:05:00	123.5	95.0	109.9	102.7	89.7	50.7	40.9	356.73
16:10:00	99.0	75.2	87.0	75.0	67.8	48.9	40.6	300.19
16:15:00	105.2	91.9	114.6	95.3	85.8	50.1	41.0	376.22
16:20:00	110.4	102.4	115.8	96.5	93.7	51.0	40.6	432.75
16:25:00	98.0	86.2	98.7	86.9	90.1	51.0	41.0	393.76
16:30:00	103.0	91.3	103.0	92.9	89.1	50.5	40.2	356.73
16:35:00	87.6	77.7	101.6	83.3	72.6	49.8	40.7	354.78
16:40:00	87.7	78.5	100.7	84.1	74.2	49.9	40.9	346.98
16:45:00	92.8	83.4	99.2	83.0	78.6	50.0	40.7	148.15
16:50:00	85.3	81.2	90.2	80.1	76.5	49.3	39.2	214.42
16:55:00	79.3	73.0	77.1	71.1	65.8	48.6	38.9	309.94

ตาราง 1 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (29 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 3.7 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
17:00:00	68.4	68.1	70.8	66.6	64.0	48.1	38.6	257.31

ตาราง 2 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (1 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.7 เมตร

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
9:00:00	51.8	51.8	52.8	51.1	49.2	37.8	32.5	502.92
9:05:00	52.9	52.8	53.6	52.9	49.4	38.5	30.7	491.23
9:10:00	53.6	52.8	54.6	53.3	50.0	38.0	31.6	485.38
9:15:00	51.4	59.2	51.8	50.9	49.8	39.1	30.5	397.66
9:20:00	52.1	54.0	54.3	52.0	53.3	40.1	31.2	483.43
9:25:00	49.8	49.9	50.0	49.3	48.8	40.2	31.4	387.91
9:30:00	52.8	51.2	53.2	49.8	51.0	50.2	30.2	493.18
9:35:00	53.4	53.2	53.4	52.4	50.5	41.2	31.8	506.82
9:40:00	51.4	48.4	49.9	49.9	45.0	40.5	31.1	532.16
9:45:00	53.2	53.1	54.1	53.3	51.7	49.3	32.1	549.71
9:50:00	53.5	50.6	52.7	53.3	49.0	41.7	31.7	573.10
9:55:00	63.8	61.0	63.9	60.2	61.3	42.8	32.8	592.59
10:00:00	69.8	70.3	72.4	71.0	70.3	42.5	33.2	709.55
10:05:00	75.2	74.3	77.8	73.9	74.8	43.8	33.8	775.83
10:10:00	79.1	80.2	83.4	78.3	79.4	45.3	34.5	791.42
10:15:00	83.2	83.4	89.9	86.7	87.8	47.3	34.7	807.02
10:20:00	98.1	97.2	103.5	99.2	97.8	48.9	35.7	842.11
10:25:00	107.9	114.8	118.9	111.1	112.3	49.8	35.6	873.29
10:30:00	116.9	121.9	123.6	118.7	115.9	50.9	36.5	904.48
10:35:00	128.0	125.2	131.7	130.6	117.2	51.4	35.1	912.28
10:40:00	119.5	117.0	122.6	122.0	110.3	48.9	36.1	892.79
10:45:00	125.2	126.1	130.9	130.3	124.1	50.3	35.8	884.99
10:50:00	121.1	123.0	126.5	121.3	117.8	51.7	37.6	922.03
10:55:00	133.0	126.2	134.5	135.3	121.1	52.7	37.5	881.09

ตาราง 2 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (1 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.7 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
11:00:00	128.9	125.0	129.9	128.0	117.1	53.2	37.8	904.48
11:05:00	129.6	110.4	126.3	129.2	104.8	53.6	38.0	939.57
11:10:00	117.8	109.3	119.2	120.8	105.1	52.8	37.4	961.01
11:15:00	135.1	138.5	141.8	138.4	134.8	53.5	36.7	961.01
11:20:00	137.0	127.9	136.0	136.2	118.6	54.6	37.5	970.76
11:25:00	123.9	113.2	125.0	128.4	110.2	53.6	37.9	953.22
11:30:00	125.1	131.2	132.3	125.9	127.2	54.4	37.8	955.17
11:35:00	136.2	132.1	139.1	137.3	125.4	56.0	39.3	998.05
11:40:00	120.5	102.6	119.2	123.4	98.0	54.6	38.7	988.30
11:45:00	132.0	135.3	139.9	136.7	135.5	55.4	38.7	1007.80
11:50:00	141.5	131.2	141.2	142.1	124.7	56.8	37.9	1011.70
11:55:00	131.6	128.9	136.5	137.5	128.1	54.6	37.5	1013.65
12:00:00	136.9	133.0	141.2	145.1	133.6	54.1	37.9	1003.90
12:05:00	134.4	124.4	135.6	138.7	121.2	54.8	39.4	1011.70
12:10:00	81.8	76.4	77.7	78.9	71.1	50.0	38.2	931.77
12:15:00	118.0	110.5	120.7	123.2	111.6	52.3	38.8	972.71
12:20:00	116.7	108.2	117.7	123.3	109.1	53.0	38.2	941.52
12:25:00	119.1	102.8	117.3	124.9	102.0	54.4	40.0	968.81
12:30:00	101.6	95.4	98.6	97.9	88.1	52.6	38.6	992.20
12:35:00	90.5	86.6	88.7	87.5	83.2	51.3	38.5	555.56
12:40:00	56.7	54.7	55.7	55.0	53.2	47.8	38.0	249.51
12:45:00	117.7	116.8	121.0	115.4	113.2	52.0	40.6	1056.53
12:50:00	127.5	119.4	129.9	129.8	117.9	54.3	41.9	1074.07
12:55:00	122.2	118.8	122.4	118.8	113.8	54.5	39.0	1066.28

ตาราง 2 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (1 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.7 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
13:00:00	113.7	110.7	113.9	109.0	105.3	54.2	37.9	1042.88
13:05:00	122.9	115.5	123.7	122.8	113.9	54.5	39.5	1081.87
13:10:00	126.0	126.8	129.5	124.3	123.5	55.1	40.4	1001.95
13:15:00	84.2	81.0	81.9	81.6	78.1	52.5	39.4	196.88
13:20:00	95.4	89.6	93.6	89.0	86.0	52.9	40.2	1015.59
13:25:00	70.2	68.9	68.8	67.4	66.3	50.9	38.8	237.82
13:30:00	51.5	50.0	50.2	49.7	48.7	46.6	37.8	261.21
13:35:00	51.1	49.9	50.0	49.3	48.5	46.6	37.4	259.26
13:40:00	79.9	74.6	79.9	79.5	74.6	48.9	39.2	514.62
13:45:00	129.3	118.0	131.9	133.5	118.4	53.3	39.3	1007.80
13:50:00	120.6	113.7	121.0	116.3	108.0	53.9	40.2	992.20
13:55:00	111.8	110.2	113.8	109.7	105.8	54.7	40.3	992.20
14:00:00	84.8	77.3	85.1	87.4	77.3	51.3	39.6	947.37
14:05:00	57.4	56.2	56.0	55.3	54.2	48.5	38.3	144.25
14:10:00	103.2	104.8	106.0	95.4	94.6	51.0	40.4	894.74
14:15:00	120.1	105.0	123.2	105.8	111.4	50.9	39.7	883.04
14:20:00	126.0	101.6	125.0	132.0	106.8	52.0	40.7	851.85
14:25:00	134.6	129.0	136.7	130.8	129.0	53.3	39.3	830.41
14:30:00	135.1	126.6	136.6	126.8	125.0	53.2	42.8	816.76
14:35:00	133.7	111.0	130.8	129.8	111.8	52.8	41.3	807.02
14:40:00	127.6	108.3	124.7	127.5	109.2	51.2	39.4	820.66
14:45:00	133.3	120.4	131.6	131.1	121.8	52.8	40.3	836.26
14:50:00	125.5	106.8	120.3	123.0	105.3	52.9	41.4	797.27
14:55:00	75.2	72.4	73.6	73.4	71.1	49.5	41.1	157.89

ตาราง 2 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (1 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.7 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
15:00:00	48.4	46.6	47.7	48.3	46.4	46.3	38.3	230.02
15:05:00	43.8	43.2	43.2	43.1	42.7	45.5	38.4	198.83
15:10:00	45.9	44.7	45.1	45.8	44.1	45.2	38.7	226.12
15:15:00	45.9	44.4	44.8	45.7	43.5	45.2	38.6	286.55
15:20:00	46.0	44.7	45.1	46.0	44.1	45.6	38.9	294.35
15:25:00	48.2	47.8	47.8	47.1	47.0	45.0	38.2	376.22
15:30:00	44.4	43.9	43.9	43.7	43.5	44.3	38.0	177.39
15:35:00	46.7	45.8	45.8	45.8	44.4	44.3	38.0	218.32
15:40:00	45.6	45.0	44.9	44.7	44.2	44.2	37.5	142.30
15:45:00	42.6	42.3	42.2	41.9	41.7	43.4	37.9	142.30
15:50:00	42.2	41.9	41.8	41.6	41.3	43.5	38.0	165.69
15:55:00	42.4	42.1	41.9	41.7	41.6	42.0	37.9	167.64
16:00:00	42.9	42.5	42.3	42.1	42.0	43.0	39.1	251.46
16:05:00	50.0	48.4	49.1	48.5	48.4	43.1	39.0	352.83
16:10:00	84.2	78.9	83.8	72.7	75.0	45.2	39.8	495.13
16:15:00	107.1	89.3	99.8	92.2	84.1	46.2	40.6	458.09
16:20:00	120.5	97.2	112.5	106.3	96.5	46.7	40.5	471.73
16:25:00	117.9	101.1	113.3	106.1	97.3	46.9	41.3	421.05
16:30:00	112.7	102.5	111.0	96.0	99.8	45.8	41.2	407.41
16:35:00	118.3	91.8	107.8	103.7	89.6	46.5	41.5	362.57
16:40:00	118.3	91.8	107.8	103.7	88.6	45.5	41.5	362.57
16:45:00	105.6	91.1	101.3	101.4	90.6	47.0	40.3	329.43
16:50:00	108.8	88.5	103.7	100.0	89.9	46.4	39.6	345.03
16:55:00	97.8	79.9	93.2	88.5	81.6	45.6	40.4	307.99

ตาราง 2 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (1 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.7 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
17:00:00	107.0	80.0	96.6	101.3	80.2	46.1	40.2	302.14

ตาราง 3 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (16 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1 เมตร

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสี อาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
9:00:00	38.10	38.80	38.50	37.90	38.30	39.10	34.10	677.48
9:05:00	65.40	69.80	74.20	73.40	68.70	39.90	33.30	679.51
9:10:00	75.90	78.10	86.60	85.10	78.30	38.00	32.00	697.77
9:15:00	76.70	74.70	84.70	85.30	75.10	37.20	31.20	701.83
9:20:00	81.90	78.20	90.20	90.60	78.60	37.60	33.20	707.91
9:25:00	90.80	93.10	96.80	92.60	87.10	38.90	34.10	716.02
9:30:00	85.20	75.20	87.40	88.20	70.30	38.70	34.30	734.28
9:35:00	90.10	89.90	96.40	94.50	86.90	39.20	33.50	746.45
9:40:00	79.80	81.70	87.70	86.50	80.00	38.50	32.90	768.76
9:45:00	84.20	87.80	93.30	89.60	85.90	37.50	33.40	772.82
9:50:00	91.50	95.90	101.40	98.00	95.20	39.00	35.40	776.88
9:55:00	87.50	90.40	96.80	93.80	89.50	38.90	34.40	803.25
10:00:00	91.40	90.30	98.80	97.80	90.70	39.40	35.00	795.13
10:05:00	90.30	91.40	96.70	95.10	89.20	39.30	34.30	720.08
10:10:00	90.60	83.00	91.70	90.30	78.90	38.00	33.50	722.11
10:15:00	96.50	89.30	98.40	96.50	84.40	38.50	33.30	707.91
10:20:00	98.70	101.20	104.20	99.70	99.10	39.00	35.40	837.73
10:25:00	108.30	101.50	109.80	108.90	97.90	38.90	34.50	870.18
10:30:00	104.10	102.50	107.00	101.70	98.10	39.80	34.80	886.41
10:35:00	104.30	94.30	104.50	102.30	89.40	40.10	35.20	896.55
10:40:00	94.10	89.80	97.20	94.70	87.80	37.00	35.30	926.98
10:45:00	92.70	85.00	94.60	91.90	81.30	36.80	34.40	886.41
10:50:00	95.50	92.20	99.10	96.10	90.70	37.30	33.50	872.21
10:55:00	96.30	95.00	101.70	99.60	94.60	37.20	34.60	945.23

ตาราง 3 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (16 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
11:00:00	111.70	108.50	114.50	110.50	105.70	38.80	34.50	965.52
11:05:00	108.30	97.30	108.60	106.50	93.80	38.50	36.30	953.35
11:10:00	101.50	107.20	111.40	105.10	102.00	39.70	35.90	977.69
11:15:00	104.70	93.90	100.90	97.30	87.60	39.20	35.80	993.91
11:20:00	99.20	94.50	100.80	96.50	91.50	39.70	35.80	997.97
11:25:00	102.00	96.80	102.70	97.60	91.90	38.80	34.20	1034.48
11:30:00	98.80	91.00	99.00	93.60	86.10	37.30	34.40	1030.43
11:35:00	100.90	94.70	102.50	100.40	92.70	39.10	33.50	1042.60
11:40:00	114.70	108.20	116.30	112.60	105.90	39.80	33.70	1012.17
11:45:00	103.50	99.70	101.60	98.50	95.00	40.60	37.30	953.35
11:50:00	97.00	89.90	88.60	83.40	86.70	39.50	36.90	882.35
11:55:00	101.10	97.60	102.40	96.40	95.20	38.70	35.80	1085.19
12:00:00	103.50	95.60	103.10	99.70	93.00	39.60	37.20	900.61
12:05:00	92.50	82.20	84.80	77.20	86.10	39.10	35.40	825.56
12:10:00	82.50	83.20	84.80	87.20	87.10	39.10	35.10	1083.16
12:15:00	66.40	57.20	64.70	64.30	54.70	37.20	33.60	1079.11
12:20:00	93.00	90.20	95.70	91.10	86.90	39.10	34.40	472.62
12:25:00	93.60	95.00	97.90	90.10	93.70	40.10	36.30	1046.65
12:30:00	103.70	94.80	103.80	97.50	92.40	40.80	35.60	997.97
12:35:00	105.90	101.90	106.50	99.70	98.40	40.70	35.90	1034.48
12:40:00	103.30	92.60	102.70	100.80	91.60	40.20	35.30	1056.80
12:45:00	102.50	100.70	104.20	98.80	98.10	42.10	36.00	1026.37
12:50:00	88.50	86.60	90.30	85.30	84.60	40.80	36.90	776.88
12:55:00	95.00	90.60	96.10	92.40	89.50	41.80	36.10	997.97

ตาราง 3 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (16 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
13:00:00	100.80	89.40	101.00	98.00	89.30	42.20	37.20	1038.54
13:05:00	103.30	96.30	104.80	99.70	96.20	43.40	37.10	1002.03
13:10:00	79.00	67.50	78.40	78.20	67.40	40.30	35.50	876.27
13:15:00	79.90	65.60	78.10	79.20	65.10	40.70	35.00	910.75
13:20:00	87.80	83.00	88.80	83.40	82.40	43.10	36.30	825.56
13:25:00	78.20	77.00	80.60	75.60	76.00	42.40	36.60	971.60
13:30:00	77.20	75.20	79.70	74.00	73.60	41.40	36.30	1002.03
13:35:00	99.40	93.10	99.20	93.40	90.80	43.60	36.00	858.01
13:40:00	72.90	71.40	73.70	70.70	70.20	41.70	35.70	468.56
13:45:00	79.10	70.10	78.50	76.70	69.50	41.50	35.40	801.22
13:50:00	86.20	79.00	86.80	84.60	79.50	41.50	37.30	864.10
13:55:00	100.00	85.30	97.80	97.20	85.20	44.10	36.80	963.49
14:00:00	93.40	83.50	93.00	93.90	90.10	43.60	37.10	772.82
14:05:00	59.20	58.70	58.30	57.00	55.70	40.60	35.90	208.92
14:10:00	102.30	94.60	102.90	97.90	95.10	42.90	36.80	880.32
14:15:00	99.80	90.40	99.10	93.40	91.70	43.20	37.40	906.69
14:20:00	80.80	76.60	80.90	80.60	77.50	41.80	36.90	476.67
14:25:00	93.10	89.60	98.10	93.10	83.40	39.70	35.00	638.95
14:30:00	58.00	57.50	58.80	59.90	57.30	41.20	36.80	367.14
14:35:00	95.30	81.50	93.00	88.80	82.50	40.30	36.20	509.13
14:40:00	99.70	92.10	97.80	89.70	83.20	41.60	40.70	762.68
14:45:00	94.50	80.10	94.10	92.10	80.60	40.20	35.60	858.01
14:50:00	85.40	83.40	86.90	81.10	81.40	41.80	36.10	756.59
14:55:00	82.80	75.30	83.40	79.70	77.70	43.20	37.40	695.74

ตาราง 3 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (16 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสี อาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
15:00:00	78.80	71.70	79.10	73.80	74.50	42.30	37.20	714.00
15:05:00	71.20	63.70	70.50	59.30	64.80	40.40	36.20	326.57
15:10:00	60.40	57.80	59.80	58.80	57.70	39.70	36.30	245.44
15:15:00	63.00	57.80	62.50	59.00	58.30	38.30	35.20	484.79
15:20:00	85.10	75.90	82.90	76.10	75.30	40.10	38.20	734.28
15:25:00	87.40	71.00	81.50	82.30	71.20	39.90	35.50	539.55
15:30:00	73.30	85.50	72.50	69.20	68.40	40.10	36.50	464.50
15:35:00	58.70	52.90	57.70	57.40	53.80	38.70	35.30	300.20
15:40:00	70.80	60.80	67.50	63.90	60.30	38.80	36.40	464.50
15:45:00	68.60	65.00	67.40	64.00	65.00	40.10	36.20	464.50
15:50:00	74.90	68.30	75.10	70.90	71.20	40.80	35.50	430.02
15:55:00	56.30	53.90	55.70	54.90	53.00	39.60	34.40	198.78
16:00:00	44.40	45.50	44.00	43.30	42.50	37.30	34.70	180.53
16:05:00	87.80	53.90	57.90	53.30	54.50	38.10	35.80	373.23
16:10:00	72.70	63.30	70.30	66.70	63.50	38.40	35.10	365.11
16:15:00	100.50	78.60	74.70	92.00	75.80	40.10	35.10	484.79
16:20:00	79.60	69.70	77.30	73.60	67.30	39.10	34.00	208.92
16:25:00	46.70	45.90	46.10	45.20	44.60	37.40	33.80	154.16
16:30:00	42.00	41.50	41.70	41.40	40.80	37.00	34.20	141.99
16:35:00	41.30	40.10	41.40	41.10	40.20	36.20	33.90	133.87
16:40:00	44.30	42.50	43.60	43.20	42.00	36.30	34.60	133.87
16:45:00	45.10	42.30	43.80	43.80	41.60	36.40	34.20	137.93
16:50:00	53.70	50.10	52.30	50.40	49.20	36.70	34.10	131.85
16:55:00	42.90	42.00	42.40	41.80	41.40	36.10	34.30	109.53

ตาราง 3 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (16 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 2.5 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสี อาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
17:00:00	40.20	39.30	39.80	39.80	38.20	36.10	34.40	107.51

ตาราง 4 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (20 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะทางระหว่าง heliostat กับ Receiver 5.6 เมตร

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
9:00:00	61.20	60.30	63.20	61.80	58.10	39.10	30.10	811.36
9:05:00	64.30	63.90	65.20	65.80	61.20	38.20	30.80	831.64
9:10:00	65.80	65.80	67.40	69.20	63.10	39.80	31.80	823.53
9:15:00	68.20	66.30	68.10	67.80	65.20	38.20	31.70	862.07
9:20:00	68.90	67.20	70.10	68.20	66.70	39.90	33.20	864.10
9:25:00	70.30	68.40	70.90	68.50	65.20	39.80	32.30	651.12
9:30:00	70.10	65.40	69.70	69.50	66.80	40.80	32.40	732.25
9:35:00	70.10	62.80	66.60	68.80	61.30	40.40	31.30	586.21
9:40:00	58.30	56.50	59.00	60.30	57.00	40.30	32.00	454.36
9:45:00	61.00	55.20	60.10	63.10	55.00	40.40	33.40	537.53
9:50:00	72.00	61.90	71.00	78.40	63.80	41.80	32.80	689.66
9:55:00	77.50	70.80	79.50	81.80	72.80	42.60	34.10	738.34
10:00:00	93.00	72.30	104.80	104.40	74.60	44.30	34.70	864.10
10:05:00	84.10	73.30	83.00	82.20	73.60	46.60	34.60	937.12
10:10:00	111.60	88.50	107.90	118.30	91.10	46.80	34.00	933.06
10:15:00	108.70	99.20	91.90	101.80	90.80	45.40	34.30	831.64
10:20:00	87.20	81.00	89.90	89.50	82.40	45.30	33.90	716.02
10:25:00	79.40	77.50	81.40	81.30	78.50	44.20	34.30	703.85
10:30:00	78.30	67.40	78.20	82.60	68.90	44.30	34.40	718.05
10:35:00	76.20	65.80	73.10	79.60	68.10	43.60	33.80	799.19
10:40:00	76.80	59.10	79.10	79.70	59.60	43.50	33.50	805.27
10:45:00	81.30	82.70	82.80	82.90	83.80	44.20	34.00	762.68
10:50:00	79.10	67.20	80.20	83.80	68.90	44.30	39.00	784.99
10:55:00	83.80	75.90	85.20	79.60	72.90	44.40	34.90	789.05

ตาราง 4 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (20 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะทางระหว่าง heliostat กับ Receiver 5.6 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
11:00:00	91.70	67.70	92.80	88.20	66.70	45.30	34.70	876.27
11:05:00	84.30	80.60	90.10	80.50	77.20	45.20	35.10	860.04
11:10:00	85.20	77.10	90.00	83.20	75.50	45.50	34.00	813.39
11:15:00	88.30	78.90	89.10	87.40	78.90	45.10	34.20	821.50
11:20:00	81.50	62.20	82.30	81.40	61.50	45.10	35.60	787.02
11:25:00	101.20	88.60	100.20	104.60	89.30	46.70	35.00	973.63
11:30:00	99.10	74.60	101.40	101.70	75.70	47.50	35.40	922.92
11:35:00	95.10	82.80	98.80	95.90	86.50	46.20	35.80	888.44
11:40:00	91.70	68.40	95.20	93.20	69.50	46.70	36.30	847.87
11:45:00	102.50	92.10	100.10	104.00	97.20	46.80	35.30	961.46
11:50:00	103.20	74.20	99.80	106.20	76.60	47.60	36.70	975.66
11:55:00	114.10	104.70	108.70	115.10	109.20	48.40	36.30	969.57
12:00:00	88.80	85.60	89.40	87.50	86.90	48.70	34.90	947.26
12:05:00	78.90	79.80	85.20	76.70	60.10	48.20	35.10	845.84
12:10:00	111.30	102.20	113.30	105.70	102.10	48.60	36.60	886.41
12:15:00	95.40	93.20	98.20	92.30	94.10	49.00	36.10	868.15
12:20:00	108.60	99.80	108.70	104.60	100.10	49.10	36.80	866.13
12:25:00	110.70	84.90	111.70	101.50	85.90	49.50	36.10	843.81
12:30:00	109.30	92.00	109.90	95.40	86.80	47.50	35.90	910.75
12:35:00	115.10	107.80	114.70	102.80	103.00	48.80	37.70	1050.71
12:40:00	110.30	95.40	109.80	99.40	92.50	47.80	35.80	862.07
12:45:00	101.80	87.70	102.90	99.60	71.80	49.40	37.30	894.52
12:50:00	99.10	94.20	101.30	86.30	88.10	48.50	36.20	971.60
12:55:00	102.90	88.50	104.10	98.90	85.40	48.50	37.40	993.91

ตาราง 4 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (20 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 5.6 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
13:00:00	121.20	109.10	125.40	110.80	104.80	49.50	37.70	1010.14
13:05:00	91.70	93.90	98.90	80.80	86.90	47.60	35.80	399.59
13:10:00	102.90	104.20	105.40	98.20	98.00	47.50	37.60	967.55
13:15:00	90.30	96.40	97.40	95.70	93.90	48.70	38.00	864.10
13:20:00	93.10	96.70	95.20	100.10	98.20	48.10	37.60	1000.00
13:25:00	78.30	91.30	93.70	84.90	90.70	46.30	36.70	963.49
13:30:00	99.40	94.60	115.00	101.30	91.90	46.40	38.00	975.66
13:35:00	53.80	56.40	56.80	55.70	55.40	43.80	35.70	170.39
13:40:00	78.90	82.80	85.30	81.20	79.20	43.60	35.60	922.92
13:45:00	83.20	86.70	89.20	82.40	83.20	45.20	34.20	951.32
13:50:00	81.30	76.90	83.80	72.60	72.90	44.70	37.50	924.95
13:55:00	79.80	76.20	79.90	75.20	68.10	43.20	36.20	908.72
14:00:00	80.10	82.30	84.50	79.80	78.20	43.50	38.20	168.36
14:05:00	81.80	83.20	84.20	81.30	78.20	44.80	36.20	667.34
14:10:00	82.30	79.80	84.50	82.40	78.90	44.80	37.20	535.50
14:15:00	87.20	68.20	88.70	78.20	65.00	45.30	36.20	843.81
14:20:00	88.90	84.10	91.00	77.40	82.90	44.30	37.30	202.84
14:25:00	53.20	51.30	54.30	49.20	48.30	42.10	36.80	724.14
14:30:00	48.50	48.20	48.50	47.80	47.20	43.10	35.80	178.50
14:35:00	82.80	70.70	81.70	75.10	69.80	44.20	36.10	829.61
14:40:00	78.60	79.20	79.80	68.70	78.10	42.30	35.80	632.86
14:45:00	64.90	61.30	62.90	62.70	59.20	43.90	35.90	212.98
14:50:00	82.60	75.60	84.20	74.80	74.30	44.30	36.80	693.71
14:55:00	98.90	82.30	99.90	86.70	77.10	45.20	37.60	685.60

ตาราง 4 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (20 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 5.6 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
15:00:00	70.60	67.20	75.60	70.00	63.50	44.80	38.00	200.81
15:05:00	70.80	57.90	65.40	64.80	52.40	44.20	37.50	693.71
15:10:00	110.70	92.20	107.50	95.80	40.10	46.20	38.40	697.77
15:15:00	99.00	80.20	91.30	89.60	39.10	46.00	37.60	586.21
15:20:00	89.90	79.20	89.70	79.60	39.30	46.60	38.60	553.75
15:25:00	101.90	80.00	95.10	92.30	40.20	46.10	37.50	596.35
15:30:00	85.80	59.00	66.80	66.90	39.20	45.20	38.00	604.46
15:35:00	63.60	59.30	61.30	60.40	39.00	44.80	35.60	663.29
15:40:00	41.60	41.40	41.60	40.80	39.60	41.70	35.90	543.61
15:45:00	69.30	61.90	68.60	62.60	52.80	42.90	37.90	375.25
15:50:00	54.60	50.70	51.40	50.40	48.00	42.10	36.50	174.44
15:55:00	41.70	41.00	41.20	40.70	40.60	40.80	36.40	245.44
16:00:00	54.20	52.30	52.10	59.10	50.00	41.40	36.10	245.44
16:05:00	58.00	54.20	55.10	51.90	50.90	39.90	34.80	407.71
16:10:00	70.20	62.50	68.90	62.40	59.80	41.00	35.30	338.74
16:15:00	76.10	69.70	72.40	66.40	64.50	42.20	35.40	357.00
16:20:00	69.30	58.20	61.50	60.60	54.50	42.30	35.50	231.24
16:25:00	44.80	44.10	44.10	43.70	43.20	40.40	34.80	146.04
16:30:00	44.40	41.80	42.50	42.80	40.70	39.00	34.90	178.50
16:35:00	41.70	39.70	40.70	39.80	38.70	38.20	34.80	168.36
16:40:00	38.30	38.20	38.10	37.80	37.70	38.90	34.70	148.07
16:45:00	41.90	39.60	40.10	40.10	38.70	39.20	35.10	294.12
16:50:00	42.60	41.30	42.00	41.60	40.60	39.50	35.50	154.16
16:55:00	46.80	47.20	48.50	42.30	43.30	39.60	34.50	344.83

ตาราง 4 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (20 พฤษภาคม 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 15 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะทางระหว่าง heliostat กับ Receiver 5.6 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
17:00:00	58.70	46.70	49.50	51.50	44.90	39.80	35.70	336.71

ตาราง 5 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (4 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะทางระหว่าง heliostat กับ Receiver 2.6 เมตร

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
9:00:00	62.3	70.2	71.8	63.4	65.8	39.1	28.1	510.72
9:05:00	72.3	71.2	73.8	70.1	70.8	39.8	29.1	604.29
9:10:00	78.3	77.2	81.3	80.1	79.3	40.3	30.2	631.58
9:15:00	80.3	81.1	85.3	82.4	79.8	40.9	30.8	674.46
9:20:00	74.2	83.0	86.7	85.3	78.5	40.5	29.7	707.60
9:25:00	94.7	94.4	101.6	102.6	84.4	41.0	30.1	707.60
9:30:00	97.7	101.5	106.7	102.9	91.0	41.1	28.3	732.94
9:35:00	105.9	100.8	106.2	105.6	85.1	41.7	29.9	787.52
9:40:00	110.5	103.4	112.2	111.9	90.5	42.1	30.0	807.02
9:45:00	102.3	104.0	110.3	106.7	94.0	42.0	28.6	645.22
9:50:00	108.7	112.6	116.8	114.2	101.3	43.7	31.3	859.65
9:55:00	108.7	110.3	116.0	113.3	101.3	43.7	31.3	859.65
10:00:00	108.9	114.1	118.5	115.8	104.2	45.2	31.3	875.24
10:05:00	108.9	113.0	119.7	116.9	105.4	44.9	32.3	873.29
10:10:00	104.4	105.2	115.2	115.1	101.3	44.6	32.2	884.99
10:15:00	115.3	113.2	124.6	124.2	105.9	45.1	34.7	888.89
10:20:00	110.1	115.4	129.4	117.6	110.9	45.8	33.3	877.19
10:25:00	105.0	95.1	114.1	111.1	88.6	45.5	34.9	931.77
10:30:00	104.3	109.9	116.0	112.0	108.4	44.8	34.1	908.38
10:35:00	99.7	104.4	110.4	108.3	102.8	44.8	33.5	935.67
10:40:00	116.0	121.4	127.7	127.6	120.6	45.2	31.9	961.01
10:45:00	112.4	111.5	120.9	124.1	111.1	46.0	34.8	974.66
10:50:00	109.1	103.9	120.4	117.9	102.2	45.7	33.2	984.41
10:55:00	103.2	79.2	101.8	113.8	76.7	45.7	35.6	1021.44

ตาราง 5 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (4 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 2.6 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
11:00:00	98.7	96.4	102.6	99.5	91.6	46.9	34.2	1025.34
11:05:00	110.5	101.3	112.1	110.0	96.2	47.4	33.4	984.41
11:10:00	122.4	117.7	123.0	115.7	103.6	46.8	35.0	1005.85
11:15:00	109.5	97.0	118.3	108.6	87.6	44.5	33.9	1009.75
11:20:00	114.5	111.1	114.6	111.6	102.5	45.8	33.8	1007.80
11:25:00	107.6	96.5	106.3	104.8	87.4	43.6	33.9	1025.34
11:30:00	111.9	109.2	114.9	109.6	104.2	44.3	32.5	1011.70
11:35:00	132.8	133.3	134.9	125.5	122.8	46.4	33.8	1027.29
11:40:00	123.8	129.8	131.0	121.8	125.1	45.5	32.5	1023.39
11:45:00	139.1	136.1	145.1	142.8	131.6	45.9	32.4	1025.34
11:50:00	130.4	129.1	136.3	131.2	122.4	46.5	34.1	1021.44
11:55:00	131.6	129.1	138.9	137.5	125.2	47.2	33.7	1035.09
12:00:00	137.8	135.2	142.2	140.5	126.9	48.4	35.3	1083.82
12:05:00	108.7	108.1	107.6	104.3	98.2	47.5	35.8	1076.02
12:10:00	111.4	111.8	112.2	106.4	99.7	47.1	34.9	1038.99
12:15:00	132.7	123.0	128.4	120.6	108.5	48.9	35.8	1074.07
12:20:00	124.3	121.2	125.7	116.7	111.5	47.0	35.5	1058.48
12:25:00	138.5	113.5	133.9	130.8	107.2	48.1	32.5	1095.52
12:30:00	139.4	112.9	133.0	136.0	108.4	49.8	34.5	1085.77
12:35:00	135.8	122.6	133.6	125.1	112.6	47.9	32.6	1076.02
12:40:00	135.5	122.8	133.6	128.7	115.7	48.1	33.1	1040.94
12:45:00	137.6	114.6	128.4	123.1	105.4	49.7	34.9	1044.83
12:50:00	138.0	137.3	140.2	129.5	129.0	49.6	35.6	1074.07
12:55:00	132.1	127.3	130.2	117.4	113.7	47.5	34.7	237.82

ตาราง 5 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (4 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 2.6 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
13:00:00	64.1	57.8	61.7	59.7	54.6	42.0	34.6	639.38
13:05:00	113.8	104.0	115.4	110.8	101.5	44.9	34.4	966.86
13:10:00	130.8	130.9	132.5	119.1	119.3	46.0	35.9	635.48
13:15:00	95.8	80.0	91.5	85.9	74.8	43.3	34.4	1081.87
13:20:00	146.8	132.9	142.5	125.9	119.9	47.5	34.0	1091.62
13:25:00	139.8	132.4	139.1	129.7	123.3	49.0	37.9	1052.63
13:30:00	84.7	84.1	84.2	79.6	79.9	45.6	34.3	202.73
13:35:00	116.5	92.1	110.9	106.5	87.0	46.9	36.7	1037.04
13:40:00	141.8	140.0	144.8	133.2	133.8	50.6	35.4	1085.77
13:45:00	146.0	155.2	154.5	137.3	141.0	51.5	38.3	1048.73
13:50:00	142.4	140.1	145.9	132.8	133.0	50.4	35.6	1003.90
13:55:00	143.2	139.3	143.6	129.6	126.9	50.2	37.2	984.41
14:00:00	156.6	151.3	154.2	134.1	130.6	50.2	36.1	970.76
14:05:00	144.9	138.8	147.5	137.1	133.4	50.9	30.4	1046.78
14:10:00	156.4	130.6	153.7	150.5	128.1	50.5	35.0	1037.04
14:15:00	97.3	85.8	95.1	93.9	83.1	47.8	35.8	233.92
14:20:00	122.0	120.4	128.9	120.8	119.4	48.3	38.5	968.81
14:25:00	121.2	120.8	129.2	119.8	117.8	47.2	37.5	842.11
14:30:00	129.0	108.8	123.6	125.0	104.5	48.5	36.5	729.04
14:35:00	150.4	141.3	150.6	137.0	133.2	47.9	35.9	884.99
14:40:00	148.7	124.1	142.0	130.2	116.7	49.1	37.5	869.40
14:45:00	146.9	129.2	141.5	130.3	121.1	49.5	38.3	851.85
14:50:00	163.4	147.7	159.1	141.1	136.4	50.1	35.8	836.26
14:55:00	147.1	136.2	146.0	129.4	123.9	50.1	35.5	892.79

ตาราง 5 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (4 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 2.6 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้มรังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
15:00:00	150.1	137.9	146.7	127.0	125.1	49.8	36.3	836.26
15:05:00	162.1	125.3	147.5	133.9	113.1	49.2	37.3	826.51
15:10:00	132.2	112.9	125.8	111.9	106.2	47.8	38.0	754.39
15:15:00	142.4	93.0	120.0	122.0	88.9	47.6	37.2	721.25
15:20:00	137.4	105.0	124.9	121.8	101.8	47.9	38.2	715.40
15:25:00	153.9	118.3	139.7	134.9	110.4	48.6	37.6	692.01
15:30:00	139.7	134.3	138.5	118.6	123.1	48.2	38.0	680.31
15:35:00	143.5	120.1	137.5	127.2	112.4	49.3	39.3	660.82
15:40:00	138.6	121.9	134.3	116.9	112.0	48.2	37.8	643.27
15:45:00	124.5	111.4	121.6	103.9	100.5	47.1	37.0	619.88
15:50:00	136.8	123.2	129.1	102.5	102.9	46.6	37.8	606.24
15:55:00	134.9	113.3	132.0	120.5	112.1	46.3	36.8	582.85
16:00:00	127.4	114.0	122.5	102.7	98.8	44.9	34.3	567.25
16:05:00	122.8	100.5	117.3	115.3	98.5	45.0	35.1	545.81
16:10:00	119.4	103.1	115.3	98.3	95.5	45.4	36.6	526.32
16:15:00	115.8	96.7	110.1	103.4	93.7	45.2	36.9	506.82
16:20:00	117.7	95.0	115.6	112.2	98.6	45.2	36.4	487.33
16:25:00	130.8	116.6	127.2	106.6	106.1	43.6	35.5	469.79
16:30:00	141.0	117.7	132.2	112.0	106.9	44.1	35.1	467.84
16:35:00	142.3	125.5	138.8	123.8	121.4	45.3	38.6	450.29
16:40:00	125.7	99.3	115.4	106.4	93.4	44.5	36.4	446.39
16:45:00	124.1	104.6	119.2	106.6	99.3	43.8	35.0	356.73
16:50:00	106.4	97.3	103.5	88.7	91.0	43.3	35.8	294.35
16:55:00	85.3	75.4	81.8	78.0	72.5	42.4	36.0	192.98

ตาราง 5 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (4 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 30 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 2.6 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
17:00:00	83.0	77.3	80.9	69.0	71.6	42.0	34.9	202.73

ตาราง 6 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (5 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.5 เมตร

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
9:00:00	45.80	50.20	51.80	50.00	49.40	38.70	31.80	442.56
9:05:00	57.70	60.90	64.40	63.70	59.30	39.90	32.60	600.75
9:10:00	66.60	67.00	71.30	71.40	66.60	41.40	32.40	580.04
9:15:00	66.60	69.20	73.60	73.70	70.90	41.80	32.80	693.03
9:20:00	77.70	73.80	81.20	84.90	74.20	43.80	33.40	694.92
9:25:00	68.00	72.40	76.20	75.10	72.90	43.40	33.30	698.68
9:30:00	67.40	72.20	76.60	75.36	74.40	43.20	33.10	760.83
9:35:00	75.00	79.20	83.80	82.70	80.10	43.70	33.30	725.05
9:40:00	79.00	74.60	86.10	82.60	74.70	44.10	33.40	728.81
9:45:00	79.20	81.50	85.90	85.60	80.80	44.20	32.70	770.24
9:50:00	78.50	77.20	93.40	84.70	78.50	44.20	32.70	764.60
9:55:00	73.00	76.00	79.70	78.30	75.00	44.40	33.50	779.66
10:00:00	79.30	76.60	83.70	86.30	77.60	45.30	33.80	809.79
10:05:00	76.30	80.90	84.50	82.70	82.50	45.30	34.50	811.68
10:10:00	82.70	82.80	87.70	88.60	83.30	45.40	34.00	789.08
10:15:00	80.30	85.10	89.10	87.90	85.70	46.00	34.50	854.99
10:20:00	81.80	68.90	79.70	86.30	68.20	45.60	34.60	834.27
10:25:00	78.70	78.50	85.40	85.00	80.70	45.20	35.60	875.71
10:30:00	92.20	82.00	92.40	96.20	81.60	46.70	35.20	871.94
10:35:00	86.50	92.40	94.20	86.10	89.60	47.90	34.30	871.94
10:40:00	98.60	98.30	102.50	100.60	96.70	48.80	34.30	873.82
10:45:00	90.40	79.00	90.30	92.00	77.10	48.90	36.70	887.01
10:50:00	82.50	80.90	88.10	93.20	87.90	48.70	35.80	900.19
10:55:00	88.50	80.20	90.20	95.50	83.90	47.00	35.80	900.19

ตาราง 6 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (5 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.5 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
11:00:00	94.70	90.30	98.90	101.10	94.40	47.90	34.30	903.95
11:05:00	99.40	98.10	105.40	107.60	105.40	48.70	36.90	919.02
11:10:00	87.80	85.30	91.40	89.10	83.90	47.80	34.80	920.90
11:15:00	95.90	89.20	98.50	97.30	85.30	48.30	34.50	934.09
11:20:00	90.80	75.60	89.00	92.70	73.20	48.10	35.00	951.04
11:25:00	82.50	77.50	86.40	86.70	79.50	47.70	37.00	958.57
11:30:00	89.90	78.10	91.70	98.70	81.60	48.70	35.20	943.50
11:35:00	86.30	79.80	89.80	96.30	86.70	48.00	35.30	954.80
11:40:00	91.40	89.40	97.00	95.80	94.10	48.30	35.30	960.45
11:45:00	94.30	91.80	98.50	98.60	94.60	48.00	34.80	945.39
11:50:00	99.80	97.00	103.70	104.80	102.50	49.70	36.90	954.80
11:55:00	90.40	88.40	94.30	92.60	88.20	48.90	35.00	956.69
12:00:00	98.10	94.00	101.90	100.90	96.20	46.00	36.60	966.10
12:05:00	94.30	90.10	97.50	96.80	91.70	49.10	36.40	992.47
12:10:00	109.00	106.60	114.20	112.10	111.10	51.00	38.10	975.52
12:15:00	83.70	81.60	90.20	93.60	89.40	49.50	34.90	971.75
12:20:00	94.60	89.20	99.20	105.80	97.40	50.10	35.00	947.27
12:25:00	85.40	73.90	86.60	96.00	78.30	49.10	39.50	971.75
12:30:00	93.40	92.90	100.00	102.90	100.20	50.40	36.60	947.27
12:35:00	93.50	91.20	99.50	103.80	100.70	49.90	36.90	967.98
12:40:00	96.60	93.10	101.30	105.90	101.00	50.70	37.20	973.63
12:45:00	100.20	100.30	105.90	105.60	104.10	51.60	36.70	954.80
12:50:00	97.40	95.90	102.40	104.40	100.50	51.20	36.10	947.27
12:55:00	94.20	92.80	99.20	100.00	95.70	49.80	38.80	937.85

ตาราง 6 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (5 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.5 เมตร (ต่อ)

TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
13:00:00	103.80	95.60	105.00	108.10	96.20	51.00	39.00	945.39
13:05:00	102.80	99.00	106.50	109.00	104.00	52.10	37.00	928.44
13:10:00	95.30	89.90	99.00	103.00	95.60	52.10	37.50	926.55
13:15:00	94.60	88.90	98.10	103.80	95.90	51.30	38.40	935.97
13:20:00	95.60	84.10	91.60	95.70	92.40	58.50	36.20	903.95
13:25:00	85.50	83.50	91.00	95.70	93.20	50.00	38.50	898.31
13:30:00	98.60	99.10	106.20	107.90	110.10	51.40	37.70	903.95
13:35:00	91.90	88.20	97.20	104.80	97.90	51.90	37.00	907.72
13:40:00	83.70	71.20	81.20	91.40	75.20	51.20	37.50	860.64
13:45:00	82.50	74.20	82.70	87.70	79.60	50.90	37.80	854.99
13:50:00	83.40	80.70	88.80	87.30	87.60	51.20	36.80	873.82
13:55:00	88.40	86.60	92.30	91.70	91.30	51.30	39.30	824.86
14:00:00	73.20	71.80	72.90	71.30	70.50	50.60	37.70	354.05
14:05:00	78.60	75.30	80.50	82.60	79.20	50.50	37.00	764.60
14:10:00	86.50	79.40	86.50	89.20	82.90	51.00	37.10	755.18
14:15:00	80.50	75.60	81.20	84.20	78.40	50.60	37.30	736.35
14:20:00	79.30	78.80	83.00	81.40	81.30	50.20	36.50	745.76
14:25:00	80.30	76.60	81.50	79.90	79.30	50.00	37.80	704.33
14:30:00	90.30	79.20	87.40	88.20	80.80	50.20	37.30	694.92
14:35:00	88.20	81.50	89.00	86.80	83.60	49.10	37.90	664.78
14:40:00	100.00	83.40	94.40	100.80	87.20	50.30	37.90	711.86
14:45:00	101.40	89.90	97.80	95.70	88.60	50.30	37.70	693.03
14:50:00	82.50	75.30	78.80	79.20	73.80	49.10	36.90	190.21
14:55:00	77.50	64.70	73.30	76.50	67.80	47.60	38.00	666.67

ตาราง 6 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (5 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.5 เมตร (ต่อ)

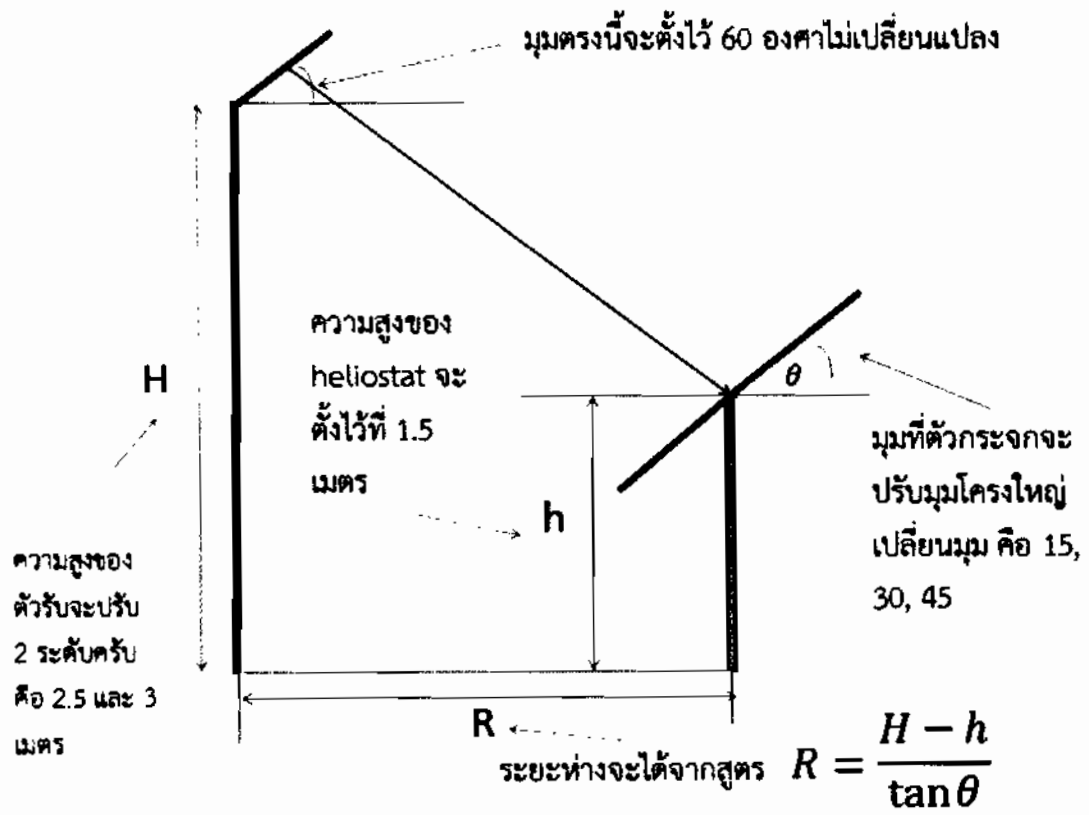
TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
15:00:00	67.60	64.70	65.80	66.00	63.80	46.90	35.90	186.44
15:05:00	84.90	75.60	82.10	82.80	76.00	47.30	37.20	585.69
15:10:00	75.60	69.10	73.20	71.90	66.60	46.20	37.60	338.98
15:15:00	43.60	45.40	45.20	41.80	44.60	43.30	36.10	154.43
15:20:00	71.80	84.00	60.80	68.80	52.00	45.20	37.30	476.46
15:25:00	95.20	85.30	91.90	89.80	84.20	48.50	37.70	559.32
15:30:00	89.40	72.40	80.80	86.20	71.20	48.60	37.80	512.24
15:35:00	76.40	71.90	74.80	73.20	71.60	47.90	37.30	419.96
15:40:00	84.70	69.30	77.20	82.10	69.90	47.80	36.60	384.18
15:45:00	90.40	77.80	86.20	88.20	79.40	48.20	38.80	278.72
15:50:00	80.70	80.00	85.20	80.00	76.50	47.90	36.60	306.97
15:55:00	62.20	56.70	59.40	59.60	55.20	45.20	36.20	233.52
16:00:00	55.30	51.50	52.90	53.80	50.40	44.40	36.30	180.79
16:05:00	86.80	76.10	82.60	79.60	73.80	46.40	38.00	427.50
16:10:00	91.30	75.50	83.00	86.20	74.20	47.10	36.30	322.03
16:15:00	74.40	67.10	72.00	72.60	68.00	45.20	37.10	342.75
16:20:00	74.70	63.30	68.10	73.30	63.00	45.70	38.50	338.98
16:25:00	74.70	63.90	70.50	69.50	64.30	44.90	37.00	361.58
16:30:00	79.50	70.40	76.90	73.70	70.50	45.50	38.50	359.70
16:35:00	74.10	62.50	69.70	70.20	62.70	44.50	37.70	354.05
16:40:00	74.90	66.10	71.50	68.60	64.80	44.80	37.80	305.08
16:45:00	73.70	59.60	63.90	69.60	57.90	45.20	38.70	291.34
16:50:00	74.10	63.00	69.60	70.90	63.10	45.60	38.10	267.42
16:55:00	73.60	62.80	69.50	71.10	62.40	45.20	38.20	263.65

ตาราง 6 การอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ และความเข้มรังสีอาทิตย์ของระบบ (5 มิถุนายน 2558) ความสูงของ heliostat 1.5 เมตร มุมของแผงกระจก 45 องศา ความสูงของ Receiver 3 เมตร มุมของ Receiver 60 องศา ระยะห่างระหว่าง heliostat กับ Receiver 1.5 เมตร (ต่อ)

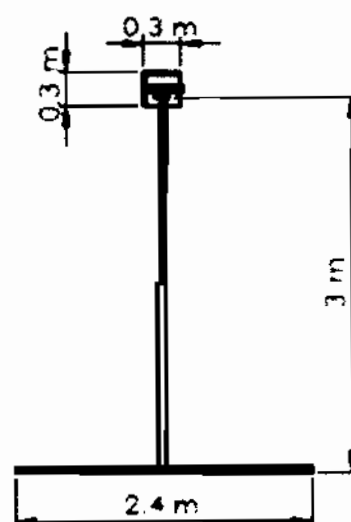
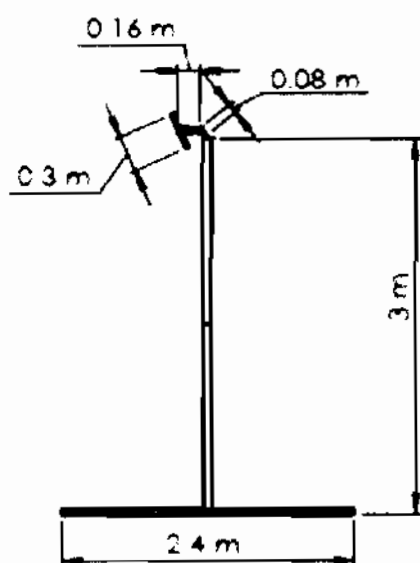
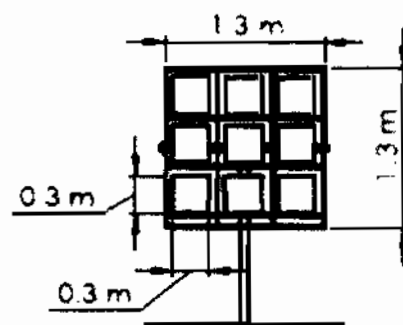
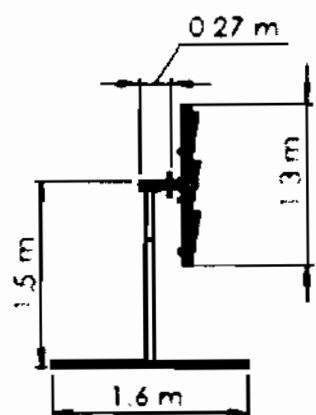
TIME	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	ความเข้ม รังสีอาทิตย์
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	W/m ²
17:00:00	74.30	63.40	69.80	72.10	62.30	45.00	37.80	258.00

ภาคผนวก ข
การติดตั้งเครื่อง และแบบของเครื่อง

การติดตั้งเครื่อง



แบบของเครื่องต้นแบบ



ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นายรณฤทธิ์ เพี้ยจันทร์อุบ
 วันเกิด วันที่ 19 เดือน กันยายน พุทธศักราช 2535
 ที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 121 หมู่ 9 ตำบลบ้านหว้า อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น
 รหัสไปรษณีย์ 40000

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550 มัธยมตอนต้น โรงเรียนบ้านหว้าเหล่าโพหนอง จังหวัดขอนแก่น
 พ.ศ. 2553 มัธยมตอนปลาย โรงเรียนพิศาลปัญญวิทยา จังหวัดขอนแก่น
 พ.ศ. 2557 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายยุรนันท์ ศิลาอุดม
วันเกิด	วันที่ 7 เดือน พฤษภาคม พุทธศักราช 2535
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 61 หมู่ 6 ตำบลอึ้งอ่อง อำเภोजตรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45180

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550	มัธยมตอนต้น โรงเรียนราชสารสุธีอนุสรณ์ จังหวัดร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2553	มัธยมตอนปลาย โรงเรียนดู่น้อยประชาสรรค์ จังหวัดร้อยเอ็ด
พ.ศ. 2557	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม