



การประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการ
โดยใช้เลนส์เฟรสเนล

EXPERIMENTAL PERFORMANCE ASSESSMENT OF A LAB-SCALE SOLAR
FURNACE USING A SOLAR CONCENTRATOR LINEAR FRESNEL LENS

พิมพากานต์ ทิพย์เสภา

PIMPAKARN TIPSEPA

สุภาวิณี เสมอมาศ

SUPAWINEE SAMERMAT

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการ
โดยใช้เลนส์เฟรสเนล

EXPERIMENTAL PERFORMANCE ASSESSMENT OF A LAB-SCALE SOLAR
FURNACE USING A SOLAR CONCENTRATOR LINEAR FRESNEL LENS



PIMPAKARN TIPSEPA

พิมพ์กานต์ ทิพย์เสภา

SUPAWINEE SAMERMAT

สุภาวิณี เสมอมาศ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์


สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EXPERIMENTAL PERFORMANCE ASSESSMENT OF A LAB-SCALE SOLAR
FURNACE USING A SOLAR CONCENTRATOR LINEAR FRESNEL LENS



PIMPAKARN TIPSEPA
SUPAWINEE SAMERMAT

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

2022



COPYRIGHT 2023

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ การประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการ
โดยใช้เลนส์เฟรสเนล

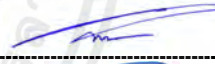



PROJECT TITLE EXPERIMENTAL PERFORMANCE ASSESSMENT OF A LAB-SCALE
SOLAR FURNACE USING A SOLAR CONCENTRATOR LINEAR
FRESNEL LENS

ชื่อนักศึกษา นางสาวพิมพ์กานต์ ทิพย์เสภา รหัสประจำตัว 62201073
นางสาวสุภาวีนี เสมอมาศ รหัสประจำตัว 62201156

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล และวิศวกรรมพลังงาน

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ศรียรัตน์ ช่วยบุญ

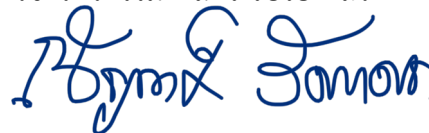
ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ปราโมทย์ กุศล	กรรมการสอบ		
ผศ.ดร.นารณระพี นาคะวิจนะ	กรรมการสอบ		
รศ.ดร.ปัญญา แดงวิไลลักษณ์	กรรมการสอบ		
ดร.วิสิทธิ์ เอกวานิช	กรรมการสอบ		วิสิทธิ์ เอกวานิช
ผศ.ดร.ศรียรัตน์ ช่วยบุญ	อาจารย์ที่ปรึกษา		

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 11 มิถุนายน 2566 เวลา 11:00 เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้องสอบออนไลน์ ห้องกลุ่มวิศวกรรมเกษตรและพลังงาน

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 15 มิถุนายน พ.ศ. 2566

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล	
ชื่อนักศึกษา	นางสาวพิมพ์กานต์ ทิพย์เสภา	รหัสประจำตัว 62201073
	นางสาวสุภาวิณี เสมอมาศ	รหัสประจำตัว 62201156
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล และวิศวกรรมพลังงาน	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ศรียรัตน์ ช่วยบุญ	
ปริญญานิพนธ์		

บทคัดย่อ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงซึ่งสามารถใช้ประโยชน์จากความเข้มข้นของดวงอาทิตย์ได้โดยการนำเทคโนโลยีในการรวมแสงอาทิตย์มาประยุกต์เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของพลังงานแสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบ สร้าง และทดสอบเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล ประกอบไปด้วย เอลิโอสแตททำหน้าที่รับและสะท้อนแสงอาทิตย์ เลนส์เฟรสเนลทำหน้าที่รวมแสงโดยถูกติดตั้งร่วมกับชุดควบคุมและตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ แสงจะถูกดูดซับโดยเตาพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งใช้น้ำเป็นสารทำงาน จากนั้นศึกษาสมรรถนะของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งทดสอบแบบกำหนดอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 40 50 60 และ 100 องศาเซลเซียส และทดสอบแบบไม่กำหนดอุณหภูมิ สามารถทำอุณหภูมิได้ที่ 110 112 และ 115 องศาเซลเซียส คำนวณค่ารังสีตรง พลังงานความร้อนขาเข้า พลังงานความร้อนขาออก ประสิทธิภาพการดูดซับความร้อนภายใต้อุณหภูมิที่กำหนด ผลการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาพลังงานแสงอาทิตย์มีค่า 2 5 11 49 55 33 และ 34 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากมีการสูญเสียความร้อนภายในระบบค่อนข้างสูงซึ่งสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้โดยการติดตั้งฉนวนกันความร้อนที่เตาพลังงานแสงอาทิตย์

คำสำคัญ: เตาพลังงานแสงอาทิตย์, เอลิโอสแตต, เลนส์เฟรสเนล, ตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์

Project Title	Experimental performance assessment of a lab-scale solar furnace using a solar concentrator linear Fresnel lens	
Student	Miss Pimpakarn Tipsepa	Student ID 62201073
	Miss Supawinee Samermat	Student ID 62201156
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering and Energy Engineering	
Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Srirat Chuayboon	

ABSTRACT

Solar energy is a highly efficient that can be applied with solar concentrating technology to increase solar intensity. This research aims to design, build, and test a lab-scale solar furnace, including a Fresnel lens, solar shutter and solar reactor. Sunlight is absorbed by the solar reactor while water was utilized as the working fluid. The performance of the solar furnace was studied. The semi-continuous tests at temperatures of 40, 50, 60 and 100 °C were conducted while the batch test can reach the temperature in the range 110-115 °C. Direct radiation, solar power energy input, heat absorption, heat excess, and reactor performance under specified temperature were highlighted. As a result, the thermal efficiency of the solar reactor is in the range of 2, 5 11, 49, 55, 33 and 34 percent, respectively due to the relatively high heat loss in the system. The efficiency can be improved by installing insulation into the solar reactor.

Keywords: Solar reactor, Heliostat, Fresnel lens, Solar receiver

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ศรียรัตน์ ช่วยบุญ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนการทำปริญญานิพนธ์

ขอขอบคุณ นายนพดล เกตุพิมล เจ้าหน้าที่ประจำอาคารปฏิบัติการสาขาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือดูแลเกี่ยวกับเทคนิคการใช้เครื่องมือต่างๆ

บุคคลที่ขาดไม่ได้คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นที่เคารพรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอ คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอย่างยิ่ง และขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มากนักน้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล

นางสาวพิมพ์กานต์ ทิพย์เสภา

นางสาวสุภาววิณี เสมอมาศ

11 มิถุนายน 2566

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์โครงการ	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ	4
1.6 แผนการดำเนินงาน	5
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	6
2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์	7
2.3 ประเภทของรังสี	25
2.4 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์	27
2.5 ทางเดินของดวงอาทิตย์	29
2.6 ระบบติดตามดวงอาทิตย์	34
2.7 เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์	34
2.8 การคำนวณ	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วัสดุและวิธีการทดลอง	39
3.1 การประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการ โดยใช้เลนส์เฟรสเนล	39
3.2 อุปกรณ์	41
3.3 หลักการทำงานของเตาพลังงานแสงอาทิตย์	49
3.4 การต่อวงจร Arduino	51
3.5 วิธีการทดลอง	52
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผลการทดลอง	54
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	54
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ	66
5.1 สรุปผลวิจัย	66
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	68
5.3 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	72
ภาคผนวก ก ตารางคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	73
ภาคผนวก ข การคำนวณผลการทดลอง	80
ภาคผนวก ค ตารางผลการทดลอง	84
ประวัติผู้จัดทำ	91

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานของการออกแบบและสร้างชุดรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล	5
ก.1	ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ แสดงค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ	74
ก.2	ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ แสดงค่าความดันของน้ำที่อุณหภูมิขณะทดลอง	76
ก.3	ตารางคุณสมบัติเทอร์โมคอปเปิล	78
ก.4	ตารางคุณสมบัติค่าความสามารถการดูดซับและการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุ	79
ค.1	ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ทดลองแบบ Batch tests วันที่ 13 พฤษภาคม 2566 ที่อุณหภูมิสูงสุด 115 องศาเซลเซียส	85
ค.2	ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ทดลองแบบ Batch tests วันที่ 14 พฤษภาคม 2566 ที่อุณหภูมิสูงสุด 112 องศาเซลเซียส	86
ค.3	ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ทดลองแบบ Batch tests วันที่ 15 พฤษภาคม 2566 ที่อุณหภูมิสูงสุด 110 องศาเซลเซียส	87
ค.4	ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ทดลองแบบ Semi-continuous tests วันที่ 20 พฤษภาคม 2566 กำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกที่ 100 องศาเซลเซียส	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค.5	ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ทดลองแบบ Semi-continuous tests วันที่ 11 พฤษภาคม 2566 กำหนด อุณหภูมิน้ำขาออกที่ 60 องศาเซลเซียส	89
ค.6	ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ทดลองแบบ Semi-continuous tests วันที่ 28 มีนาคม 2566 กำหนดอุณหภูมิ น้ำขาออกที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส	90



สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนผังการดำเนินงานการออกแบบและสร้างชุดรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล	4
2.1	แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยจากดาวเทียม ปี 2563	9
2.2	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนมกราคม	11
2.3	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนกุมภาพันธ์	12
2.4	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนมีนาคม	13
2.5	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนเมษายน	14
2.6	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนพฤษภาคม	15
2.7	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนมิถุนายน	16
2.8	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนกรกฎาคม	17
2.9	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนสิงหาคม	18
2.10	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนกันยายน	19
2.11	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนตุลาคม	20
2.12	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนพฤศจิกายน	21
2.13	แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนธันวาคม	22
2.14	แสดงรังสีตรง จาก Pyrheliometer	26
2.15	แสดงรังสีกระจาย จาก Pyranometer	26
2.16	แสดงรังสีรวม จาก Pyranometer	27

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.17	ปรากฏการณ์ที่เกิดจากโลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์	28
2.18	ปรากฏการณ์ที่เกิดจากโลกเคลื่อนที่รอบตนเอง	28
2.19	การบอกตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้า	30
2.20	แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยระนาบแนวระดับอ้างอิง	31
2.21	การบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง	32
2.22	Parabolic trough	35
2.23	Linear Fresnel	35
2.24	Power tower	36
2.25	Parabolic dish	36
3.1	แสดงลักษณะของเฮลิโอสแตท	39
3.2	แสดงลักษณะของเลนส์เฟรสเนล	40
3.3	แสดงลักษณะของเตาพลังงานแสงอาทิตย์	41
3.4	เทอร์โมคอปเปิล	41
3.5	Temperature Controller	42
3.6	เครื่องวัดความเข้มแสง	42
3.7	ปั้มน้ำพร้อมระบบตัดน้ำอัตโนมัติ	43
3.8	โซลินอยด์วาล์ว	43
3.9	วาล์วกันไหลกลับ	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.10	Water receiver tank	44
3.11	บอร์ด Arduino	45
3.12	Arduino data logger shield	45
3.13	SD Card	46
3.14	MAX6675 Module	46
3.15	Pressure sensor	47
3.16	Jumper wire	47
3.17	อิฐฉนวนทนความร้อน	48
3.18	ถ่านอัลคาไลน์	48
3.19	ขั้วต่อ ถ่าน แบตเตอรี่	49
3.20	Schematic diagram of the set-up	50
3.21	Photograph of the experimental set-up	50
3.22	Solar receiver	51
3.23	Diagram วงจร Arduino	51
3.24	ตัวอย่าง Code Arduino	52
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ น้ำ ความดัน ภายในเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิสูงสุด 115 องศาเซลเซียส	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.2	แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตา ที่อุณหภูมิสูงสุด 115 องศาเซลเซียส	56
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำ ความดันภายในเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิสูงสุด 112 องศาเซลเซียส	57
4.4	แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า ค่าพลังงานความร้อนดูดซับและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตา ที่อุณหภูมิสูงสุด 112 องศาเซลเซียส	58
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำ ความดันภายในเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิสูงสุด 110 องศาเซลเซียส	59
4.6	แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตา ที่อุณหภูมิสูงสุด 110 องศาเซลเซียส	60
4.7	แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า ค่าพลังงานความร้อนดูดซับของเตา และค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส	61
4.8	แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อน ที่อุณหภูมิ 40 และ 50 องศาเซลเซียส	61
4.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำ ความดันภายในเตา และค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ กำหนดอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	62
4.10	แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตา กำหนดอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	63
4.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำ ความดันภายในเตา และค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ กำหนดอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	64

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตา กำหนดอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส	65



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันสถานการณ์ด้านพลังงานประสบกับปัญหาเรื่องวิกฤตพลังงานเชื้อเพลิงขาดแคลนอย่างมาก ซึ่งปัญหาเหล่านี้กำลังได้รับความสนใจจากทั่วโลก เนื่องจากหลายประเทศเกิดความไม่แน่นอนทางด้านพลังงานที่ผลิตจากเชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นส่วนใหญ่ เช่น น้ำมันและถ่านหิน อีกทั้งปัญหาเหล่านี้ส่งผลต่อความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศทั่วโลก เนื่องจากแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลมีแนวโน้มลดลง ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมกำลังส่งผลกระทบต่อระบบมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นได้มีการศึกษา ค้นคว้าและพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนรูปแบบใหม่ที่เป็นการใช้แหล่งพลังงานหมุนเวียนผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากไม่เป็นมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและใช้หมุนเวียนโดยไม่มีวันหมดสิ้น โดยมีการค้นคว้าวิจัยที่จะนำพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และพลังงานน้ำ มาปรับใช้ให้มากขึ้นเพื่อเป็นการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล [1]

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญและเป็นพลังงานที่ใหญ่ที่สุดของโลก เป็นพลังงานสะอาด ไม่มีวันหมด ไม่มีอันตรายและไม่เป็นมลพิษ สามารถใช้ประโยชน์ได้ในทุกพื้นที่ [2] ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่สามารถช่วยแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานและปัญหาสิ่งแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งดวงอาทิตย์จะปล่อยพลังงานออกมาในรูปแบบคลื่นแม่เหล็กโดยกระบวนการแผ่รังสี เรียกว่า รังสีอาทิตย์ (Solar radiation) ซึ่งรังสีอาทิตย์ที่มาถึงพื้นผิวโลกจะมีความยาวคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต (0.3–0.4 นาโนเมตร) แสงสว่าง (0.4–0.7 นาโนเมตร) และรังสีอินฟราเรด (0.7–3.0 นาโนเมตร) สิ่งมีชีวิตและมนุษย์สามารถนำพลังงานจากดวงอาทิตย์นี้ไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบของแสงสว่างและความร้อน เช่น เพื่อการมองเห็น เป็นต้น [3]

เทคโนโลยีของพลังงานแสงอาทิตย์นั้นทั่วไปแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ การนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า (Solar electricity) และการนำแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานความร้อน (Solar thermal) [4] ซึ่งการนำความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ในระบบต่างๆ เช่น เครื่องทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ เตาอบแห้งเพื่อเพิ่มผลผลิตด้านเกษตรกรรม เป็นต้น [5]

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาในประเทศไทยดวงอาทิตย์จะปล่อยพลังงานได้มหาศาลในเวลาเพียงหนึ่งชั่วโมง เราจะได้รับพลังงานในรูปแบบรังสีแสงอาทิตย์ถึง 174,000 TW หรือเทียบเท่าพลังงานทั้งหมดที่โลกใช้ตลอดปี ประเทศไทยนั้นมีข้อได้เปรียบเรื่องที่ตั้งที่อยู่ในเขตศูนย์สูตร ซึ่งได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยตลอดปีสูงกว่าประเทศอื่นๆ จากการศึกษาข้อมูลดาวเทียมประกอบการตรวจวัดภาคพื้นดินของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่าประเทศไทยได้รับรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดในเดือนเมษายน จากการกระจายความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ตามพื้นที่ค่าเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่รับรังสีแสงอาทิตย์สูงสุด $20.5 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ เมื่อเฉลี่ยความเข้มรังสีแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ พบว่ามีค่าเท่ากับ $18.4 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ [6]

เตาพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อมาทำให้เกิดความร้อนที่สูงพอที่จะสามารถใช้งานได้เช่นเดียวกับเตาเผาหรือเตาอบ โดยอุปกรณ์นี้ประกอบไปด้วยเลนส์เฟรสเนล เลนส์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่ใช้สำหรับรวบรวมแสงอาทิตย์และส่งไปยังจุดรวมแสง ซึ่งทำให้สามารถใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนได้ เตาพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อรับและเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้ แล้วแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานอื่นๆ โดยเตาพลังงานแสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นสแตนเลสที่มีผิวสะท้อนสูง เมื่อแสงอาทิตย์เจอบริเวณของเตาพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว พลังงานจะถูกดูดซับและเก็บไว้ภายในเตา แล้วถ่ายเทความร้อนไปยังสารทำงาน (working fluid) ในลำดับถัดไป ในการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉพาะในการผลิตวัตถุดิบที่ต้องการอุณหภูมิสูง หรือในการศึกษาและวิจัยเกี่ยวกับวัสดุที่ทนต่ออุณหภูมิสูง ซึ่งเตาพลังงานแสงอาทิตย์มีการประยุกต์ใช้งานอย่างหลากหลาย

วิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ สร้าง และทดสอบเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนลใช้ในการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับเฮลิโอสแตท [7] เตาพลังงานแสงอาทิตย์ถูกทดสอบเบื้องต้นโดยการให้ความร้อนแก่เตาพลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นคำนวณหาพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อสมรรถนะของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น ความเข้มของรังสีอาทิตย์ ปริมาณความร้อนขาเข้า ปริมาณความร้อนที่ดูดซับ และประสิทธิภาพเชิงความร้อน เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้จะมีการออกแบบการทดลองหลายตัวแปร เช่น ชนิดของน้ำ หมุ่สะท้อน เพื่อหาเงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสมและนำผลวิจัยที่ได้จากการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์โครงการ

1.2.1 เพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้เลนส์เฟรสเนลภายใต้สภาวะการแผ่รังสีแสงอาทิตย์

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 เตาพลังงานแสงอาทิตย์มีขนาด 1 kWth

1.3.2 ทดสอบภายใต้อุณหภูมิ สภาวะการทำงาน และเงื่อนไขการแผ่รังสีที่แตกต่างกัน

1.3.3 ใช้น้ำเป็นสารตัวกลางในการดูดซับความร้อน

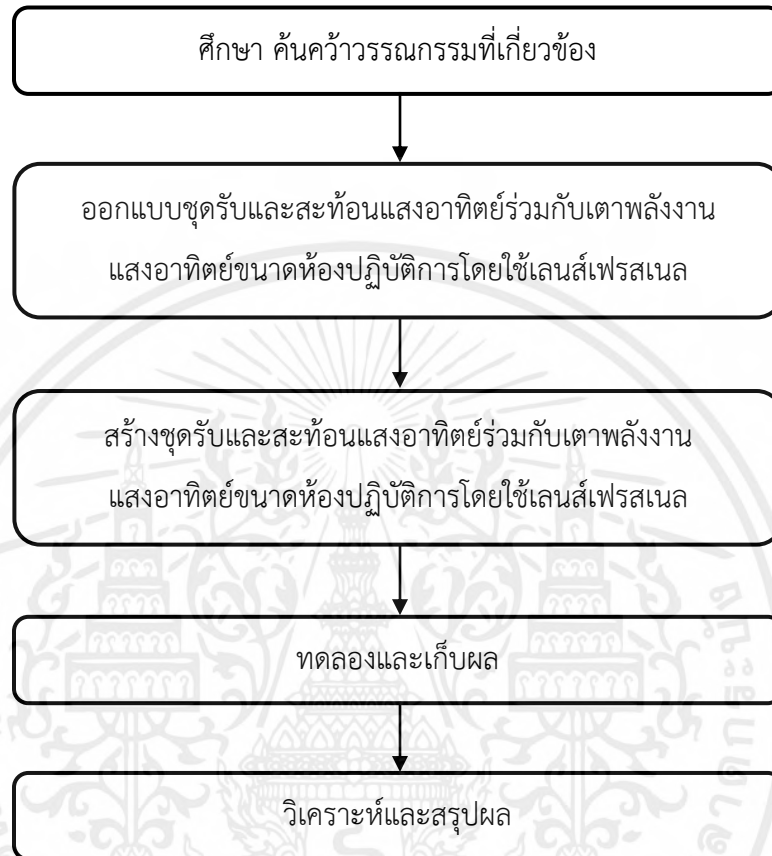
1.3.4 ศึกษาตัวแปรต่างๆ ในการทดลอง เช่น ความเข้มของรังสีอาทิตย์ ปริมาณความร้อนขาเข้า ปริมาณความร้อนที่ดูดซับ เพื่อประเมินประสิทธิภาพเตาพลังงานแสงอาทิตย์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้องค์ความรู้และเทคโนโลยีใหม่ๆ เกี่ยวกับประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้เลนส์เฟรสเนลใช้ในการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับเฮลิโอสแตท

1.4.2 ได้ชุดสาธิตระบบรับและสะท้อนแสงอาทิตย์แบบสองแนวแกนและเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล ซึ่งสามารถเป็นต้นแบบการเรียนรู้ ขยายผลเป็นรูปธรรม ในอนาคตได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ



รูปที่ 1.1 แผนผังการดำเนินงานการออกแบบและสร้างชุดรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาพลังงาน
แสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานของการออกแบบและสร้างชุดรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ช่วงเวลาการดำเนินงาน									
	2022					2023				
	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY
1. ศึกษาและรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	←→									
2. ออกแบบและสร้างชุดรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์			←→							
3. สร้างชุดรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์					←→					
4. ทดลองและเก็บผล							←→			
5. วิเคราะห์และสรุปผล								←→		
6. ทำเล่มปริญญาานิพนธ์									←→	

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ สร้างชุดรับและสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบสองแนวแกน และชุดเตาพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้เลนส์เฟรสเนลในการรวมแสง มีสาระสำคัญดังนี้

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ เป็นดาวฤกษ์ศูนย์กลางของระบบสุริยะ มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ที่ 1,400,000 กิโลเมตร หรือ 109 เท่าของเส้นผ่านศูนย์กลางของโลก ซึ่งดวงอาทิตย์อยู่ห่างจากโลก 149,600,000 กิโลเมตร หรือ 1 หน่วยดาราศาสตร์ (AU) ซึ่งดวงอาทิตย์มีมวลมากกว่าโลก 333,000 เท่า โดยดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนวัตถุดำที่มีอุณหภูมิผิว 6,000 เคลวิน อุณหภูมิ ณ จุดศูนย์กลางดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 8,000,000 เคลวิน ถึง 40,000,000 เคลวิน ซึ่งมีความหนาแน่นเพียง 0.25 เท่าของโลก เนื่องจากมีองค์ประกอบของดาวฤกษ์เป็นไฮโดรเจนร้อยละ 74 ก๊าซฮีเลียมร้อยละ 25 และธาตุชนิดอื่นๆ อีกร้อยละ 1 พลังงานแสงอาทิตย์มีต้นกำเนิดจากดวงอาทิตย์ แสงจากดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ในดวงอาทิตย์ รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าส่วนหนึ่งถูกปล่อยมาจากดวงอาทิตย์ จะมีความยาวคลื่นประมาณ 400-700 นาโนเมตร (nm) เพียงหนึ่งชั่วโมง โลกได้รับพลังงานมาจากดวงอาทิตย์จะอยู่ในรูปของรังสีประมาณ 174,000 TW ในจำนวนนี้ร้อยละ 30 จะถูกสะท้อนกลับไปสู่อวกาศ ส่วนที่เหลือร้อยละ 70 จะถูกดูดซับเมื่อผ่านบรรยากาศต่างๆ ที่หุ้มอยู่รอบโลก เช่น ชั้นโอโซน ชั้นโอโซน และชั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แสงที่มาจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ที่ไม่เป็นพิษและหาง่ายที่สุดในธรรมชาติ ไม่มีวันหมด (Inexhaustible natural resources) แต่อาจมีข้อจำกัดเนื่องจากมีเฉพาะช่วงกลางวัน เนื่องจากมีความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ที่ไม่แน่นอนเพราะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและฤดูกาลที่เปลี่ยนไป ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ณ พื้นที่ใดๆ จะมีปริมาณสูงเมื่อพื้นที่นั้นทำมุมตั้งฉากกับรังสีแสงอาทิตย์ ดังนั้นหากต้องการที่จะรับรังสีแสงอาทิตย์ที่มากที่สุดจะต้องทำให้พื้นที่รับแสงนั้นเคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของรังสีแสงอาทิตย์เสมอ แสงจากดวงอาทิตย์อาจเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าได้ ไม่เกิดเป็นมลพิษหรือส่งผลกระทบต่อ

สิ่งแวดล้อมและเป็นแหล่งพลังงานที่ศักยภาพสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพ และพลังงานชีวมวล พลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ได้แก่ พลังงานจากแสงอาทิตย์ และพลังงานจากความร้อน

2.1.1 พลังงานจากแสงอาทิตย์ คือรูปแบบของการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้งาน แบ่งออกเป็น 2 แบบ

1.) Active Solar เป็นการใช่วิธีของ Photovoltaic หรือ solar thermal จับและเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนได้โดยตรง

2.) Passive Solar เป็นการใช้ประโยชน์อีกหนึ่งทาง เช่น การใช้วัสดุที่ไวต่ออุณหภูมิเพื่อช่วยปรับสมดุลอากาศของอาคาร

2.1.2 พลังงานจากความร้อน เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานไฟฟ้า พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานคลื่น เป็นต้น

2.2 ศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์

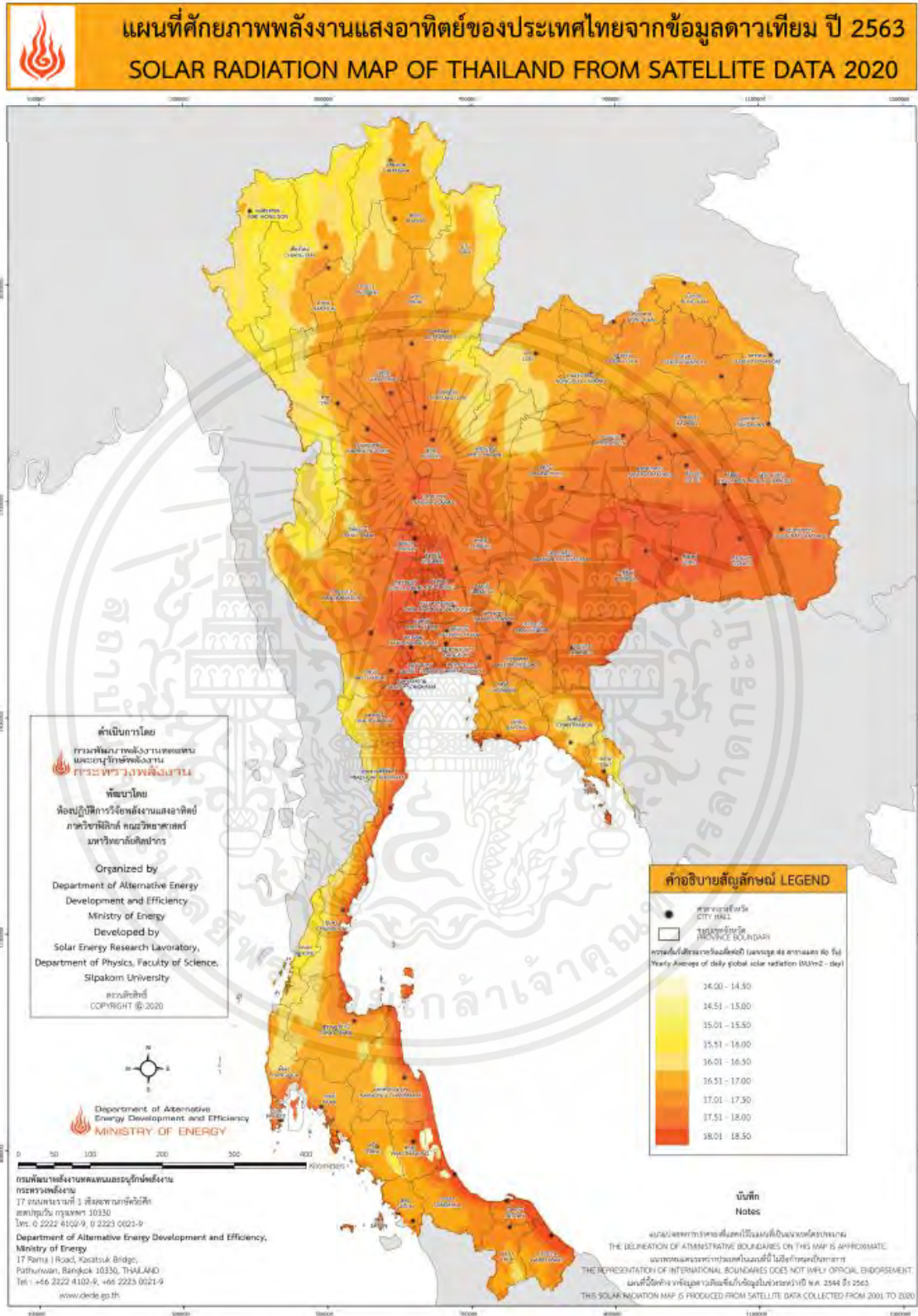
ประเทศไทยมีศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง แต่ละพื้นที่ของประเทศไทยทั่วไปจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่บริเวณนั้น หรือใช้คำว่าค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (Solar radiation) หน่วยเมกะจูลต่อตารางเมตร หรือ $\text{MJ}/\text{m}^2\text{-day}$ แนวโน้มการการขึ้น-ลงของค่ารังสีแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงไปตามพื้นที่ การที่ประเทศไทยมีภูมิประเทศตั้งอยู่ในแถบเส้นศูนย์สูตรเป็นข้อได้เปรียบที่ทำให้มีปริมาณพลังงานจากดวงอาทิตย์มาก

ปริมาณรังสีที่ส่องมายังประเทศไทยเพิ่มขึ้นช่วงเดือนมกราคมและมีความเข้มสูงสุดช่วงฤดูร้อน ซึ่งจะลดลงมาจนต่ำสุดในเดือนธันวาคมของแต่ละปี ศักยภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแสงของดวงอาทิตย์ในประเทศไทยส่วนใหญ่จะอยู่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางบางพื้นที่

การกระจายของความเข้มแสงอาทิตย์บริเวณต่างๆ แต่ละเดือนจะได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ พื้นที่ส่วนใหญ่ได้รับรังสีสูงสุดช่วงเดือนเมษายนและพฤษภาคม มีค่ารังสีช่วง $20\text{-}25 \text{ MJ}/\text{m}^2\text{-day}$ เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยจากดาวเทียม ปี 2563 [8] (รูปที่ 2.1) (หมายเหตุ ปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่าย

ดาวเทียมสำหรับประเทศไทย จะปรับปรุงข้อมูลให้ทันสมัยทุกๆ 5 ปี) พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปี อยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลาง อยู่ที่จังหวัด สุพรรณบุรี ชัยนาท พระนครศรีอยุธยา และลพบุรี มีค่ารังสีช่วง 19-20 MJ/m²- day



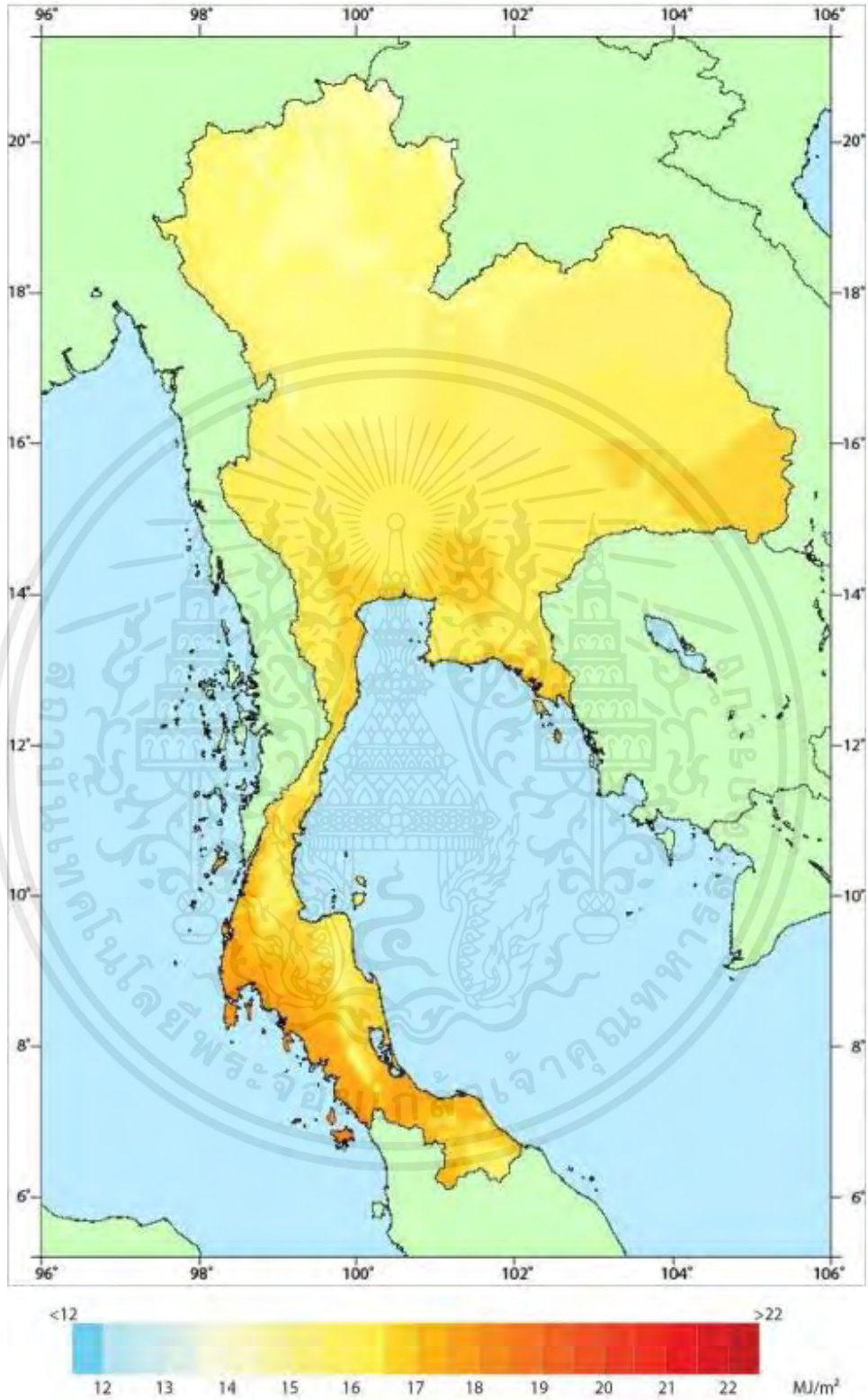


รูปที่ 2.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยจากดาวเทียม ปี 2563 [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

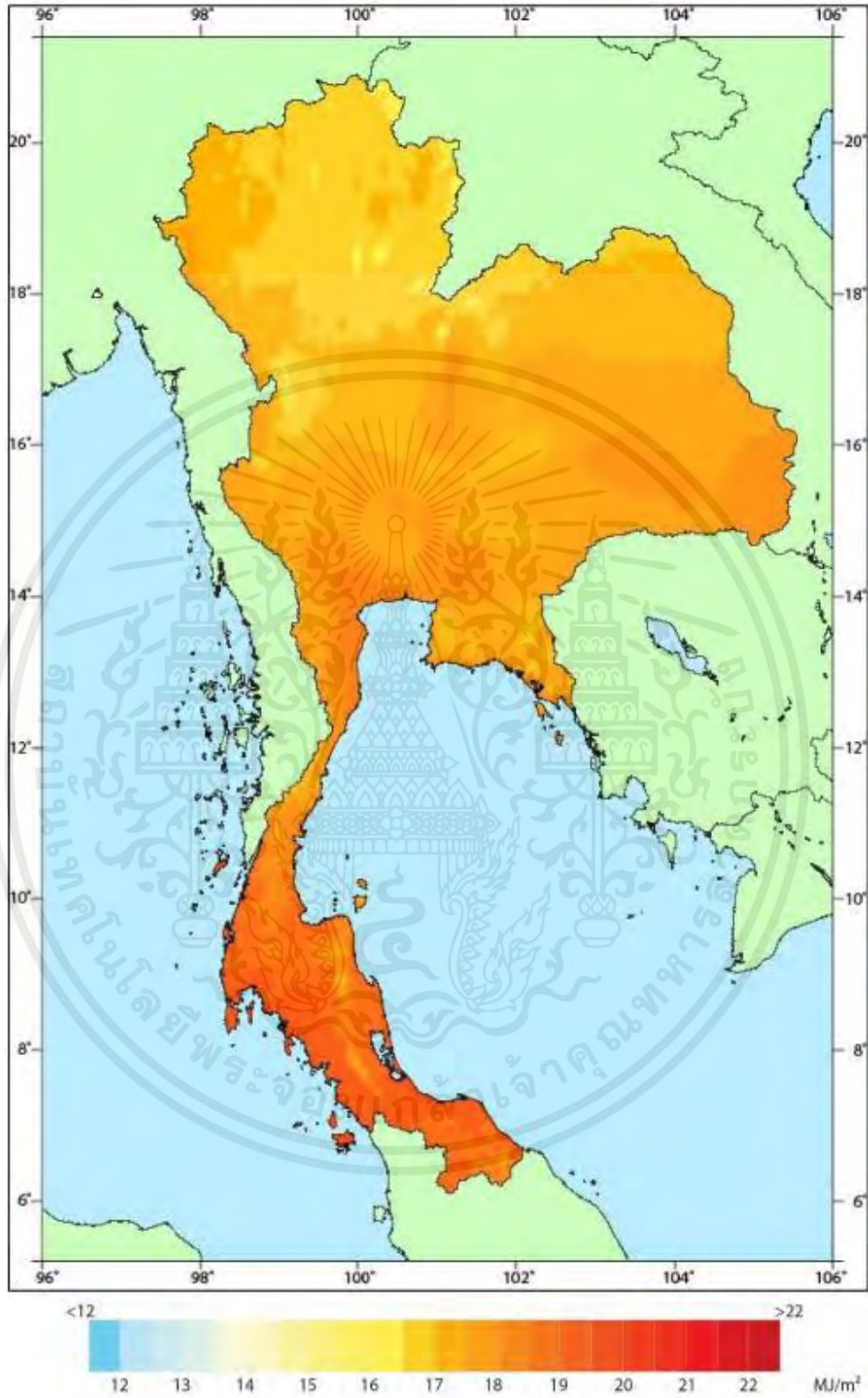
นอกจากค่ารังสีแสงอาทิตย์จะเปลี่ยนตำแหน่งและทางเดินตามดวงอาทิตย์ในเวลารอบปีแล้ว ยังขึ้นอยู่กับภูมิประเทศด้วย ดังปรากฏตามแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี ปี 2542 (รูปที่ 2.2-2.13) (รูปดังกล่าวเป็นแนวโน้มของรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือน) เห็นได้ว่ารังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบทั่วประเทศไทยจะเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และฤดูกาลในรอบปีโดยในเดือนมกราคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ภาคใต้ฝั่งตะวันตกจะได้รับรังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ส่วนภาคใต้ฝั่งตะวันออกยังคงได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ท้องฟ้ามีเมฆและฝน





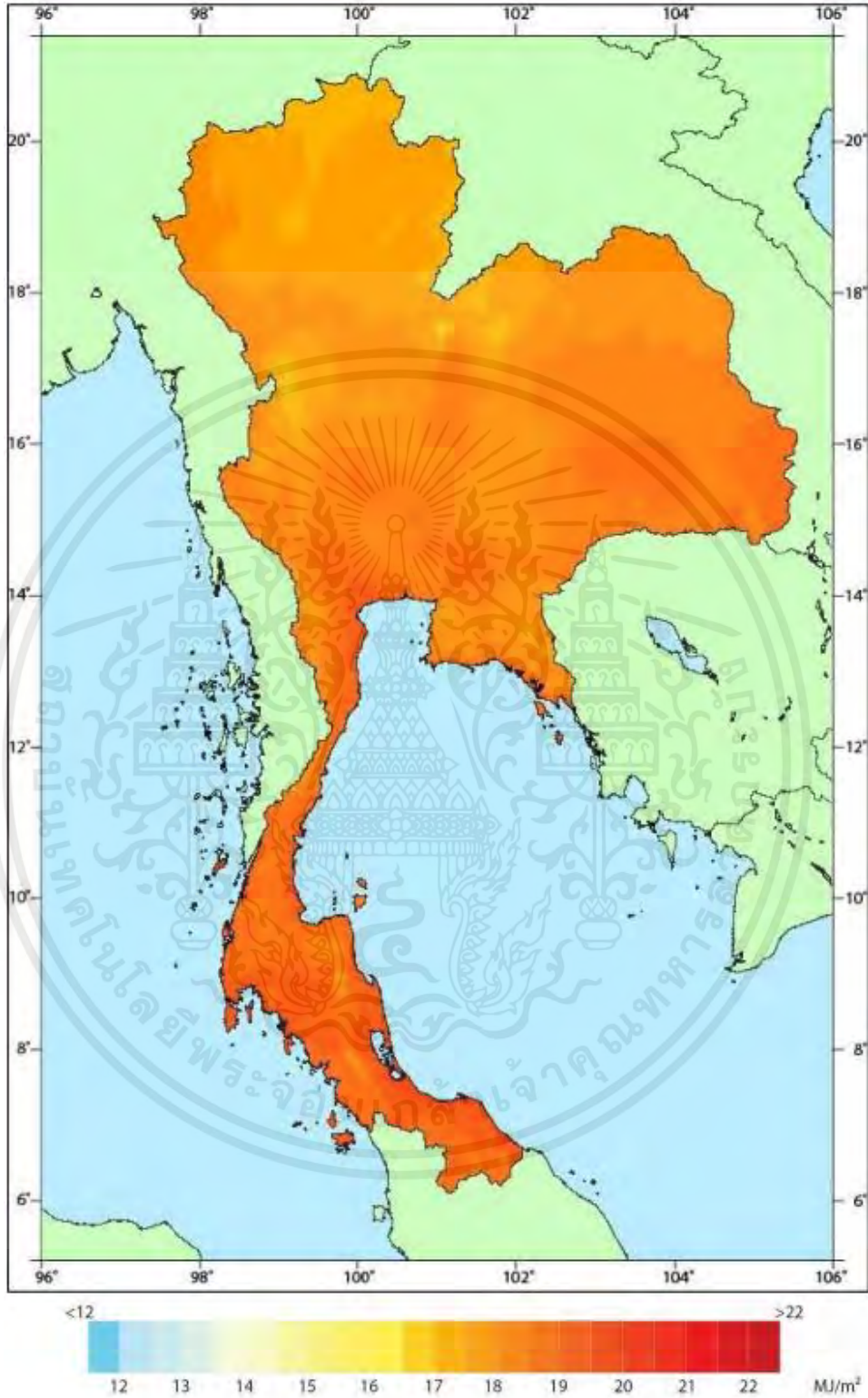
รูปที่ 2.2 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนมกราคม [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



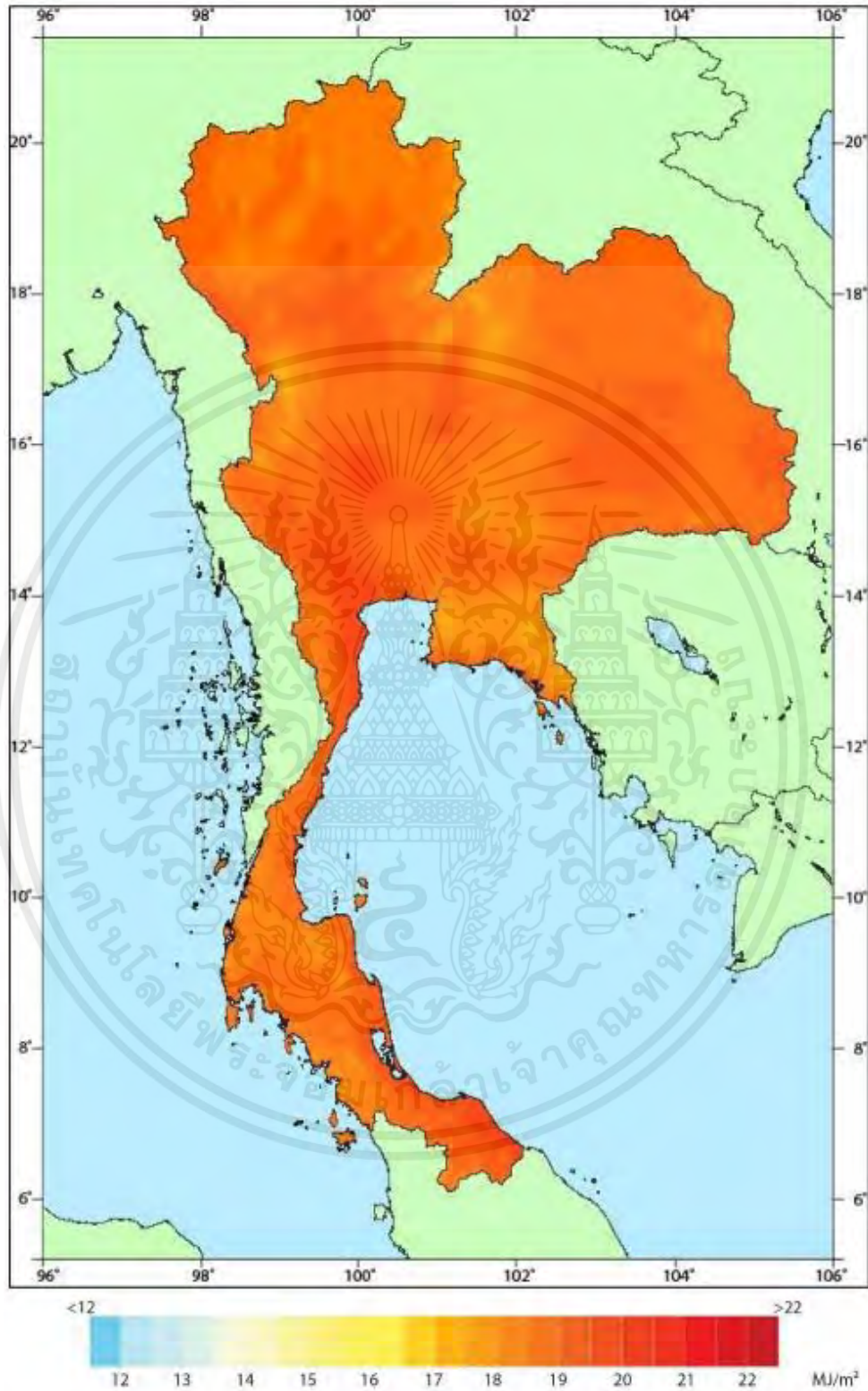
รูปที่ 2.3 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนกุมภาพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



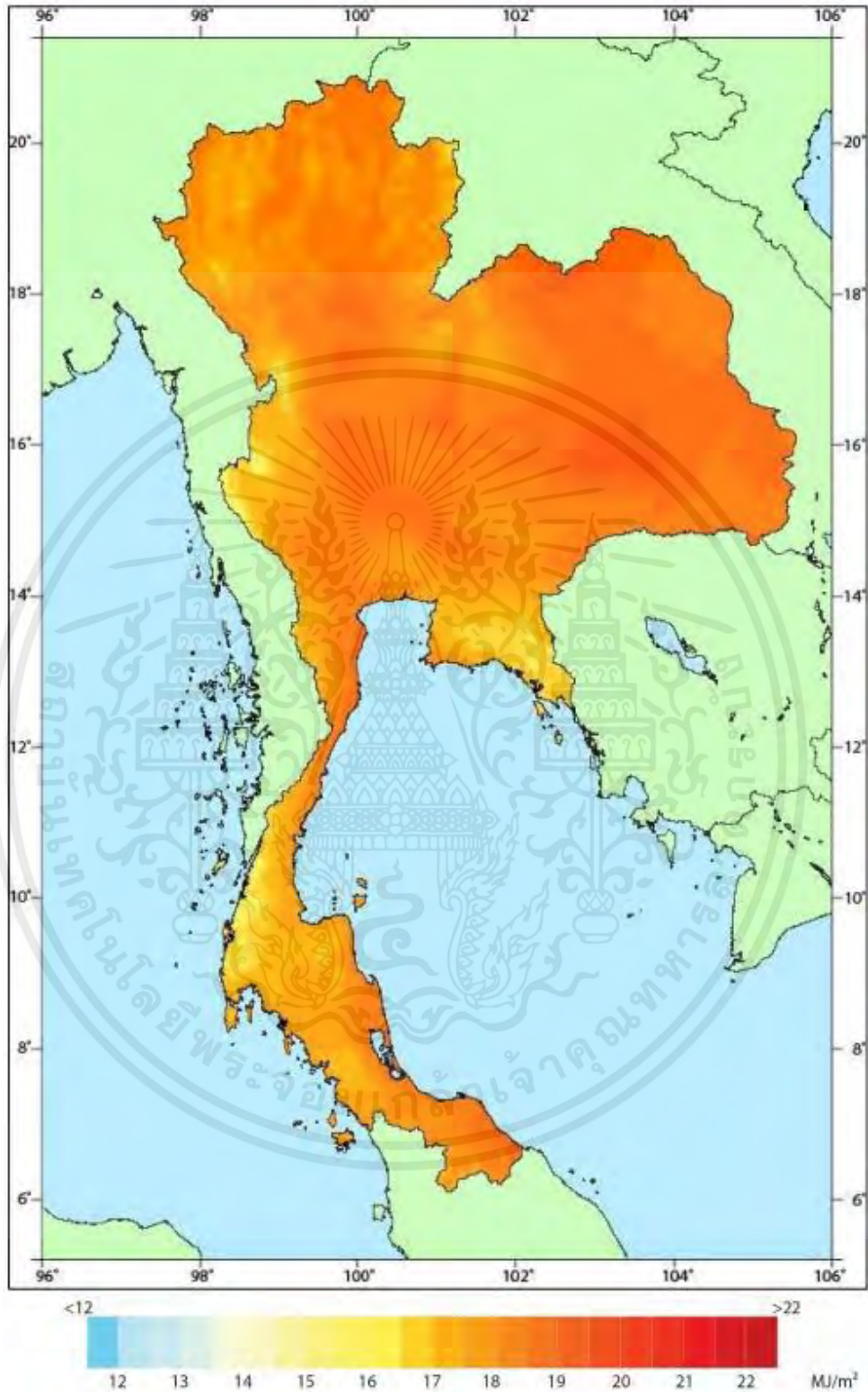
รูปที่ 2.4 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนมีนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



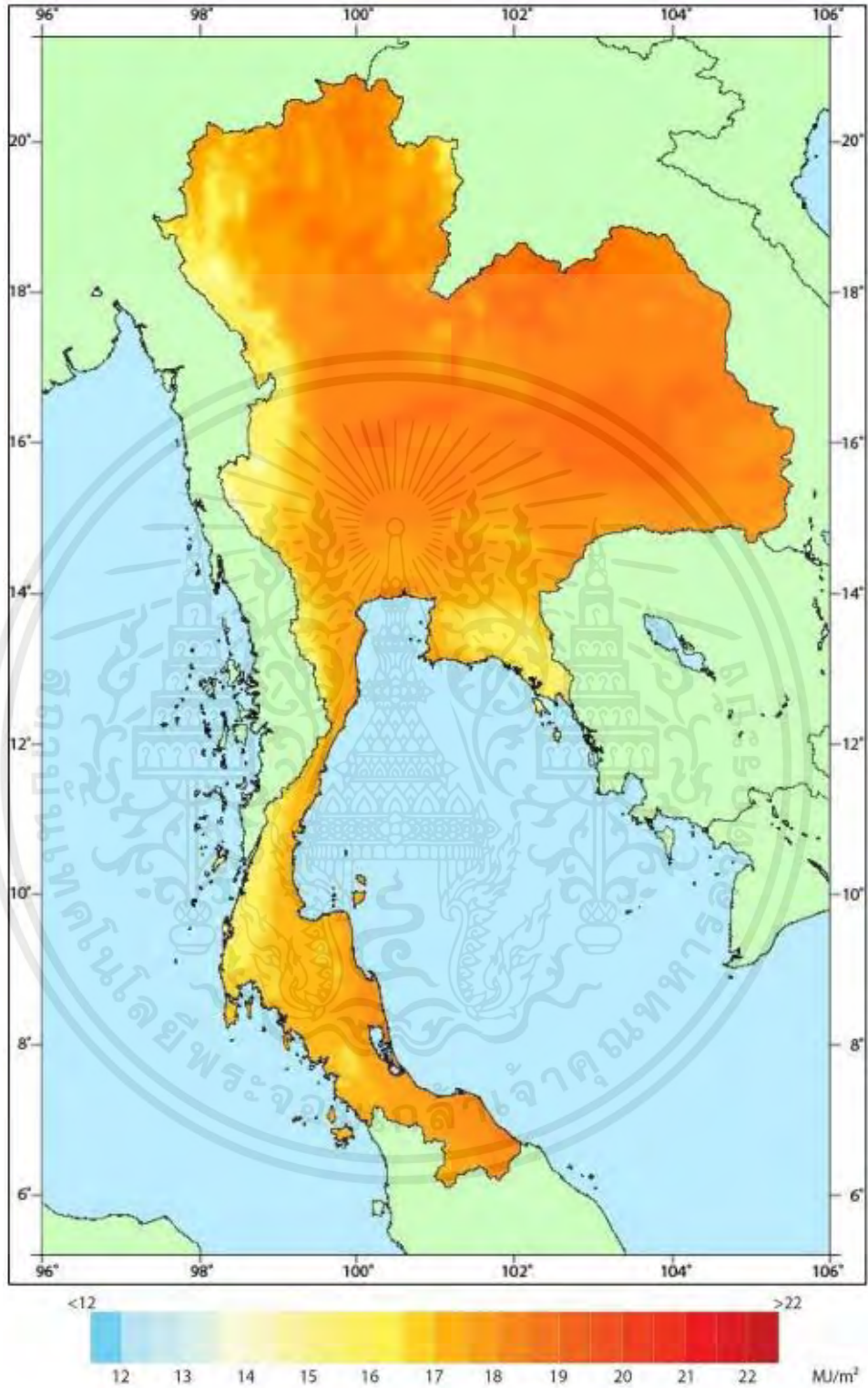
รูปที่ 2.5 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนเมษายน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



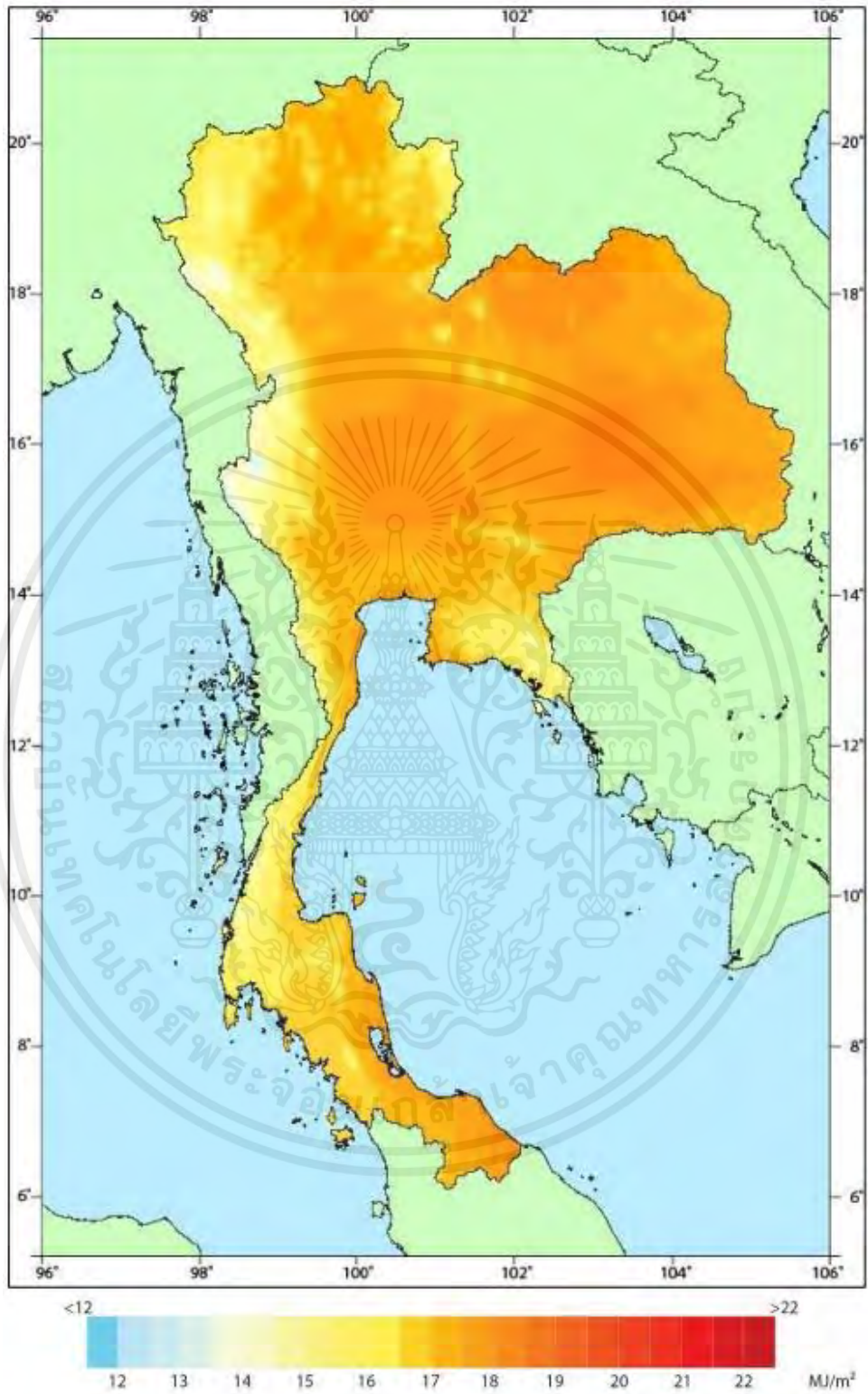
รูปที่ 2.6 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนพฤษภาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



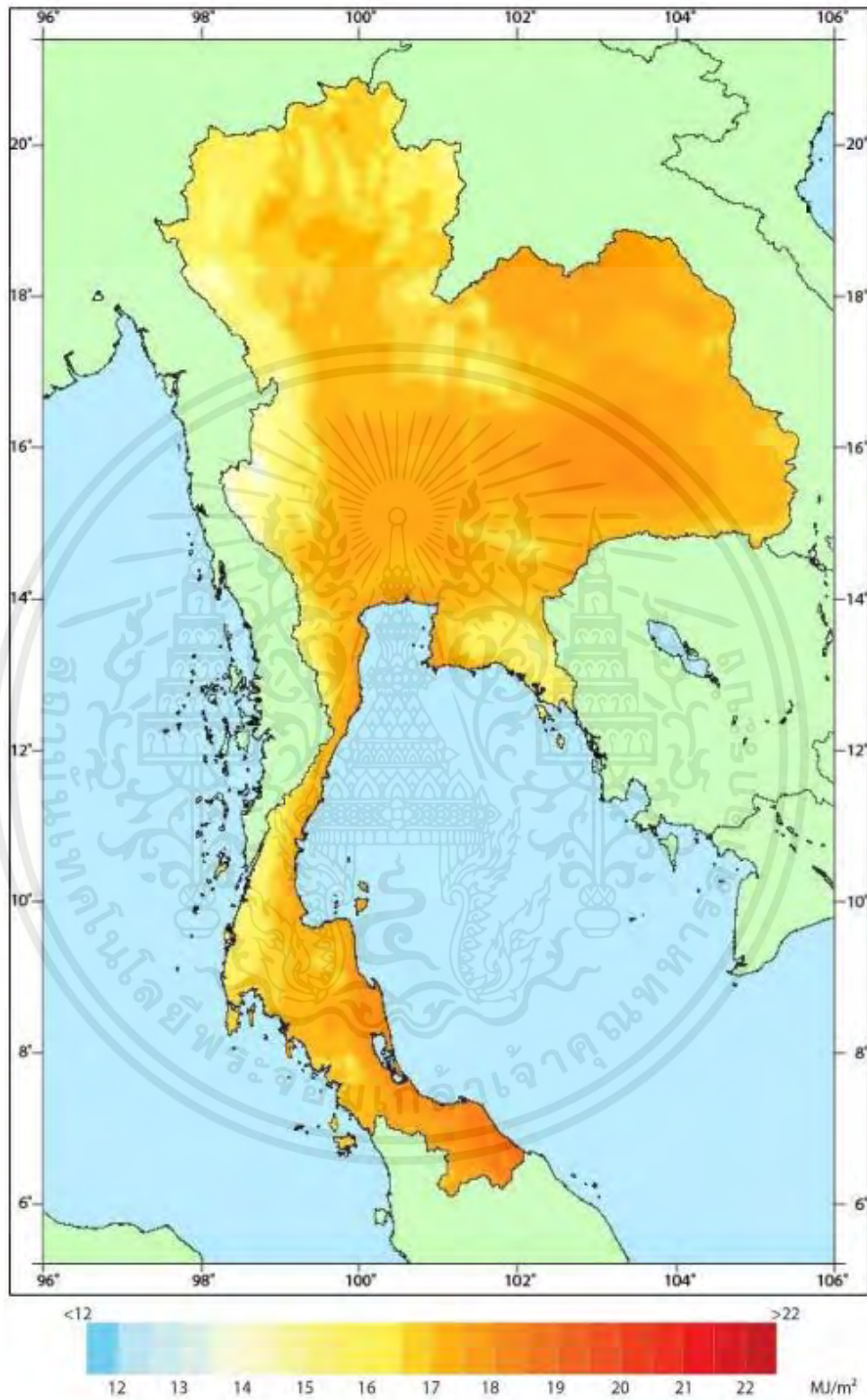
รูปที่ 2.7 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนมิถุนายน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



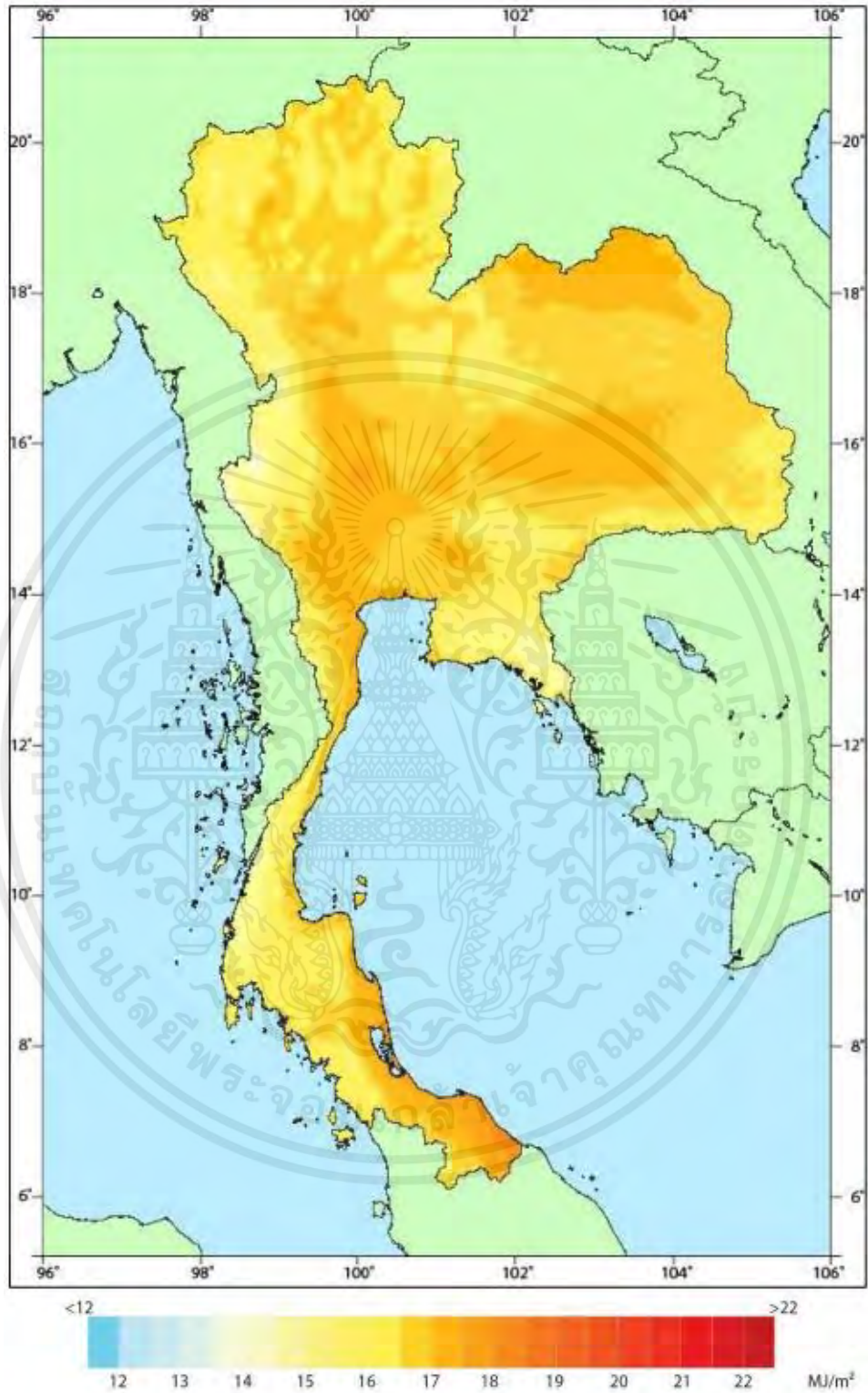
รูปที่ 2.8 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนกรกฎาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



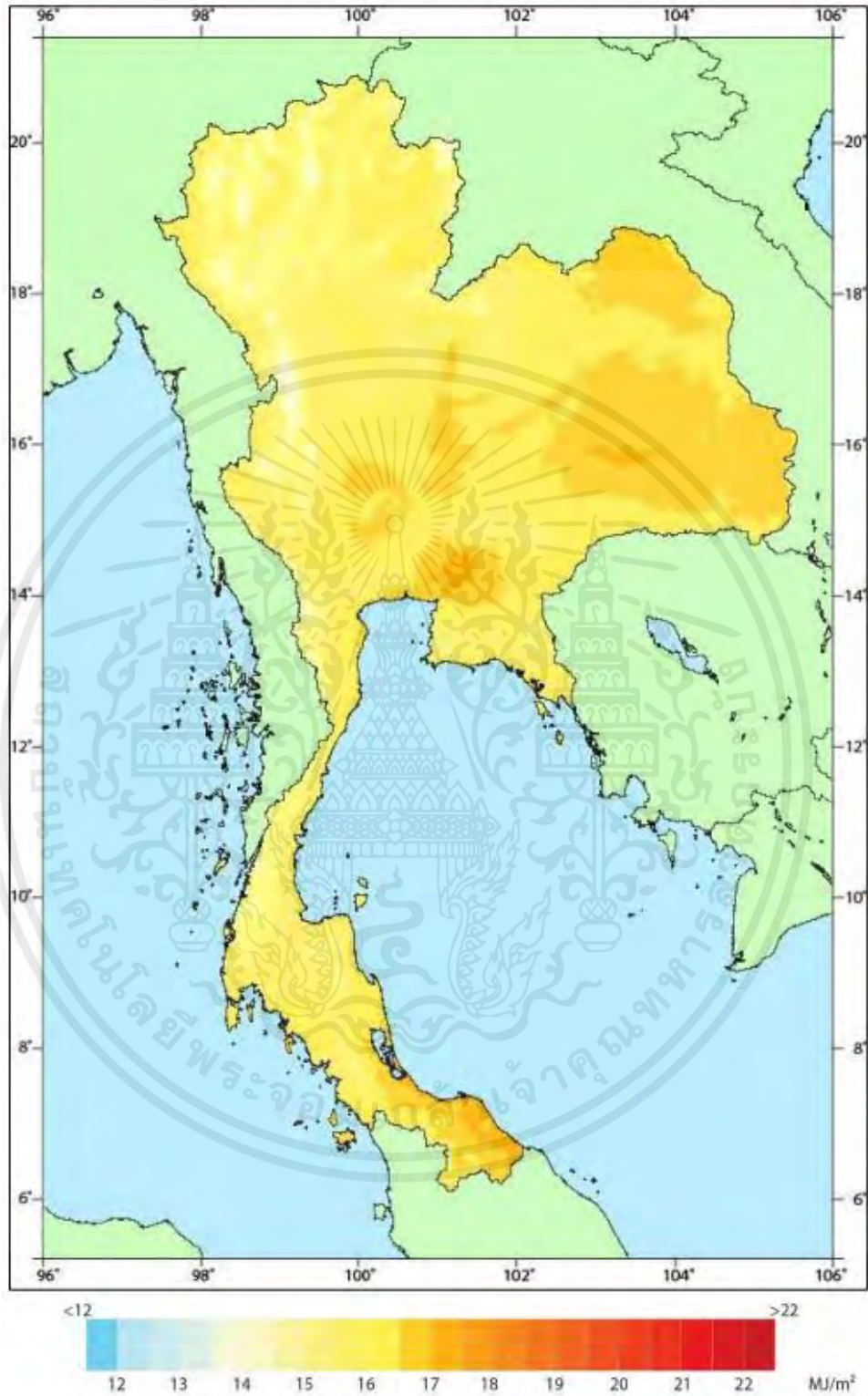
รูปที่ 2.9 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนสิงหาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



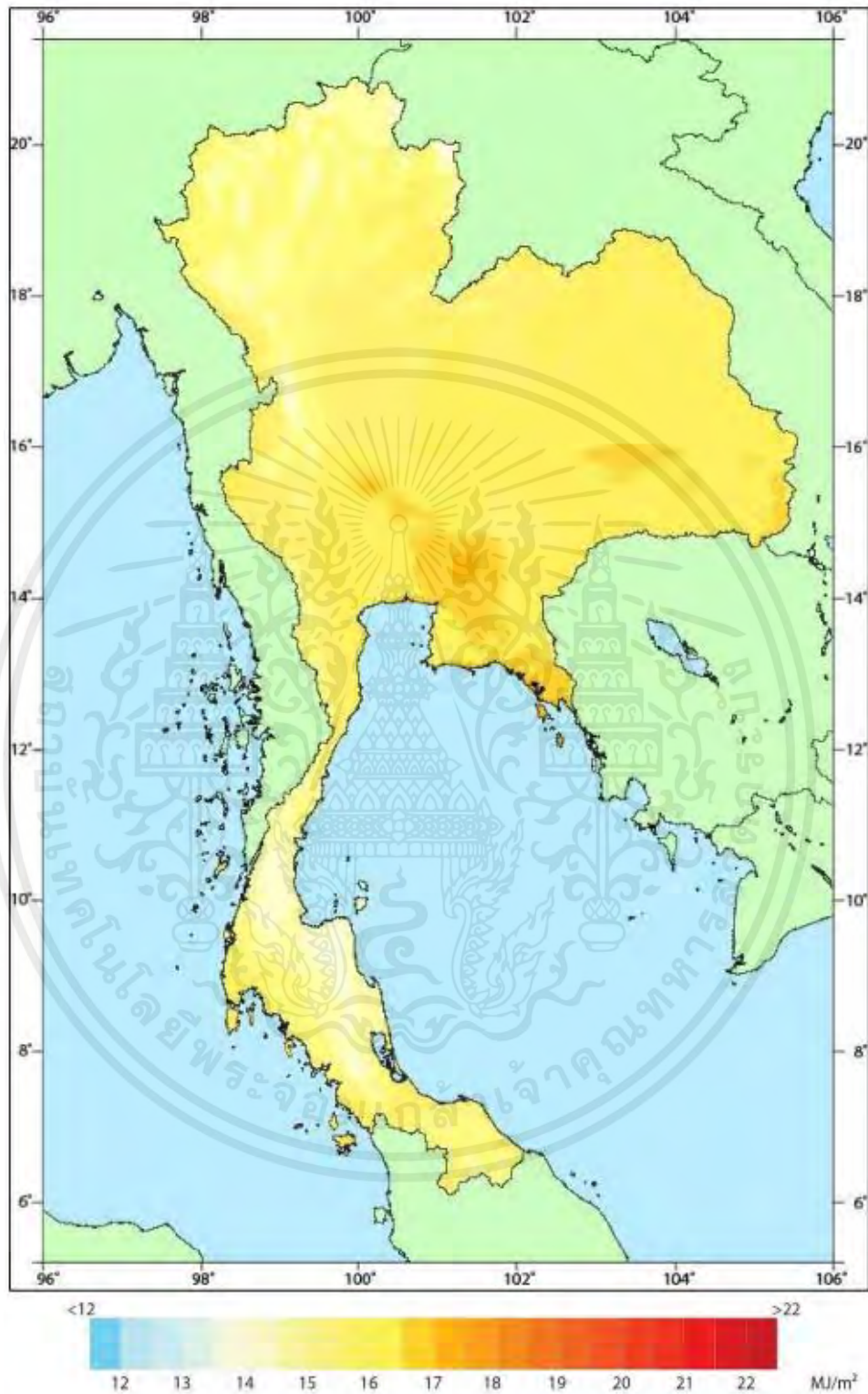
รูปที่ 2.10 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนกันยายน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



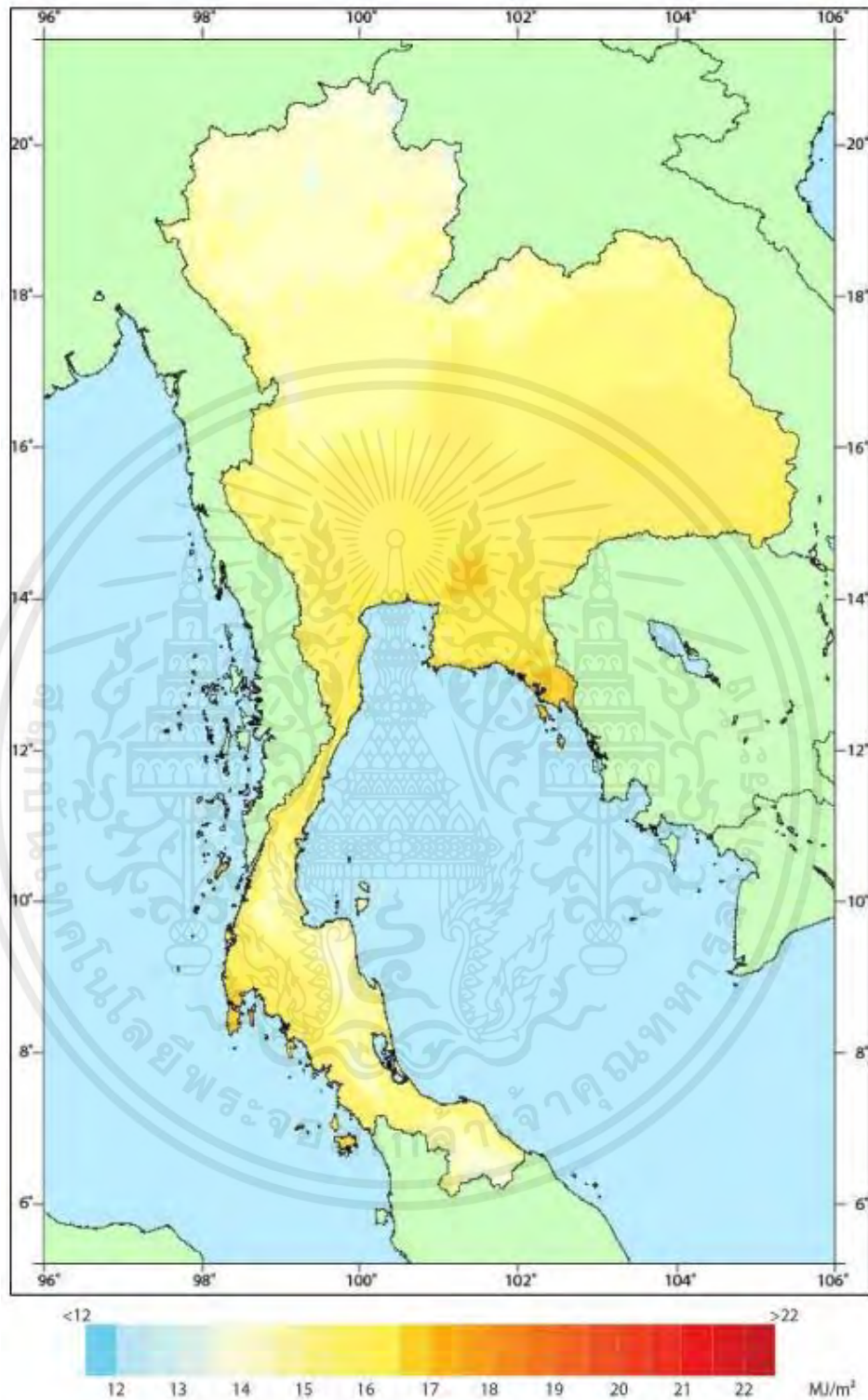
รูปที่ 2.11 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนตุลาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนพฤศจิกายน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 แผนที่รังสีอาทิตย์ของเดือนธันวาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนมกราคมจะมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่าภาคอื่นๆ แม้ว่าเดือนมกราคมจะเป็นฤดูหนาวแต่ละภาคจะมีเมฆน้อย แต่ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ไม่ได้ขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าเพียงปัจจัยเดียว ยังขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งมุมนี้จะอยู่ขึ้นกับละติจูดของตำแหน่งบนพื้นผิวโลกและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ในเดือนมกราคมภาคเหนือมีค่ารังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนอยู่ที่ 15-16 MJ/m²- day แม้เป็นบริเวณกว้างจนถึงภาคกลางตอนบน โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางจะมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ใกล้เคียงกันอยู่ที่ 17-18 MJ/m²- day แม้เป็นบริเวณกว้างถึงภาคใต้ตอนบน ตั้งแต่จังหวัดชุมพรลงไปค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะอยู่ที่ 16-18 MJ/m²- day และในภาคใต้ตอนล่างฝั่งตะวันออกมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่ำกว่าฝั่งตะวันตก เนื่องจากฝั่งตะวันออกได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ท้องฟ้าจะมีเมฆปกคลุมมากกว่าด้านตะวันตก สำหรับภาคใต้ตอนล่างฝั่งตะวันตกจะมีบางพื้นที่ เช่น บริเวณจังหวัดพังงา กระบี่ และภูเก็ต มีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 20-21 MJ/m²- day

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนกุมภาพันธ์ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง มีการกระจายของค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์คล้ายกัน มีค่าอยู่ที่ 16-19 MJ/m²- day ยกเว้นบางบริเวณมีห่อมความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ต่ำมีค่าอยู่ที่ 15-16 MJ/m²- day บริเวณจังหวัดเลย และห่อมความเข้มสูงที่ 19-20 MJ/m²- day บริเวณจังหวัดอุบลราชธานี ส่วนภาคใต้ตอนบนมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 19-20 MJ/m²- day และภาคใต้ตอนล่างฝั่งตะวันตกมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 20-21 MJ/m²- day กระจายเป็นบริเวณกว้าง ส่วนภาคใต้ฝั่งตะวันออกมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงกว่าเดือนมกราคมเนื่องจากได้รับอิทธิพลตะวันออกเฉียงเหนือลดลง

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนมีนาคม ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนตัวมาอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตร มุมตกกระทบในตอนเที่ยงวันจะเกือบตั้งฉากหรือตั้งฉากกับพื้นผิวโลกบริเวณภาคใต้ ดังนั้นภาคใต้จะมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงกว่าภาคอื่นโดยเฉพาะภาคใต้ฝั่งตะวันตกบริเวณจังหวัดพังงา กระบี่ และภูเก็ต มีค่าความเข้มสูงกว่า 24 MJ/m²- day ในส่วนของภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เป็นแถบกว้างอยู่ที่ 20-21 MJ/m²- day และภาคเหนือความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 16-21 MJ/m²- day โดยห่อมความเข้มสูงอยู่บริเวณจังหวัดเชียงใหม่และพิษณุโลก

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนเมษายน โดยมุมตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์ เวลาเที่ยงเกือบจะตั้งฉากกับพื้นที่ทั่วประเทศและพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศยังเป็นฤดูแล้งซึ่งมีเมฆน้อย ท้องฟ้าโปร่ง ดังนั้นโดยทั่วไปรังสีแสงอาทิตย์มีค่าค่อนข้างสูงทั่วประเทศ มีค่าอยู่ที่ 20-24 MJ/m²- day

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนพฤษภาคม ภาคใต้ฝั่งตะวันตกและภาคตะวันออก บริเวณจังหวัดระยอง จันทบุรี และตาก ได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งทำให้มีเมฆปกคลุมมาก และมีฝนตก โดยบริเวณดังกล่าวมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ลดลงเมื่อเทียบกับเดือนเมษายน แต่ภาคใต้ ฝั่งตะวันออกยังคงมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 20-21 MJ/m²- day เพราะอิทธิพลลมมรสุม ตะวันตกเฉียงใต้น้อย สำหรับภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ ยังได้รับอิทธิพล ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้น้อยทำให้ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ยังคงสูงอยู่ มีค่าอยู่ที่ 20-24 MJ/m²- day

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนมิถุนายน อิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ต่อ ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ในบริเวณต่างๆ ของประเทศยังสูงขึ้นโดยเฉพาะในบริเวณตะวันตกของ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคเหนือ และภาคใต้ ทำให้ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์บริเวณดังกล่าวลดลง จากเดือนพฤษภาคม ส่วนบางบริเวณของภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง ยังคงมี ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 20-22 MJ/m²- day แผ่กระจายอยู่บางพื้นที่

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนกรกฎาคม โดยทั่วไปพื้นที่ทั่วประเทศจะได้รับอิทธิพล ลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้มีเมฆและฝนกระจายอยู่ทั่วประเทศ ทำให้ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ลดลงมีค่าอยู่ที่ 15-17 MJ/m²- day อย่างไรก็ตามยังคงมีหย่อมขนาดเล็กซึ่งมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ สูงอยู่ที่ 20-21 MJ/m²- day

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนสิงหาคม ยังคงอยู่ในช่วงอิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของทั่วประเทศกระจายคล้ายเดือนกรกฎาคม มีค่าอยู่ที่ 20-21 MJ/m²- day และจะปรากฏเป็นหย่อมเล็กลงที่ภาคกลางและตอนใต้ของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนกันยายน แม้ว่าดวงอาทิตย์จะเคลื่อนมาอยู่ที่ เส้นศูนย์สูตรแต่พื้นที่ทั่วประเทศยังถูกปกคลุมด้วยเมฆที่มีผลมาจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ทำให้พื้นที่ ทุกภาคมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ค่อนข้างต่ำ มีค่าอยู่ที่ 15-17 MJ/m²- day

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนตุลาคม ในช่วงปลายเดือน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือจะเริ่มได้อิทธิพลมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ทำให้มีปริมาณฝนลดลงและท้องฟ้าโปร่ง

แต่ดวงอาทิตย์ก็ยังคงเคลื่อนที่ไปอยู่ทางใต้ของเส้นศูนย์สูตร ทำให้รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมีค่าลดลงจากเดือนกันยายน ส่วนภาคใต้ยังมีฝนกระจายทั่วไป ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จึงค่อนข้างต่ำ มีค่าอยู่ที่ $13-16 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$

ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนพฤศจิกายน พื้นที่ทั่วประเทศได้รับอิทธิพลมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยเฉพาะบริเวณภาคใต้ฝั่งตะวันออก จะได้รับอิทธิพลมรสุมค่อนข้างมาก ทำให้มีเมฆปกคลุมมาก รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบจึงน้อยกว่าภาคใต้ฝั่งตะวันตก ส่วนภาคเหนือก็ได้รับอิทธิพลมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยสภาพท้องฟ้าจะหลัวทำให้ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าน้อยลง ส่วนภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางมีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์คล้ายกัน มีค่าอยู่ที่ $16-18 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$

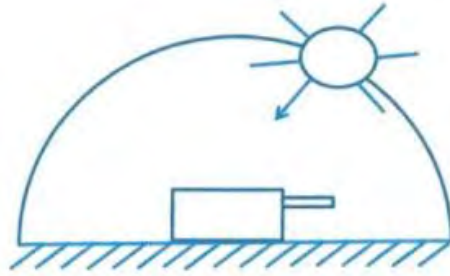
ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่กระจายในเดือนธันวาคม ดวงอาทิตย์เคลื่อนไปทางตอนใต้ของเส้นศูนย์สูตรมากที่สุด ซึ่งรังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกบริเวณภาคใต้จะมากกว่าบริเวณภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง แต่ภาคใต้ยังได้รับอิทธิพลมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือทำให้ท้องฟ้ามีเมฆมาก รังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบจึงมีค่าน้อย ส่วนภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคกลาง แม้ว่าท้องฟ้าโปร่งแต่รังสีแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศมีค่าต่ำ ทำให้รังสีแสงอาทิตย์มีค่าไม่มากนัก โดยทั่วไปของการกระจายรังสีแสงอาทิตย์เดือนธันวาคมจะคล้ายกับเดือนพฤศจิกายน

2.3 ประเภทของรังสี

รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลกหรือบนพื้นราบสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ รังสีตรง รังสีกระจาย และรังสีรวม

2.3.1 รังสีตรง (Beam or Direct normal irradiance)

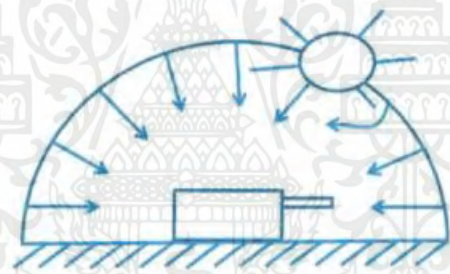
รังสีอาทิตย์ที่ได้มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง มีทิศทางที่แน่นอน เครื่องมือที่วัดรังสีตรง คือ ไพเฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer)



รูปที่ 2.14 แสดงรังสีตรง [10]

2.3.2 รังสีกระจาย (Diffuse horizontal irradiance)

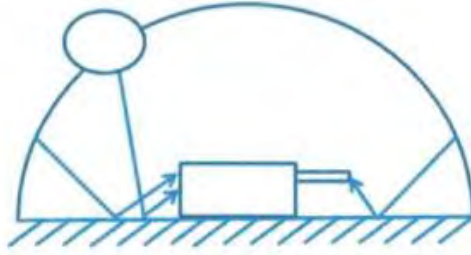
เป็นรังสีอาทิตย์ที่ได้มาจากหลังที่มีการสะท้อน หักเห และกระจายในบรรยากาศทำให้มีทิศทางไม่แน่นอน เครื่องมือที่วัดรังสีกระจายคือ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)



รูปที่ 2.15 แสดงรังสีกระจาย [11]

2.3.3 รังสีรวม (Total or Global horizontal irradiance)

เป็นผลรวมของรังสีกระจายและรังสีตรง สามารถหาค่ารังสีอาทิตย์รวมบนพื้นราบได้จากเครื่องมือวัดรังสีรวม คือ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer)



รูปที่ 2.16 แสดงรังสีรวม [11]

สูตรการคำนวณรังสีรวม (Total or Global horizontal irradiance)

$$GHI = DNI(\cos\theta_z) + DHI \quad (2.1)$$

เมื่อ

DNI คือ รังสีตรง (Direct normal irradiance) (W/m^2)

DHI คือ รังสีกระจาย (Diffuse horizontal irradiance) (W/m^2)

θ_z คือ มุมเซนนิธ (Degree)

2.4 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์

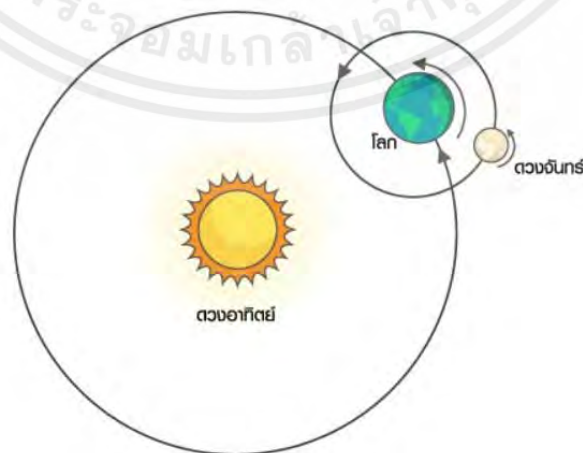
โลกเป็นดาวเคราะห์ดวงหนึ่งที่อยู่ในระบบสุริยะ มีดวงจันทร์เป็นบริวาร 1 ดวง โลกและดวงจันทร์เป็นบริวารของดวงอาทิตย์ ซึ่งโลกจะหมุนรอบตนเอง 1 รอบ และเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ไปด้วยทำให้โลกซีกหนึ่งที่ได้รับแสงอาทิตย์เกิดเวลาช่วงกลางวัน ซึ่งเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ส่วนอีกซีกโลกที่ไม่ได้รับแสงอาทิตย์จะมีมืดและเกิดเวลาเป็นช่วงกลางคืน เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ดังนั้นเมื่อโลกหมุนรอบตนเอง 1 ครั้ง คือเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะทำให้เกิดกลางวันและกลางคืน

การหมุนรอบตนเองของโลกทำให้เกิดกลางวันและกลางคืน ซึ่งการขึ้น-ตกของดวงอาทิตย์และดวงดาวต่างๆ ทำให้เกิดทิศ ในขณะที่โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์โดยแกนโลกเอียงทำให้เกิดฤดูกาลต่างๆ แต่ละวันดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ไปในตำแหน่งที่ต่างกัน เปลี่ยนมุมไปประมาณวันละ 1 องศา โดยโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรี โดยโคจรไปในทิศทางเดียวกับการหมุนรอบตัวเอง ในหนึ่งปีโลกมีระยะห่างจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน ช่วงที่ใกล้สุดจะอยู่ประมาณต้นเดือนมกราคม และช่วงที่ไกลสุดจะอยู่ประมาณ

ต้นเดือนกรกฎาคม โลกจะมีลักษณะเอียงที่แกนหมุนของโลกโดยเอียงทำมุม 23.5 องศา จากแนวตั้งฉาก ระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ พื้นที่ต่างๆ ทั่วโลกจะได้รับแสงอาทิตย์ที่ไม่เท่ากัน ทำให้มีอุณหภูมิแตกต่างกัน รวมถึงระยะเวลากลางวันและกลางคืนแตกต่างกันด้วย ส่งผลให้เกิดฤดูกาล จะสังเกตเห็นได้ว่าในฤดูร้อนกลางวันยาวกว่ากลางคืน ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนขึ้นเร็วและตกลงช้า ในฤดูหนาวกลางวันจะยาวกว่า ดวงอาทิตย์จะเคลื่อนขึ้นช้าและตกลงเร็ว



รูปที่ 2.17 ปรากฏการณ์ที่เกิดจากโลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ [12]



รูปที่ 2.18 ปรากฏการณ์ที่เกิดจากโลกเคลื่อนที่รอบตนเอง [13]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากแกนโลกทำมุมเอียง 23.5 องศา จากแนวตั้งฉากระนาบวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ในหนึ่งปีที่โลกเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ จะเกิดปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับการขึ้น-ตกของดวงอาทิตย์ ได้แก่

1. วันวสันตวิษุวัต (Vernal Equinox) วันที่ 20 มีนาคม วันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงขึ้นทางทิศตะวันออก และตกทางทิศตะวันตกพอดี ทำให้ช่วงกลางวันเท่ากับกลางคืน เป็นช่วงที่ประเทศแถบซีกโลกเหนือเข้าสู่ฤดูใบไม้ผลิ ส่วนซีกโลกใต้เข้าสู่ฤดูใบไม้ร่วง

2. วันครีษมายัน (Summer Solstice) วันที่ 21 มิถุนายน วันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด และตกทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือมากที่สุด ทำให้กลางวันยาวที่สุดในรอบปี เป็นวันที่ประเทศแถบซีกโลกเหนือเข้าสู่ฤดูร้อน ส่วนซีกโลกใต้เข้าสู่ฤดูหนาว กลางวันจะสั้นสุด

3. วันศารทวิษุวัต (Autumnal Equinox) วันที่ 23 กันยายน วันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงขึ้นทางทิศตะวันออก และตกทางทิศตะวันตกพอดี ทำให้ช่วงกลางวันเท่ากับกลางคืนพอดี เป็นวันที่ประเทศแถบซีกโลกเหนือเข้าสู่ฤดูใบไม้ร่วง ส่วนซีกโลกใต้เข้าสู่ฤดูใบไม้ผลิ

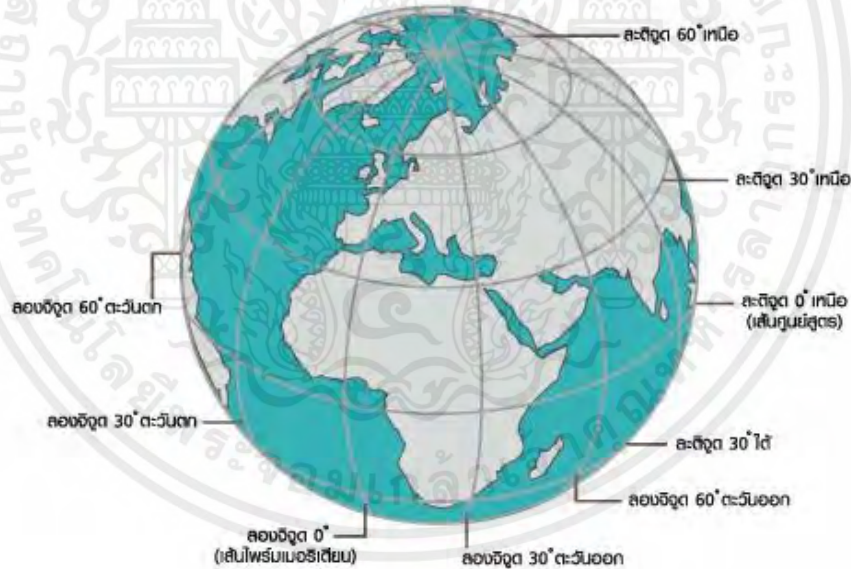
4. วันเหมายัน (Winter Solstice) วันที่ 22 ธันวาคม วันที่ดวงอาทิตย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงใต้มากที่สุด และตกทางทิศตะวันตกเฉียงใต้มากที่สุด ทำให้ช่วงกลางวันสั้นที่สุดและกลางคืนยาวที่สุดในรอบปี หรือเรียกกันว่า “ตะวันอ้อมข้าว” เป็นวันที่ประเทศแถบซีกโลกเหนือเข้าสู่ฤดูหนาว ส่วนซีกโลกใต้เข้าสู่ฤดูร้อน

2.5 ทางเดินของดวงอาทิตย์

เมื่อมองจรดขอบฟ้าจะเห็นเป็นครึ่งวงกลม เรียกเส้นตัดระหว่างพื้นโลกกับขอบฟ้านั้นว่าเส้นขอบฟ้า (Horizon) เมื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในเวลาเช้า ดวงอาทิตย์จะขึ้นทางด้านทิศตะวันออกเฉียง และเคลื่อนที่สูงที่สุดในตอนเวลา 12 นาฬิกา จากนั้นจะเคลื่อนที่ต่ำลงกระทั่งลับขอบฟ้าทางทิศตะวันตก การตก-ขึ้นของดวงอาทิตย์เกิดจากการหมุนรอบตนเองของโลกตามแนวแกนเหนือ-ใต้ การกำหนดทิศจึงแบ่งเป็น 4 ทิศหลัก คือ ทิศเหนือ (North) ทิศใต้ (South) ทิศตะวันออกเฉียง (East) และทิศตะวันตก (West)

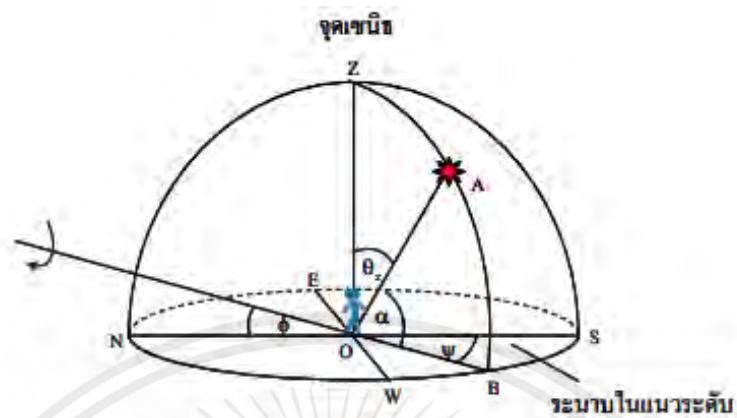
ในการบอกตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้า สามารถบอกตำแหน่งของสถานที่บนผิวโลกได้โดยการระบุ พิกัดค่าละติจูด และค่าลองจิจูด ส่วนวัตถุท้องฟ้านั้นสามารถบอกตำแหน่งได้โดยใช้มุมทิศ มุมเงย มุมห่าง หรือระยะเชิงมุม

- ละติจูด (Latitude) คือ พิกัดที่ใช้บอกตำแหน่งบนโลกในแนวทิศเหนือ-ใต้ ตั้งแต่เส้นศูนย์สูตรไปถึงขั้วโลก ค่าละติจูดบนเส้นศูนย์สูตรเป็น 0 องศาและมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 90 องศาที่ขั้วโลก
- ลองจิจูด (Longitude) คือ พิกัดที่บอกตำแหน่งบนโลกในแนวทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก โดยนับจาก 0 องศาที่เส้นไพรม์เมริเดียนไปทางตะวันออกถึง +180 องศา และไปทางตะวันตก -180 องศา
- เส้นไพรม์เมริเดียน หรือลองจิจูด 0 องศา



รูปที่ 2.19 การบอกตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้า [14]

2.5.1 การบอกตำแหน่งวัตถุบนท้องฟ้าบอกได้โดยระบบแนวระดับอ้างอิง (Horizontal System)



รูปที่ 2.20 แสดงตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยระบบแนวระดับอ้างอิง [15]

- ระยะเชิงมุม (Angular distance) คือ มุมระหว่างรัศมีที่ลากผ่านจากจุดกึ่งกลางโลกไปยังดาวทั้งสอง
- มุมห่าง (Elongation) คือ ระยะเชิงมุมของดวงอาทิตย์กับดาวเคราะห์ จากมุมมองของผู้สังเกตบนโลก
- มุมทิศ (Azimuth, ψ) คือ การบอกทิศ โดยวัดจากทิศเหนือไปตามเส้นขอบฟ้าทางทิศตะวันออกจนถึงทิศเหนือ มุมทิศมีค่ามุมเป็น 360 องศา

$$\psi = \sin^{-1} \left[\frac{\sin \omega \cos \delta}{\cos \alpha} \right] \quad (2.2)$$

เมื่อ

ω คือ มุมชั่วโมงดวงอาทิตย์ (Degree)

α คือ มุมอัลติจูด (Degree)

δ คือ ค่าเดคลิเนชัน (Degree)

- มุมเงย (Altitude, α) คือ มุมที่วัดจากเส้นขอบฟ้าขึ้นไปตามเส้นวงกลม ลงมาถึงจุดเหนือศีรษะ มุมเงยมีค่าเป็น 90 องศา

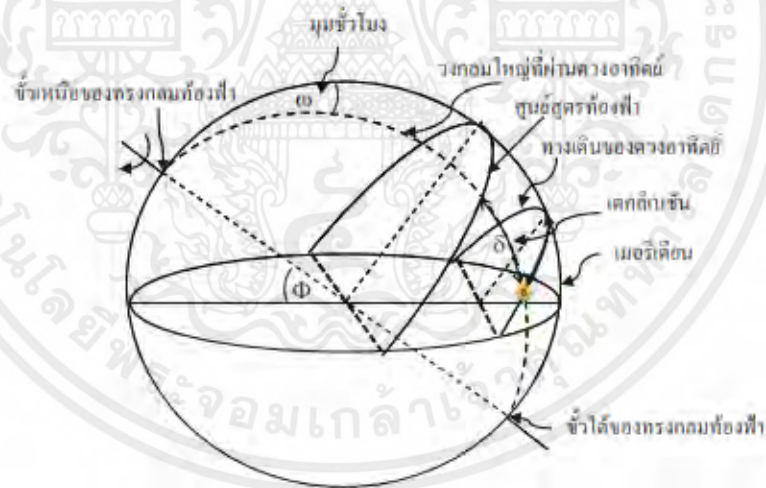
$$\alpha = \sin^{-1}[\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\omega] \quad (2.3)$$

เมื่อ

ϕ คือ ละติจูดของตำแหน่งที่ทำการทดลอง (Degree)

- จุดเหนือศีรษะ (Zenith) คือ จุดสูงสุดบนท้องฟ้าที่อยู่เหนือศีรษะ ทำมุมกับผู้สังเกตการณ์และขอบฟ้าตั้งเป็นมุมฉาก 90 องศา

2.5.2 การบอกตำแหน่งวัตถุบนท้องฟ้าบอกได้โดยใช้ระบบศูนย์สูตรอ้างอิง (Equatorial System)



รูปที่ 2.21 การบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยระบบศูนย์สูตรอ้างอิง [16]

- เดคลิเนชัน (Declination) เส้นสมมติตามแนวขนานกับเส้นศูนย์สูตรขอบฟ้า เปรียบได้กับละติจูด ใช้วัดระยะห่างเชิงมุมจากเส้นศูนย์สูตรไปยังขั้วฟ้าเหนือมีค่า 0 องศา จนถึง +90 องศา ส่วนระยะห่างเชิงมุมจากเส้นศูนย์สูตรไปยังขั้วฟ้าใต้มีค่า 0 องศา จนถึง -90 องศา

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070257 \sin \Gamma - 0.006758 \cos 2\Gamma + 0.000907 \sin 2\Gamma - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \sin 3\Gamma)(180/\pi) \quad (2.4)$$

เมื่อ

δ คือ เดคลิเนชัน (องศา)

Γ คือ มุมวัน (เรเดียน) คำนวณได้จาก

$$\Gamma = 2\pi(d_n - 1)/365 \quad (2.5)$$

หรืออีกหนึ่งสมการการหาค่าเดคลิเนชัน คือ

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360}{365}(d_n + 284)\right] \quad (2.6)$$

เมื่อ d_n คือ ลำดับวันในรอบปี เช่น $d_n = 31$ คือวันที่ 31 มกราคม โดยให้เดือนกุมภาพันธ์นับเป็น 28 วัน

- มุมชั่วโมง (hour angle, ω) คือ มุมที่วัตถุท้องฟ้าห่างจากเส้นเมริเดียนส่วนบนตามแนวเส้นศูนย์สูตร เริ่มต้นที่เส้นเมริเดียนส่วนบนมีค่า 0 ชั่วโมง แล้ววัดไปทางทิศตะวันตก

$$\omega = 15(12 - ST) \quad (2.7)$$

เมื่อ

ST คือ เวลาดวงอาทิตย์ (ชั่วโมง: นาที)

- เวลาดวงอาทิตย์ (ST)

$$ST = LST + 4(L_s - L_{loc}) + E_t \quad (2.8)$$

เมื่อ

LST คือ เวลามาตรฐานท้องถิ่น (ชั่วโมง: นาที)

L_s คือ ลองจิจูดมาตรฐาน (องศา)

L_{loc} คือ ลองจิจูดของตำแหน่งที่ต้องการคำนวณ (องศา)

- ความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (E_t)

$$E_t = 229.18(0.000075+0.001868\cos\Gamma-0.032077\sin\Gamma-0.014615\cos2\Gamma -0.04089\sin2\Gamma) \quad (2.9)$$

2.6 ระบบติดตามดวงอาทิตย์

เป็นระบบที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อให้ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น สามารถแบ่งระบบติดตามดวงอาทิตย์ใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.6.1 ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว (Single axis tracking system) เคลื่อนที่ไปมาในทิศทางเดียว คือเคลื่อนที่ไปทางทิศตะวันตกและตะวันออกเพื่อติดตามดวงอาทิตย์

2.6.2 ระบบติดตามดวงอาทิตย์สองแนวแกน (Dual axis tracking system) เคลื่อนที่ไปมาในสองทิศทาง แกนแรกปรับตามทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก แกนที่สองปรับตามดวงอาทิตย์ในทิศเหนือไปยังทิศใต้

2.7 เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์

Concentrated Solar Power; CSP เป็นการใช้กระจกหรือเลนส์เพื่อเพิ่มความเข้มแสงอาทิตย์และรวมแสงอาทิตย์ไปยังเป้าหมายที่ต้องการ ซึ่งสามารถแปลงเป็นความร้อนหรือไฟฟ้าเพื่อใช้งานได้ เทคโนโลยีนี้ได้ประโยชน์จากความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีพลังงานสูงเพื่อสร้างพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งมากกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV)

เทคโนโลยีนี้สามารถแบ่งได้ 2 ระบบ ดังนี้

- การรวมแสงแบบตามแนว (Moving focus) ได้แก่ Parabolic Trough และ Linear Fresnel
- การรวมแสงแบบจุด (Fixed focus) ได้แก่ Power Tower และ Parabolic Dish

2.7.1 Parabolic trough

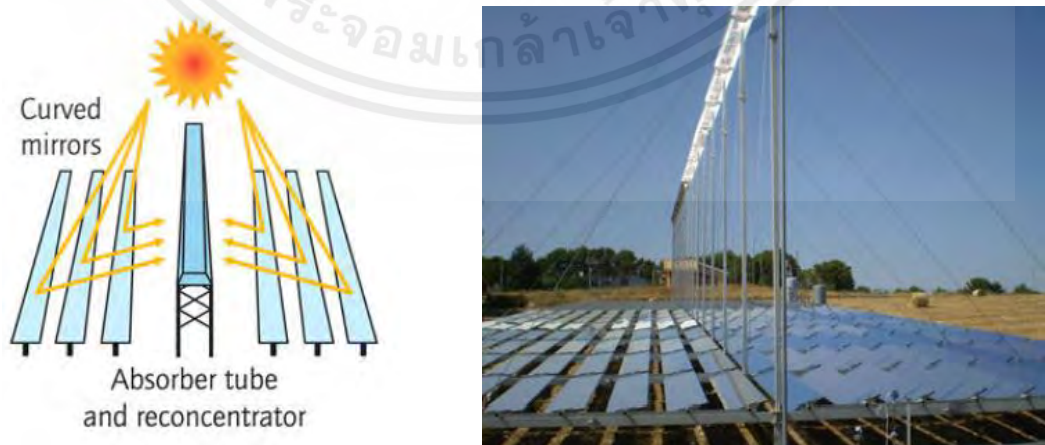
ประกอบด้วยรางลักษณะยาว ทรงโค้ง รับแสงอาทิตย์ เป็นการรวมแสงแบบตามแนวแกนจะหมุนตามดวงอาทิตย์เพียงแกนเดียว ทำหน้าที่รวมแสงอาทิตย์ให้สะท้อนไปยังท่อที่ขนานกับราง เพื่อถ่ายเทความร้อนให้ของไหลที่ไหลผ่านท่อ ส่งผลให้ของไหลเป็นไอและนำไปขับเคลื่อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.22 Parabolic trough concentrating solar power plant [17]

2.7.2 Linear Fresnel

ประกอบด้วยกระจกแบนราบหลายแผงเพื่อรวมแสงอาทิตย์ไปยังตัวรับความร้อนเชิงเส้น กระจกถูกเรียงในลักษณะเดียวกับ Parabolic trough

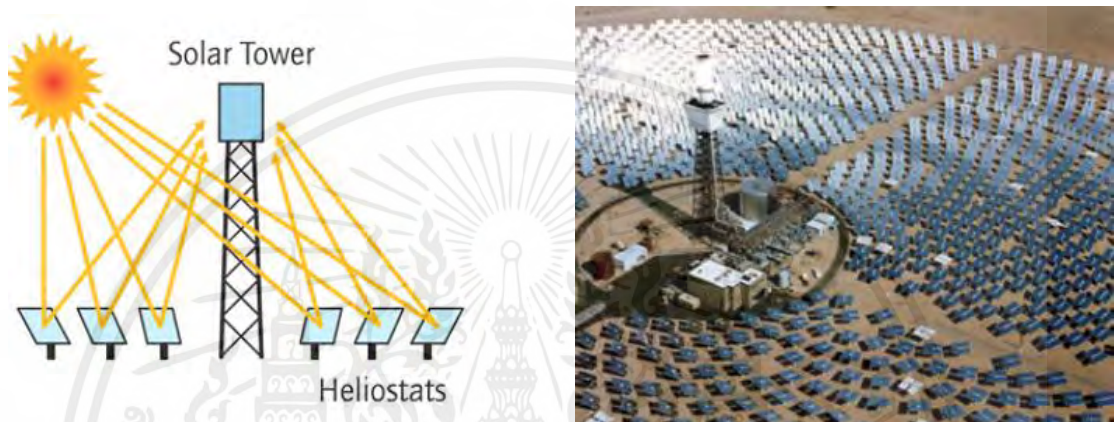


รูปที่ 2.23 Linear Fresnel concentrating solar power plant [18]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.3 Power tower หรือ Central receivers

ประกอบด้วยตัวรับที่อยู่กับที่ ตั้งอยู่บนหอคอยที่ล้อมรอบไปด้วยแผงกระจกจำนวนมาก เรียกว่า เฮลิโอสแตท โดยจะหมุนตามดวงอาทิตย์และสะท้อนแสงไปยังตัวรับ ข้างในบรรจุของไหลโดยทำหน้าที่ดูดซับพลังงานความร้อนไว้



รูปที่ 2.24 Solar tower concentrating solar power plant [19]

2.7.4 Parabolic dish

ประกอบด้วยตัวรวมแสงลักษณะเป็นจานทรงพาราโบลารวมแสงและสะท้อนแสงไปยังตัวรับที่อยู่บนจุดศูนย์รวม จะใช้แผ่นสะท้อนโค้งจำนวนมากที่ทำมาจากกระจกหรือฟิล์มบาง (laminated film)



รูปที่ 2.25 Parabolic dish concentrating solar power plant [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การคำนวณ

การคำนวณหาประสิทธิภาพพลังงานสามารถใช้สูตรคำนวณได้ดังนี้

- พลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) (kJ) ถูกแสดงดังสมการที่ 2.10

$$Q_{in} = DNI \times A_a \quad (2.10)$$

เมื่อ

A_a คือ พื้นที่ของเลนส์เฟรสเนล (m^2)

- พลังงานความที่ต้องการ ($Q_{required}$) (kJ) ถูกแสดงดังสมการที่ 2.11

$$Q_{required} = \rho V_{abs} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (2.11)$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1000 kg/m^3)

V_{abs} คือ ปริมาตรภายในของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ (m^3)

C_p คือ ค่าความจุเพาะของน้ำที่ความดันคงที่ ($4.187 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$)

T_{out} คือ อุณหภูมิของน้ำขาเข้า ($^\circ\text{C}$)

T_{in} คือ อุณหภูมิของน้ำขาออก ($^\circ\text{C}$)

- ปริมาตรภายในของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ (V_{abs}) คำนวณได้จากสมการที่ 2.12

$$V_{abs} = \frac{2\pi r_{abs}^3}{3} \quad (2.12)$$

เมื่อ

r_{abs} คือ รัศมีของเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ (m)

- พลังงานความร้อนที่เกิน (Q_{excess}) ถูกแสดงดังสมการที่ 2.13

$$Q_{\text{excess}} = Q_{\text{in}} - Q_{\text{required}} \quad (2.13)$$

เมื่อ

Q_{in} คือ พลังงานความร้อนขาเข้า

Q_{required} คือ พลังงานความร้อนที่ต้องการ

- ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.14

$$\eta_{\text{th}} = \frac{Q_{\text{required}}}{Q_{\text{in}}} \quad (2.14)$$

- อัตราการรวมแสงอาทิตย์ (Concentrator ratio, C) คืออัตราส่วนระหว่าง A_a ต่อ A_{abs}

$$C = \frac{A_a}{A_{\text{abs}}} \quad (2.15)$$

เมื่อ

A_a คือ พื้นที่รวมแสง (solar concentrator area) (m^2)

A_{abs} คือ พื้นที่ดูดซับแสงอาทิตย์ (cavity receiver area) (m^2)

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 การประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล

การออกแบบและสร้างชุดรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล จะประกอบด้วย 3 ส่วน ได้แก่ เฮลิโอสแตท เลนส์เฟรสเนล เตาพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งจะมีรายละเอียดดังนี้

3.1.1 เฮลิโอสแตท

มีขนาดความกว้าง 2.2 เมตร ยาว 2.2 เมตร สูง 2.7 เมตร และนำมาติดตั้งกระจกเงาที่มีขนาด ความกว้าง 1.1 เมตร ยาว 1.1 เมตร หนา 6 มิลลิเมตร จำนวน 4 แผ่น เพื่อให้สามารถปรับเข้าหารังสีจากดวงอาทิตย์และสะท้อนพลังงานความร้อนไปยังเลนส์เฟรสเนล



รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะของเฮลิโอสแตท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เลนส์เฟรสเนล

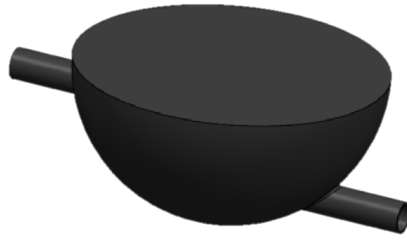
มีขนาดความกว้าง 1.4 เมตร สูง 1.05 เมตร เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับเพิ่มค่าความเข้มข้นแสงอาทิตย์และส่งพลังงานความร้อนไปยังเตาพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.2 ลักษณะของเลนส์เฟรสเนล

3.1.3 เตาพลังงานแสงอาทิตย์

เป็นส่วนที่ส่งผลต่อการทดลอง ทั้งรูปทรงของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด และชนิดของวัสดุที่นำมาทำเตาพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำให้สูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งเตาพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะนำมาใช้ในการทดลองต้องมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนได้ดี และไม่ก่อให้เกิดสารเคมีหรือก่อให้เกิดมลพิษเมื่อได้รับความร้อน โดยในที่นี้รูปทรงของเตาพลังงานแสงอาทิตย์เป็นครึ่งทรงกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.15 เมตร และสูง 0.075 เมตร (แสดงในรูปที่ 3.3) ซึ่งจะใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลสซึ่งสามารถนำความร้อนได้สูง ทนความร้อนสูง ความแข็งแรงสูงและมีความยืดตัวสูง ทนต่อการกัดกร่อนและยากต่อการเกิดสนิม [21]



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะของเตาพลังงานแสงอาทิตย์

3.2 อุปกรณ์

3.2.1 เทอร์โมคอปเปิล (Type K)

ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิในตำแหน่งที่ต้องการทราบค่าอุณหภูมิ โดยนำไปติดตั้งไว้ในตำแหน่งที่ต้องการศึกษาหรืออ่านค่าอุณหภูมิ ซึ่งสามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ 0-800 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.4 เทอร์โมคอปเปิล (Type K)

3.2.2 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ

สามารถกำหนดหรือเซตค่าอุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งหากอุณหภูมิของน้ำถึงค่าตามที่กำหนด ตัวควบคุมอุณหภูมิก็จะปล่อยกระแสไฟฟ้าให้โซลินอยด์วาล์วปล่อยน้ำที่มีอุณหภูมิที่ต้องการออกมา ซึ่งสามารถกำหนดช่วงอุณหภูมิได้ตั้งแต่ 1-1,200 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.5 Temperature Controller Autonics TX4S-14R [22]

3.2.3 เครื่องวัดความเข้มแสง TENMARS TM-208

ใช้สำหรับวัดค่าความเข้มแสงที่ใช้ในขณะที่ทำการทดลอง เพื่อใช้ในการประกอบการวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความเข้มแสง

3.2.4 ป้อนน้ำพร้อมระบบตัดน้ำอัตโนมัติ

ใช้สำหรับป้อนน้ำเข้าสู่เตาพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งปั๊มจะตัดการทำงานเมื่อปริมาณน้ำเต็มภาชนะ



รูปที่ 3.7 ป้อนน้ำพร้อมระบบตัดน้ำอัตโนมัติ

3.2.5 โซลินอยด์วาล์ว

วาล์วไฟฟ้าสำหรับปล่อยน้ำที่บริเวณทางออกของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะรับคำสั่งตัดกระแสไฟฟ้าเมื่อถึงอุณหภูมิที่ต้องการจากเครื่องควบคุมอุณหภูมิ



รูปที่ 3.8 โซลินอยด์วาล์ว

3.2.6 วาล์วกันไหลกลับ

ใช้สำหรับป้องกันการไหลย้อนกลับของน้ำที่บริเวณทางเข้าของเตาพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.9 วาล์วกันไหลกลับ

3.2.7 Water receiver tank หรือ ถังใส่น้ำ

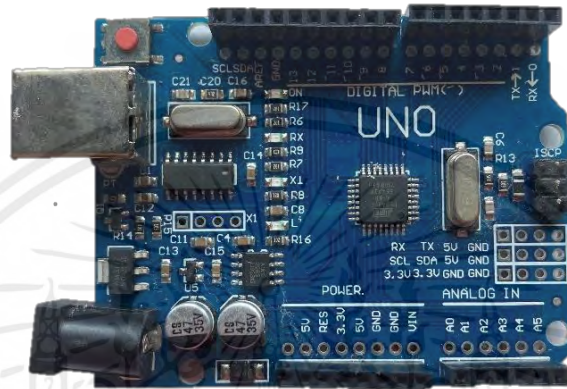
ใช้สำหรับใส่น้ำ



รูปที่ 3.10 Water receiver tank

3.2.8 บอร์ด Arduino

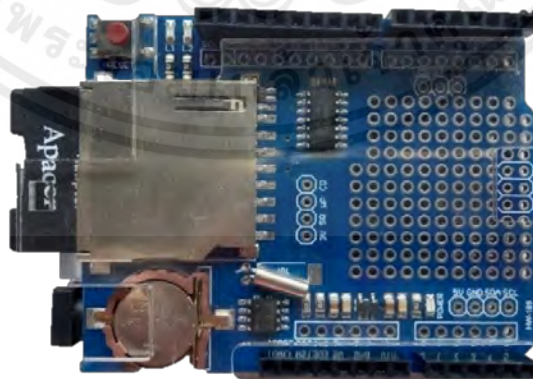
บอร์ด Arduino uno R3 เป็นอุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ใช้ควบคุมเซ็นเซอร์วัดความดันและเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิแบบ Real Time โดยการป้อนคำสั่งในโปรแกรม Arduino เพื่อให้เซ็นเซอร์ทำการวัดความดันและอุณหภูมิขนาดทำการทดลอง



รูปที่ 3.11 บอร์ด Arduino uno R3

3.2.9 Arduino data logger shield

Data logger shield ใช้เก็บค่าต่างๆ ตามเวลาที่เรากำหนด โดยค่าที่ต้องการจะบันทึกลง SD card ใน shield โดยมี Real time clock (RTC) ช่องเสียบ SD card และช่องใส่ถ่าน ที่ใช้งานร่วมกัน



รูปที่ 3.12 Arduino data logger shield

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.10 SD Card

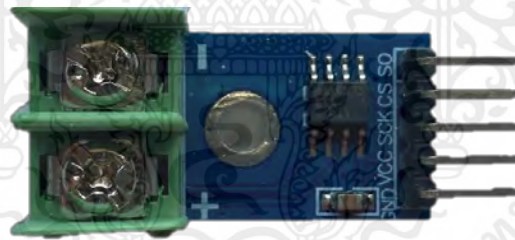
ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลผลการทดลอง



รูปที่ 3.13 SD Card

3.2.11 MAX6675 Module

เป็นโมดูลสำหรับวัดอุณหภูมิซึ่งจะต่อเข้ากับเทอร์โมคอปเปิล (Type K) ใช้วัดอุณหภูมิความร้อนได้ถึง 1,024 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.14 MAX6675 Module

3.2.12 Pressure Sensor

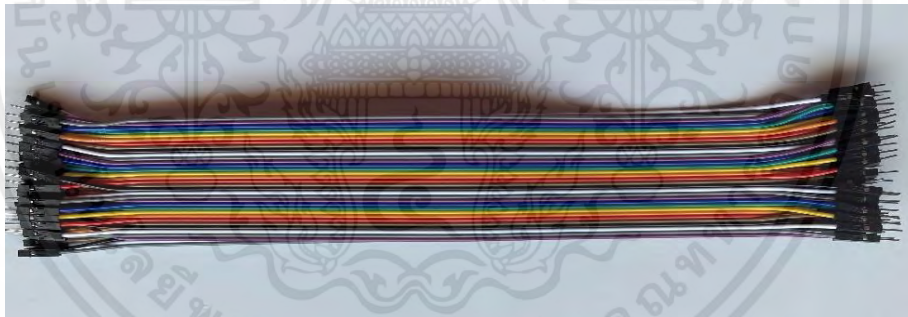
ใช้วัดความดันภายในเตาปฏิกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ โดยเขียนโปรแกรม Arduino ในการป้อนคำสั่งในการทำงานของเซนเซอร์ ซึ่งสามารถวัดความดันได้ 0–1.2 MPa แรงดันไฟ DC 5Volt



รูปที่ 3.15 Pressure Sensor

3.2.13 Jumper Wire

ใช้สำหรับเชื่อมต่อ Arduino และ Sensor เข้าด้วยกัน หรือบอร์ดทดลอง โมดูลเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับวงจร



รูปที่ 3.16 Jumper Wire

3.2.14 อิฐฉนวนทนความร้อน

ใช้สำหรับหุ้มเตาพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อลดการสูญเสียความร้อนของเตา ซึ่งสามารถทนความร้อนถึง 950 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.17 อิฐฉนวนกันความร้อน

3.2.15 ถ่านอัลคาไลน์ Panasonic 9 Volt

ใช้สำหรับเสียบเข้ากับ Arduino Data Logger Shield เพื่อให้ RTC ทำงาน



รูปที่ 3.18 ถ่านอัลคาไลน์ Panasonic 9 Volt

3.2.16 ขั้วต่อ ถ่าน แบตเตอรี่ 9 Volt

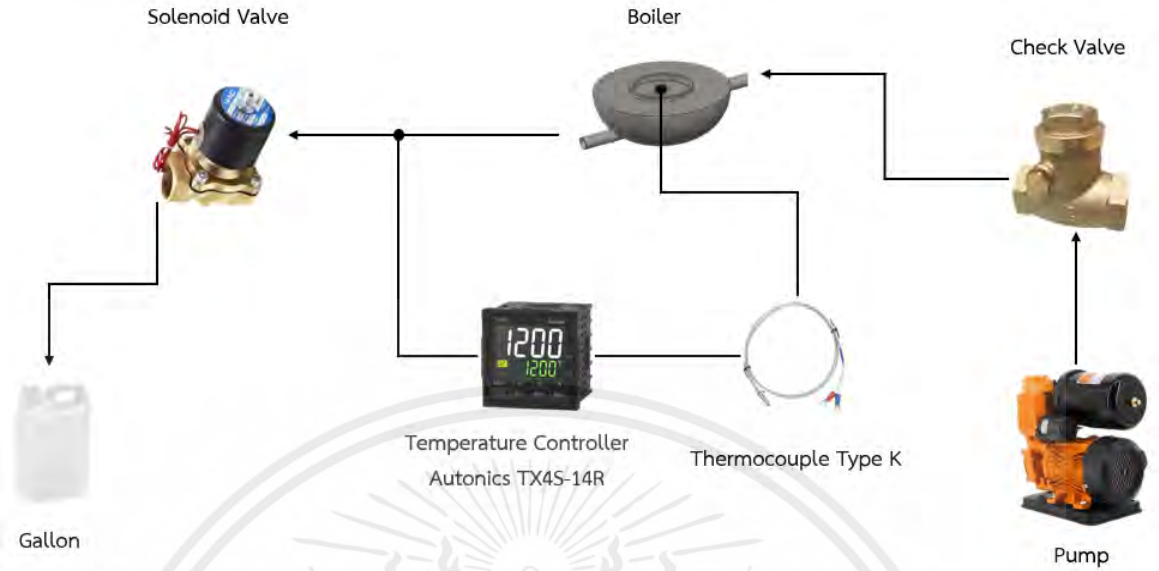
ใช้สำหรับต่อกับถ่านอัลคาไลน์ Panasonic 9 Volt



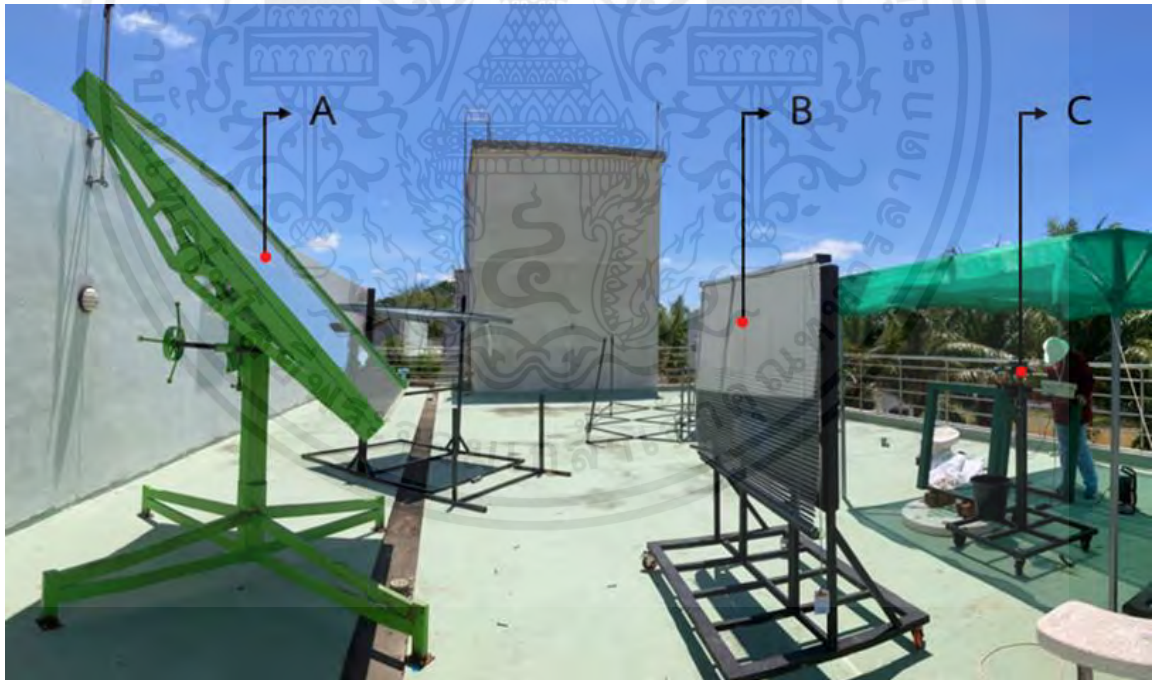
รูปที่ 3.19 ขั้วต่อ ถ่าน แบตเตอรี่ 9 Volt

3.3 หลักการทำงานของเตาพลังงานแสงอาทิตย์

การทำงานของระบบจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.20 เริ่มต้นโดยการสูบน้ำจากถังเก็บน้ำโดยใช้ปั๊มแรงดันไปยังเตาพลังงานแสงอาทิตย์จนเต็ม เมื่อน้ำเต็ม แรงดันภายในเตาจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 2 บาร์ ปั๊มแรงดันจะตัดการทำงาน ลำดับถัดไปก็จะให้ความร้อนแก่น้ำภายในเตาพลังงานแสงอาทิตย์จนถึงอุณหภูมิที่ต้องการ (การทดลองแบบกำหนดอุณหภูมิที่ 40 50 60 และ 100 องศาเซลเซียส) โดยใช้ฮีลิโอสแตทเพื่อรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ไปยังเลนส์เฟรสเนลขนาด เมื่อแสงถูกรวมผ่านไปยังเตาและทำอุณหภูมิถึงค่าตามที่ต้องการ บันทึกอุณหภูมิเครื่องควบคุมที่แสดงผลออกมา โดยใช้เทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งอยู่ภายในเตาเป็นตัววัดอุณหภูมิ และเมื่อน้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงค่าที่กำหนดไว้ วาล์วจะเปิดน้ำให้ไหลออกโดยอัตโนมัติและจะไหลออกผ่านทางสายท่นความร้อนลงสู่ถังเก็บน้ำร้อน เมื่อน้ำร้อนที่ถูกปล่อยออกมาแล้ว แรงดันภายในเตาจะต่ำลงทำให้ปั๊มแรงดันปัมน้ำจากถังเก็บน้ำเข้าสู่เตาอีกครั้ง



รูปที่ 3.20 Schematic diagram of the set-up



รูปที่ 3.21 Photograph of the experimental set-up: (A) Heliostat, (B) Fresnel lens and (C) Solar reactor.

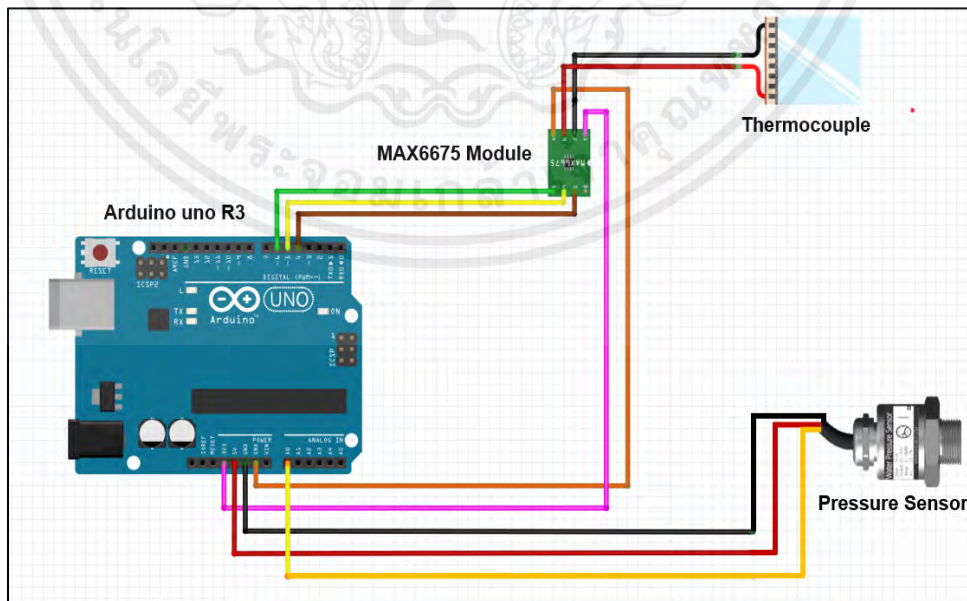
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.22 Solar receiver

3.4 การต่อวงจร Arduino

จากรูปที่ 3.21 เป็น diagram การเชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับ MAX6675 Module, Thermocouple Type K และ Pressure sensor



รูปที่ 3.23 diagram วงจร Arduino

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง Code Arduino



รูปที่ 3.24 ตัวอย่าง Code Arduino

3.5 วิธีการทดลอง

ชุดการทดลองเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนลถูกแสดงในรูปที่ 3.21 และเตาพลังงานแสงอาทิตย์ถูกแสดงในรูปที่ 3.22 โดยการทดสอบเตาพลังงานแสงอาทิตย์มีขั้นตอนในการทดลองดังต่อไปนี้

3.5.1 วิธีการทดลองแบบ Batch tests

- 1.) เปิดชุดทดลองเตาพลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นป้อนน้ำเข้าสู่เตา ซึ่งน้ำจะสูบน้ำโดยเครื่องปั้มน้ำอัตโนมัติเข้าสู่เตาพลังงานแสงอาทิตย์
- 2.) อ่านและบันทึกผลข้อมูล โดยเก็บค่าอุณหภูมิ ความดันภายในเตา ค่ารังสีตรงและรังสีกระจาย ทุก 1 นาที ณ เวลาที่กำหนดไว้ขณะบันทึกผลการทดลอง
- 3.) เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงสุด เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะส่งกระแสไฟฟ้าไปยังโซลินอยด์วาล์วเพื่อทำการเปิดให้น้ำที่มีอุณหภูมิตามที่ต้องการปล่อยไปตามท่อจนความร้อนลงไปยังถังเก็บน้ำ

3.5.2 วิธีการทดลองแบบ Semi-continuous test

- 1.) กำหนดค่าอุณหภูมิของของไหลทดลองที่ต้องการลงบนเครื่องควบคุมอุณหภูมิ เพื่อกำหนดอุณหภูมิทางออกไว้ที่ 40 50 60 และ 100 °C
- 2.) เปิดชุดทดลองเตาพลังงานแสงอาทิตย์ จากนั้นป้อนน้ำเข้าสู่เตา ซึ่งน้ำจะสูบน้ำโดยเครื่องปั๊มน้ำอัตโนมัติเข้าสู่เตา
- 3.) อ่านและบันทึกผลข้อมูล โดยเก็บค่าอุณหภูมิ ความดันภายในเตา ค่ารังสีตรงและค่ารังสีกระจายทุก 1 นาที ณ เวลาที่กำหนดไว้ขณะบันทึกผลการทดลอง
- 4.) เมื่อน้ำมีอุณหภูมิสูงถึงค่าที่กำหนดไว้ (ตามข้อที่ 1.) เครื่องควบคุมอุณหภูมิจะส่งกระแสไฟฟ้าไปยังโซลีนอยด์วาล์วเพื่อทำการเปิดให้น้ำที่มีอุณหภูมิตามที่ต้องการ และปล่อยไปตามท่อจนความร้อนลงไปยังถังเก็บน้ำ

บทที่ 4

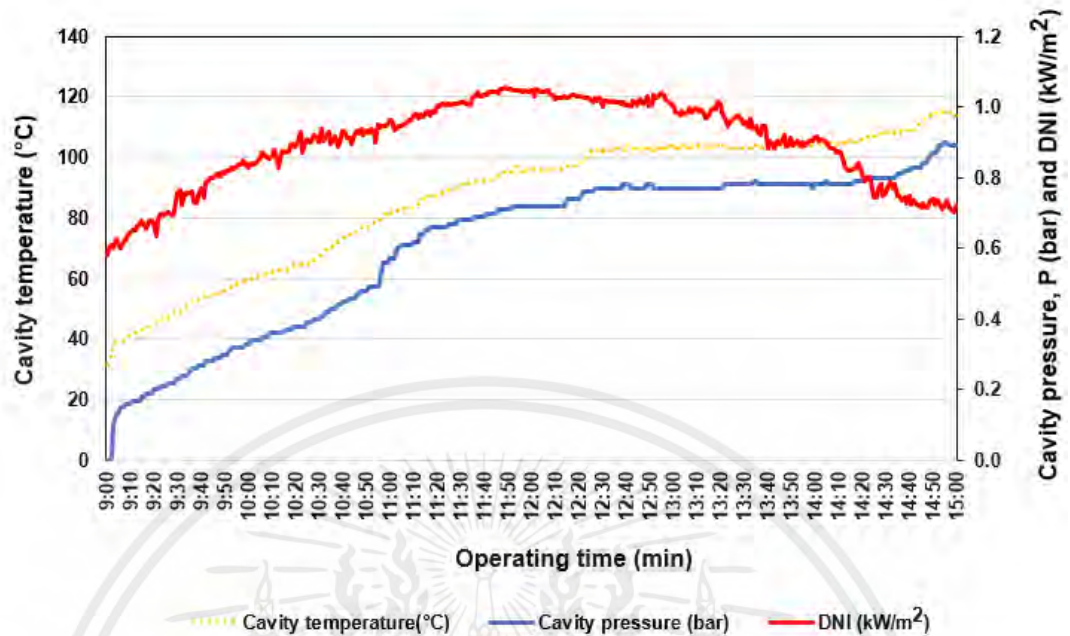
ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล แบ่งการทดลองเป็น 2 เงื่อนไข โดยเงื่อนไขแรกเป็นการทดลองแบบ Batch tests เพื่อทำการทดสอบหาอุณหภูมิสูงสุดและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ เงื่อนไขที่สองเป็นการทดลองแบบ Semi-continuous tests ซึ่งเป็นการทดสอบที่อุณหภูมิการทำงานที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 40 50 60 และ 100 องศาเซลเซียส โดยเก็บค่ารังสีตรง ค่ารังสีกระจาย ความดันอุณหภูมิภายในเตา และนำผลที่ได้แสดงเป็นกราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงาน ความร้อน ประสิทธิภาพของเตาและช่วงเวลาทำการทดลอง

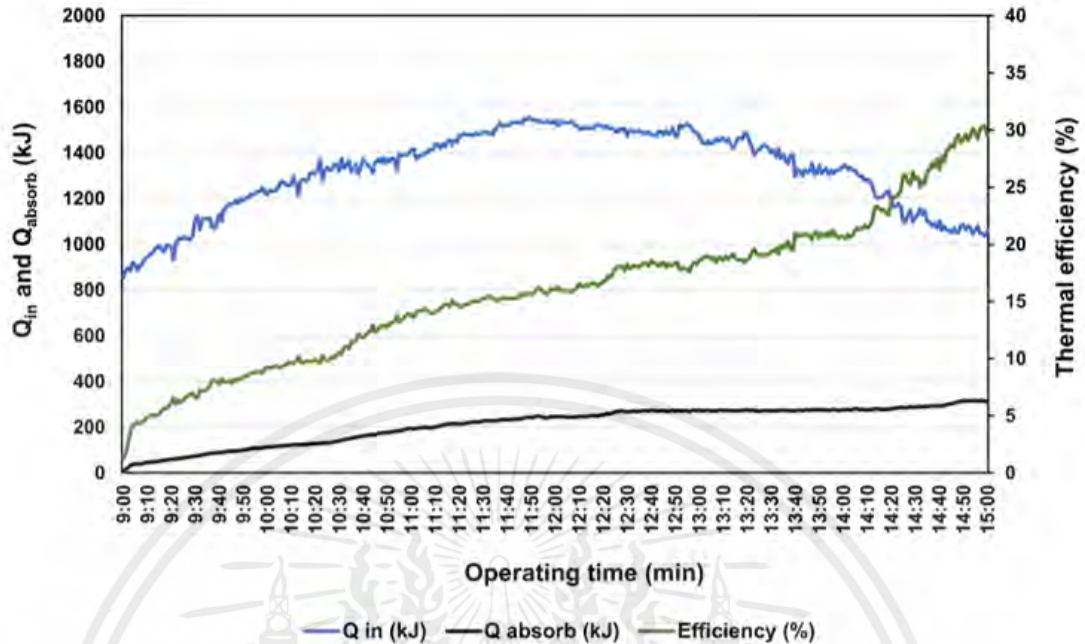
4.1.1 Batch tests

รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ น้ำ ความดัน ภายในเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่าช่วงเวลา 09:00-15:00 นาฬิกา ในวันที่ 13 พฤษภาคม 2566 ทุกๆ 1 นาที ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาโดยมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงมีค่าอยู่ที่ 1.1 kW/m^2 หลังจากนั้นค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะลดลงและเพิ่มขึ้นในบางช่วงเวลาจนจบตลอดการทดลองซึ่งสอดคล้องกับสภาพอากาศในเวลานั้น ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่เตาพลังงานแสงอาทิตย์ทำได้สูงสุดอยู่ที่ 115 องศาเซลเซียส ความดันภายในเตาพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดอยู่ที่ 0.9 บาร์ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความดันภายในเตาก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกันและเมื่ออุณหภูมิภายในเตาลดลงความดันก็จะลดลง



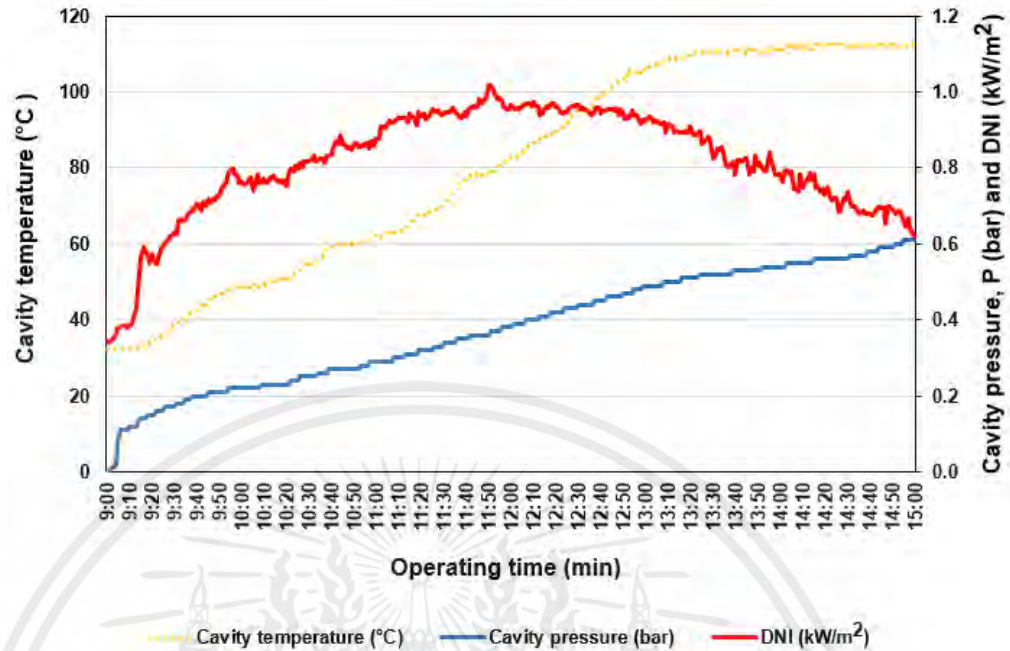
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ น้ำ ความดัน ภายในเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิสูงสุด 115 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.2 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล โดยเป็นการทดลองแบบ Batch tests จากผลพบว่าช่วงเวลา 09:00-15:00 นาฬิกา มีพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เฉลี่ยอยู่ที่ 1,319 กิโลจูล และมีค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) สูงสุดอยู่ที่ 216.4 กิโลจูล ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} จะเพิ่มตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ แสดงในรูปที่ 4.1 และจากผลพบว่าเมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 34 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า nominal efficiency อยู่ที่ 26 เปอร์เซ็นต์ เมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้นค่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} ก็จะมีค่าลดลง และเมื่อค่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนก็จะมีค่าน้อยลง



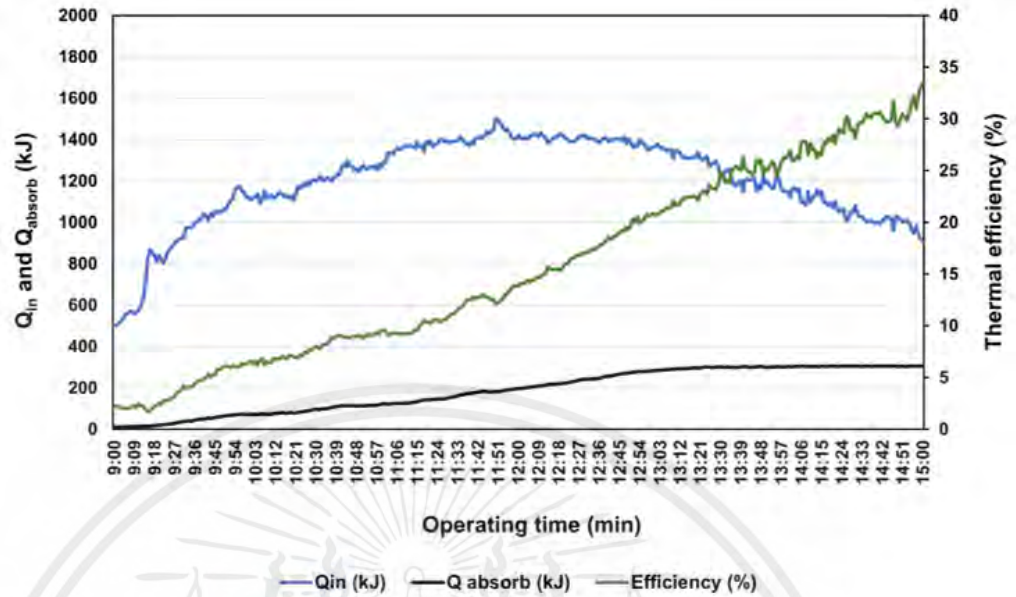
รูปที่ 4.2 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) และ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตา ที่อุณหภูมิสูงสุด 115 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ น้ำ ความดันภายในเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ จากผลพบว่าช่วงเวลา 09:00-15:00 นาฬิกา ในวันที่ 14 พฤษภาคม 2566 ทุกๆ 1 นาที ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะเพิ่มสูงขึ้นตามเวลาโดยมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงอยู่ที่ 1 kW/m^2 หลังจากนั้น ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ก็จะลดลงและเพิ่มขึ้นบางช่วงเวลาจนจบทดลองการทดลองผลซึ่งจะสอดคล้องกับสภาพอากาศในเวลานั้น และจากผลพบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่เตาสามารถทำได้สูงสุดอยู่ที่ 112 องศาเซลเซียส ความดันภายในเตาสูงสุดอยู่ที่ 0.8 บาร์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความดันภายในเตาจะเพิ่มตาม และเมื่ออุณหภูมภายในเตาลดลงความดันก็จะลดลงเช่นกัน



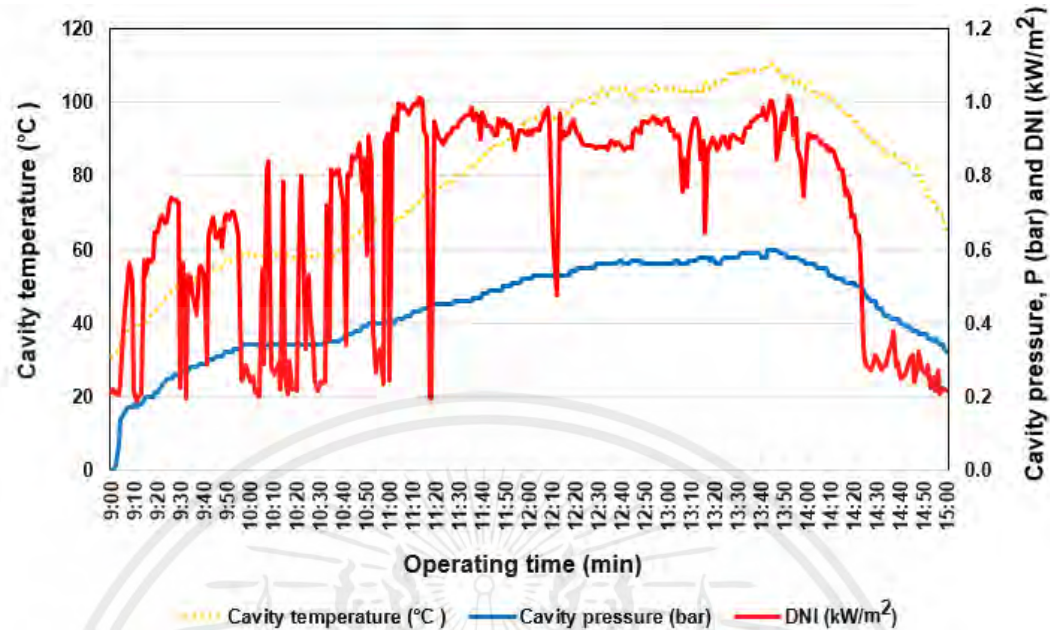
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในเตา ความดันภายในเตา และค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิสูงสุด 112 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.4 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล โดยเป็นการทดลองแบบ Batch tests จากผลพบว่าช่วงเวลา 09:00-15:00 นาฬิกา มีพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เฉลี่ยอยู่ที่ 1,195 กิโลจูล และมีค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) สูงสุดอยู่ที่ 304.4 กิโลจูล จะเห็นได้ว่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} จะเพิ่มตามความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 4.3 จากผลพบว่าเมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 33.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า nominal efficiency อยู่ที่ 29 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} จะมีค่าลดลง และเมื่อค่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เพิ่มขึ้นประสิทธิภาพเชิงความร้อนก็จะมีค่าลดลง



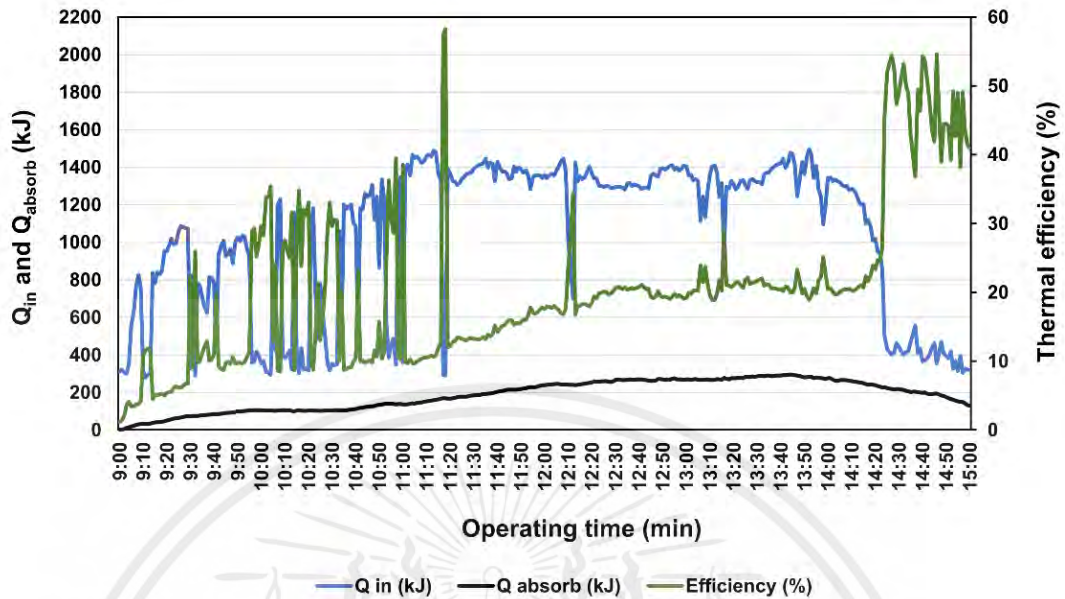
รูปที่ 4.4 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตา ที่อุณหภูมิสูงสุด 112 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ น้ำ ความดันภายในเตา และค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยเป็นการทดลองแบบ Batch tests ซึ่งทดลองในสภาพอากาศที่แปรปรวนค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เกิดความไม่เสถียร จากผลพบว่าช่วงเวลา 09:00-15:00 นาฬิกา ในวันที่ 15 พฤษภาคม 2566 ทุกๆ 1 นาที ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะเพิ่มตามเวลาโดยมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงอยู่ที่ 1 kW/m^2 หลังจากนั้นค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ก็จะลดลงและเพิ่มขึ้นบางช่วงเวลาจนจบตลอดการทดลองผลซึ่งจะสอดคล้องกับสภาพอากาศในเวลานั้น จากผลพบว่าอุณหภูมิสูงสุดที่เตาสามารถทำได้สูงสุดอยู่ที่ 110 องศาเซลเซียส ความดันภายในเตาสูงสุดอยู่ที่ 0.8 บาร์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มความดันภายในเตาจะเพิ่มตามไปด้วยและเมื่ออุณหภูมิกายในเตาลดลงความดันก็จะลดลงเช่นกัน แม้ว่าสภาพอากาศจะแปรปรวนค่าและความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เกิดความไม่เสถียรแต่เตาก็ยังสามารถทำประสิทธิภาพสูงสุดได้



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ น้ำ ความดันภายในเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิสูงสุด 110 องศาเซลเซียส

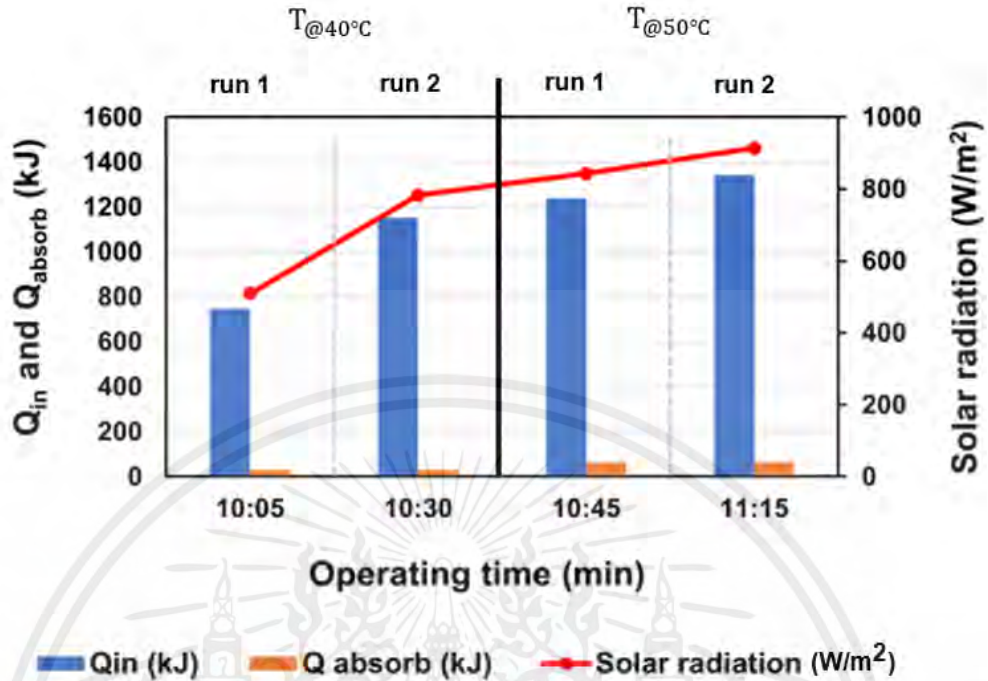
รูปที่ 4.6 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล โดยเป็นการทดลองแบบ Batch tests จากผลพบว่าช่วงเวลา 09:00-15:00 นาฬิกา มีพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เฉลี่ยอยู่ที่ 1,032 กิโลจูล และมีค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) สูงสุดอยู่ที่ 296.2 กิโลจูล ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} จะเพิ่มตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 4.5 จากผลพบว่าเมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 55 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า nominal efficiency อยู่ที่ 37 เปอร์เซ็นต์ เมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น พลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} จะลดลง เมื่อค่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนก็จะลดลง และเมื่อค่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะมีค่าน้อยลง



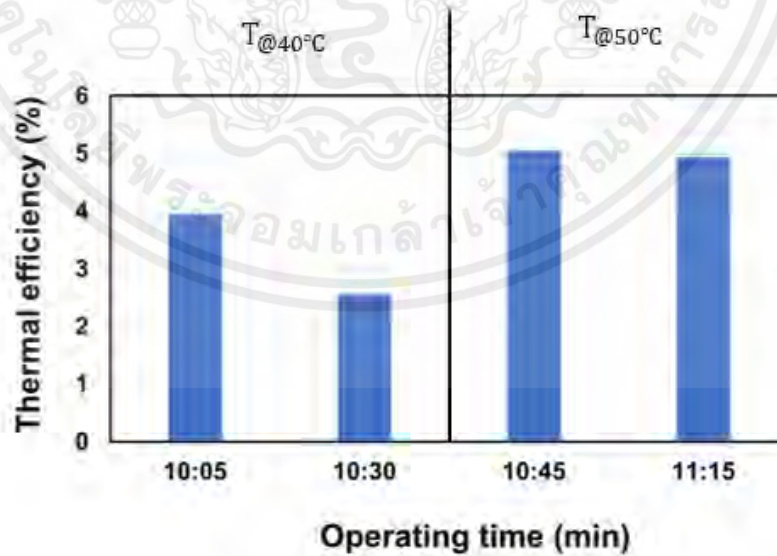
รูปที่ 4.6 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตา ที่อุณหภูมิสูงสุด 110 องศาเซลเซียส

4.1.2 Semi-continuous tests

รูปที่ 4.7 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) ของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการที่ใช้เลนส์เฟรสเนล และค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกเท่ากับ 40 และ 50 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าช่วงเวลา 10:05-11:15 นาฬิกา มีพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} มีค่าอยู่ที่ 500-980 กิโลจูล และมีค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) มีค่าอยู่ที่ 29.5-64.5 กิโลจูล ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} จะเพิ่มตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ แสดงในรูปที่ 4.8 จากการทดลองพบว่าเมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} จะลดลง และเมื่อค่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนก็จะมีค่าน้อยลง

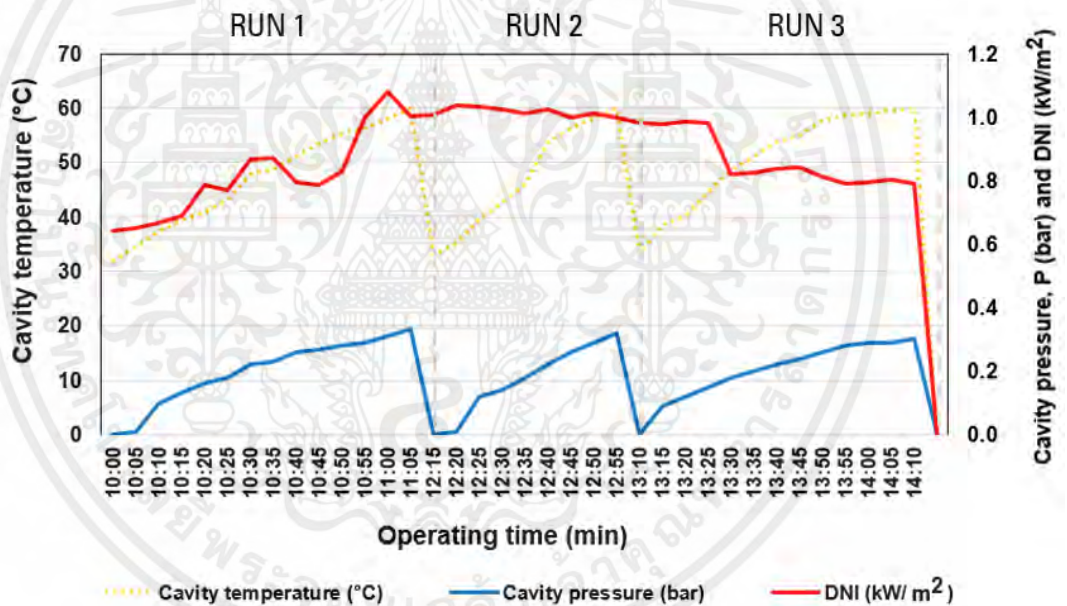


รูปที่ 4.7 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) ของเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพเชิงความร้อนที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส

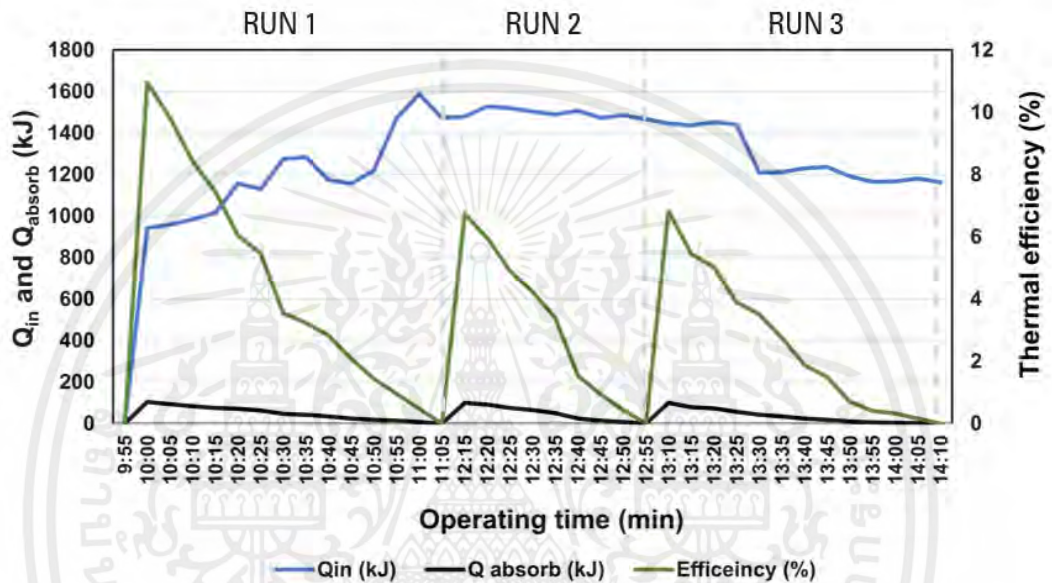
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ น้ำ ความดันภายในเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยกำหนดอุณหภูมิ น้ำทางออกที่ 60 องศาเซลเซียส ทำการทดลองภายในหนึ่งวัน เตาพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำการต้มน้ำได้จำนวน 3 ครั้ง จากการทดลองพบว่าช่วงเวลา 10:00-14:10 นาฬิกา ในวันที่ 11 พฤษภาคม 2566 ทุกๆ 5 นาที ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นตามเวลาโดยมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงอยู่ที่ 1.1 kW/m^2 หลังจากนั้นค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ก็จะลดลงและเพิ่มขึ้นเป็นบางช่วงเวลาจนจบทดลองการทดลองผลซึ่งจะสอดคล้องกับสภาพอากาศในเวลานั้น และจากผลพบว่า ความดันภายในเตาพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 ครั้ง เฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 0.2 บาร์ ซึ่งเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความดันภายในเตาก็จะเพิ่มตามและเมื่ออุณหภูมิกายในเตาลดลงความดันก็จะลดลงเช่นกัน



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ น้ำ ความดันภายในเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ กำหนดอุณหภูมิ น้ำที่ 60 องศาเซลเซียส

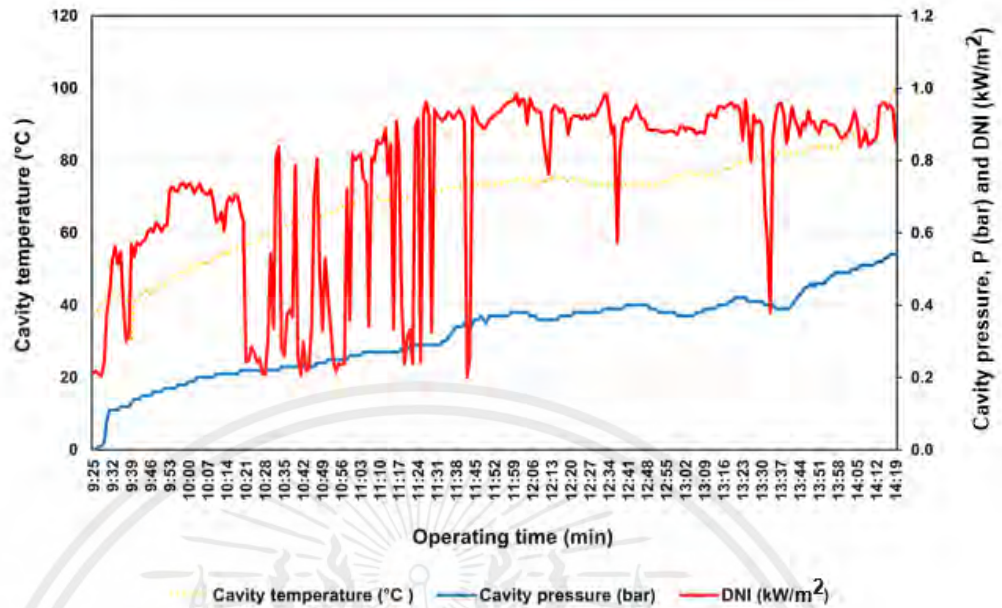
รูปที่ 4.10 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล โดยเป็นการทดลองแบบ Semi-continuous tests ซึ่งกำหนดอุณหภูมิ น้ำทางออกที่ 60 องศาเซลเซียส ทั้ง 3 ครั้ง จากผลพบว่าช่วงเวลา 10:00-14:10 นาฬิกา มีพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เฉลี่ยอยู่ที่ 1,300 กิโลจูล และมีค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) สูงสุดอยู่ที่ 103 กิโลจูล ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงาน

ความร้อนขาเข้า Q_{in} จะเพิ่มตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ แสดงในรูปที่ 4.11 จากผลพบว่าเมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} จะมีค่าลดลง และเมื่อค่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนก็จะมีค่าลดลง



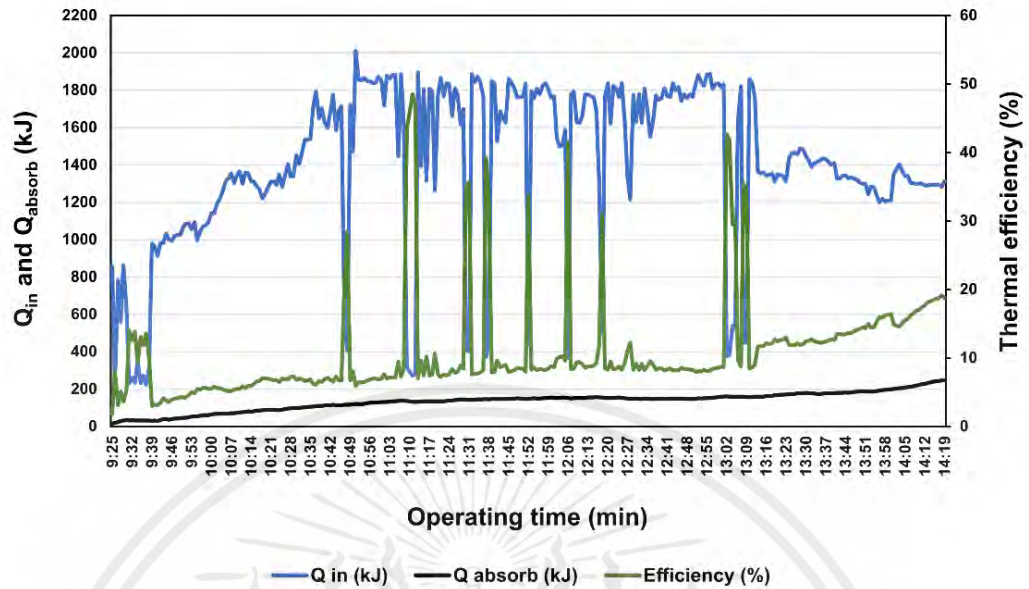
รูปที่ 4.10 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตา กำหนดอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำ ความดันภายในเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยกำหนดอุณหภูมิทางออกที่ 100 องศาเซลเซียส จากผลพบว่าช่วงเวลา 09:25-14:19 นาฬิกา ในวันที่ 20 พฤษภาคม 2566 ทุกๆ 1 นาที ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะเพิ่มสูงตามเวลาโดยมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงอยู่ที่ 1 kW/m^2 หลังจากนั้นค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จะลดลงและเพิ่มสูง บางช่วงเวลาจนจบตลอดการทดลอง ซึ่งจะสอดคล้องกับสภาพอากาศในเวลานั้น จากผลพบว่าความดันภายในเตาสูงสุดอยู่ที่ 0.8 บาร์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มความดันภายในเตาก็จะเพิ่มตามและเมื่ออุณหภูมิภายในเตาลดลงความดันจะลดลงเช่นกัน



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำ ความดันภายในเตาและค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ กำหนดอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส

รูปที่ 4.12 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล โดยเป็นการทดลองแบบ Semi-continuous test ซึ่งกำหนดอุณหภูมิน้ำทางออกที่ 100 องศาเซลเซียส จากการทดลองพบว่าช่วงเวลา 09:25-14:19 นาฬิกา มีพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เฉลี่ยอยู่ที่ 1,402 กิโลจูล และมีค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) สูงสุดอยู่ที่ 246 กิโลจูล จะเห็นได้ว่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ แสดงในรูปที่ 4.11 จากผลพบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 49 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า nominal efficiency อยู่ที่ 11 เปอร์เซ็นต์ เมื่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนมีค่าเพิ่มพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} จะมีค่าลดลง และเมื่อค่าพลังงานความร้อนขาเข้า Q_{in} เพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนก็จะมีค่าลดลง



รูปที่ 4.12 แสดงค่าพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) ค่าพลังงานความร้อนดูดซับ (Q_{absorb}) และ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดของเตา กำหนดอุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยสามารถสรุปผลการศึกษาและมีข้อเสนอแนะเพื่อเป็นประโยชน์กับผู้ที่มีความสนใจในเรื่องนี้ ดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล ได้มีการศึกษาเพื่อหาสมรรถนะของระบบในการทำความร้อนของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ภายใต้การทดลองที่กำหนดไว้ทั้ง 2 เงื่อนไข คือการทดลองแบบ Batch tests เพื่อทำการทดสอบหาอุณหภูมิสูงสุดและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด เงื่อนไขที่สองเป็นการทดสอบแบบ Semi-continuous tests ซึ่งเป็นการทดสอบที่อุณหภูมิการทำงานที่แตกต่างกัน ที่ 40 50 60 และ 100 องศาเซลเซียส สรุปผลได้ดังนี้

1. จากการทดลองแบบ Batch tests โดยเก็บค่าอุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 9 นาฬิกา ถึง 15:00 นาฬิกา เก็บค่าอุณหภูมิและความดันทุกๆ 1 นาที ได้อุณหภูมิสูงสุดที่ 115 องศาเซลเซียส ความดัน 0.9 บาร์ เวลา 14:50 นาฬิกา มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 738 วัตต์ต่อตารางเมตร ผลการทดลองพบว่า ค่าพลังงานความร้อนขาเข้าเฉลี่ย 1,319 กิโลจูล ค่าพลังงานความร้อนดูดซับสูงสุด 216.4 กิโลจูล และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 34 เปอร์เซ็นต์

2. จากการทดลองแบบ Batch tests โดยเก็บค่าอุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 9 นาฬิกา ถึง 15:00 นาฬิกา เก็บค่าอุณหภูมิและความดันทุกๆ 1 นาที ได้อุณหภูมิสูงสุดที่ 112 องศาเซลเซียส ความดัน 0.8 บาร์ เวลา 14:04 นาฬิกา มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 784 W/m² ผลพบว่าค่าพลังงานความร้อนขาเข้าเฉลี่ย 1,195 กิโลจูล ค่าพลังงานความร้อนดูดซับสูงสุด 304.4 กิโลจูล และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 33.5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า nominal efficiency อยู่ที่ 29 เปอร์เซ็นต์

3. จากการทดลองแบบ Batch tests โดยเก็บค่าอุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 9 นาฬิกา ถึง 15:00 นาฬิกา เก็บค่าอุณหภูมิและความดันทุกๆ 1 นาที ได้อุณหภูมิสูงสุดที่ 110 องศาเซลเซียส ความดัน 0.8 บาร์ เวลา 13:43 นาฬิกา มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 970 W/m^2 ผลพบว่าค่าพลังงานความร้อนขาเข้าเฉลี่ย 1,032 กิโลจูล ค่าพลังงานความร้อนดูดซับสูงสุด 296.2 กิโลจูล และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 55 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า nominal efficiency อยู่ที่ 37 เปอร์เซ็นต์

4. จากการทดลองแบบ Semi-continuous tests โดยทำการทดลอง ตั้งแต่ 10:05 นาฬิกา ถึง 10:30 นาฬิกา เก็บค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ทุกๆ 10 นาที ซึ่งกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 783 W/m^2 ผลพบว่าค่าพลังงานความร้อนขาเข้าเฉลี่ย 950 กิโลจูล ค่าพลังงานความร้อนดูดซับสูงสุด 29.5 กิโลจูล และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 4 เปอร์เซ็นต์ (ที่อุณหภูมิการทดลองนี้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ยังไม่ได้ทำการติดตั้งตัวดูดซับความร้อน)

5. จากการทดลองแบบ Semi-continuous tests โดยทำการทดลอง ตั้งแต่ 10:45 นาฬิกา ถึง 11:15 นาฬิกา เก็บค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ทุกๆ 10 นาที ซึ่งกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 914 W/m^2 ผลพบว่าค่าพลังงานความร้อนขาเข้าเฉลี่ย 1,291 กิโลจูล ค่าพลังงานความร้อนดูดซับสูงสุด 66.3 กิโลจูล และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 6 เปอร์เซ็นต์ (ที่อุณหภูมิการทดลองนี้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ยังไม่ได้ทำการติดตั้งตัวดูดซับความร้อน)

6. จากการทดลองแบบ Semi-continuous tests โดยทำการทดลอง ตั้งแต่ 10:00 นาฬิกา ถึง 14:10 นาฬิกา เก็บค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ทุกๆ 5 นาที ซึ่งกำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกอยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส ความดัน 0.2 บาร์ มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ $1,002 \text{ W/m}^2$ ผลพบว่าค่าพลังงานความร้อนขาเข้าเฉลี่ย 1,300 กิโลจูล ค่าพลังงานความร้อนดูดซับสูงสุด 103 กิโลจูล และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 11 เปอร์เซ็นต์

7. จากการทดลองแบบ Semi-continuous tests โดยเก็บค่าอุณหภูมิน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 9:25 นาฬิกา ถึง 14:19 นาฬิกา เก็บค่าอุณหภูมิและความดันทุกๆ 1 นาที ได้อุณหภูมิสูงสุดที่ 100 องศาเซลเซียส ความดัน 0.8 บาร์ เวลา 14:19 นาฬิกา มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์อยู่ที่ 894 W/m^2 ผลพบว่าค่าพลังงานความร้อนขาเข้าเฉลี่ย 1,402 กิโลจูล ค่าพลังงาน

ความร้อนดูดซับสูงสุด 246 กิโลจูล และมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุด 49 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่า nominal efficiency อยู่ที่ 11 เปอร์เซ็นต์

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

สภาพอากาศที่แปรปรวนขณะที่ทำการทดลอง ทำให้ความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์เกิดความไม่เสถียร จึงเป็นอุปสรรคในการทำความร้อนของเตาพลังงานแสงอาทิตย์

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. เปลี่ยนวัสดุของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ให้สามารถดูดซับความร้อนมากขึ้น (โดยอิงจากตารางคุณสมบัติค่าความสามารถดูดซับและการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุ)
2. อาจเปลี่ยนเป็นระบบแบบ Hybrid ที่นำ heater มาทำงานร่วมกัน เนื่องจากความไม่เสถียรของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์
3. เตาพลังงานแสงอาทิตย์ควรปรับความสูงได้หลายระดับเพื่อให้รับจุดโฟกัสของเลนส์ได้ดีที่สุด
4. อาจเปลี่ยนสารทำงานเป็นชนิดอื่น ตัวอย่างเช่น
 - เกลือหลอมเหลว เป็นสารเปลี่ยนเฟส ใช้ในการจัดเก็บและปลดปล่อยพลังงานความร้อนสูง โดยจะคงสภาพเป็นของเหลวตลอดกระบวนการ ความจุความร้อนสูง
 - น้ำกร่อย-น้ำเค็ม เป็นของเหลว ในพื้นที่ที่ห่างไกลจากน้ำสะอาดหรือน้ำประปาสามารถเปลี่ยนสารทำงานได้ แต่อาจจะต้องเพิ่มแอปพลิเคชันอื่นเพื่อมาช่วยให้ระบบดีขึ้น เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. H. Solangi, M. R. Islam, R. Saidur, N. A. Rahim, and H. Fayaz. (2011). “A review on global solar energy policy.” *Renew. Sustain. Energy Rev* 15, 2149–2163.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์. (2557). “คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนชุดที่ 2.”, เข้าถึงเมื่อ 8 สิงหาคม 2565, www.e-lib.dede.go.th.
- [3] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์. (2565). “พัฒนาปรับปรุงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมสำหรับประเทศไทย.”, เข้าถึงเมื่อวันที่ 8 สิงหาคม 2565, www.kc.dede.go.th.
- [4] Amnag. (2013). “การศึกษาประสิทธิภาพความเข้มแสงของแผงสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์สำหรับระบบหอคอยรวมแสงอาทิตย์.” *A Study on the Intensity Efficiency of a Solar Heliostat for a Central Receiver Solar Collector* 1, 12-14.
- [5] R. E. Technology, C. Author, A. E. Yield, A. Standard, H. Pipe, and H. Pipe. (2012). “การประเมินค่าพลังงานความร้อนรายปี ที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ผลิตได้.” *vol. 20, no. 1, page 16–23.*
- [6] “กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์, “ศักยภาพรังสีรวม (พลังงานแสงอาทิตย์จากการตรวจวัด). 2565. เข้าถึงเมื่อ 10 สิงหาคม 2565 เข้าถึงได้จาก www.dede.go.th
- [7] M.A. Abdelghani-Idrissi , S. Khalfallaoui , D. Seguin , L. Vernières-Hassimi , S. Leveneur. (2018). “Solar tracker for enhancement of the thermal efficiency of solar water heating system.” *Renewable Energy* 119, 79-94.
- [8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2020). “แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียม ปี 2563.” เข้าถึงเมื่อวันที่ 9 พฤษภาคม 2566, www.gis.dede.go.th
- [9] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน และภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. (1999). “แสดงแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี.”
- [10] Kamonchanok, Kittiphot, Chayut. (2013). “A study of tracking system.” Page 4.

- [11] Kamonchanok, Kittiphot, Chayut. (2013). “A study of tracking system.” Page 5.
- [12] “ปรากฏการณ์ที่เกิดจากโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์.” (2021). เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2566, www.trueplookpanya.com
- [13] “ปรากฏการณ์ที่เกิดจากโลกหมุนรอบตัวเอง.” (2021). เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2566, www.trueplookpanya.com
- [14] “การบอกตำแหน่งของวัตถุท้องฟ้า.” (2021). เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 พฤษภาคม 2566, www.trueplookpanya.com
- [15] ศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทร์ฉาย. (2019). “รังสีอาทิตย์.” Page 58
- [16] ศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทร์ฉาย. (2019). “รังสีอาทิตย์.” Page 59
- [17] Amir Farzaneh, Maysam Mohammadi, Zaki Ahmad and Intesar Ahmad. (2012). “Parabolic trough concentrating solar power plant.” Aluminium Alloys in Solar Power – Benefits and Limitations. chapter 13. page 327.
- [18] Amir Farzaneh, Maysam Mohammadi, Zaki Ahmad and Intesar Ahmad. (2012). “Linear Fresnel concentrating solar power plant.” Aluminium Alloys in Solar Power – Benefits and Limitations. chapter 13. page 329.
- [19] Amir Farzaneh, Maysam Mohammadi, Zaki Ahmad and Intesar Ahmad. (2012). “Solar tower concentrating solar power plant.” Aluminium Alloys in Solar Power – Benefits and Limitations. chapter 13. page 328.
- [20] Amir Farzaneh, Maysam Mohammadi, Zaki Ahmad and Intesar Ahmad. (2012). “Parabolic dish concentrating solar power plant.” Aluminium Alloys in Solar Power – Benefits and Limitations. chapter 13. page 328.
- [21] M. Kovendhan et al. (2019). “Study of stainless steel electrodes after electrochemical analysis in sea water condition.” Environ. Res. 173, 549–555.
- [22] “เครื่องควบคุมอุณหภูมิ.” บริษัท เจเทค เอ็นจิเนียริง (ประเทศไทย) จำกัด, เข้าถึงเมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม 2566, เข้าถึงได้จาก www.jtec-engineering.com

- [23] “ตารางเทอร์โมไดนามิกส์.” เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน 2566., เข้าถึงได้จาก <file:///D:/thermodynamics/Table.pdf>
- [24] “ตารางเทอร์โมคอปเปิล.” เข้าถึงเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน 2566., เข้าถึงได้จาก www.mall.factomart.com/how-to-setup-a-thermocouple/
- [25] Amir Farzaneh, Maysam Mohammadi, Zaki Ahmad and Intesar Ahmad. (2012). “Comparison of the solar absorptivity of some surfaces with their emissivity and at room temperature.” Aluminium Alloys in Solar Power – Benefits and Limitations.chapter 3. page 94.





ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

ตารางคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ แสดงค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ [23]

Temp., T °C	Sat. press., P_{sat} kPa	Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ แสดงค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ [23]

Temp., T °C	Sat. press., P_{sat} kPa	Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
205	1724.3	0.001164	0.11508	872.86	1723.5	2596.4	874.87	1920.0	2794.8	2.3776	4.0154	6.3930
210	1907.7	0.001173	0.10429	895.38	1702.9	2598.3	897.61	1899.7	2797.3	2.4245	3.9318	6.3563
215	2105.9	0.001181	0.094680	918.02	1681.9	2599.9	920.50	1878.8	2799.3	2.4712	3.8489	6.3200
220	2319.6	0.001190	0.086094	940.79	1660.5	2601.3	943.55	1857.4	2801.0	2.5176	3.7664	6.2840
225	2549.7	0.001199	0.078405	963.70	1638.6	2602.3	966.76	1835.4	2802.2	2.5639	3.6844	6.2483
230	2797.1	0.001209	0.071505	986.76	1616.1	2602.9	990.14	1812.8	2802.9	2.6100	3.6028	6.2128
235	3062.6	0.001219	0.065300	1010.0	1593.2	2603.2	1013.7	1789.5	2803.2	2.6560	3.5216	6.1775
240	3347.0	0.001229	0.059707	1033.4	1569.8	2603.1	1037.5	1765.5	2803.0	2.7018	3.4405	6.1424
245	3651.2	0.001240	0.054656	1056.9	1545.7	2602.7	1061.5	1740.8	2802.2	2.7476	3.3596	6.1072
250	3976.2	0.001252	0.050085	1080.7	1521.1	2601.8	1085.7	1715.3	2801.0	2.7933	3.2788	6.0721
255	4322.9	0.001263	0.045941	1104.7	1495.8	2600.5	1110.1	1689.0	2799.1	2.8390	3.1979	6.0369
260	4692.3	0.001276	0.042175	1128.8	1469.9	2598.7	1134.8	1661.8	2796.6	2.8847	3.1169	6.0017
265	5085.3	0.001289	0.038748	1153.3	1443.2	2596.5	1159.8	1633.7	2793.5	2.9304	3.0358	5.9662
270	5503.0	0.001303	0.035622	1177.9	1415.7	2593.7	1185.1	1604.6	2789.7	2.9762	2.9542	5.9305
275	5946.4	0.001317	0.032767	1202.9	1387.4	2590.3	1210.7	1574.5	2785.2	3.0221	2.8723	5.8944
280	6416.6	0.001333	0.030153	1228.2	1358.2	2586.4	1236.7	1543.2	2779.9	3.0681	2.7898	5.8579
285	6914.6	0.001349	0.027756	1253.7	1328.1	2581.8	1263.1	1510.7	2773.7	3.1144	2.7066	5.8210
290	7441.8	0.001366	0.025554	1279.7	1296.9	2576.5	1289.8	1476.9	2766.7	3.1608	2.6225	5.7834
295	7999.0	0.001384	0.023528	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2076	2.5374	5.7450
300	8587.9	0.001404	0.021659	1332.7	1230.9	2563.6	1344.8	1404.8	2749.6	3.2548	2.4511	5.7059
305	9209.4	0.001425	0.019932	1360.0	1195.9	2555.8	1373.1	1366.3	2739.4	3.3024	2.3633	5.6657
310	9865.0	0.001447	0.018333	1387.7	1159.3	2547.1	1402.0	1325.9	2727.9	3.3506	2.2737	5.6243
315	10556	0.001472	0.016849	1416.1	1121.1	2537.2	1431.6	1283.4	2715.0	3.3994	2.1821	5.5816
320	11284	0.001499	0.015470	1445.1	1080.9	2526.0	1462.0	1238.5	2700.6	3.4491	2.0881	5.5372
325	12051	0.001528	0.014183	1475.0	1038.5	2513.4	1493.4	1191.0	2684.3	3.4998	1.9911	5.4908
330	12858	0.001560	0.012979	1505.7	993.5	2499.2	1525.8	1140.3	2666.0	3.5516	1.8906	5.4422
335	13707	0.001597	0.011848	1537.5	945.5	2483.0	1559.4	1086.0	2645.4	3.6050	1.7857	5.3907
340	14601	0.001638	0.010783	1570.7	893.8	2464.5	1594.6	1027.4	2622.0	3.6602	1.6756	5.3358
345	15541	0.001685	0.009772	1605.5	837.7	2443.2	1631.7	963.4	2595.1	3.7179	1.5585	5.2765
350	16529	0.001741	0.008806	1642.4	775.9	2418.3	1671.2	892.7	2563.9	3.7788	1.4326	5.2114
355	17570	0.001808	0.007872	1682.2	706.4	2388.6	1714.0	812.9	2526.9	3.8442	1.2942	5.1384
360	18666	0.001895	0.006950	1726.2	625.7	2351.9	1761.5	720.1	2481.6	3.9165	1.1373	5.0537
365	19822	0.002015	0.006009	1777.2	526.4	2303.6	1817.2	605.5	2422.7	4.0004	0.9489	4.9493
370	21044	0.002217	0.004953	1844.5	385.6	2230.1	1891.2	443.1	2334.3	4.1119	0.6890	4.8009
373.95	22064	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ แสดงค่าความดันของน้ำที่อุณหภูมิขณะทดลอง [23]

Press., <i>P</i> kPa	Sat. temp., <i>T</i> _{sat} °C	Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg·K		
		Sat. liquid, <i>v</i> _f	Sat. vapor, <i>v</i> _g	Sat. liquid, <i>u</i> _f	Evap., <i>u</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>u</i> _g	Sat. liquid, <i>h</i> _f	Evap., <i>h</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>h</i> _g	Sat. liquid, <i>s</i> _f	Evap., <i>s</i> _{fg}	Sat. vapor, <i>s</i> _g
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.2 ตารางเทอร์โมไดนามิกส์ แสดงค่าความดันของน้ำที่อุณหภูมิขณะทดลอง [23]

Press., P kPa	Sat. temp., T_{sat} °C	Specific volume, m^3/kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg-K		
		Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
800	170.41	0.001115	0.24035	719.97	1856.1	2576.0	720.87	2047.5	2768.3	2.0457	4.6160	6.6616
850	172.94	0.001118	0.22690	731.00	1846.9	2577.9	731.95	2038.8	2770.8	2.0705	4.5705	6.6409
900	175.35	0.001121	0.21489	741.55	1838.1	2579.6	742.56	2030.5	2773.0	2.0941	4.5273	6.6213
950	177.66	0.001124	0.20411	751.67	1829.6	2581.3	752.74	2022.4	2775.2	2.1166	4.4862	6.6027
1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	1821.4	2582.8	762.51	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1100	184.06	0.001133	0.17745	779.78	1805.7	2585.5	781.03	1999.6	2780.7	2.1785	4.3735	6.5520
1200	187.96	0.001138	0.16326	796.96	1790.9	2587.8	798.33	1985.4	2783.8	2.2159	4.3058	6.5217
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057061	1045.4	1557.6	2603.0	1049.7	1753.0	2802.7	2.7253	3.3991	6.1244
4000	250.35	0.001252	0.049779	1082.4	1519.3	2601.7	1087.4	1713.5	2800.8	2.7966	3.2731	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039448	1148.1	1448.9	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2	2.9207	3.0530	5.9737
6000	275.59	0.001319	0.032449	1205.8	1384.1	2589.9	1213.8	1570.9	2784.6	3.0275	2.8627	5.8902
7000	285.83	0.001352	0.027378	1258.0	1323.0	2581.0	1267.5	1505.2	2772.6	3.1220	2.6927	5.8148
8000	295.01	0.001384	0.023525	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2077	2.5373	5.7450
9000	303.35	0.001418	0.020489	1350.9	1207.6	2558.5	1363.7	1379.3	2742.9	3.2866	2.3925	5.6791
10,000	311.00	0.001452	0.018028	1393.3	1151.8	2545.2	1407.8	1317.6	2725.5	3.3603	2.2556	5.6159
11,000	318.08	0.001488	0.015988	1433.9	1096.6	2530.4	1450.2	1256.1	2706.3	3.4299	2.1245	5.5544
12,000	324.68	0.001526	0.014264	1473.0	1041.3	2514.3	1491.3	1194.1	2685.4	3.4964	1.9975	5.4939
13,000	330.85	0.001566	0.012781	1511.0	985.5	2496.6	1531.4	1131.3	2662.7	3.5606	1.8730	5.4336
14,000	336.67	0.001610	0.011487	1548.4	928.7	2477.1	1571.0	1067.0	2637.9	3.6232	1.7497	5.3728
15,000	342.16	0.001657	0.010341	1585.5	870.3	2455.7	1610.3	1000.5	2610.8	3.6848	1.6261	5.3108
16,000	347.36	0.001710	0.009312	1622.6	809.4	2432.0	1649.9	931.1	2581.0	3.7461	1.5005	5.2466
17,000	352.29	0.001770	0.008374	1660.2	745.1	2405.4	1690.3	857.4	2547.7	3.8082	1.3709	5.1791
18,000	356.99	0.001840	0.007504	1699.1	675.9	2375.0	1732.2	777.8	2510.0	3.8720	1.2343	5.1064
19,000	361.47	0.001926	0.006677	1740.3	598.9	2339.2	1776.8	689.2	2466.0	3.9396	1.0860	5.0256
20,000	365.75	0.002038	0.005862	1785.8	509.0	2294.8	1826.6	585.5	2412.1	4.0146	0.9164	4.9310
21,000	369.83	0.002207	0.004994	1841.6	391.9	2233.5	1888.0	450.4	2338.4	4.1071	0.7005	4.8076
22,000	373.71	0.002703	0.003644	1951.7	140.8	2092.4	2011.1	161.5	2172.6	4.2942	0.2496	4.5439
22,064	373.95	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.3 ตารางคุณสมบัติเทอร์โมคอปเปิล [24]

Thermocouple alloy	Thermocouple type	Sheath material	Outer diameter Φ mm	Temperature range applied °C
Ni Cr-Ni Si	K	SUS304 SUS316L	0.5~1.0 1.5~3.2 4.0~8.0	400 600 800
		SUS310S GH3030 GH3039 INCONEL600 INCOLOY800	0.5~1.0 1.5~3.2 4.0~6.4 8.0~12.7	500 800 900 1000
Ni Cr Si-Ni Si	N	SUS304 SUS316L	0.5~1.0 1.5~3.2 4.0~8.0	400 600 800
		SUS310S GH3030 GH339 INCONEL600 INCOLOY800	0.5~1.0 1.5~3.2 4.0~6.4 8.0~12.7	500 800 900 1000
Ni Cr- Costantan	E	SUS304 SUS316L	0.5~1.0 1.5~3.2 4.0~8.0	400 500 800
Fe-Costantan	J	SUS304 SUS316L	1.0 1.5~3.2 4.0~8.0	300 500 800
Cu-Costantan	T	SUS304 SUS316L	1.0 1.5~3.2 4.0~8.0	-200~100 100~200 100~350
Pt Rh 10-Pt Pt Rh 13-Pt	S R	GH3030 INCONEL600 GH3039 GH747 Pt Rh 6	2~4.8 5.0~6.4 8.0 2.0~6.4	1000 1050 1150 1200
		GH3030 INCONEL600 GH3039 GH747 Pt Rh 6	2~4.8 5.0~6.4 8.0 2.0~6.4	1000 1080 1180 1300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.4 ตารางคุณสมบัติค่าความสามารถการดูดซับและการแผ่รังสีความร้อนของพื้นผิววัสดุ [25]

TABLE 3-2 Comparison of the Solar Absorptivity α_s of Some Surfaces with Their Emissivity ε at Room Temperature

Surface	α_s	ε
Aluminum		
Polished	0.09	0.03
Anodized	0.14	0.84
Foil	0.15	0.05
Copper		
Polished	0.18	0.03
Tarnished	0.65	0.75
Stainless steel		
Polished	0.37	0.60
Dull	0.50	0.21
Plated metals		
Black nickel oxide	0.92	0.08
Black chrome	0.87	0.09
Concrete	0.60	0.88
White marble	0.46	0.95
Red brick	0.63	0.93
Asphalt	0.90	0.90
Black paint	0.97	0.97
White paint	0.14	0.93
Snow	0.28	0.97
Human skin (Caucasian)	0.62	0.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข

การคำนวณผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหาประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล

โดยจะใช้เครื่องวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เพื่อหาค่าพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มาใช้ในการคำนวณหาค่าพลังงานความร้อนต่างๆ เช่น พลังงานความร้อนขาเข้า พลังงานความร้อนดูดซับ และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อที่จะทดสอบหาประสิทธิภาพสูงสุดของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล

การคำนวณหามุมเซนธิ์ θ_z

$$\theta_z = \alpha - 90$$

ข.1

เมื่อ

α คือ มุมอัลติจูด (Degree)

การคำนวณหารังสีรวม Global Horizontal Irradiance (GHI)

$$GHI = DNI (\cos\theta_z) + DHI$$

ข.2

เมื่อ

DNI คือ รังสีตรง (Direct normal irradiance) (W/m^2)

DHI คือ รังสีกระจาย (Diffuse horizontal irradiance) (W/m^2)

θ_z คือ มุมเซนธิ์ (Degree)

พลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) (kJ)

$$Q_{in} = DNI \times A_a$$

ข.3

เมื่อ

A_a คือ พื้นที่ของเลนส์เฟรสเนล (m^2)

พลังงานความดูดซับ (Q_{absorb}) (kJ)

$$Q_{\text{absorb}} = \rho V C_p (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$$

ข.4

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ (1000 kg/m^3)

V คือ ปริมาตรของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ (m^3)

C_p คือ ค่าความจุเพาะของน้ำที่ความดันคงที่ ($4168 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$)

T_{out} คือ อุณหภูมิของน้ำขาเข้า ($^\circ\text{C}$)

T_{in} คือ อุณหภูมิของน้ำขาออก ($^\circ\text{C}$)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th})

$$\eta_{\text{th}} = \frac{Q_{\text{absorb}}}{Q_{\text{in}}}$$

ข.5

อัตราการรวมแสงอาทิตย์ (Concentrator ratio, C) คืออัตราส่วนระหว่าง A_a ต่อ A_{abs}

$$C = \frac{A_a}{A_{\text{abs}}}$$

ข.6

เมื่อ

A_a คือ พื้นที่รวมแสง (solar concentrator area) (m^2)

A_{abs} คือ พื้นที่ดูดซับแสงอาทิตย์ (cavity receiver area) (m^2)

ตัวอย่างการคำนวณผลการทดลอง วันที่ 13 พฤษภาคม 2566

การหามุมเซนิต θ_z โดยใช้สมการ (ข.1)

$$\begin{aligned}\theta_z &= 50.33 - 90 \\ &= 39.67 \quad \text{องศา}\end{aligned}$$

การหารังสีรวม Global Horizontal Irradiance (GHI) โดยใช้สมการ (ข.2)

$$\begin{aligned}\text{GHI} &= 704 (\cos\theta_z) + 180 \\ &= 723.77 \quad \text{วัตต์ต่อตารางเมตร}\end{aligned}$$

การหาพลังงานความร้อนขาเข้า (Q_{in}) (kJ) โดยใช้สมการ (ข.3)

$$\begin{aligned}Q_{in} &= 704 \times 1.4 \times 1.5 \\ &= 1034.88 \quad \text{กิโลจูล}\end{aligned}$$

การหาพลังงานความดูดซับ (Q_{absorb}) (kJ) โดยใช้สมการ (ข.4)

$$\begin{aligned}Q_{absorb} &= 1000 \times 0.00088 \times 4168 (114-29) \\ &= 313.60 \quad \text{กิโลจูล}\end{aligned}$$

การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency, η_{th}) โดยใช้สมการ (ข.5)

$$\begin{aligned}\eta_{th} &= \frac{313.60}{1034.88} \\ &= 30.30 \quad \text{เปอร์เซ็นต์}\end{aligned}$$

อัตราการรวมแสงอาทิตย์ (Concentrator ratio, C) คือ อัตราส่วนระหว่าง A_a ต่อ A_{abs}

$$\begin{aligned}C &= \frac{1.47}{0.053} \\ &= 27.73\end{aligned}$$



ภาคผนวก ค

ตารางผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล ซึ่งทำการทดลองแบบ Batch tests ในวันที่ 13 พฤษภาคม 2566 ที่อุณหภูมิสูงสุด 115 องศาเซลเซียส

เวลา	อุณหภูมิ น้ำขาเข้า (°C)	อุณหภูมิ น้ำภายใน receiver (°C)	มุมเซนติ (Degree)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสี กระจาย) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีรวม) (W/m ²)	พลังงาน ความ ร้อนขา เข้า (kJ)	พลังงาน ความร้อน ดูดซับ (kJ)	ประสิทธิภาพ เชิงความร้อน (%)
09:00	29	32.0	48.52	581	210	594.8	854.07	11.0	1.29
09:30	29	49.0	49.00	758	242	810.4	1114.3	73.4	6.58
10:00	29	59.7	34.35	828	245	928.6	1217.2	112.8	9.27
10:30	29	67.0	27.34	900	294	1093.5	1323.0	139.4	10.53
11:00	29	82.2	20.48	964	350	1253.1	1417.1	195.3	13.78
11:30	29	90.7	14.01	1014	222	1205.8	1490.6	226.5	15.19
12:00	29	96.2	8.85	1047	246	1280.5	1539.1	246.7	16.03
12:30	29	102.2	8.08	1002	253	1245.1	1472.9	268.7	18.24
13:00	29	103.7	12.55	1003	242	1221.0	1474.4	274.2	18.60
13:30	29	103.0	18.83	952	188	1089.0	1399.4	271.4	19.39
14:00	29	104.0	25.63	913	211	1034.2	1342.1	276.9	20.63
14:30	29	107.2	32.61	758	212	850.5	1114.3	287.0	25.76
15:00	29	115.0	39.67	719	178	731.4	1056.9	311.8	29.50

ตารางที่ ค.2 ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล ซึ่งทำการทดลองแบบ Batch tests ในวันที่ 14 พฤษภาคม 2566 ที่อุณหภูมิสูงสุด 112 องศาเซลเซียส

เวลา	อุณหภูมิ น้ำขาเข้า (°C)	อุณหภูมิ น้ำภายใน receiver (°C)	มุมเซนซิ (Degree)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสี กระจาย) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีรวม) (W/m ²)	พลังงาน ความ ร้อนขา เข้า (kJ)	พลังงาน ความร้อน ดูดซับ (kJ)	ประสิทธิภาพ เชิงความร้อน (%)
09:00	29	32.0	48.53	343	108	335.1	504.2	11.0	2.18
09:30	29	38.5	41.44	629	198	669.5	924.6	34.8	3.77
10:00	29	48.7	34.38	762	220	848.9	1120.1	72.4	6.47
10:30	29	55.2	27.39	816	204	928.5	1199.5	96.3	8.03
11:00	29	62.7	20.56	879	209	1032.0	1292.1	123.79	9.58
11:30	29	71.0	14.14	945	320	1236.4	1389.2	154.1	11.09
12:00	29	82.7	9.06	967	387	1341.9	1421.5	197.1	13.87
12:30	29	95.0	8.31	966	340	1295.9	1420.0	242.1	17.05
13:00	29	106.2	12.69	925	304	1206.4	1359.7	283.3	20.84
13:30	29	111.0	18.92	825	311	1091.4	1212.7	300.8	24.80
14:00	29	111.7	25.69	782	263	967.7	1149.5	303.5	26.40
14:30	29	112.0	32.65	735	196	814.9	1080.4	304.4	28.18
15:00	29	112.0	39.69	619	188	664.3	909.9	304.4	33.46

ตารางที่ ค.3 ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล ซึ่งทำการทดลองแบบ Batch tests ในวันที่ 15 พฤษภาคม 2566 ที่อุณหภูมิสูงสุด 110 องศาเซลเซียส

เวลา	อุณหภูมิ น้ำขาเข้า (°C)	อุณหภูมิ น้ำภายใน receiver (°C)	มุมเซนติ (Degree)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสี กระจาย) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีรวม) (W/m ²)	พลังงาน ความ ร้อนขา เข้า (kJ)	พลังงาน ความร้อน ดูดซับ (kJ)	ประสิทธิภาพ เชิงความร้อน (%)
09:00	30	31.0	48.54	213	120	261.0	313.1	3.7	1.17
09:30	30	50.0	41.46	223	164	334.1	327.8	73.4	22.38
10:00	30	58.7	34.42	242	136	335.6	355.7	105.4	29.64
10:30	30	58.5	27.4	240	106	321.0	352.8	104.5	29.63
11:00	30	67.5	20.6	243	123	350.4	357.2	137.5	38.51
11:30	30	80.2	14.3	947	330	1247.8	1392.1	184.3	13.24
12:00	30	95.2	9.3	925	396	1308.9	1359.7	239.3	17.60
12:30	30	103.0	8.5	881	306	1177.2	1295.0	267.7	20.67
13:00	30	103.5	12.8	956	355	1287.0	1405.3	269.6	19.18
13:30	30	108.2	19.0	899	368	1217.9	1321.5	287.0	21.72
14:00	30	105.0	25.7	913	300	1122.3	1342.1	275.1	20.50
14:30	30	89.5	32.7	304	127	382.8	446.9	218.2	48.84
15:00	30	65.5	39.7	216	75	241.1	317.5	130.2	41.01

ตารางที่ ค.4 ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล ซึ่งทำการทดลองแบบ Semi-continuous tests ในวันที่ 20 พฤษภาคม 2566 กำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกที่ 100 องศาเซลเซียส

เวลา	อุณหภูมิ น้ำขาเข้า (°C)	อุณหภูมิ น้ำภายใน receiver (°C)	มุมเซนติ (Degree)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสี กระจาย) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีรวม) (W/m ²)	พลังงาน ความ ร้อนขา เข้า (kJ)	พลังงาน ความร้อน ดูดซับ (kJ)	ประสิทธิภาพ เชิงความร้อน (%)
09:25	33	37.2	42.78	584	230	658.6	858.5	15.6	1.82
09:55	33	47.7	35.79	677	317	866.2	995.2	54.1	5.44
10:25	33	57.5	28.90	873	354	1118.28	1283.3	89.9	7.00
10:55	33	66.7	22.18	1258	386	1550.9	1849.3	123.8	6.69
11:25	33	71.0	15.90	1131	384	1471.7	1662.6	139.4	8.38
11:55	33	73.5	10.85	1230	377	1585.0	1808.1	148.5	8.22
12:25	33	74.5	9.32	1251	355	1589.5	1838.9	152.2	8.28
12:55	33	74.2	12.66	1281	387	1636.9	1883.1	151.3	8.03
13:25	33	80.2	18.39	994	230	1173.2	1461.2	173.3	11.86
13:55	33	84.5	24.9	842	201	964.8	1237.7	188.9	15.26
14:19	33	100	30.3	894	304	1075.7	1314.2	245.7	18.70

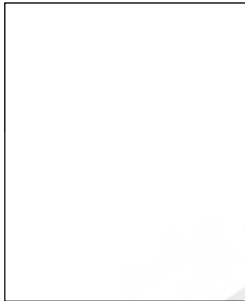
ตารางที่ ค.5 ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล ซึ่งทำการทดลองแบบ Semi-continuous tests ในวันที่ 11 พฤษภาคม 2566 กำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกที่ 60 องศาเซลเซียส

เวลา	อุณหภูมิ น้ำภายใน receiver (°C)	อุณหภูมิ น้ำขาออก (°C)	มุมเซนติ (Degree)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสี กระจาย) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีรวม) (W/m ²)	พลังงาน ความ ร้อนขา เข้า (kJ)	พลังงาน ความร้อน ดูดซับ (kJ)	ประสิทธิภาพ เชิงความร้อน (%)
10:00	32.0	60	34.29	641	336	865.6	942.3	103.1	10.94
10:05	34.5	60	33.11	652	369	915.1	958.4	93.9	9.80
10:10	37.5	60	31.93	669	381	948.8	983.4	82.9	8.43
10:15	39.5	60	30.76	690	340	932.9	1014.3	75.5	7.44
10:20	41.0	60	29.58	787	378	1062.4	1156.9	69.9	6.05
10:25	43.2	60	28.41	769	336	1012.4	1130.4	61.7	5.46
10:30	47.7	60	27.25	867	346	1116.8	1274.5	45.1	3.54
10:35	48.7	60	26.08	872	316	1099.2	1281.8	41.4	3.23
10:40	51.0	60	24.92	797	358	1080.8	1171.6	33.1	2.83
10:45	53.5	60	23.76	786	319	1038.4	1155.4	23.9	2.07
10:50	55.2	60	22.61	830	344	1110.2	1220.1	17.5	1.43
10:55	56.2	60	21.47	1000	325	1255.6	1470.0	13.8	0.94
11:00	58.0	60	20.33	1080	335	1347.7	1587.6	7.8	0.46
11:05	60	60	19.20	1002	341	1287.3	1472.9	0.0	0.0

ตารางที่ ค.6 ตัวอย่างผลการทดลองการประเมินประสิทธิภาพของเตาพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้เลนส์เฟรสเนล ซึ่งทำการทดลองแบบ Semi-continuous tests ในวันที่ 28 มีนาคม 2566 กำหนดอุณหภูมิน้ำขาออกที่ 40 และ 50 องศาเซลเซียส

เวลา	อุณหภูมิ น้ำภายใน receiver (°C)	อุณหภูมิ น้ำขาออก (°C)	มุมเซนซิ (Degree)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีตรง) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสี กระจาย) (W/m ²)	ความเข้ม รังสี แสงอาทิตย์ (รังสีรวม) (W/m ²)	พลังงาน ความ ร้อนขา เข้า (kJ)	พลังงาน ความร้อน ดูดซับ (kJ)	ประสิทธิภาพ เชิงความร้อน (%)
10:05	32	40	36.29	509	240.7	650.9	748.2	29.46	3.94
10:30	32	40	30.27	783	250	926.2	1151.0	29.46	2.56
10:45	32	50	29.69	843	268	1000.3	1239.2	66.29	5.35
11:15	32	50	19.70	914	281.2	1141.7	1343.6	66.29	4.93

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นางสาวพิมพ์กานต์ ทิพย์เสภา
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 08 กันยายน พ.ศ. 2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดนครศรีธรรมราช
 ที่อยู่ 16/1 ถนนกระโรม ตำบลโพธิ์เสด็จ อำเภอเมือง
 จังหวัดนครศรีธรรมราช
 E-mail 62201073@kmitl.ac.th

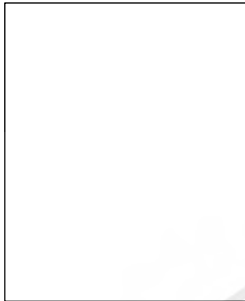
ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียน
วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียนเมือง
นครศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขต
ชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- เข้าร่วมนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่
8 IAMBEST 2023 นำเสนอเรื่อง การประเมินประสิทธิภาพของ
เตาพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้
เลนส์เฟรสเนล

ประวัติผู้จัดทำ



ชื่อ-นามสกุล นางสาวสุภาวิณี เสมอมาศ
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 14 กรกฎาคม พ.ศ. 2543
 ภูมิลำเนา จังหวัดนครศรีธรรมราช
 ที่อยู่ 43/2 หมู่ 5 ตำบล นาสาร อำเภอพระพรหม
 จังหวัดนครศรีธรรมราช
 E-mail 62201156@kmitl.ac.th

- ประวัติการศึกษา
- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ปีการศึกษา 2561 จากโรงเรียน เตรียมอุดมศึกษา ภาคใต้
 - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2565 จากสถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขต ชุมพรเขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
- ผลงานและกิจกรรม
- เข้าร่วมนำเสนอผลงานในงานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8 IAMBEST 2023 นำเสนอเรื่อง การประเมินประสิทธิภาพของ เต้าปล้งงานแสงอาทิตย์ขนาดห้องปฏิบัติการโดยใช้ เลนส์เฟรสเนล