



เครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบโดยใช้เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์
A stirling engine prototype using highly concentrated sunlight



พีรศักดิ์ สมบูรณ์
Pirasak Somboon
วรพงศ์ ดวงจิตร์
Worapong Duangjit
ศุภประเสริฐ ก้อนทิพย์
Suprasert Konthip

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบโดยใช้เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์
A stirling engine prototype using highly concentrated sunlight



พีรศักดิ์ สมบูรณ์
Pirasak Somboon
วรพงศ์ ดวงจิตร
Worapong Duangjit
ศุภประเสริฐ ก้อนทิพย์
Suprasert Konthip

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรวิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stirling engine prototype using highly concentrated sunlight

Pirasak Somboon
Worapong Duangjit
Suprasert Konthip



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
2020

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2021

DEPARTMENT OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

PRINCE OF CHUMPHON

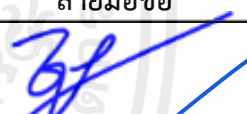



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วิทยาเขตชุมพรเขตรอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์


หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบโดยใช้เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์
PROJECT TITLE A stirling engine prototype using highly concentrated sunlight

ชื่อนักศึกษา นายพีรศักดิ์ สมบูรณ์ รหัสประจำตัว 60512082
นายวรพงศ์ ดวงจิตร รหัสประจำตัว 60512093
นายศุภประเสริฐ ก้อนทิพย์ รหัสประจำตัว 60512098

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.ศรีรัตน์ ช่วยบุญ
ปริญญาานิพนธ์

คณะกรรมการสอบปริญญาานิพนธ์			ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชมพูนุช กุลเกตวงศ์	กรรมการสอบ		
ผศ.ดร.ดิษฐพร ตุงโธธานนท์	กรรมการสอบ		
ผศ.จรัสชัย เย็นพยัค	กรรมการสอบ		
ดร.ศรีรัตน์ ช่วยบุญ	อาจารย์ที่ปรึกษา		

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 28 มิถุนายน 2564 เวลา 14.00 – 15.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบออนไลน์ Modern Science and Technology for Sustainable Development

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ กุศล)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์
วันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2564

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบโดยใช้เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์	
PROJECT TITLE	A stirling engine prototype using highly concentrated sunlight	
ชื่อนักศึกษา	นายพีรศักดิ์ สมบูรณ์	รหัสประจำตัว 60512082
	นายวรพงศ์ ดวงจิตร	รหัสประจำตัว 60512093
	นายศุภประเสริฐ ก้อนทิพย์	รหัสประจำตัว 60512098
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ศรัรัตน์ ช่วยบุญ	
ปริญญานิพนธ์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบที่ใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน ความร้อน แสงอาทิตย์ถูกสะท้อนผ่านกระจกขนาด 1.5 ตารางเมตร จากนั้นแสงอาทิตย์ถูกรวมให้มีความเข้มสูงขึ้นประมาณ 1.767/0.0226 เท่าด้วยจานพาราโบลาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.5 เมตร ชุดรวมพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาสามารถรวมแสงได้สูงสุด 13.99 KJ และประสิทธิภาพการรวมแสงอยู่ที่ 25 % ที่ความเข้มแสงเฉลี่ย 875 W/m² เมื่อนำมาใช้เป็นแหล่งความร้อนให้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพบว่า เครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าได้ 0.052 W โดยความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ 412 rpm และแรงดันไฟฟ้าได้ 0-2.6 volt เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้าได้

คำสำคัญ: เครื่องยนต์สเตอร์ลิง, จานพาราโบลา, ระบบรวมแสงอาทิตย์

Project Title	A stirling engine prototype using highly concentrated sunlight	
Student	Mr. Pirasak Somboon	Student ID 60512082
	Mr. Worapong Duangjit	Student ID 60512093
	Mr. Suprasert Konthip	Student ID 60512098
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Mechanical Engineering	
Project Advisor	Dr. Srirat Chuayboon	

ABSTRACT

This research aims to design and fabricate the prototype Stirling engines using highly concentrated sunlight as an external heat source. The sunlight is reflected through a 1.5 square meter glass and then concentrated to approximately 1.767/0.0226 times with a parabolic dish with a diameter of 1.5 meters. The maximum heat input was achieved at 13.99 KJ with the thermal efficiency of 25 % under an average light intensity of 875 W/m². The Stirling engine can produce the electricity up to 0.052 W with voltages of 0-2.6 volts and an engine speed of 412 rpm. Thus, the solar energy can be storage in the form of mechanical and electrical energy via this system.

Keywords: Stirling engines, Parabolic dish, solar concentrating syst

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร.ศรียรัตน์ ช่วยบุญ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ แนวคิด ความรู้ต่างๆ ตลอดจนขั้นตอนและวิธีการในการทำปริญญาานิพนธ์

บุคคลที่ขาดมิได้คือ บิดา มารดา ผู้มีพระคุณและเป็นที่ยศเรพรัก ที่คอยให้การสนับสนุนและกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำเสมอคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ นักศึกษาที่คอยช่วยเหลือแนะนำและสนับสนุนในทุกๆ ด้าน รวมถึงกำลังใจซึ่งทำให้การจัดทำปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วง คณะผู้จัดทำหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์ไม่มีก็น้อยต่อผู้ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบโดยใช้เทคโนโลยีการรวมแสงอาทิตย์

นายพีรศักดิ์ สมบูรณ์
นายวรพงศ์ ดวงจิตร
นายศุภประเสริฐ ก้อนทิพย์
มิถุนายน 2564



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ	4
1.6 แผนการดำเนินงาน	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 พลังงานจากแสงอาทิตย์	6
2.2 หลักการพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิก	6
2.3 การบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์	8
2.4 เวลาและมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์	10
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของระบบการบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์	11
2.6 การหาค่าความร้อนจากดวงอาทิตย์	13
2.7 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง	14
2.8 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟา	18
2.9 หลักการเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจากพลังงานแสงอาทิตย์	19
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการ	22
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการต้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องมือทดสอบ	23
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	25
3.3 วิธีการทดลอง	25

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผล	27
4.1 การทดลองเก็บอุณหภูมิและความเข้มแสง	27
4.2 การทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้าจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	30
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	37
5.1 สรุปผลการทดลอง	37
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	38
5.3 ข้อเสนอแนะ	38
เอกสารอ้างอิง	39
ภาคผนวก	41
ภาคผนวก ก การคำนวณ	42
ภาคผนวก ข อุปกรณ์การทดลอง	48
ภาคผนวก ค ผลการทดลอง	55
ภาคผนวก ง การเขียนแบบทางวิศวกรรม	73
ประวัติผู้จัดทำ	81

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ผลการตรวจวัดข้อมูลความวามเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย ปีพ.ศ. 2562	2
1.2	แผนการดำเนินงานของการศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	5
3.1	แสดงชื่ออุปกรณ์ที่ทดลอง	23
4.1	อุณหภูมิน้ำและประสิทธิภาพความเข้มแสง (วันที่ 24 พฤษภาคม 2564)	27
4.2	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและกำลังไฟฟ้า (10 มิถุนายน 2564)	30
4.3	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและกำลังไฟฟ้า (11 มิถุนายน 2564)	32
4.4	ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและกำลังไฟฟ้า (12 มิถุนายน 2564)	34
ค.1	หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 4 พฤษภาคม 2564)	56
ค.2	หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 5 พฤษภาคม 2564)	57
ค.3	หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 7 พฤษภาคม 2564)	58
ค.4	หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 8 พฤษภาคม 2564)	59
ค.5	หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 21 พฤษภาคม 2564)	60
ค.6	หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 22 พฤษภาคม 2564)	61
ค.7	หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 23 พฤษภาคม 2564)	62
ค.8	หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 24 พฤษภาคม 2564)	63
ค.9	การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 5 นาที (วันที่ 6 มิถุนายน 2564)	64
ค.10	การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 5 นาที (วันที่ 7 มิถุนายน 2564)	65
ค.11	การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 5 นาที (วันที่ 10 มิถุนายน 2564)	66

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค.12	การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 3 นาที (วันที่ 8 มิถุนายน 2564)	67
ค.13	การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 3 นาที (วันที่ 9 มิถุนายน 2564)	68
ค.14	การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 3 นาที (วันที่ 11 มิถุนายน 2564)	69
ค.15	การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 1 นาที (วันที่ 12 มิถุนายน 2564)	70
ค.16	การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 1 นาที (วันที่ 13 มิถุนายน 2564)	71
ค.17	การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 1 นาที (วันที่ 14 มิถุนายน 2564)	72

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียม	2
1.2	แผนผังการดำเนินงานของการศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	4
2.1	งานพาราโบลา	7
2.2	แสงที่กระทบ	7
2.3	การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง	8
2.4	การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง	9
2.5	ทรงกลมทองคำและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบที่ใช้ระนาบอ้างอิง	12
2.6	หลักการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง	14
2.7	ลูกสูบฝั่งร้อนโดนความร้อน	15
2.8	ลูกสูบฝั่งร้อนส่งแรงดันไปกระบอกสูบฝั่งเย็น	15
2.9	ลูกสูบฝั่งเย็นเกิดการเคลื่อนที่	16
2.10	ลูกสูบทั้งสองเคลื่อนที่สลับไปมา	16
2.11	(P-V diagram) และ(T-S diagram)	17
2.12	หลักการเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจากพลังงานแสงอาทิตย์	19
3.1	แสดง diagram การติดตั้งชุดทดลอง	22
3.2	รูปถ่ายชุดทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบ	22
3.3	แสดงลักษณะการรวมแสงของจานพาราโบลา	23
3.4	โครงสร้างติดตั้งจานรวมแสงอาทิตย์	24
3.5	กระจกสะท้อนแสง	24
3.6	โครงสร้างติดตั้งกระจกสะท้อนแสง	25
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิน้ำ	29
4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดซับความร้อนและค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน	29
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบ	31
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้า	31
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบ	33
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้า	33
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบ	35
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้า	35
ข.1	โครงสร้างติดตั้งจานรวมแสงอาทิตย์	49
ข.2	กระจกสะท้อนแสง	49

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข.3	โครงสร้างติดตั้งกระจกสะท้อนแสง	50
ข.4	ภาชนะสำหรับต้มน้ำ	50
ข.5	เทอร์โมมิเตอร์	51
ข.6	เครื่องวัดความเข้มแสง	51
ข.7	เทอร์โมมิเตอร์	52
ข.8	เทปอลูมิเนียม	52
ข.9	เครื่องวัดความเร็วรอบ	53
ข.10	เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า	53
ข.11	เครื่องยนต์สเตอร์ลิง	54
ข.12	หลอดไฟ	54
ง.1	ชุดรวมแสงให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง	74



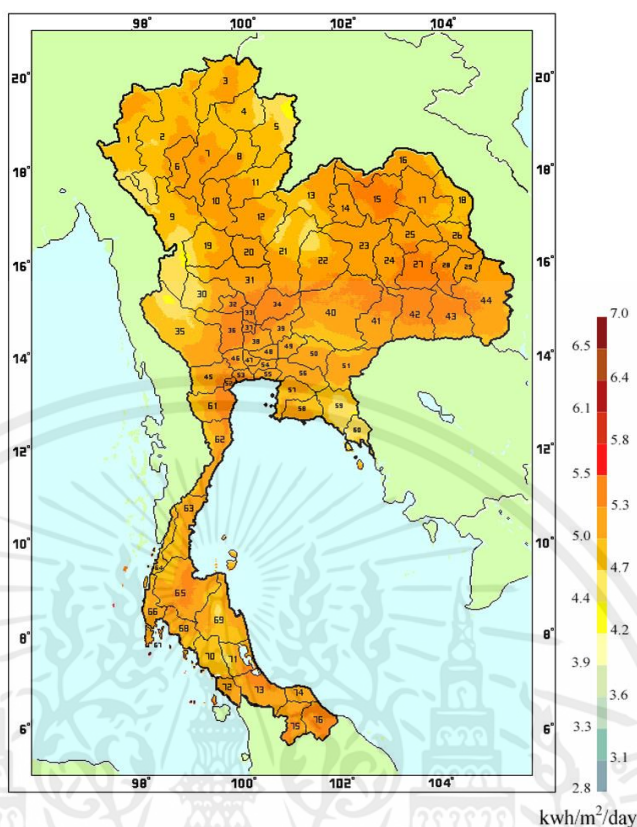
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

อย่างที่ทราบกันมาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันพลังงานที่ใช้เป็นพลังงานหลักส่วนใหญ่คือพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ใช้แล้วหมดไปและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น และในปัจจุบันนี้มีนักวิจัยหลายๆประเทศเริ่มที่จะทำวิจัยหาพลังงานทดแทนที่ไม่ทำลายสิ่งแวดล้อมและสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่จำกัด และในตอนนี้พลังงานที่น่าสนใจเป็นอย่างมากก็คือพลังงานแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตามพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติสามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่จำกัดโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายและเป็นพลังงานทางเลือกอีกทางหนึ่งในอนาคตที่นำมาใช้แล้วไม่ก่อมลพิษแก่โลก [1] อย่างไรก็ตามความค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะมีค่าลดลงเมื่อดวงอาทิตย์ใกล้ตกถึงแนวระนาบของพื้นดิน ดังนั้นจึงต้องหาวิธีการรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้และช่วยเพิ่มค่าความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ [2] มาใช้ประโยชน์ได้หลายประเภทโดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่การนำพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า และการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในรูปแบบพลังงานความร้อน [3] หนึ่งในวิธีที่น่าสนใจและมีประสิทธิภาพในใช้พลังงานทดแทนคือการใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาประเทศไทยของเราตั้งอยู่ใกล้กับเส้นศูนย์สูตรนั้นจึงทำให้มีค่าความเข้มข้นของแสงมาก พบได้ว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ในประเทศไทยจะรับรังสีจากดวงอาทิตย์สูงสุดในช่วงระหว่างเมษายนถึงพฤษภาคมจะมีค่าความเข้มของดวงอาทิตย์อยู่ 20-24 MJ/m²-day บริเวณที่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยรับรังสีเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 19-20 MJ/m²-day โดยคิดเป็นร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ในประเทศและพบว่าร้อยละ 50.2 ของประเทศจะรับรังสีจากดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 18-19 MJ/m²-day มีเพียงร้อยละ 0.5 ที่ได้รับค่าเฉลี่ยพลังงานต่อปีต่ำกว่า 16 MJ/m²-day เมื่อคำนวณความเข้มข้นของรังสีจากดวงอาทิตย์ทั่วประเทศต่อปีจะมีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m²-day แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพของพลังแสงอาทิตย์สูง[4]ตามรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียม [4]

ตารางที่ 1.1 แสดงให้เห็นได้ว่าในพื้นที่จังหวัดชุมพรก็มีค่าความเข้มข้นของแสงมีระดับค่าความเข้มแสงของรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ที่ค่อนข้างสูงและน่าจะนำมาใช้ประโยชน์กับงาน[5]ทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้จานรวมแสงให้จุดโฟกัสความร้อนสะท้อนมายังเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเพื่อให้เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

สถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์	Latitude	Longitude	ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน ปี2562 (MJ/m ² -day)											
			ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
ชุมพร	10.40° N	99.18° E	14.03	16.6	18.3	16.14	14.83	12.94	15.76	10.298	13.156	14.71	0	15.79
ระนอง	9.98° N	98.62° E	16.87	20.74	22.54	20.48	17.77	14.2	17.59	11.691	14.274	14.63	15.433	16.88
สุราษฎร์ธานี(ขุนหิน)	9.13° N	99.15° E	17.24	22.45	22.36	20.24	18.29	16.54	18.41	0	15.285	15.63	16.756	15.52
สุราษฎร์ธานี(เกาะสมุย)	9.47° N	100.05° E	13.62	20.15	22.32	22.71	21.72	17.35	19.62	15.952	14.996	18.25	15.515	15.29
ภูเก็ต	8.13° N	98.30° E	19.87	24.06	23.86	21.52	18.95	17.79	18.72	17.21	19.047	19.81	19.234	20.42
ตรัง	7.52° N	99.62° E	19.55	23.35	22.7	20.32	17.55	17.55	23.66	16.055	17.096	0	15.637	18.98
สงขลา	6.92° N	100.43° E	16.82	21.8	22.91	21.07	18.64	17.65	17.65	14.515	9.877	7.144	7.388	9.622
นราธิวาส	6.40° N	101.82° E	11.05	15.33	19.71	22.7	19.55	17.14	18.77	17.443	2.2	0	9.884	9.732

ตารางที่ 1.1 ผลการตรวจวัดข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย ปีพ.ศ. 2562 [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์จากงานรับแสงแบบพาราโบลิก และทดลองหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีการออกแบบการทดลอง เช่น อุณหภูมิ ค่าความเข้มแสง ค่าการดูดซับความร้อน และค่าประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เพื่อหาเงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสมและนำข้อสรุปจากการศึกษามาปรับใช้และนำไปต่อยอดและพัฒนาในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
- 1.2.2 ทดสอบการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1.3 ขอบเขตของเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ใช้งานรับแสงแบบพาราโบลาดิสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 เมตร และกระจกสะท้อนแสงขนาด 1.50*1.50 เมตร
- 1.3.2 หา capacity ของชุดรับแสงพาราโบลาดิสโดยการต้มน้ำ
- 1.3.3 ทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงภายใต้สภาวะบรรยากาศจริงที่ สจล.วิทยาเขตชุมพร
- 1.3.4 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถทำงานได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้าผ่านเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ



รูปที่ 1.2 แผนผังการดำเนินงานของการศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์สเตอริงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 แผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานของการศึกษาการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

กิจกรรม	ช่วงปี 2020-2021										
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
	2020	2020	2020	2020	2020	2021	2021	2021	2021	2021	2021
1. การทบทวนวรรณกรรม	↔										
2. การออกแบบจานรวมแสง		↔									
3. การติดตั้งเครื่องสเตอร์ลิง			↔								
4. ทดลองและเก็บผลการทดลอง							↔				
5. สรุปผลการทดลอง									↔		
6. การเขียนวิทยานิพนธ์										↔	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการทางวิชาการและงานที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 พลังงานจากแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานของความร้อนที่แผ่รังสีมาจากดวงอาทิตย์ ประกอบไปด้วยพลังงานแสงและพลังงานความร้อน สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตพลังงานได้หลายอย่าง นอกจากนี้พลังงานแสงอาทิตย์นั้นยังมีศักยภาพที่สูงกว่า พลังงานลม พลังงานจากมหาสมุทร พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล และพลังงานความร้อนใต้พิภพ [6] พลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆคือ

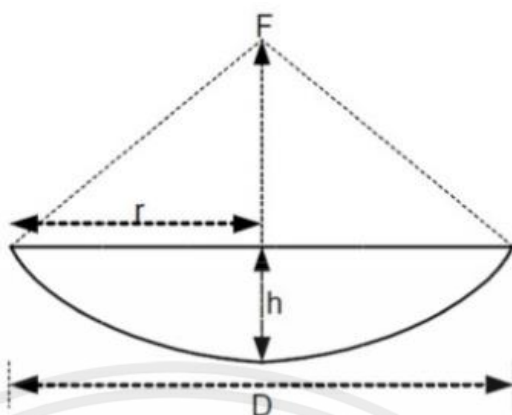
2.1.1 พลังงานที่เกิดจากแสงรูปแบบการนำพลังงานของแสงอาทิตย์มาใช้งาน แบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับวิธีการที่ทำให้พลังงานแสงการแปรรูปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งและการแจกจ่ายพลังงานที่ได้ใหม่นั้น รูปแบบแรกนี้เรียกว่า Active solar เป็นการใช่วิธีการของ Solar thermal ซึ่งเป็นการ เปลี่ยนพลังงานของแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อน และอีกรูปแบบหนึ่งก็คือ Passive solar เป็นวิธีการใช้ประโยชน์ทางอ้อม ได้แก่การออกแบบอาคารในประเทศหนาวให้รับแสงแดดได้ เต็มที่หรือการติดตั้งวัสดุที่ไวต่ออุณหภูมิ thermal mass เพื่อปรับสมดุลของอากาศในอาคาร หรือติดตั้งวัสดุที่มีคุณสมบัติกระจายแสง หรือการออกแบบพื้นที่ว่างให้อากาศหมุนเวียนโดยธรรมชาติ

2.1.2 พลังงานที่เกิดจากความร้อน เช่น พลังงานคลื่น พลังงานลม พลังงานน้ำ เป็นต้น

2.2 หลักการพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์แบบจานพาราโบลิก

เป็นระบบรวมแสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ความร้อนที่มากเพียงพอตามที่เราต้องการโดยการเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับจุดรวมของแสงโดยวิธีการใช้แผ่นสะท้อนแสงด้วยจานสะท้อนแสงรูปจานพาราโบลิกตามรูปที่ 2.1 เรียกว่าระบบจานพาราโบลิกจากแสงอาทิตย์ซึ่งจะได้ค่าพลังงานความร้อนที่สูงมากตรงบริเวณจุดโฟกัสของแผ่นจานสะท้อนแสงโดยจะใช้ควบคู่กับเครื่องยนต์ความร้อน (Sterling Engine) และถ้าพื้นที่ของกระจกต่อตัวรับมีปริมาณมากกว่า ทำให้สามารถรวมรังสีจากแสงอาทิตย์ได้ในปริมาณมาก [7]

จานสะท้อนแบบพาราโบลิก คืออุปกรณ์สะท้อน หรือกระจก ที่ใช้สะสมหรือรวบรวมพลังงาน เช่น แสง รูปร่างของมันคล้ายกับพาราโบลอยด์กลมจานสะท้อนแบบพาราโบล่าสามารถมีรูปร่างเป็นคลื่นระนาบตามแนวแกน ไปจนถึงคลื่นทรงกลมที่ม้วนวนเข้าสู่จุดโฟกัสจานสะท้อนแบบพาราโบลิกใช้ในการรวบรวมพลังงานจากที่ไกลๆ โดยการส่งผ่านความร้อนของแสงอาทิตย์สู่ลูกสูบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ที่ติดตั้งอยู่บนจุดโฟกัสของจานพาราโบลิกส่งผลให้เครื่องยนต์ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง [8] หากจุดโฟกัสของจานพาราโบลิกได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 จานพาราโบลิกดิส [25]

การหาระยะของจุดโฟกัสได้ดังนี้

$$\text{ระยะของจุดโฟกัส} \quad F = \frac{r^2}{4h} = \frac{D^2}{16h} \quad (2.1)$$

เมื่อ F คือระยะของจุดโฟกัส

D คือเส้นผ่านศูนย์กลางของจาน (มีหน่วยเป็นเมตรหรือฟุต)

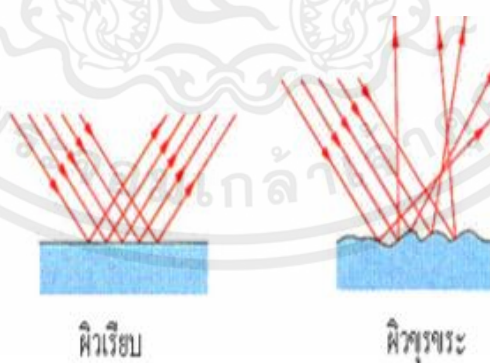
r คือรัศมีของจาน (มีหน่วยเป็นเมตรหรือฟุต)

h คือความลึกของจาน จากท้องจานถึงขอบจานในแนวตั้ง (มีหน่วยเป็นเมตรหรือฟุต)

การหาพื้นที่จานพาราโบลิกได้ดังนี้

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2.2)$$

เมื่อแสงเดินทางมากกระทบวัตถุแสงจะสะท้อนกลับไปยังตัวกลางเรียกว่า การสะท้อนหรือหักเห เมื่อเดินทางผ่านตัวกลางเรียกว่า การหักเห โดยธรรมชาติของแสงเมื่อเดินทางมากกระทบวัตถุ



รูป 2.2 แสงที่กระทบ [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยแสงที่สะท้อนออกมาจะเปลี่ยนแปลงตามพื้นผิว โดยถ้าพื้นผิวเรียบแสงสะท้อนจะเป็นระเบียบส่วนใหญ่ใช้เป็นผิวเรียบแต่ถ้าผิวขรุขระแสงสะท้อนจะกระจัดกระจายไม่เป็นระเบียบมันจะใช้งานได้ยากคนไม่นิยมใช้กันดูรูปที่ 2.2

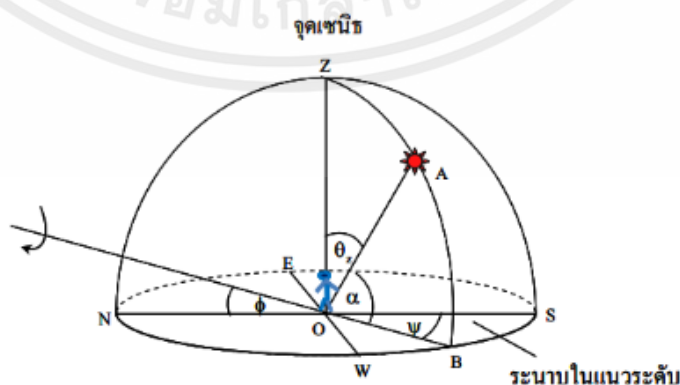
2.3 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าในการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะพิจารณาว่าท้องฟ้าเป็นครึ่งหนึ่งของทรงกลม ที่เรียกว่า ทรงกลมท้องฟ้า โดยมีผู้สังเกตเป็นศูนย์กลางเนื่องจากท้องฟ้ามีขนาดใหญ่มาก หรือมีรัศมีเป็นอนันต์ (infinity) ดังนั้น การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์จึงใช้มุมเพียง 2 มุม หรือใช้ส่วนโค้ง (arc) ของทรงกลม ท้องฟ้า 2 ส่วนโค้งก็สามารถระบุตำแหน่งได้ในงานด้านรังสีอาทิตย์สามารถบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้ 2 ระบบ [9] ดังนี้

1) ระบบที่ใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง (horizontal system) ระบบนี้จะอาศัยมุม 2 มุม ในการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (รูปที่ 2.3) ดังนี้

ก. มุมอาซิมุท (azimuth, Ψ) เป็นมุมที่วัดจากแนวทิศใต้ (OS ในรูปที่ 2.3 ไปยัง ภาพฉาย (projection) ของเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์บนระนาบในแนว ระดับ (OB) โดยมีค่าเป็นบวกถ้าเงาตั้งกล่าวอยู่ซีกตะวันออกและเป็นลบถ้าอยู่ซีกตะวันตกของ ท้องฟ้า หรือ $-180 \leq \Psi \leq 180$

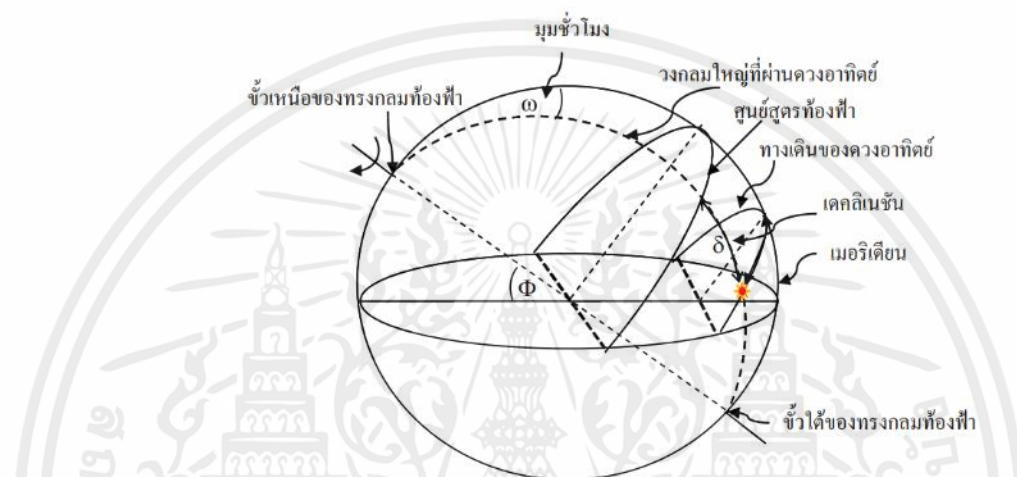
ข. มุมอัลติจูด (altitude, α) หรือมุมเงยเป็นมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อ ระหว่างผู้สังเกต กับดวงอาทิตย์ (OA) กับภาพฉายของเส้นตรงดังกล่าวบนระนาบในแนวระดับ (OB) ซึ่งจะมีค่าจาก 0 ถึง 90 องศา สำหรับมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับ ดวงอาทิตย์ (OA) กับเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับจุดเซนธิ (OZ) จะเรียกว่า มุมเซนธิ (zenith angle, θ_z) ซึ่งนิยมใช้บอก ตำแหน่งดวงอาทิตย์เช่นกัน โดยที่ $\theta_z = 90 - \alpha$ การบอกตำแหน่ง โดยใช้ระบบระนาบในแนวระดับ อ้างอิง มีข้อดีคือเข้าใจได้ง่าย แต่มีข้อด้อยคือค่ามุมอาซิมุทและมุมอัลติจูด จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้น [10] จนถึงดวงอาทิตย์ตกและเปลี่ยนแปลงไปตามวันในรอบปีด้วย



รูปที่ 2.3 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ระบบที่ใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง (equatorial system) จะบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ โดยการลากวงกลมใหญ่ (great circle) [10] จากขั้วหนึ่งของทรงกลมท้องฟ้ามาดวงอาทิตย์ไปยังอีกขั้วหนึ่ง (รูปที่ 2.4) โดยใช้ระยะห่างเชิงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับศูนย์สูตรท้องฟ้าบนวงกลมใหญ่ ดังกล่าวเป็นตัวแปรที่ 1 เพื่อบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ และเรียกตัวแปรนี้ว่า เดคลิเนชัน (declination) สำหรับตัวแปรที่ 2 จะไข่มุมบนผิวทรงกลมท้องฟ้าระหว่างวงกลมใหญ่ที่ลากมาดวงอาทิตย์และเส้นเมริเดียน โดยจะเรียกมุมนี้นี้ว่า มุมชั่วโมง (ω)



รูปที่ 2.4 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง [10]

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

$$\Gamma = 2\pi (d_n - 1) / 365 \quad (2.3)$$

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

ค่าของเดคลิเนชัน (สมการที่ 2.4) จะมีความคลาดเคลื่อนสูงสุดไม่เกิน 3 ลิปดาแต่การคำนวณโดยใช้สูตรดังกล่าวค่อนข้างยุ่งยาก ดังนั้นคูเปอร์ (Cooper, 1969) จึงเสนอสูตรที่ใช้งานได้สะดวกขึ้นจะมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่สามารถใช้กับงานด้านพลังงานรังสีอาทิตย์ทั่วไปได้ [22] สูตรดังกล่าวเขียนได้ดังสมการ

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360}{365} (d_n + 284)\right] \quad (2.4)$$

เมื่อ δ คือเดคลิเนชัน (องศา)

Γ คือ มุมวัน (day angle) (เรเดียน) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ (2.3)

กรณีของมุมชั่วโมง (ω) จะแปรตามเวลาที่ใช้ตำแหน่งดวงอาทิตย์อ้างอิงหรือเวลาดวงอาทิตย์ (solar time) ช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนจากเส้นเมริเดียนที่อยู่ตรงศีรษะของผู้สังเกตไปทางทิศตะวันตกจนกลับมายังตำแหน่งเดิมอีกครั้งจะใช้เวลา 24 ชั่วโมง ในขณะที่เดียวกันมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ก็จะวนกลับมาครบรอบ หรือ 360 องศา จะเห็นได้ว่าดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ด้วยอัตรา 15 องศาต่อชั่วโมง ดังนั้นเราจึงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมชั่วโมงกับเวลาดวงอาทิตย์ได้ [11] ดังสมการที่ 2.5

$$\omega = 15(12 - ST) \quad (2.5)$$

เมื่อ ω = มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ (องศา)

ST = คือเวลาดวงอาทิตย์ (ชั่วโมง)

เวลาดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากเวลามาตรฐานท้องถิ่น (local standard time) หรือเวลาตามนาฬิกาที่ใชในชีวิตประจำวัน อธิบายในหัวข้อถัดไป

2.4 เวลาและมุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์

เวลาดวงอาทิตย์เป็นเวลาที่ไม่สม่ำเสมอกล่าวคือความยาวนานของแต่ละวันไม่เท่ากัน โดยจะแปรค่าไปตามเวลาในรอบปีทั้งนี้เพราะวงโคจรของโลกเป็นวงรีทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของโลกรอบดวงอาทิตย์ที่ตำแหน่งต่างๆ ในวงโคจรมีค่าไม่เท่ากันโดยที่ตำแหน่งที่โลกอยู่ใกล้ดวงอาทิตย์โลกจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงกว่าที่ตำแหน่งอื่นๆ ในการใช้เวลาดวงอาทิตย์เปรียบเทียบกับเหตุการณ์ต่างๆ จึงมีความยุ่งยาก

นักวิทยาศาสตร์จึงได้กำหนดเวลาที่สม่ำเสมอขึ้น โดยนำเวลาดวงอาทิตย์ในวันที่ 1 มกราคม ปี ค.ศ. 1900 มาแบ่งเป็น 86,400 ส่วน ซึ่งเรียก 1 ส่วนว่า 1 วินาทีและเรียกเวลานี้ว่าเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (mean solar time) [12]

เนื่องจากเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ยเป็นเวลาสม่ำเสมอจึงสามารถวัดได้ด้วยคาบของการสั่นต่างๆ ที่คงที่ เช่นคาบการแกว่งของลูกตุ้มนาฬิกาและการสั่นของผลึกควอตซ์เพนตน จะกำหนดได้ว่าเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย ณ เมืองกรีนวิช (Greenwich) ประเทศอังกฤษเป็นเวลามาตรฐานสากล (universal time, UT) หรือเวลากรีนิช (Greenwich mean time, GMT) ประเทศต่างๆ จะแบ่งเวลาออกเป็นเขตๆ เทียบกับเวลากรีนิช โดยแต่ละเขตจะกำหนดเส้นลองจิจูดมาตรฐาน (standard longitude, L_s) และในเขตนั้นๆ จะใช้เวลาเดียวกัน โดยเส้นลองจิจูดมาตรฐานนี้จะห่างจากลองจิจูดของกรีนวิชเป็นจำนวนเท่าของ 15 องศา เช่น เส้นลองจิจูดมาตรฐานของประเทศไทยเท่ากับ 105 องศา (15×7) นั่นคือเวลาของประเทศไทยจะเร็วกว่าเวลา กรีนวิช 7 ชั่วโมง โดยทั่วไปเวลาในแต่ละเขตจะเรียกว่า เวลามาตรฐานท้องถิ่น (local standard time, LST) ซึ่งเป็นเวลาที่อ่านได้จากนาฬิกา (clock time) และ การใช้ในชีวิตประจำวัน[12]

เวลาดวงอาทิตย์และเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ยมีความแตกต่างกัน ความแตกต่างนี้สามารถแทนได้ด้วยสมการเวลา (equation of time) ดังนี้

$$E_t = 229.18(0.000075 + 0.001868\cos\Gamma - 0.032077\sin\Gamma - 0.014615\cos 2\Gamma - 0.04089\sin 2\Gamma) \quad (2.6)$$

เมื่อ E_t คือ ความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (นาทีก)

Γ คือ มุมวัน (day angle) (เรเดียน)

เวลาดวงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์กล่าวคือเมื่อ เวลา 12.00 นาฬิกา ตามเวลาดวงอาทิตย์ค่า $\omega = 0$ องศาเวลาดวงอาทิตย์เป็น 11.00 นาฬิกา $\omega = 15$ องศา เวลาดวงอาทิตย์นี้สามารถคำนวณได้จากเวลามาตรฐานท้องถิ่น สมการเวลาและ ผลต่างระหว่างตำแหน่งเส้นลองจิจูดมาตรฐาน [11] และเส้นลองจิจูดของตำแหน่งที่ต้องการคำนวณ ซึ่งเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$ST = LST + 4(L_s - L_{loc}) + E_t \quad (2.7)$$

เมื่อ ST คือ เวลาดวงอาทิตย์ (ชม.:นาทีก)

LST คือ เวลามาตรฐานท้องถิ่น (ชม.:นาทีก)

L_s คือ ลองจิจูดมาตรฐาน (องศา)

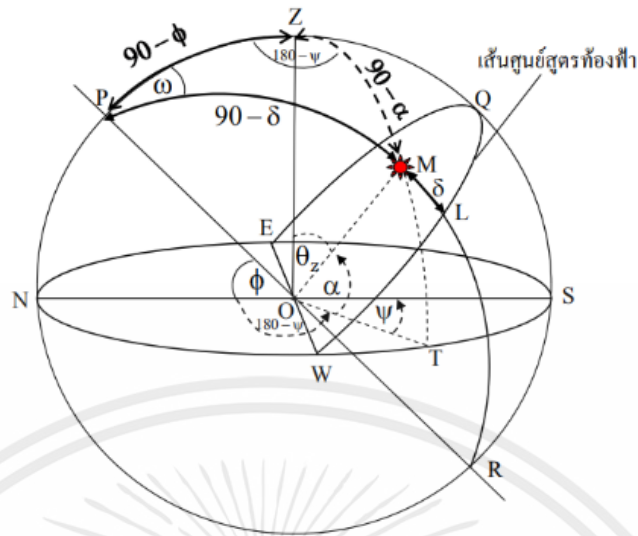
L_{loc} คือ ลองจิจูดของตำแหน่งที่ต้องการคำนวณ (องศา)

E_t คือ ความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (นาทีก)

ค่าของ $4(L_s - L_{loc})$ มีหน่วยเป็นนาทีกและค่าของ L_s และ L_{loc} เป็นลบ เมื่ออยู่ทางวันออกของกรีนิช และเป็น บวก เมื่ออยู่ทางตะวันตกของกรีนิช ดังนั้นถ้าเราทราบเวลามาตรฐานท้องถิ่นหรือเวลาตามนาฬิกา เราจะ สามารถคำนวณเวลาดวงอาทิตย์ได้จากนั้นจะนำไปแทนค่าในสมการ (2.5) จะได้ความมุมชั่วโมงตามที่ต้องการ

2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของระบบการบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์

สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรของระบบการบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ไคระนาบ ในแนวระดับอ้างอิงกับระบบที่ไคระนาบศูนย์สูตรอ้างอิงได้โดยพิจารณาจากรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ทรงกลมท้องฟ้าและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระบบที่ไซเรนนาบในแนวระดับอ้างอิง [10]

ระบบที่ไซเรนนาบศูนย์สูตรอ้างอิง เมื่อ O เป็นศูนย์กลางของทรงกลม ท้องฟ้า PR เป็นแกนหมุนทรงกลมท้องฟ้า ϕ เป็น ละติจูดของดวงสังเกต M เป็นดวงอาทิตย์ NWE เป็นระนาบในแนวระดับ EWQ เป็นระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้า NZS เป็น ระนาบเมอริเดียน PMR เป็นวงกลมใหญ่ที่ลากผ่านดวงอาทิตย์ไปยังขั้วทั้งสองของ ทรงกลมท้องฟ้า δ เป็นเดคลิเนชัน , ω เป็นมุมชั่วโมง , α เป็นมุมอัลติจูด และ ψ เป็นมุมอาซิมุม

จากรูปที่ 2.5 เราสามารถบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์ในระบบที่ไซเรนนาบในแนวระดับ อ้างอิงด้วยมุมอัลติจูด α และมุมอาซิมุม ψ ในขณะเดียวกันเราก็สามารถบอกตำแหน่งดวงอาทิตย์ในระบบที่ไซเรนนาบศูนย์สูตรอ้างอิงด้วยเดคลิเนชัน δ และมุมชั่วโมง ω [11]

สามเหลี่ยม PZM เป็นสามเหลี่ยมบนผิวกลมท้องฟ้า โดยมีด้านทั้ง 3 เป็นส่วนหนึ่งของ วงกลมใหญ่ที่มีจุดศูนย์กลาง O รวมกัน เนื่องจากส่วนโค้ง PL มีขนาดเชิงมุม 90 องศาและ $LM = \delta$ ดังนั้น $PM = 90 - \delta$ ทำนองเดียวกันส่วนโค้ง TZ มีขนาดเชิงมุม 90 องศาและส่วนโค้ง $TM = \alpha$ ดังนั้น $ZM = 90 - \alpha$ เรา สามารถใช้วิธีเดียวกันพิสูจน์ว่าส่วนโค้ง $PZ = 90 - \phi$ จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่า ระนาบ ZON กับระนาบ ZOT ทำมุมกันเท่ากับ $180 - \psi$ ดังนั้นมุม $PZM = 180 - \psi$ จากความสัมพันธ์ระหว่างมุมกับด้านของสามเหลี่ยม PZM ตามสูตรโคซายน เราสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$\cos ZM = \cos PZ \cos PM + \sin PZ \sin PM \cos MPZ \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนคาบมุมและคานต่างๆ ในสมการ (2.8) จะได้

$$\cos(90 - \alpha) = \cos(90 - \phi)\cos(90 - \delta) + \sin(90 - \phi)\sin(90 - \delta)\cos\omega \quad (2.9)$$

หรือ
$$\sin \alpha = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (2.10)$$

จะได้
$$\alpha = \sin^{-1}[\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega] \quad (2.11)$$

สูตรคำนวณหามุมอาซิมุท ψ จะได้สมการดังนี้

$$\psi = \sin^{-1}\left[\frac{\sin\omega\cos\delta}{\cos\alpha}\right] \quad (2.12)$$

ดังนั้นถ้าเรารู้ค่า ω และ δ สามารถใช้สมการ (2.10) คำนวณหาค่า α แลวนำไปแทนในสมการ (2.11) ก็จะหาคามุมอาซิมุท (ψ) ได้[11]

2.6 การหาค่าความร้อนจากดวงอาทิตย์

จะใช้เครื่องพาราโนมิเตอร์หาค่าความร้อนจากดวงอาทิตย์มาใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนต่างๆ มีหน่วยเป็น (W/m^2) เพื่อนำมาทดลองกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเพื่อให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ทำการขับเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ [23]

หาปริมาณความร้อนแสงอาทิตย์ที่ได้จากการรวมแสงได้ดังนี้

$$Q_{in} = I_{b,n}AR \quad (2.13)$$

เมื่อ Q_{in} คือ ปริมาณความร้อนแสงอาทิตย์ที่ได้จากการรวมแสง (J)

$I_{b,n}$ คือ รังสีดวงอาทิตย์โดยตรง (W/m^2)

A คือ พื้นที่จานพาราโบลิก (cm^2)

R คือ ค่า emissivity ของแก้ว (มีค่าเท่ากับ 0.85)

หารังสีดวงอาทิตย์โดยตรงได้จากสมการดังนี้

$$I_{b,n} = (I_{t,h} - I_{d,n})/\cos\theta_z \quad (2.14)$$

เมื่อ $I_{t,h}$ คือ รังสีดวงอาทิตย์รวม (W / m^2)

$I_{d,n}$ คือ รังสีแนวกระจาย (W / m^2)

θ_z คือ มุมอาซิมุท ($^{\circ}C$)

ค่าของ $I_{t,h}$ และ $I_{d,n}$ หาได้จากเครื่องพาราโนมิเตอร์ได้เลยแต่ต้องปรับหน่วยให้เป็น (W / m^2)

หาประสิทธิภาพตัวดูดซับความร้อนได้ดังนี้

$$Q_{absorbed} = mc_p\Delta T \quad (2.15)$$

เมื่อ $Q_{absorbed}$ คือ ประสิทธิภาพตัวดูดซับความร้อน (J)

m คือ มวลของน้ำ (KG)

c_p คือ ความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิน้ำคงที่ ($4168 J/kg K$)

ΔT คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำ ($^{\circ}C$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาประสิทธิภาพคอนเซนเตรเตอร์ได้ดังนี้

$$\eta_{\text{con}} = Q_{\text{absorbed}} / Q_{\text{in}} \quad (2.16)$$

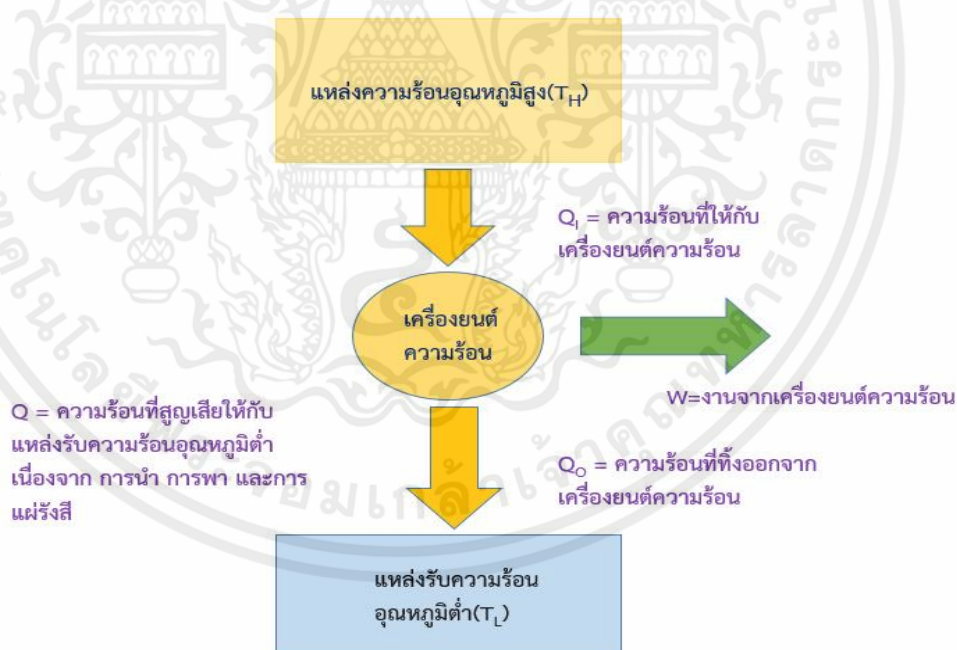
เมื่อ η_{con} คือ ประสิทธิภาพคอนเซนเตรเตอร์ (%)

Q_{absorbed} คือ ประสิทธิภาพตัวดูดซับความร้อน (J)

Q_{in} คือ ปริมาณความร้อนที่ดูดซับโดยน้ำ (J)

2.7 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อนระบบปิด 2 จังหวะใช้ความร้อนจากภายนอก (เครื่องยนต์สันดาปภายนอก) สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลาย [20] แต่ต้องมีแหล่งพลังงานความร้อนทำงานโดย อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อความร้อนในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นจะทำให้อากาศในกระบอกสูบขยายตัว และเมื่อเพิ่มความเย็นให้กับกระบอกสูบด้านตรงข้ามก็จะทำให้อากาศหดตัวทำให้เกิดแรงดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่สลับไปมา ที่อยู่ในกระบอกสูบเครื่องยนต์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล ในปี 1987 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการจดสิทธิบัตรโดยเมย์เยอร์ [13] ความร้อนจะถูกป้อนให้กับเครื่องยนต์ทางด้านใดด้านหนึ่งแล้วผลิตงานออกมา เครื่องยนต์ความร้อนจะผลิตพลังงานกลออกมา [14] เมื่อยังคงมีความร้อนป้อนอยู่ ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 หลักการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง [20]

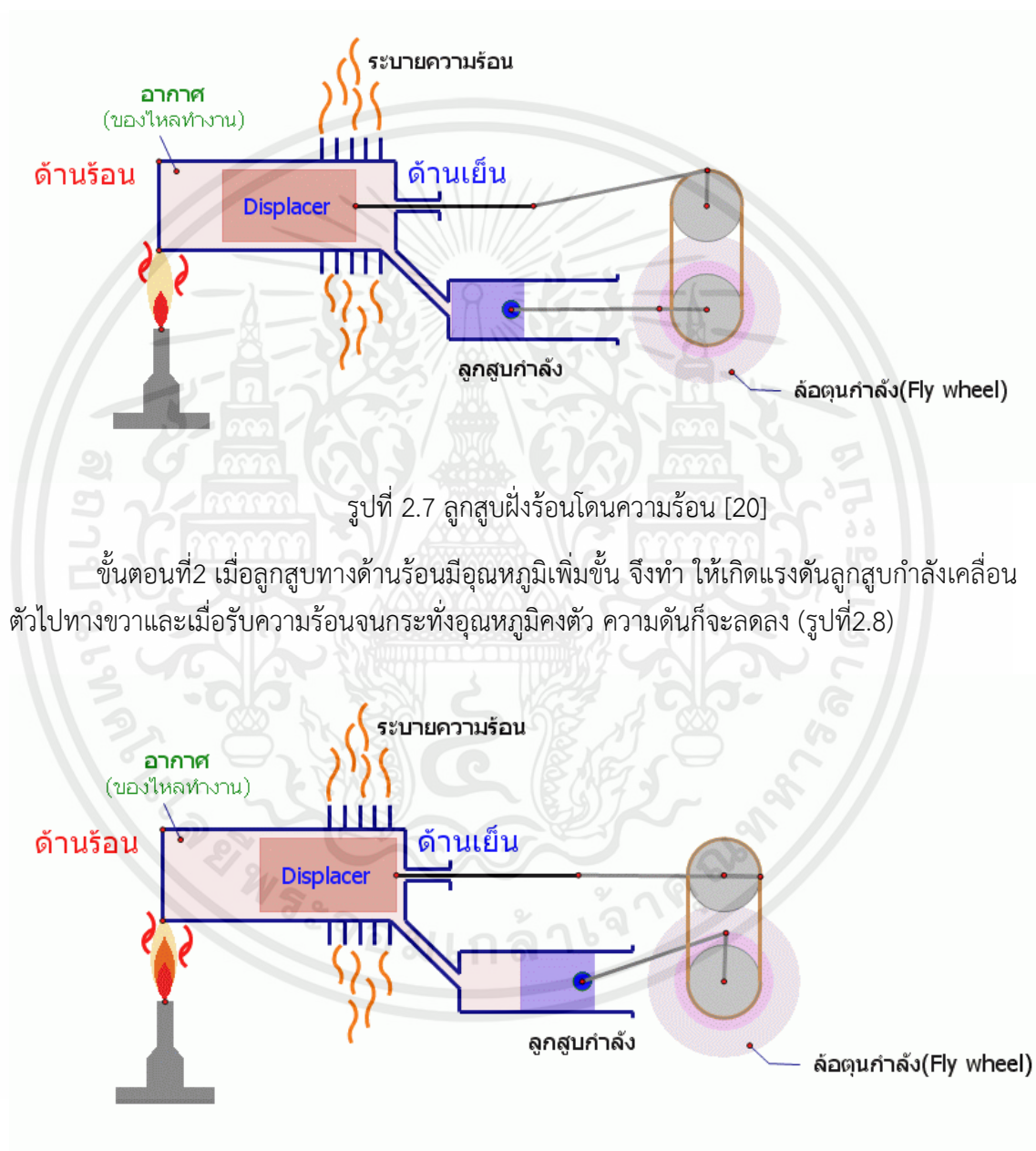
2.7.1 การทำงานของเครื่องยนต์เป็นไปตามวัฏจักรสเตอร์ลิง ประกอบไปด้วยขบวนการทำงาน 4 ขบวนการ P-V และ T-S diagram

- คือ
- 1) ขบวนการอัดแบบอุณหภูมิคงที่ภายใต้การระบายความร้อน
 - 2) ขบวนการปริมาตรคงที่ภายใต้การได้รับความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ขบวนการขยายตัวแบบอุณหภูมิกึ่งที่ภายใต้การได้รับความร้อน
- 4) ขบวนการปริมาตรคงที่ภายใต้การระบายความร้อน

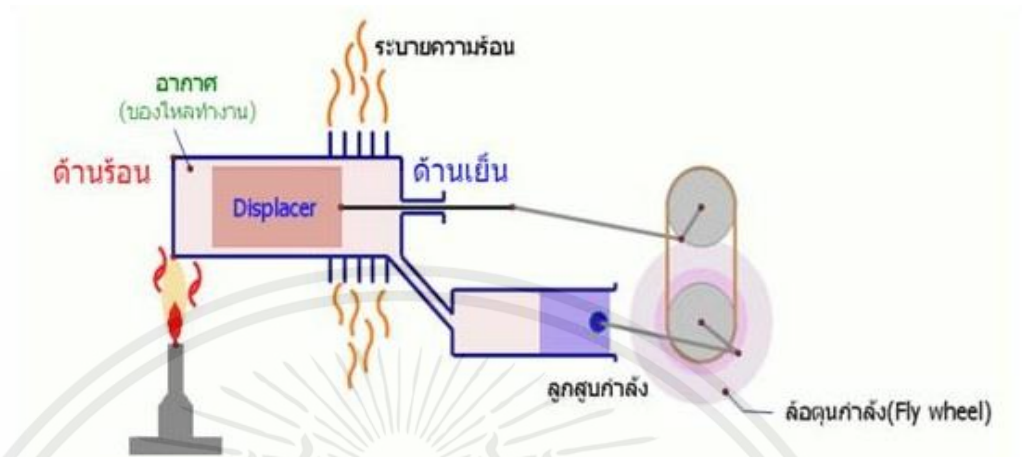
ขั้นตอนที่1 ให้ความร้อนกับอากาศภายในกระบอก จึงทำให้มีความดันก๊าซเพิ่มขึ้นดันให้ลูกสูบไล่เคลื่อนที่มาทางด้านขวา ในขณะที่ลูกสูบกำลังยังคงหยุดนิ่ง (รูปที่2.7)



ขั้นตอนที่2 เมื่อลูกสูบทางด้านร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น จึงทำให้เกิดแรงดันลูกสูบกำลังเคลื่อนตัวไปทางขวาและเมื่อได้รับความร้อนจนกระทั่งอุณหภูมิกึ่งตัว ความดันก็จะลดลง (รูปที่2.8)

รูปที่ 2.8 ลูกสูบฝั่งร้อนส่งแรงดันไปกระบอกสูบฝั่งเย็น [20]

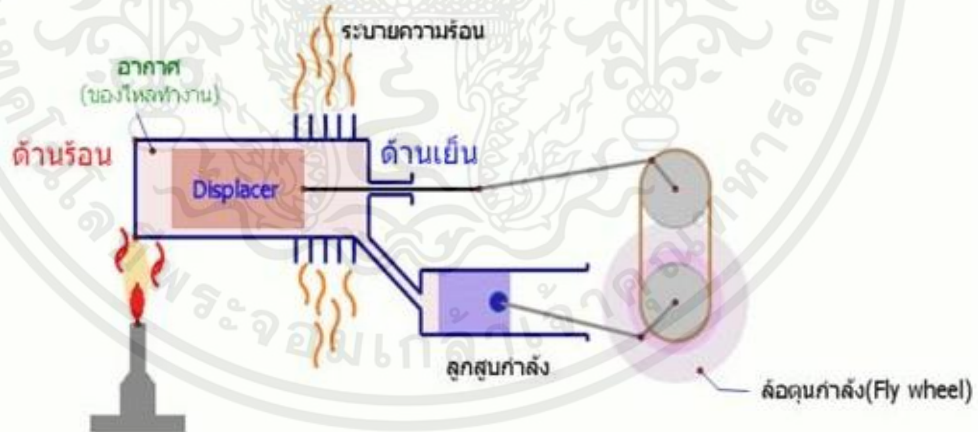
ขั้นตอนที่3 เมื่อลูกสูบกำลังเลื่อนมาทางขวาทำให้ล้อตุนกำลังจะหมุนไปพร้อมกับต้นลูกสูบไล่เคลื่อนที่ไปทางซ้าย เพื่อไล่ความร้อนออกมาทางด้านเย็นและระบายออกสู่ภายนอกเครื่องยนต์สเตอร์



ลิง (รูปที่2.9)

รูปที่ 2.9 ลูกสูบฝั่งเย็นเกิดการเคลื่อนที่ [20]

ขั้นตอนที่4 เมื่อลูกสูบกำลังเคลื่อนกลับมาทางขวาล้อตุนกำลังก็หมุนไปพร้อมกับดึงลูกสูบไล่กลับมาทางซ้ายซึ่งทั้งหมดได้กลับมาอยู่ตำแหน่งเดียวกับขั้นตอนที่1 และวนเช่นนี้ไปเป็นวัฏจักร(รูปที่ 2.10)



รูปที่ 2.10 ลูกสูบทั้งสองเคลื่อนที่สลับไปมา [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.2 วัฏจักรสเตอร์ลิง

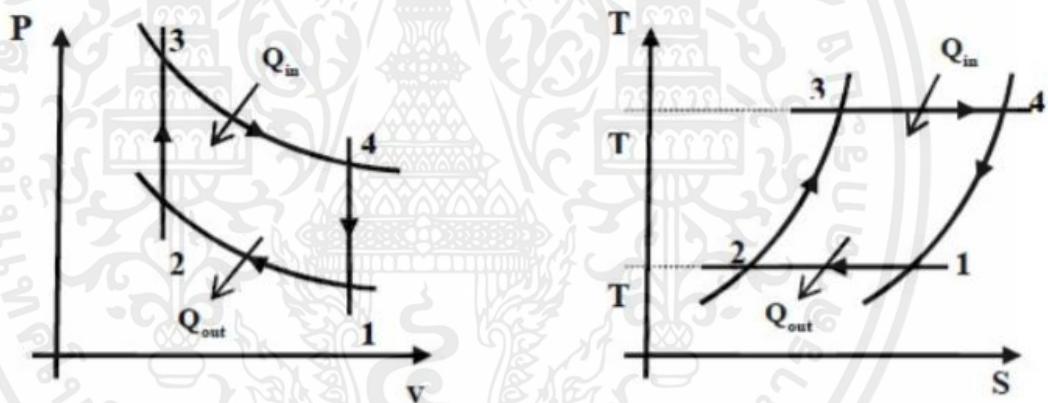
วัฏจักรสเตอร์ลิงเป็นการแทนที่กระบวนการความดันคงที่ 2 กระบวนการในวัฏจักรอีริคสันซึ่งจะคล้ายกับในกรณีของวัฏจักรอีริคสันภายใต้กระบวนการปริมาตรคงที่ เนื่องจากปริมาณความร้อนที่เพิ่มเข้าไปและปริมาณความร้อนที่ปล่อยออกมาจะเท่ากัน ถ้าที่ตัว Regenerative สามารถนำความร้อนกลับมาใช้ได้ทั้งหมดการให้และรับความร้อนก็จะกลายเป็นกระบวนการอุณหภูมิคงที่ซึ่งประสิทธิภาพเชิงความร้อนทางทฤษฎี ของวัฏจักรนี้ก็เท่ากับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์ฉะนั้น ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะสามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ [15]

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อน } \eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (2.17)$$

โดยที่ T_L คือกระบอกสูบฝั่งเย็น

T_H คือกระบอกสูบฝั่งร้อน

นี่ก็คือกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความดันกับปริมาตร (P-V diagram) และอุณหภูมิกับเอนโทรปี (T-S diagram) ของก๊าซในกระบอกสูบ (รูปที่ 2.11)



รูปที่ 2.11 (P-V diagram) และ (T-S diagram) [20]

การพิจารณาหาอุณหภูมิและความดันของก๊าซในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ในแต่ละสถานะสามารถวิเคราะห์ได้ตามกระบวนการดังนี้

- เมื่อ T คืออุณหภูมิ
- P คือความดัน
- V คือปริมาตร
- r_c คืออัตราส่วนการอัด

กระบวนการ 1→2 เป็นกระบวนการอัดตัวอุณหภูมิคงที่ ซึ่งจากสมการก๊าซอุดมคติ โดยที่

$$T_1=T_2$$

จะได้ว่า $P_1V_1=P_2V_2$ หรือ $P_2=P_1 \times r_c$ (2.18)

กระบวนการ 2→3 เป็นการให้ความร้อนแบบกระบวนการปริมาตรคงที่ จากสมการก๊าซอุดมคติ

โดยที่ $V_3 = V_2$ จะได้ $\frac{P_2}{T_2} = \frac{P_3}{T_3}$ หรือ $P_3=T_3 \times \frac{P_2}{T_2}$ (2.19)

กระบวนการ 3→4 เป็นการขยายตัวแบบกระบวนการอุณหภูมิคงที่ จากสมการก๊าซอุดมคติ โดยที่ $T_4=T_3$

จะได้ $P_3V_3= P_4V_4$ หรือ $P_4= P_3 \times \frac{1}{r_c}$ (2.20)

2.8 หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟา

ในหัวข้อนี้เราจะเลือกศึกษาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟาเพราะจะต้องการทราบข้อมูลและหลักการคิด การคำนวณของเครื่องยนต์นี้ เพื่อนำไปใช้กับการสร้างเครื่องยนต์อันนี้ขึ้นมาในการทำงาน

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแอลฟา จะมีการทำงานของลูกสูบฝั่งร้อนและฝั่งเย็น ชุดกระบอกสูบฝั่งร้อนและชุดกระบอกสูบฝั่งเย็นจะทำมุมตั้งฉากกันหรือ 90 องศา โดยมีก้านสูบของชุดลูกสูบทั้ง 2 ฝั่ง มีจุดเชื่อมต่อกับเพลาคือเหียงที่จุดเดียวกัน [15]

การหาปริมาตรรวมในกระบอกสูบ

หาได้จาก $V=T_H+T_C$ (2.21)

โดยที่ T_H คือปริมาตรของกระบอกสูบฝั่งร้อน

T_C คือปริมาตรของกระบอกสูบฝั่งเย็น

การหาปริมาตรมากที่สุดในกระบอกสูบ (ลูกสูบฝั่งร้อนจะมีระยะชักเท่ากับ $L/2$ ลูกสูบฝั่งเย็นมีระยะชักเท่ากับ L)

หาได้จาก $V_{\max}=T_H+T_C= \frac{\pi d^2(\frac{L}{2})}{4} + \frac{\pi d^2(L)}{4}$ (2.22)

โดยที่ L คือ ขนาดระยะชักของลูกสูบ

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ

หาปริมาตรน้อยสุดในกระบอกสูบ (ลูกสูบฝั่งร้อนมีระยะชักเท่ากับ $L/2$ ลูกสูบฝั่งเย็นมีระยะชักเท่ากับศูนย์)

หาได้จาก $V_{\min}=T_H= \frac{\pi d^2(\frac{L}{2})}{4}$ (2.23)

จะได้อัตราส่วนการอัดเท่ากับ

$$r_c = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (2.24)$$

การคำนวณหากำลังงานและประสิทธิภาพของเครื่อง

ความดันในกระบอกสูบสามารถใช้กฎของก๊าซอุดมคติได้

คือ $PV = mRT$ (2.25)

โดยที่ m คือมวลของก๊าซ ; $m = \rho v$ (ρ คือความหนาแน่นของอากาศ)

R คือค่าคงที่ของก๊าซ

T คืออุณหภูมิของก๊าซในกระบอกสูบ

การหากำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและประสิทธิภาพ

$$P_G = IE \quad (2.26)$$

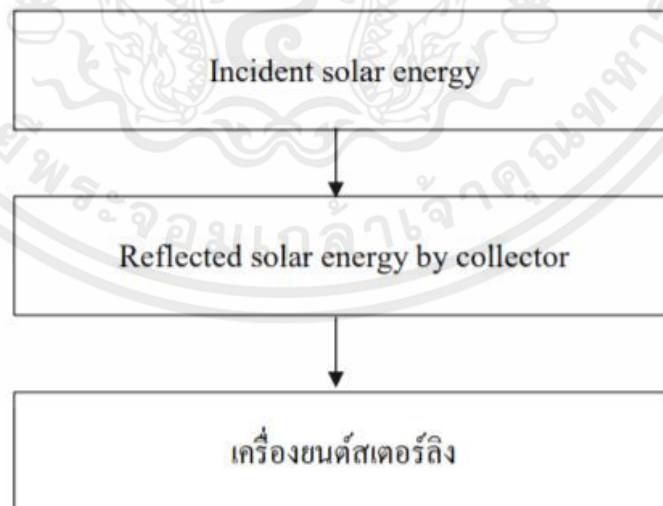
โดยที่ P_G คือ กำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

I คือ แอมมิเตอร์

E คือ โวลต์มิเตอร์

2.9 หลักการเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจากพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะได้รับความร้อนจากแสงดวงอาทิตย์ไปยังจุดที่รวมแสง ทำให้เกิดความร้อน ที่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงและเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะขับเคลื่อนอยู่ตลอด ถ้าความร้อนหายไป เครื่องยนต์จะค่อยๆหยุดทำงานลง หลักการทำงานดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 หลักการเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจากพลังงานแสงอาทิตย์ [20]

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญญา และสมชาย [16] ได้ศึกษาเกี่ยวกับสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำโดยใช้เครื่องจำลองรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งให้ความร้อน เครื่องยนต์ที่ทดสอบเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบแกมมาโดยเครื่องยนต์แบบลูกสูบกำลังสี่ลูกสองลูกโดยมีลูกสูบสองตัวทำงานจังหวะเดียวกัน การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องยนต์จะใช้ความร้อนจากเตาก๊าซเป็นแหล่งพลังงานความร้อน ค่าความแตกต่างของแรงบิดของเครื่องยนต์ กำลังเพลลาและประสิทธิภาพเชิงความร้อนวัดได้จากความเร็วเครื่องยนต์และสามารถหาสมรรถนะของเครื่องยนต์ ค่าที่ได้จากการทดสอบของเครื่องยนต์ได้รับการตรวจสอบความถูกต้องและผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสำหรับเครื่องยนต์ลูกสูบคู่กำลังทำงานได้เมื่อป้อนความร้อนสูงสุด 2355 J/s ที่อุณหภูมิ 589 K เครื่องยนต์จะให้แรงบิดสูงสุด 1.222 Nm ที่ความเร็วรอบ 67.7 รอบต่อนาที กำลังเพลลาสูงสุด 11.8 วัตต์ที่ความเร็วรอบ 133 รอบต่อนาทีและประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดประมาณ 0.494 % ที่ความเร็วรอบ 133 รอบต่อนาที สำหรับเครื่องยนต์สี่ลูกสูบจะรับความร้อนสูงสุด 4,041 J/s ที่อุณหภูมิด้านร้อน 771 K เครื่องยนต์ผลิตแรงบิดสูงสุด 10.55 Nm ที่ 28.5 รอบต่อนาทีกำลังเพลลาสูงสุด 32.7 วัตต์ที่ 42.1 รอบ/ นาที และประสิทธิภาพเชิงความร้อน 0.809 % ที่ 42.1 รอบ/นาที โดยประมาณ

ปัญญา และสมชาย [17] ได้ทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิต่ำขนาดเล็กเป็นต้นกำลังขับเคลื่อนไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้ตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลาและเครื่อง จำลองรังสีอาทิตย์เป็นแหล่งให้พลังงาน ผลจากการทดสอบพบว่ากำลังที่ได้และประสิทธิภาพจะเพิ่มมากขึ้นตามค่าความเข้มของรังสีตรงที่ขนานกับแกนของจานพาราโบลา

ปัญญา และสมชาย [18] รวบรวมเอกสารสร้างและศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีอุณหภูมิต่างกันในช่วงอุณหภูมิต่ำ ให้เครื่องยนต์เชื่อมต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็กและทดสอบกับพลังงานแสงอาทิตย์จริงโดยใช้จานพาราโบลาเป็นแหล่งความร้อน ซึ่งได้รายงานผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่แท้จริง ความแตกต่างกำลังของเครื่องยนต์รวมถึงค่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและประสิทธิภาพโดยรวมที่ได้จากความเข้มรังสีโดยตรง

Hasnat และคณะ [19] ได้วิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับการออกแบบเชิงความร้อนของตัวรวมรังสีอาทิตย์แบบจานพาราโบลา โดยพบว่าเมื่อใช้วัสดุสะท้อนแสงที่มีค่าการสะท้อน 0.7 ระยะโฟกัสของจาน 1 เมตร ใช้ตัวรับความร้อนเป็นแบบแผ่นราบทาสีดำ สามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ถ่ายเทความร้อนจากผิวของตัวรับความร้อนไปยังน้ำได้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนและผลจากการออกแบบจะช่วยให้ได้ระบบที่เหมาะสมกับสภาวะการใช้งานมากยิ่งขึ้น ข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องนั้นยังไม่มีรายงานผลเปรียบเทียบการทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนของระบบเครื่องยนต์และจานรวมรังสีอาทิตย์แบบการทดลองและเชิงคำนวณที่มีรายละเอียดเพียงพอในประเทศไทย

กฤษฎางค์ ศุภระมุล [22] งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบสร้างและประเมินผลการปฏิบัติงานแบบ 2 ชั้นตอน ชั้นแรกสร้างด้วยเครื่องสแตนเลสขัดเงา (SUS 400) เพื่อสร้างแผ่นสะท้อนแสงพาราโบลาชั้นปฐมภูมิ (ขนาด 1.489 ม. × 1.489 ม.) ชั้นตอนที่สองสร้างจากกระจกหลายชั้นเพื่อสร้างตัวสะท้อนแสงรูปทรงไฮเปอร์โบลิก (0.13 ม. × 1.489 ม.) ท่อทองแดงทาสีดำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (27.2 มม.) หุ้มด้วยหลอดแก้วเป็นตัวรับ ติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์แกนเดียว เพื่อติดตามทิศทางการแพร่กระจายของลำแสงของรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้น้ำเป็นเครื่องทำความร้อน ถ่ายโอนของเหลว ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนและไหลที่อุณหภูมิสูง (100°C) ถึงเก็บน้ำคือ ประดิษฐ์ด้วยสแตนเลสขนาด 40 ลิตร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดคือ 23.43% ประสิทธิภาพเชิงแสงเท่ากับ 76% และความเข้มข้นทั้งหมดเท่ากับ 27.08

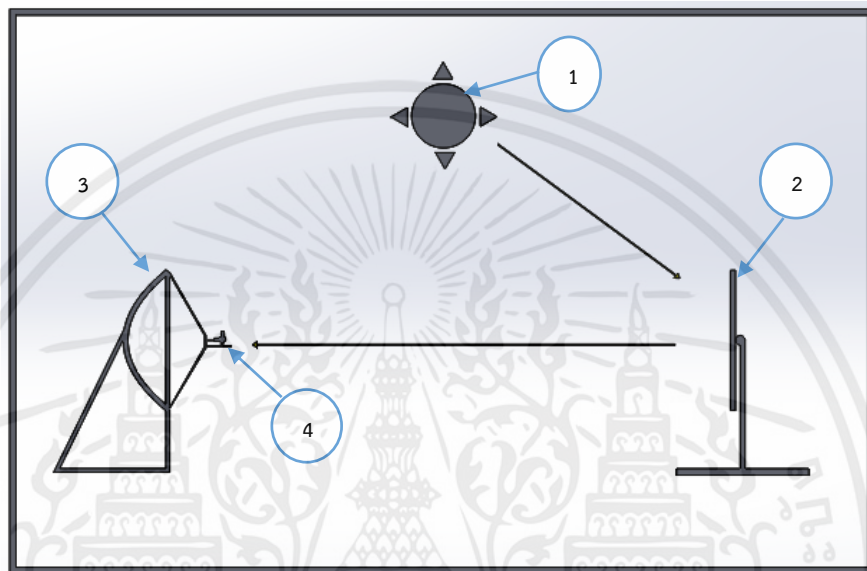
กฤษฎางค์ ศุภระมุล [23] ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทดลองของงานแบบพาราโบลา 2 ชั้นตอนในห้องปฏิบัติการ โดยทำการทดลองโดยใช้ดวงอาทิตย์จริงโดยใช้จานพาราโบลาเป็นแหล่งความร้อน ผลลัพธ์จากการทดสอบประสิทธิภาพโดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับรังสีดวงอาทิตย์และจานคู่พาราโบลา ว่าประสิทธิภาพคอนเดนเซอร์สูงสุดคือ 26.291% เครื่องยนต์ให้กำลังสูงสุด 0.359 W ที่ 55.6 รอบต่อนาที กำลังไฟฟ้า 0.27 W ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสูงสุด 79.021 % และประสิทธิภาพความร้อนโดยรวมสูงสุด 0.25 % โดยประมาณ อินพุตความร้อนเฉลี่ยถึงหัวฉีดคือ 1936.07 W และสำหรับเครื่องยนต์โดยเฉลี่ย 180.28 W ตามลำดับ ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ารวมอยู่ที่ 3.71%

กฤษฎางค์ ศุภระมุล [24] ศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและงานรับรังสีแสงอาทิตย์โดยใช้รังสีจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน โดยสร้างแบบจำลองความร้อนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของระบบโดยวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตัวงานพาราโบลาติดด้วยกระจกเงาทำหน้าที่เป็นตัวรวมรังสีอาทิตย์จะวางไว้เพื่อรับรังสีอาทิตย์ โดยความร้อนจะถูกรวมไปที่จุดโฟกัสของระบบที่มีแคลอริมิเตอร์แบบทองแดงเป็นตัวรับความร้อนวางอยู่ เพื่อหาค่า ความร้อนที่ป้อนเข้าตัวดูดซับพลังงาน จากนั้นเปลี่ยนตัวรับความร้อนเป็นเครื่องยนต์สเตอร์ลิง และทดสอบสมรรถนะ ของเครื่องยนต์ ผลการศึกษาพบว่าตัวดูดซับพลังงานมีค่าความร้อนป้อนเข้า 178.62 W มีค่าการสูญเสียความร้อน 2.524 W ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 943 W/m² งานพาราโบลา มีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 47.11 % เครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าความร้อนป้อนเข้าเครื่องยนต์ 0.982 W มีค่าการสูญเสีย ความร้อน 0.840 W ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 962.9 W/m² ความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบและประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องยนต์สูงขึ้น ระบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง-งานพาราโบลามีประสิทธิภาพเชิงความร้อน 0.036% ดังนั้นจึงเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

บทที่ 3

วัสดุอุปกรณ์และวิธี

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงวัสดุอุปกรณ์ และกำหนดวิธีการทดลองโดยงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลอง
สจร วิทยาเขตชุมพร ดังรูปที่ 3.1 และ รูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1 แสดง diagram การติดตั้งชุดทดลอง

รูปเครื่องจริง



รูปที่ 3.2 รูปถ่ายชุดทดลองเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง 3.1 แสดงชื่ออุปกรณ์ที่ทดลองดังรูปที่ 3.1

หมายเลข	ชื่ออุปกรณ์
1	ดวงพระอาทิตย์
2	กระจกสะท้อน
3	จานพาราโบลิก
4	เครื่องยนต์สเตอร์ลิง

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการต้มน้ำพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องมือทดสอบ

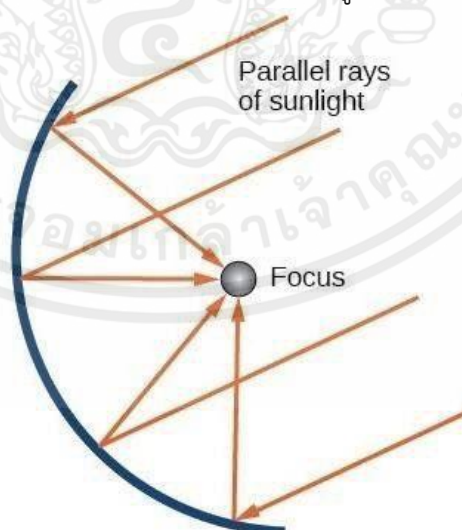
3.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าต่างๆ ของการทดลองในการต้มน้ำจากพลังงานแสงอาทิตย์

- 3.1.1.1 บีกเกอร์แก้ว
- 3.1.1.2 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.1.1.3 เครื่องวัดความเข้มแสง

3.1.2 ชุดรวมแสงแบบพาราโบลิก

3.1.2.1 จานรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิก

สร้างจากจานดาวเทียมและติดแผ่นอลูมิเนียมโดยจานดาวเทียมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตรจนเต็มพื้นที่จานดาวเทียม เพื่อให้สามารถรับแสงจากดวงอาทิตย์ แล้วสะท้อนมายังจุดโฟกัสของจานรวมแสงที่มีภาชนะบรรจุน้ำติดตั้งอยู่บริเวณจุด โดยสามารถหาจุดโฟกัสของจานรวมแสงได้จากสมการ $F = r^2/4h$ โดย $r=75$ cm $h=45$ จะได้ $F=31.25$ cm ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการรวมแสงของจานพาราโบลิก [25]

3.1.2.2 โครงสร้างติดตั้งจานรวมแสงอาทิตย์

โครงสร้างทำจากเหล็กโดยมีขนาดความสูงเท่ากับ 190 cm ขนาดความกว้าง 150 cm และมีขนาดความยาว 50 cm โดยออกแบบให้มีความแข็งแรง ดังรูป 3.5



รูปที่ 3.4 โครงสร้างติดตั้งจานรวมแสงอาทิตย์

3.1.2.3 กระจกสะท้อนแสง

โครงสร้างทำมาจากเหล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยมีขนาดความกว้าง 150 cm และมีขนาดความยาว 150 cm โดยตรงกลางจะรองด้วยไม้กระดานอัด และติดกระจกจนเต็มพื้นที่ ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 กระจกสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2.4 โครงสร้างติดตั้งกระจกสะท้อนแสง

โครงสร้างจะทำด้วยเหล็กประกอบไปด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นแท่นรับน้ำหนัก โดยจะมีความกว้าง 100 cm และมีขนาดความยาว 50 cm โดยตรงกลางจะทำการติดบูทไว้ตรงกลาง ส่วนที่ 2 จะเป็นแขนไว้สำหรับติดตั้งกระจกสะท้อนแสงจะมีความกว้างเท่ากับ 170 cm และมีความสูงเท่ากับ 80 cm โดยออกแบบให้สามารถหมุนได้ 360 ในแนวระนาบและแนวระดับ ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 โครงสร้างติดตั้งกระจกสะท้อนแสง

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงดันไฟฟ้าและปริมาณของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

3.2.1.1 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า

3.2.1.2 เครื่องวัดความเร็วรอบ

3.2.1.3 หลอดไฟ

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การศึกษาการดูดซับความร้อนของตัวเครื่องโดยใช้น้ำ โดยจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1.1 เตรียมพื้นที่และจัดระนาบของจานพาราโบลิคให้ตรงกับกระจกสะท้อนแสงและปรับองศาของกระจก ให้กระจกสะท้อนเข้าจานรวมแสงแบบเต็มที่

3.3.1.2 เตรียมน้ำเปล่าใส่บีกเกอร์ ปริมาตร 100 ml แล้วนำไปไว้ตรงจุดรวมแสงและเตรียมเครื่องวัดความเข้มแสงเพื่อให้พร้อมทำการทดลอง

3.3.1.3 เริ่มวัดความเข้มแสงพร้อมกับวัดอุณหภูมิของน้ำในทุกๆ 5 นาทีจนถึงเวลาที่กำหนด และคอยปรับองศาของกระจกสะท้อนแสงเพื่อไม่ให้จุดโฟกัสขาดเคลื่อน

3.3.1.4 บันทึกข้อมูล ได้แก่ ค่าความเข้มแสง ค่าอุณหภูมิของน้ำ และนำค่าที่ได้มาหาค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และนำค่าที่ได้มาทำเป็นกราฟเพื่อแสดงค่าเฉลี่ยของความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของน้ำที่เพิ่มขึ้นและลดตามสภาพอากาศของวันนั้นๆ

3.3.1.5 เมื่อคำนวณจนได้ค่าที่ต้องการครบแล้ว นำค่าที่ต้องการมาใช้คำนวณในการซื้อ เครื่องยนต์สเตอร์ลิง โดยสาเหตุที่ต้องคำนวณ เพราะเราสามารถนำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาใช้ให้เหมาะสมกับความร้อนที่ผลิตได้

3.3.1.6 จากนั้นเมื่อได้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาแล้ว นำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต่อเข้ากับ Generator เพื่อวัดกำลังไฟที่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถทำได้แล้วทำการบันทึกผลการทดลอง

3.3.2 การทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

3.3.2.1 นำเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาตั้งตรงจุดโฟกัส เพื่อให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงความร้อนจาก จานรวมแสงและจานสะท้อนแสง

3.3.2.2 เมื่อความร้อนได้ที่แล้ว จะทำให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเริ่มทำงานหลังจากนั้นจะทำให้ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะเปลี่ยนจากพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล และเปลี่ยนจากพลังงานกลเป็น พลังงานไฟฟ้าอาศัยเจเนอเรเตอร์

3.3.2.3 ทำการวัดความร้อน ณ ลูกสูบทั้งสองฝั่ง วัดความเร็วรอบ วัดกำลังไฟฟ้า ทุกๆ 5 นาทีจนได้ตามที่ต้องการและบันทึกผล

3.3.2.4 ทำการทดลองซ้ำแต่ลดเวลาที่ทำการทดลองจาก 5 นาที ให้เหลือ 3 นาที 1 นาที และตามลำดับและบันทึกผล

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผล

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการเก็บอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของดวงอาทิตย์ไปยังเครื่องสเตอร์ลิงที่ได้ทำการทดลองหาลำโพงออกมา

4.1 การทดลองเก็บอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการเก็บอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และประสิทธิภาพการดูดซับความร้อน โดย อุณหภูมิอยู่ในช่วง 36-78 °C รังสีตรงอยู่ในช่วง 348.5-243.6 W/m² รังสีโดยรวมอยู่ในช่วง 371-964 W/m² ค่าความร้อนที่ถูกป้อนอยู่ในช่วง 17.4 -131.3 KJ ประสิทธิภาพตัวดูดซับความร้อนอยู่ในช่วง 2.9 - 20.0 KJ และประสิทธิภาพคอนเซนเตรเตอร์อยู่ในช่วง 2.56 - 63.04 %

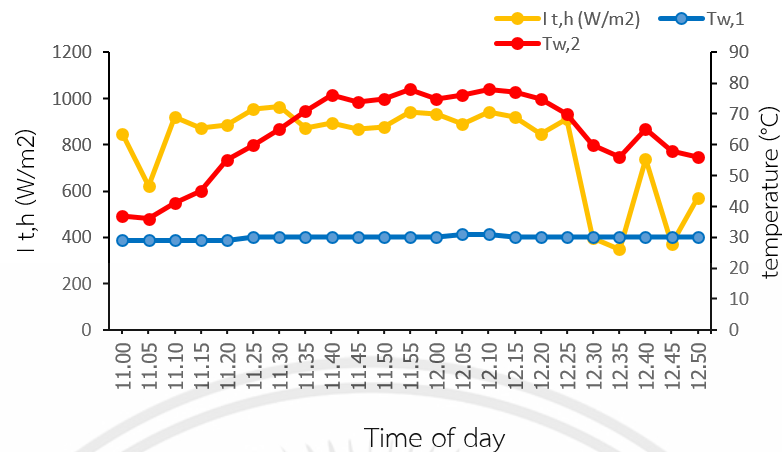
ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ (วันที่ 24 พฤษภาคม 2564)

Time	T _{w,1} (°C)	T _{w,2} (°C)	I _{t,h} (W/m ²)	I _{d,h} (W/m ²)	Q _{in} (KJ)	Q _{abs} (KJ)	E _{con} (%)
11.00	29	37	845	198.7	130.2	3.3	2.56
11.05	29	36	623	186.3	86.4	2.9	3.37
11.10	29	41	922	243.6	131.3	5.0	3.81
11.15	29	45	871	237.8	120.2	6.7	5.55
11.20	29	55	885	234.5	97.7	10.8	11.09
11.25	30	60	954	238.7	104.2	12.5	11.99
11.30	30	65	964	239.1	102.5	14.6	14.23
11.35	30	71	872	220.5	89.2	17.1	19.15
11.40	30	76	895	230.2	88.2	19.2	21.73
11.45	30	74	870	215.5	84.1	18.3	21.82
11.50	30	75	875	198.4	84.1	18.8	22.3
11.55	30	78	940	228	85.6	20.0	23.36
12.00	30	75	935	218.8	83.3	18.8	22.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

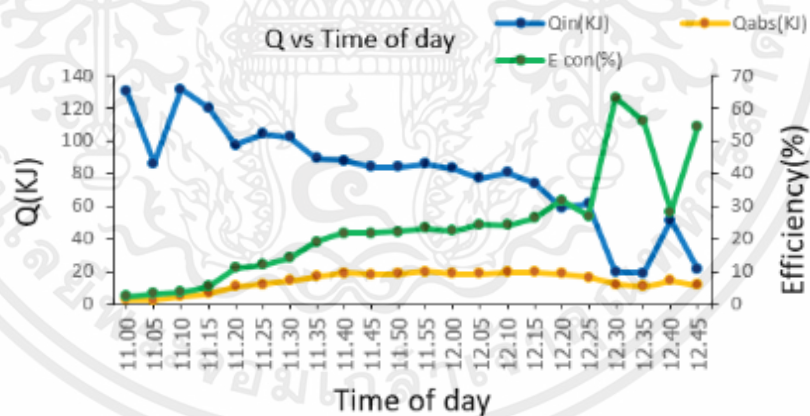
12.05	31	76	890	205.8	77.0	18.8	24.34
12.10	31	78	941	219.9	80.6	19.5	24.3
12.15	30	77	921	218.4	74.3	19.6	26.38
12.20	30	75	845	188.9	59.1	18.8	31.74
12.25	30	70	913	231.1	61.6	16.7	27.04
12.30	30	60	396.7	179.1	19.8	12.5	63.04
12.35	30	56	348.5	138.6	19.4	10.8	55.92
12.40	30	65	740	193.6	51.3	14.6	28.43
12.45	30	58	371	147.1	21.5	11.7	54.36
12.50	30	56	572	176.2	34.4	10.8	31.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิน้ำ

จากรูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิน้ำ จากรูปจะเป็นกราฟแสดงอุณหภูมิ โดย เทียบกับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่เวลา 11.00 น. – 12.50 น. ผลทดลองพบว่าอุณหภูมิ $T_{w,2}$ จะเพิ่มขึ้นตาม การเปลี่ยนแปลงของเวลาและค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยอุณหภูมิที่มีค่าสูงที่สุดอยู่ที่ ประมาณ 80°C ที่เวลา 12.10 น. และมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำอยู่ที่ 63.43°C ค่าความเข้มแสงที่ วัดได้อยู่ในช่วง $371\text{--}964\text{ W/m}^2$ และจากกราฟจะเห็นว่าความเข้มแสงจะไม่คงที่ เนื่องจากสภาพ อากาศที่แปรปรวน เช่น มีเมฆมาบดบังดวงอาทิตย์และทำให้ค่าของความเข้มแสงลดลงและทำให้ อุณหภูมิของน้ำลดลงอีก



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดซับความร้อนและค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน

จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดซับความร้อนและค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อน ด้านซ้ายแสดงค่าความร้อนที่ถูกป้อน (Q_{in}) และค่าดูดซับความร้อนที่ดูดซับ (Q_{abs}) ส่วนด้านขวาแสดง ค่า Efficiency ผลการทดลองพบว่าค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนอยู่ที่ $0\text{--}60\%$ Q_{in} อยู่ที่ $17.4\text{--}131.3$ KJ และจากเส้นกราฟพบว่าค่า Efficiency จะมีช่วงเวลาที่ขึ้นสูง เนื่องจากค่า Q_{in} ลดลง

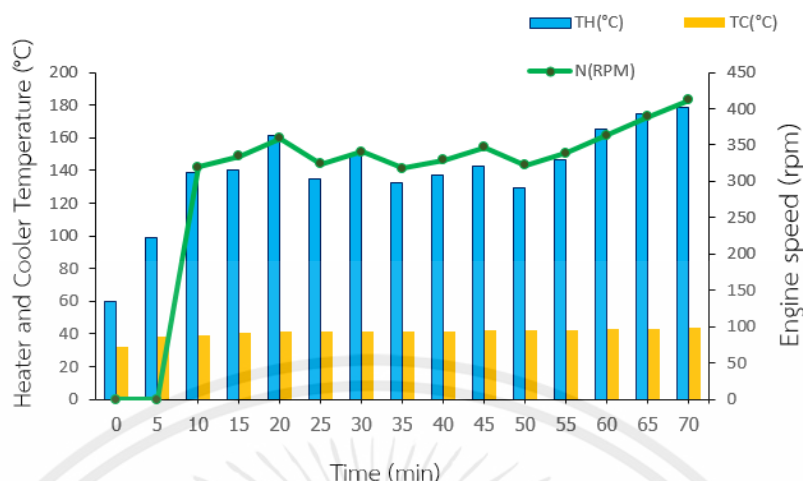
4.2 การทดลองหาค่ากำลังไฟฟ้าจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและกำลังไฟฟ้า โดยรังสีกระจายอยู่ในช่วง 157-197.9 W/m² รังสีโดยรวมอยู่ในช่วง 814-897 W/m² และกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0-0.052 W

ตารางที่ 4.2 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและกำลังไฟฟ้า (10 มิถุนายน 2564)

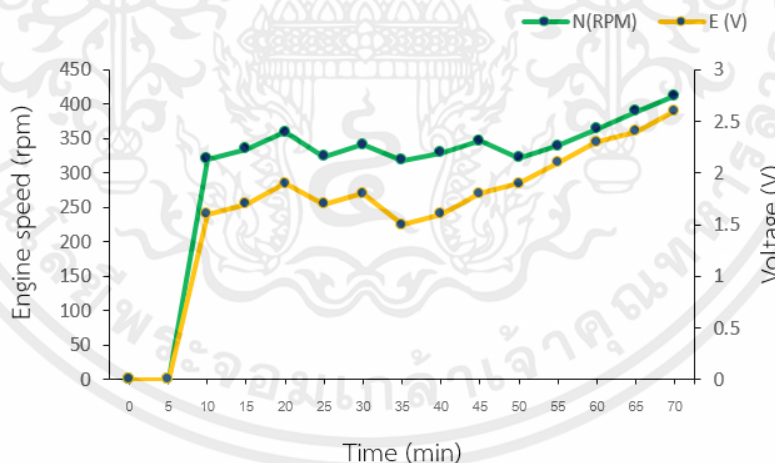
ครั้งที่ 1 ทำการวัดค่าต่างๆในตาราง 4.2 ทุก 5 นาที

Time	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	T_H (°C)	T_C (°C)	N (rpm)	E (V)	I (A)	P_g (W)
0	814	168.3	60.2	32.1	0	0	0	0
5	865	173.5	98.6	38.3	0	0	0	0
10	885	186.2	138.9	39.2	320	1.6	0.01	0.016
15	897	188.3	140.5	40.8	335	1.7	0.01	0.017
20	856	178.4	161.3	41.2	359	1.9	0.01	0.019
25	829	176.6	134.7	41.3	324	1.7	0.01	0.017
30	858	178.6	150.7	41.4	341	1.8	0.01	0.018
35	833	176.4	132.5	41.6	318	1.5	0.01	0.015
40	897	180.2	136.8	41.7	329	1.6	0.01	0.016
45	865	160.1	142.6	42	347	1.8	0.01	0.018
50	891	162.8	129.7	42.3	322	1.9	0.01	0.019
55	837	166.1	146.9	42.5	339	2.1	0.02	0.042
60	831	157.8	165.1	42.8	364	2.3	0.02	0.046
65	864	197.9	174.6	43.3	389	2.4	0.02	0.048
70	836	157	178.3	43.9	412	2.6	0.02	0.052



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบ

จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบของตัวเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาประมาณ 10 นาที เครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้มีการขับเคลื่อน และความเร็วของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ Th ความเร็วรอบที่ได้อยู่ในช่วง 0-412 rpm ที่อุณหภูมิของกระบอกสูบฝั่งร้อนอยู่ในช่วง 60.2- 178.3 °C ทำให้ผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ 0-2.6 V และปริมาณของกระแสไฟฟ้าออกมาได้ 0-0.02 A ดังตารางที่ 4.2 และในกราฟนี้จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบสูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิลดลงก็จะทำให้ความเร็วรอบตกลงอีกด้วย



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและแรงดันไฟฟ้า ในกราฟจะเห็นได้ว่าความเร็วรอบจะเริ่มทำงานตอนประมาณ 10 นาที และจะได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.66 V และความเร็วรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 300 rpm ตอนเวลา 70 นาที ได้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 2.6 V โดยความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ 412 rpm ถ้าความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและความเร็วรอบลดลงแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลงตาม

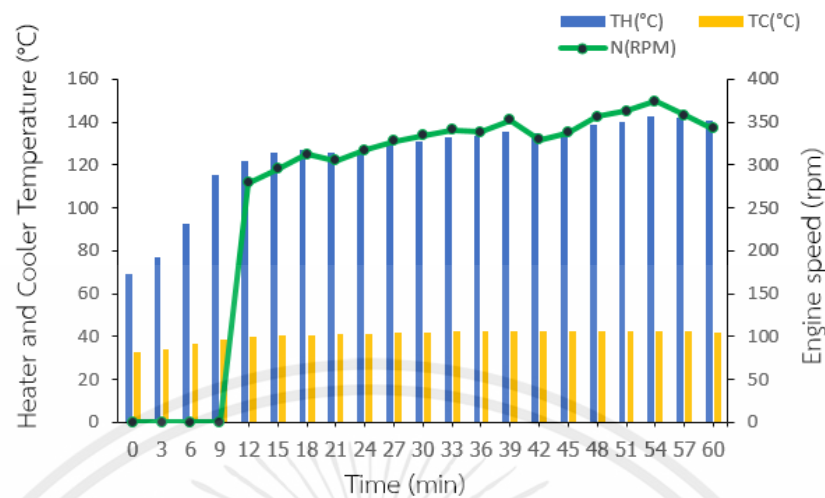
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองความเร็รรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและกำลังไฟฟ้า โดยรังสีกระจายอยู่ในช่วง 172.9-189.4 W/m² รังสีโดยรวมอยู่ในช่วง 722-868 W/m² และกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0-0.042 W

ตารางที่ 4.3 ความเร็รรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและกำลังไฟฟ้า (11 มิถุนายน 2564)

ครั้งที่ 2 ทำการวัดค่าต่างๆในตาราง 4.3 ทุก 3 นาที

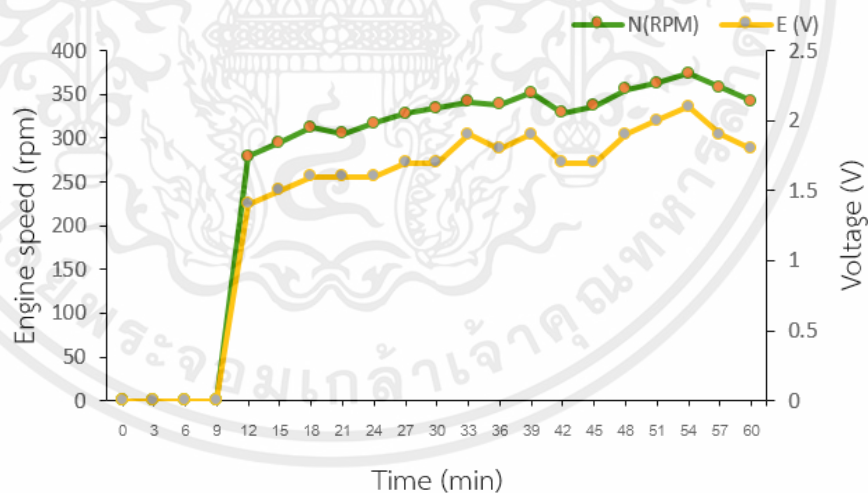
Time (min)	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	T_H (°C)	T_C (°C)	N (rpm)	E (V)	I (A)	P_g (W)
0	868	189.3	69.4	32.6	0	0	0	0
3	730	172.9	76.8	34.1	0	0	0	0
6	770	174.8	92.6	36.9	0	0	0	0
9	790	176.7	115.3	38.3	0	0	0	0
12	822	185.8	121.5	39.8	279	1.4	0.01	0.014
15	783	174.8	125.8	40.6	295	1.5	0.01	0.015
18	786	175.4	127.3	40.8	312	1.6	0.01	0.016
21	722	172.5	125.9	41.1	305	1.6	0.01	0.016
24	742	173.6	126.1	41.3	317	1.6	0.01	0.016
27	812	178.3	129.9	41.6	328	1.7	0.01	0.017
30	833	181.4	130.6	41.9	334	1.7	0.01	0.017
33	850	186.7	132.9	42.2	341	1.9	0.01	0.019
36	842	185.9	133.5	42.5	338	1.8	0.01	0.018
39	856	187.5	135.3	42.6	352	1.9	0.01	0.019
42	815	179.1	134.9	42.4	329	1.7	0.01	0.017
45	826	180.6	135.6	42.3	337	1.7	0.01	0.017
48	847	186.3	138.5	42.4	356	1.9	0.01	0.019
51	851	187.2	140.1	42.6	363	2	0.02	0.04
54	865	189.4	142.3	42.7	374	2.1	0.02	0.042
57	846	185.6	141.9	42.5	358	1.9	0.01	0.019
60	838	184.7	140.8	41.8	342	1.8	0.01	0.018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบ

จากรูปที่ 4.5 จะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบของตัวเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาประมาณ 12 นาที เครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้มีการขับเคลื่อน ทำให้เกิดความเร็วย้อนขึ้นอยู่ในช่วง 0-374 rpm ที่อุณหภูมิกระบอกฝั่งร้อนอยู่ในช่วง 69.4-142.3 °C ทำให้ผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ 0-2.1 V และปริมาณของกระแสไฟฟ้าออกมาได้ 0-0.02 A ดังตารางที่ 4.3 กราฟนี้จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบสูงขึ้นและเมื่ออุณหภูมิลดลงจะทำให้ความเร็วรอบลดลงอีกด้วย



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้า

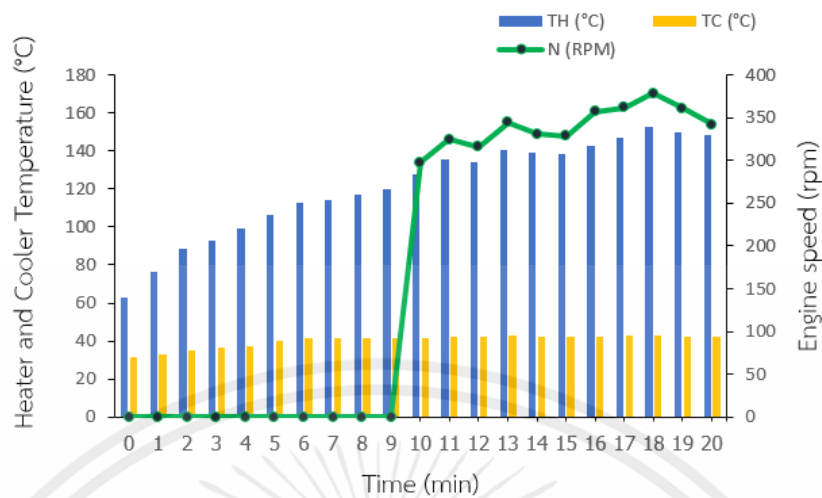
จากรูปที่ 4.6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและแรงดันไฟฟ้า ในกราฟจะเห็นได้ว่าความเร็วรอบจะเริ่มทำงานเวลาประมาณ 12 นาที จะได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.4 V และความเร็วรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 270 rpm ตอนเวลา 54 นาที ได้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 2.1 V โดยความเร็วรอบอยู่ที่ 374 rpm เมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและความเร็วรอบลดลงแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลงตาม

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและกำลังไฟฟ้า โดยรังสีกระจายอยู่ในช่วง 162.7-189.2 W/m² รังสีโดยรวมอยู่ในช่วง 821-957 W/m² และกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0-0.019 W

ตารางที่ 4.4 ความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและกำลังไฟฟ้า (12 มิถุนายน 2564)

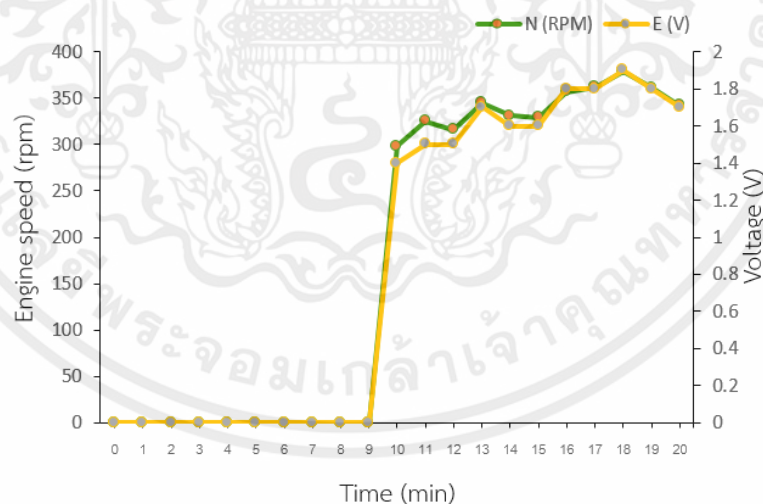
ครั้งที่ 3 ทำการวัดค่าต่างๆในตาราง 4.4 ทุก 1 นาที

Time (min)	I _{t,h} (W/m ²)	I _{d,h} (W/m ²)	T _H (°C)	T _C (°C)	N (rpm)	E (V)	I (A)	P _g (W)
0	861	168.5	63.2	31.5	0	0	0	0
1	894	172.3	76.3	33.2	0	0	0	0
2	912	176.1	88.4	34.9	0	0	0	0
3	865	162.7	92.8	36.1	0	0	0	0
4	873	166.8	99.6	37.5	0	0	0	0
5	821	170.1	106.3	39.8	0	0	0	0
6	932	186.9	112.7	41.3	0	0	0	0
7	883	174.2	114.6	41.4	0	0	0	0
8	867	172.8	116.8	41.4	0	0	0	0
9	839	161.1	119.8	41.5	0	0	0	0
10	894	174.4	125.6	41.5	298	1.4	0.01	0.014
11	873	169.8	135.4	42.3	325	1.5	0.01	0.015
12	852	166.5	134.2	42.1	316	1.5	0.01	0.015
13	932	176.1	140.6	42.6	345	1.7	0.01	0.017
14	916	172.8	139.5	42.2	331	1.6	0.01	0.016
15	957	162.2	138.2	41.9	329	1.6	0.01	0.016
16	944	182.4	142.6	42.1	357	1.8	0.01	0.018
17	896	174.6	147.2	42.6	362	1.8	0.01	0.018
18	925	185.4	152.8	42.8	379	1.9	0.01	0.019
19	948	189.2	150.1	42.5	361	1.8	0.01	0.018
20	877	181.3	148.6	42.1	342	1.7	0.01	0.017



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบ

จากรูปที่ 4.7 จะเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความเร็วรอบของตัวเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาประมาณ 10 นาที เครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้มีการขับเคลื่อน ทำให้เกิดความเร็วยุติขึ้นอยู่ในช่วง 0-379 rpm ที่อุณหภูมิของกระบอกสูบฝั่งร้อนอยู่ในช่วง 63.2-152.8 °C ทำให้ผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ 0-1.9 V และปริมาณของกระแสไฟฟ้าออกมาได้ 0-0.019 A ดังตารางที่ 4.4 กราฟนี้จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ความเร็วรอบสูงขึ้นและเมื่ออุณหภูมิลดลงก็จะทำให้ความเร็วรอบตกลงอีกด้วย



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบและแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและแรงดันไฟฟ้า ในกราฟจะเห็นได้ว่าความเร็วรอบจะเริ่มทำงานเวลาประมาณ 10 นาที จะได้แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.9 V และได้ความเร็วรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 178 rpm ตอนเวลา 18 นาที ได้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 1.9 V โดยได้ความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ 379 rpm เมื่ออุณหภูมิของกระบอกสูบ

ฝั่งร้อนเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้ความเร็วรอบเพิ่มขึ้นและเมื่ออุณหภูมิของกระบอกสูบฝั่งร้อนลดลงจะทำให้ความเร็วรอบลดลงตาม ถ้าความเร็วรอบเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกด้วย

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า solar dish concentrating system สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้ประมาณ 13 KJ ซึ่งสามารถนำความร้อนไปใช้ขับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่ขนาดต่ำกว่า 1 kW ซึ่งเครื่องยนต์ดังกล่าวสามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 0.052 W ซึ่งอยู่ในช่วงความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ 412 rpm



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลและการทดลอง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงต้นแบบโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าได้ถูกแบบ และทดสอบเสร็จสมบูรณ์

5.1.1 จากการทดลองหาสมรรถนะในการดูดซับความร้อนเครื่อง solar concentrating system ทดลองโดยใช้น้ำปริมาตร 100 ml โดยเก็บข้อมูลอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลงไปตามค่าความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาต่างๆ ช่วงแรกที่เริ่มเก็บค่าของอุณหภูมิได้ทำการเว้นระยะเวลา 15 นาทีต่อ 1 ค่าที่บันทึก ได้อุณหภูมิสูงสุดที่ 86 °C ที่ช่วงเวลา 13.45 น. ณ เวลานั้นค่าความเข้มแสงจะอยู่ 890 W/m² และปรับมาเก็บค่าช่วงระยะเวลา 5 นาทีให้เห็นการเป็นแปลงที่ชัดเจน โดยที่อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้จะอยู่ที่ 78 °C ที่ช่วงเวลา 12.10 น. ค่าความเข้มแสงจะอยู่ที่ 941 W/m² จะเห็นได้ว่าค่าที่เก็บในช่วงแรกเวลาที่อุณหภูมิขึ้นสูงสุดที่เวลา 13.45 น. เป็นเพราะว่าสภาพอากาศตอนที่ทำการเก็บค่าก็จะมีเมฆมาบดบังดวงอาทิตย์จึงทำให้ค่าต่างๆในแต่ละวันจึงแตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่า solar concentrating system สามารถดูดซับความร้อน (Q_{absorb}) ได้สูงสุด 20.01 KJ และมี Q_{absorb} เฉลี่ย 13.99 KJ ซึ่งค่า Q_{absorb} เฉลี่ย ที่คำนวณได้ถูกนำไปใช้เพื่อเลือกขนาดของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงให้เหมาะสม

5.1.2 ช่วงแรกเครื่องยนต์สเตอร์ลิงถูกทดสอบและเก็บค่าทุกๆ 5 นาที พบว่าตัวเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเริ่มทำงานที่อุณหภูมิ 138.9 °C และเกิดความเร็วยรอบเริ่มต้นตั้งแต่ 320 rpm จนถึงความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ 412 rpm กำลังไฟฟ้าที่วัดได้สูงสุดอยู่ที่ 2.6 V และค่ากำเนิดไฟฟ้าจะอยู่ที่ 0.052 W โดยที่เครื่องยนต์จะเริ่มทำงานหลังให้ความร้อนที่เวลาผ่านไป 10 นาที โดยมีค่าความเข้มแสงอยู่ที่ 874.6 W/m² และช่วงที่สอง เครื่องยนต์สเตอร์ลิงถูกเก็บค่าทุก 3 นาที พบว่าตัวเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเริ่มทำงานที่อุณหภูมิ 121.5 °C และเกิดความเร็วยรอบเริ่มต้นตั้งแต่ 279 rpm จนถึงความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ 342 rpm กำลังไฟฟ้าที่วัดได้สูงสุดอยู่ที่ 2.1 V และค่ากำเนิดไฟฟ้าจะอยู่ที่ 0.042 W โดยที่เครื่องยนต์จะเริ่มทำงานหลังให้ความร้อนที่เวลาผ่านไป 12 นาที โดยแสงแดดมีความเข้มอยู่ที่ 833.6W/m² และช่วงสุดท้ายจะเก็บค่าทุก 1 นาทีที่จะเห็นว่าตัวเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเริ่มทำงานที่อุณหภูมิ 127.6 °C และเกิดความเร็วยรอบเริ่มต้นตั้งแต่ 298 rpm จนถึงความเร็วรอบสูงสุดอยู่ที่ 379 rpm กำลังไฟฟ้าที่วัดได้สูงสุดอยู่ที่ 1.9 V และค่ากำเนิดไฟฟ้าจะอยู่ที่ 0.019 W โดยที่เครื่องยนต์จะเริ่มทำงานหลังให้ความร้อนที่เวลาผ่านไป 10 นาที โดยมีค่าความเข้มแสงอยู่ที่ 890.1 W/m² จากข้อมูลที่ได้ทดลองจะสรุปได้ว่าช่วงเวลาที่เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเริ่มทำงานที่อุณหภูมิเฉลี่ย 132.5 °C โดยมีความเร็วรอบสูงสุดเฉลี่ย 307 rpm และสามารถผลิตไฟฟ้าได้ 0.025 W การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศส่งผลให้ความเข้มข้นของแสงเกิดการเปลี่ยนแปลง ค่าความเข้มของแสงส่งผลโดยตรงต่อสมรรถนะเครื่องยนต์สเตอร์ลิงและการผลิตแรงดันไฟฟ้า นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นไปได้ในการจัดเก็บพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ในรูปแบบพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า โดยใช้เครื่องยนต์พลังงานแสงอาทิตย์ต้นแบบผสมผสานกับเทคโนโลยีการรวมแสงรูปแบบใหม่

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 สภาพการเปลี่ยนแปลงของอากาศขณะทำการทดลองทำให้ค่าความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ไม่คงที่จึงเป็นอุปสรรคในการควบคุมความร้อนที่ได้ ระบบ energy storage เป็น option ที่ช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ออกแบบงานพาราควรรอบแบบให้สามารถเปลี่ยนมุมเอียงได้ 2 แนวแกน เพื่อที่จะติดตั้งระบบติดตามแสงอาทิตย์แบบ 2 แกน โดยแกน x (ทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก) มีความสามารถเอียงได้ถึง 30 °C เมื่อวัดจากแกนของขาตั้ง และแกน y (ทิศเหนือไปยังทิศใต้) มีความสามารถเอียงได้ถึง 43 °C เมื่อวัดจากแกนของขาตั้ง เพื่อที่สามารถรวมความร้อนไปยังเครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้โดยที่เราไม่ต้องไปปรับกระจกสะท้อนแสง

5.3.2 ระบบการวัดอุณหภูมิควรเป็นแบบ real time เพื่อตอบโต้การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงอาทิตย์แบบต่อเนื่อง

5.3.3 ระบบการกักเก็บความร้อน (energy storage system) ควรถูกติดตั้งเสริมเพื่อเป็นแหล่งพลังงานสำรองในกรณีที่ความเข้มแสงอาทิตย์ไม่คงที่

เอกสารอ้างอิง

- [1] K. H. Solangi, M. R. Islam, R. Saidur, N. A. Rahim, and H. Fayaz, “A review on global solar energy policy,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 4, pp. 2149–2163, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.01.007.
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์ฯ, “คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2,” 2557.
- [3] “สำหรับระบบหอคอยรวมแสงอาทิตย์ A Study on the Intensity Efficiency of a Solar Heliostat for a Central Receiver Solar Collector.”
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2557). พลังงานแสงอาทิตย์
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์ฯ, “ศักยภาพรังสีรวม (พลังงานแสงอาทิตย์จากการตรวจวัด)” 2562.
- [6] S. A. Kalogirou, S. Karellas, K. Braimakis, C. Stanciu, and V. Badescu, “Exergy analysis of solar thermal collectors and processes,” *Prog. Energy Combust. Sci.*, vol. 56, pp. 106–137, 2016, doi: 10.1016/j.pecs.2016.05.002.
- [7] W. Schiel and T. Keck, “Parabolic dish concentrating solar power (CSP) systems,” *Conc. Sol. Power Technol.*, pp. 284–322, 2012, doi: 10.1533/9780857096173.2.284.
- [8] “การผลิตไฟฟ้าโดยใช้แสงอาทิตย์” 2562. solarcellthailand96.com/knowledge/solar-power.
- [9] Spencer, J.W., 1971. Fourier series representation of the position of the sun. *Search* 2(5), 17- 20.
- [10] Smart, W.M., 1971. *Spherical Astronomy*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [11] R. Meyer, M. Schlecht, and K. Chhatbar, “Solar resources for concentrating solar power (CSP) systems,” *Conc. Sol. Power Technol.*, pp. 68-e2, 2012, doi: 10.1533/9780857096173.1.68.
- [12] Bernard, R., Menguy, G., Schwartz, M., 1980. *Le Rayonnement Solaire: Conversation Thermique et Applications*. Technique & Documentation, Paris
- [13] JR Meijer. 1987, *Solar Powered Stirling Engines*. U.S. Patent 4,707,990.

- [14] MJ Michael and NJ Hoboken. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. John Wiley & Sons, New York, 2011, p. 72-3
- [15] สมยศ แยมศรี และ เอกพงษ์ฐานะ กาญจน์ชุตสาธิตเครื่องยนต์สเตอร์ลิง, โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ พ.ศ. 2539
- [16] Kongtragool, B. and Wongwises, S. , 2007, Performance of low- temperature differential Stirling engines, J. Renew. Energy 32: 547-566.
- [17] Kongtragool, B. and Wongwises, S. , 2008, A four power- piston low- temperature differential Stirling engine using simulated solar energy as a heat source, J. Solar Energy 82: 493-500.
- [18] Kongtragool, B. and Wongwises, S. , 2008, Testing of a low temperature differential Stirling engine powered by using actual solar energy, Int. J. Green Energy 5: 491- 507.
- [19] Hasnat, A. , Ahmed, P. , Rahman, M. and Khan, K.A. , 2011, Numerical analysis for thermal design of a paraboloidal solar concentrating collector, Int. J. Nat. Sci. 1
- [20] “เครื่องยนต์สเตอร์ลิง” 2557. หลักการทำงานของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง th.wikipedia.org/wiki/.
- [21] Duffie, J.A., Beckman, W.A., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes. John Wiley&Sons, New York.
- [22] Krissadang SOOKRAMOON1,* , 2014. “Design, construct and performance evaluation of a 2-stage parabolic through solar concentrator in PathumThani.”
- [23] Krissadang SOOKRAMOON1,* , Pracha BUNYAWANICHAKUL1 and Bancha KONGTRAGOOL2 , 2015. “Experimental Study of a 2-stage Parabolic Dish-Stirling Engine in Thailand.”
- [24] Krissadang SOOKRAMOON1,* , 2018. “Thermal Performance of a Dish Stirling Engine Using Solar Energy as Heat Source.”
- [25] อาจารย์จันทามาศ , 2019. “งานพลาโบลิกดิส”. <https://www.blockdit>.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณหามุมอาซิมุท

มุมอาซิมุท (azimuth, Ψ) เป็นมุมที่วัดจากแนวทิศใต้ ไปยัง ภาพฉาย (projection) ของเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์บนระนาบในแนวระดับ โดยมีค่าเป็นบวกถ้าเงาตั้งกล่าวอยู่ซีกตะวันออกและเป็นลบถ้าอยู่ซีกตะวันตกของท้องฟ้า หรือ $-180 \leq \Psi \leq 180$ หาได้จากมุมวัน , ค่าเดคลิเนชัน , มุมชั่วโมง , เวลาดวงอาทิตย์ , ความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ยและมุมอัลติจูด มุมวันหาได้ดังนี้

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

เมื่อ d_n เป็นลำดับของวันในรอบปีโดย $d_n = 1$ ในวันที่ 1 มกราคม และ $d_n = 365$ ในวันที่ 31 ธันวาคม สำหรับเดือนกุมภาพันธ์จะคิดว่ามี 28 วัน ค่าเดคลิเนชันหาได้ดังนี้

$$\delta = 23.45 \sin\left[\frac{360}{365} (d_n + 284)\right] \quad (ก.2)$$

มุมชั่วโมงหาได้ดังนี้

$$\omega = 15(12 - ST) \quad (ก.3)$$

เมื่อ ω = มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ (องศา)

ST = คือเวลาดวงอาทิตย์ (ชั่วโมง)

เวลาดวงอาทิตย์หาได้ดังนี้

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

เมื่อ ST คือ เวลาดวงอาทิตย์ (ชม.:นาท)

LST คือ เวลามาตรฐานท้องถิ่น (ชม.:นาท)

L_s คือ ลองจิจูดมาตรฐาน (องศา)

L_{loc} คือ ลองจิจูดของตำแหน่งที่ต้องการคำนวณ (องศา)

E_t คือ ความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (นาท)

ความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ยหาได้ดังนี้

$$E_t = 229.18(0.000075 + 0.001868\cos\Gamma - 0.032077\sin\Gamma - 0.014615\cos 2\Gamma - 0.04089\sin 2\Gamma) \quad (ก.5)$$

มุมอัลติจูดหาได้ดังนี้

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin\phi\sin\delta + \cos\phi\cos\delta\cos\omega] \quad (ก.6)$$

เมื่อ ϕ คือ ละติจูดของตำแหน่งที่ทำการทดลอง

มุมอาซิมุทหาได้จากสมการนี้

$$\Psi = \sin^{-1}\left[\frac{\sin\omega\cos\delta}{\cos\alpha}\right] \quad (ก.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีทำ วันที่ 23 พฤษภาคม $d_n = 143$ แทนค่าในสมการ (ก.1)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \Gamma &= 2\pi (143-1)/365 \\ &= 2.444 \text{ เรเดียน} \end{aligned}$$

หาค่าเดคลิเนชันในสมการ (1.2)ก

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \delta &= 23.45 \sin\left[\frac{360}{365}(143+284)\right] \\ &= 20.539 \text{ องศา} \end{aligned}$$

หาความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ยในสมการ (ก.5)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad E_t &= 229.18(0.000075 + 0.001868 \cos 2.444 - 0.032077 \sin 2.444 - \\ &0.014615 \cos 22.444 - 0.04089 \sin 22.444) \\ &= 3.16 \text{ นาที} \end{aligned}$$

หาเวลาดวงอาทิตย์ในสมการ (ก.4)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad ST &= 12:00 + 4[-105 - (-99.38)] \text{ นาที} + 3.16 \text{ นาที} \\ &= 11 \text{ นาฬิกา } 41 \text{ นาที } 7 \text{ วินาที} \end{aligned}$$

หามุมชั่วโมงในสมการ (ก.3)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \omega &= 15(12 - 11.41) \\ &= 8.85 \text{ องศา} \end{aligned}$$

หามุมอัสติจูดในสมการ (ก.6)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \alpha &= \sin^{-1}[\sin(10.72)\sin(20.593) + \cos(10.72)\cos(20.593)\cos(8.85)] \\ &= 77.01 \text{ องศา} \end{aligned}$$

หามุมอาซิมุทในสมการ (ก.7)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \psi &= \sin^{-1}\left[\frac{\sin 8.85 \cos 20.539}{\cos 77.01}\right] \\ &= 39.86 \text{ องศา} \end{aligned}$$

การคำนวณหาการดูดซับความร้อนของตัวเครื่องโดยใช้น้ำ

จะใช้เครื่องพาราโนมิเตอร์หาค่าความร้อนจากดวงอาทิตย์มาใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อนต่างๆ มีหน่วยเป็น (W/m^2) เพื่อนำมาทดลองกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเพื่อให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ทำการขับเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

หาปริมาณความร้อนแสงอาทิตย์ที่ได้จากการรวมแสงได้ดังนี้

$$Q_{in} = I_{b,n}AR \quad (ก.8)$$

เมื่อ Q_{in} คือ ปริมาณความร้อนแสงอาทิตย์ที่ได้จากการรวมแสง (J)

$I_{b,n}$ คือ รังสีดวงอาทิตย์โดยตรง (W/m^2)

A คือ พื้นที่จานพาราโบลิก (cm^2) หาได้จาก $A = \frac{\pi}{4} D^2$

R คือ ค่า emissivity ของแก้ว (มีค่าเท่ากับ 0.87)

หารังสีดวงอาทิตย์โดยตรงได้จากสมการดังนี้

$$I_{b,n} = (I_{t,h} - I_{d,n}) / \cos \theta_z \quad (ก.9)$$

เมื่อ $I_{t,h}$ คือ รังสีดวงอาทิตย์รวม (W / m^2)

$I_{d,n}$ คือ รังสีแนวระนาบ (W / m^2)

θ_z คือ มุมอาซิมุท ($^\circ$)

ค่าของ $I_{t,h}$ และ $I_{d,n}$ หาได้จากเครื่องพาราโนมิเตอร์ได้เลยแต่ต้องปรับหน่วยให้เป็น (W / m^2)

หาประสิทธิภาพตัวดูดซับความร้อนได้ดังนี้

$$Q_{absorbed} = mc_p \Delta T \quad (ก.10)$$

เมื่อ $Q_{absorbed}$ คือ ประสิทธิภาพตัวดูดซับความร้อน (J)

m คือ มวลของน้ำ (KG)

c_p คือ ความร้อนจำเพาะที่อุณหภูมิน้ำค้างที่ (4168 J/kg K)

ΔT คือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ($^\circ C$)

หาประสิทธิภาพคอนเซนเตรเตอร์ได้ดังนี้

$$\eta_{con} = Q_{absorbed} / Q_{in} \quad (ก.11)$$

เมื่อ η_{con} คือ ประสิทธิภาพคอนเซนเตรเตอร์

$Q_{absorbed}$ คือ ประสิทธิภาพตัวดูดซับความร้อน (J)

Q_{in} คือ ปริมาณความร้อนที่ดูดซับโดยน้ำ (J)

คำนวณหาค่าในวันที่ 23 พฤษภาคม 2564

วิธีทำ หารังสีดวงอาทิตย์โดยตรงได้ในสมการ (ก.9)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad I_{b,n} &= (658 - 218.6) / \cos(39.86) \\ &= 572.42 \text{ W / m}^2 \end{aligned}$$

หาปริมาณความร้อนแสงอาทิตย์ที่ได้จากการรวมแสงได้ในสมการ (ก.8)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad Q_{in} &= I_{b,n}AR \\ &= 572.42 \times 1.767 \times 0.85 \times 60 \\ &= 515.55 \text{ KJ} \end{aligned}$$

หาประสิทธิภาพตัวดูดซับความร้อนในสมการ (ก.10)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad Q_{\text{absorbed}} &= mc_p \Delta T \\ &= 0.1 \times 4168 \times 4 \\ &= 1.6 \text{ KJ} \end{aligned}$$

หาประสิทธิภาพคอนเซนเตรเตอร์ได้ในสมการ (ก.11)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \eta_{\text{con}} &= Q_{\text{absorbed}} / Q_{in} \\ &= (1667.2 / 51555.58) \times 100 \\ &= 3.2 \% \end{aligned}$$

การคำนวณการทดสอบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อนระบบปิด 2 จังหวะใช้ความร้อนจากภายนอก (เครื่องยนต์สันดาปภายนอก) สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลาย [20] แต่ต้องมีแหล่งพลังงานความร้อนทำงานโดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อความร้อนในกระบอกสูบเพิ่มขึ้นจะทำให้อากาศในกระบอกสูบขยายตัวและเมื่อเพิ่มความเย็นให้กับกระบอกสูบด้านตรงข้ามก็จะทำให้อากาศหดตัวทำให้เกิดแรงดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่สลับไป มาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของวัฏจักรคาร์โนต์ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนจะสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (ก.12)$$

เมื่อ T_L คือกระบอกสูบฝั่งเย็น

T_H คือกระบอกสูบฝั่งร้อน

การหากำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและประสิทธิภาพ

$$P_G = IE \quad (ก.13)$$

โดยที่ P_G คือ กำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

I คือ แอมมิเตอร์

E คือ โวลต์มิเตอร์

วิธีทำ ทดลองวันที่ 11 มิถุนายน 2564

หาประสิทธิภาพเชิงความร้อนได้ในสมการ (ก.12)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad \eta_{th} &= \left[1 - \frac{32.6}{69.4} \right] * 100 \\ &= 53.02 \% \end{aligned}$$

หากำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและประสิทธิภาพในสมการ (ก.13)

$$\begin{aligned} \text{จะได้} \quad P_G &= 0.01 \times 1.4 \\ &= 0.014 \text{ W} \end{aligned}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.1 โครงสร้างติดตั้งจานรวมแสงอาทิตย์

โครงสร้างทำจากเหล็กโดยมีขนาดความสูงเท่ากับ 190 cm ขนาดความกว้าง 150 cm และมีขนาดความยาว 50 cm โดยออกแบบให้มีความแข็งแรง ดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 โครงสร้างติดตั้งจานรวมแสงอาทิตย์

1.2 กระจกสะท้อนแสง

โครงสร้างทำมาจากเหล็กเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยมีขนาดความกว้าง 150 cm และมีความยาว 150 cm โดยตรงกลางจะรองด้วยไม้กระดานอัด และติดกระจกจนเต็มพื้นที่ ดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 กระจกสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 โครงสร้างติดตั้งกระจกสะท้อนแสง

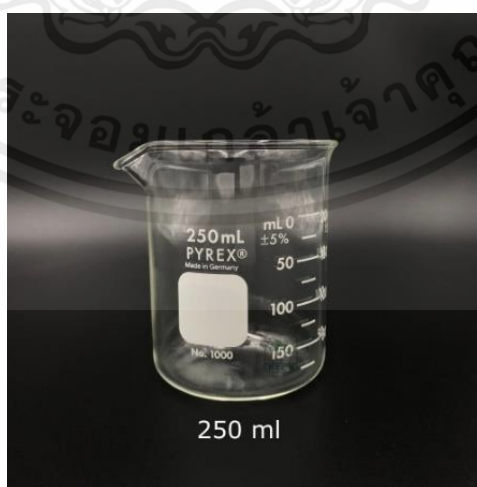
โครงสร้างจะทำด้วยเหล็กประกอบไปด้วย 2 ส่วน โดยส่วนแรกจะเป็นแท่นรับน้ำหนัก โดยจะมีความกว้าง 100 cm และมีขนาดความยาว 50 cm โดยตรงกลางจะทำการติดบูทไว้ตรงกลาง ส่วนที่ 2 จะเป็นแขนไว้สำหรับติดตั้งกระจกสะท้อนแสงจะมีความกว้างเท่ากับ 170 cm และมีความสูงเท่ากับ 80 cm โดยออกแบบให้สามารถหมุนได้ 360 ในแนวระนาบและแนวระดับ ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 โครงสร้างติดตั้งกระจกสะท้อนแสง

1.4 ภาชนะบรรจุน้ำ

โดยใช้เป็นบีกเกอร์แก้วโดยบีกเกอร์ที่ใช่จะเป็นขนาด 200 ml โดยจะบรรจุน้ำตามขนาดที่กำหนดไว้



รูปที่ ข.4 ภาชนะสำหรับต้มน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 เทอร์โมมิเตอร์

ไว้สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิของน้ำในปิเกตอร์ เพื่อนำค่าไปใช้คำนวณ ดังรูปที่ ข.5



รูปที่ ข.5 เทอร์โมมิเตอร์

1.6 เครื่องวัดความเข้มแสง

ไว้สำหรับวัดค่าความเข้มแสงขณะที่ทำการทดลอง และนำค่าที่ได้ไปประกอบในการคำนวณ ดังรูปที่ ข.6

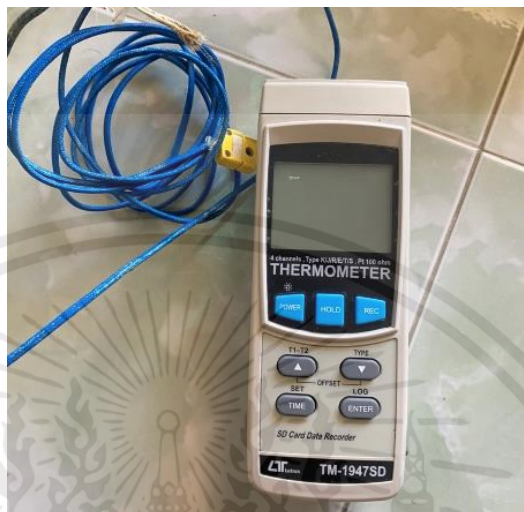


รูปที่ ข.6 เครื่องวัดความเข้มแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 เทอร์โมมิเตอร์

ใช้สำหรับอ่านค่าอุณหภูมิลูกสูบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทั้งฝั่งร้อนและฝั่งเย็น แล้วบันทึกค่าเพื่อนำมาคำนวณ ดังรูปที่ ข.7



รูปที่ ข.7 เทอร์โมมิเตอร์

1.8 เทปอลูมิเนียม

ใช้สำหรับไว้ติดตรงงานรวมแสงเพื่อให้แสงรวมแสงมายังจุดโฟกัส ดังรูปที่ ข.8



ดังรูปที่ ข.8 เทปอลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9 เครื่องวัดความเร็วรอบ

ใช้สำหรับวัดความเร็วรอบที่เครื่องยนตส์เตอร์ลิงสามารถทำได้ ดังรูปที่ ข.9



รูปที่ ข.9 เครื่องวัดความเร็วรอบ

1.10 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า

ใช้สำหรับวัดกระแสไฟฟ้าที่เครื่องยนตส์เตอร์ลิงสามารถทำได้ ดังรูปที่ ข.10

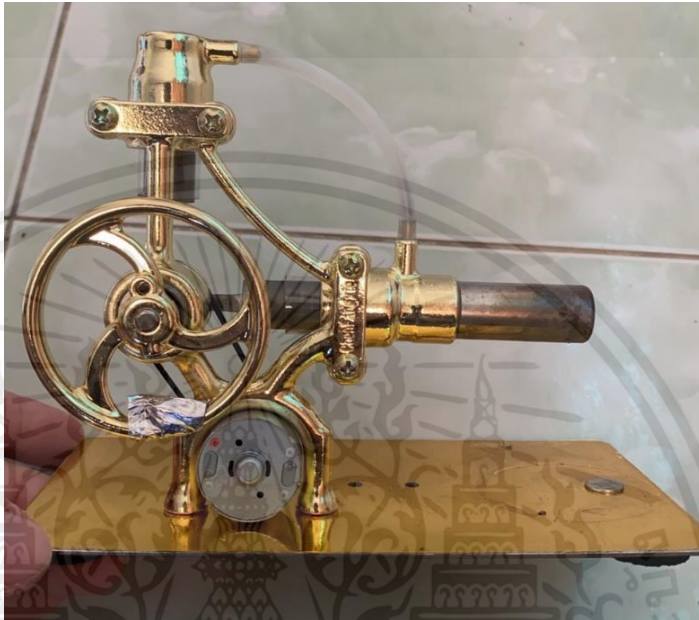


รูปที่ ข.10 เครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.11 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง

ใช้สำหรับเปลี่ยนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานกล และเปลี่ยนจากพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยเจเนอเรเตอร์ ดังรูปที่ ข.11



รูปที่ ข.11 เครื่องยนต์สเตอร์ลิง

1.12 หลอดไฟ

ใช้สำหรับวัดโวลต์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ดังรูปที่ ข.12



รูปที่ ข.12 หลอดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค
ผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองหาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน

หาค่าความร้อนจากดวงอาทิตย์มาใช้ในการคำนวณหาค่าปริมาณความร้อน นำมาทดลองกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงเพื่อให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงได้ทำการขับเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ ค.1 หาค่าความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 4 พฤษภาคม 2564)

Time	$T_{w,1}$	$T_{w,2}$	θ_z	$I_{t,n}$ (W/m ²)	$I_{d,n}$ (W/m ²)	$I_{b,n}$ (W/m ²)	$Q_{abs}(KJ)$	$Q_{in}(KJ)$	$E_{con}(\%)$
14.00	30	69	-74	871	153.3	2603.78	16.2	234.5	6.93
14.15	31	71	-74.77	846	147.1	2660.51	16.6	239.6	6.96
14.30	31	64	-77.07	739	140.3	2675.63	13.7	240.9	5.71
14.45	32	66	-77.48	673	138.7	2464.71	14.1	221.9	6.38
15.00	32	81	-77.75	630	137.8	2319.75	20.4	208.9	9.78
15.15	32	82	-77.97	591	136.4	2181.13	20.8	196.4	10.61
15.30	32	84	-78.28	532	135.5	1951.96	21.6	175.8	12.33
15.45	33	85	-78.31	489	125.1	1796	21.6	161.7	13.4
16.00	33	86	-78.27	495	124.8	1820.95	22.1	164.0	13.47
16.15	33	76	-78.23	535	126.3	2003.59	17.9	180.4	9.93
16.30	32	70	-78	441	124.4	1522.76	15.8	137.1	11.55
16.45	32	75	-77.68	316.5	106.5	984.2	17.9	88.6	20.22
17.00	30	65	-77.49	239.1	92.6	676.33	14.5	60.9	23.95
17.15	30	60	-77.29	214.9	87.8	577.68	12.5	52.0	24.03
17.30	29	54	-76.42	168.3	67.4	429.72	10.4	38.7	26.92
17.45	29	49	-76.14	105.5	54.8	211.65	8.3	19.1	43.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2 หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 5 พฤษภาคม 2564)

Time	$T_{w,1}$	$T_{w,2}$	θ_z	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	$I_{b,n}$ (W/m ²)	$Q_{abs}(KJ)$	$Q_{in}(KJ)$	$E_{con}(\%)$
8.30	28	41	77.64	387.2	193.8	903.5	5.4	81.3	6.66
8.45	28	40	77.74	430	146.2	1336.4	5.0	120.3	4.16
9.00	29	41	77.71	436	171.8	1241.1	5.0	111.7	4.47
9.15	29	38	77.90	382.5	135.8	1176.9	3.7	105.9	3.54
9.30	30	34	77.79	333.4	133.6	944.7	1.6	85.1	1.96
9.45	30	34	77.68	326.5	147.5	838.9	1.6	75.6	2.21
10.00	30	33	77.52	347.8	162.1	859.3	1.2	77.4	1.62
10.15	30	32	77.32	317.5	153.6	746.6	0.8	67.3	1.24
10.30	30	32	75.88	316.4	124.5	786.6	0.8	70.8	1.18
10.45	30	33	75.22	317.7	114.9	794.9	1.2	71.6	1.75
11.00	30	33	74.36	318.8	117.2	747.8	1.2	67.4	1.86
11.15	30	34	73.29	296.7	112.8	639.5	1.6	57.6	2.9
11.30	30	33	66.19	441	128.5	774.0	1.2	69.7	1.79
11.45	30	33	62.58	562	150.2	894.2	1.2	80.5	1.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 7 พฤษภาคม 2564)

Time	$T_{w,1}$	$T_{w,2}$	θ_z	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	$I_{b,n}$ (W/m ²)	Q_{in} (KJ)	Q_{abs} (KJ)	E_{con} (%)
12.30	28	53	-14.85	1194	291.4	933.79	84.1	10.4	12.39
12.45	28	51	-31.96	832	241.6	695.88	62.6	9.5	15.3
13.00	28	59	-44.36	795	255.5	754.59	67.9	12.9	19.01
13.15	29	52	-52.6	216	119.8	158.39	14.2	9.5	67.2
13.30	29	70	-67.91	870	176.9	1843.04	165.9	17.1	10.29
13.45	30	78	-69.92	920	268.8	1925.83	173.4	20.0	11.53
14.00	30	68	-71.45	932	258.5	2117.05	190.6	15.8	8.31
14.15	30	53	-72.71	483	213.5	906.77	81.6	9.5	11.74
14.30	30	48	-75.48	665	172.8	1963.16	176.8	7.5	4.24
14.45	31	72	-75.87	456	163.2	1199.4	108.0	17.0	15.82
15.00	31	50	-76.26	189.5	81.2	455.97	41.0	7.9	19.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.4 หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 8 พฤษภาคม 2564)

Time	$T_{w,1}$	$T_{w,2}$	θ_z	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	$I_{b,n}$ (W/m ²)	$Q_{abs}(KJ)$	$Q_{in}(KJ)$	$E_{con}(\%)$
11.30	28	41	67.31	681	175.6	1310.19	5.41	127.7	3.24
11.45	29	48	63.85	1157	262.3	2030.07	7.9	197.8	3.31
12.00	29	47	58.84	696	202.5	953.75	7.5	92.9	2.7
12.15	29	50	51.49	1070	250.7	1315.82	8.7	128.2	2.86
12.30	29	69	-1004	972	230	753.54	16.6	73.4	1.38
12.45	30	58	-35.18	833	189.4	787.43	11.6	76.7	1.62
13.00	30	50	-48.23	637	198.2	658.72	8.3	64.2	2.38
13.15	30	78	-56.68	935	226.8	1289.24	20.0	125.6	1.13
13.30	30	62	-70.6	884	190.8	2087.97	13.3	203.5	1.43
13.45	31	85	-72.33	890	197.4	2281.79	22.5	222.4	0.88
14.00	31	75	-73.64	672	185.3	1727.9	18.3	168.4	1.01
14.15	31	37	-74.77	402	150.2	958.53	2.5	93.4	6.01
14.30	31	42	-77.07	365.7	155.7	938.5	4.5	91.4	3.4
14.45	31	47	-77.48	383.5	156.1	1048.99	6.6	102.2	2.34
15.00	31	53	-77.75	327.2	148.2	843.63	9.1	82.2	1.62
15.15	32	60	-77.97	445	191.7	1215.31	11.6	118.4	1.64
15.30	32	57	-78.28	544	207.2	1658.06	10.4	161.6	1.99
15.45	32	60	-78.31	368	189.9	879	11.6	85.6	1.63
16.00	31	50	-78.27	342	159.1	899.66	7.9	87.7	2.01
16.15	31	57	-78.23	279	162.3	372.11	10.8	55.7	1.5
16.30	31	68	-77.83	367.9	193.6	826.8	15.4	80.5	1.26
16.45	31	53	-77.68	201.8	156.5	212.31	9.1	20.6	1.71

ตารางที่ ค.5 หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 21 พฤษภาคม 2564)

Time	$T_{w,1}$	$T_{w,2}$	θ_z	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	$I_{b,n}$ (W/m ²)	$Q_{in}(KJ)$	$Q_{abs}(KJ)$	$E_{con}(\%)$
11.20	29	30	53.81	1054	245.5	1369.26	123.3	0.4	0.33
11.25	29	38	52.45	369.9	194.1	288.65	25.9	3.7	14.4
11.30	29	40	50.97	478	210.6	425.1	38.2	4.5	11.9
11.35	29	45	49.39	834	238.7	914.57	82.3	6.6	8.09
11.40	29	47	47.65	877	265.9	907.14	81.7	7.5	9.18
11.45	29	45	45.79	607	259.4	498.5	44.8	6.6	14.8
11.50	30	46	43.72	485	240.6	338.16	30.4	6.6	21.8
11.55	30	40	43.52	485	240.6	337.04	30.3	4.1	13.7
12.00	30	38	39.15	558	258.5	386.2	34.7	3.3	9.58
12.05	30	38	36.57	575	262.2	389.48	35.1	3.3	9.50
12.10	30	38	33.81	526	263.6	315.81	28.4	3.3	11.7
12.15	30	38	0	624	263.1	360.9	32.5	3.3	10.2
12.20	31	37	-4.29	470	238.2	232.45	20.9	2.5	11.9
12.25	31	36	-8.54	388.4	196.8	193.75	17.4	2.1	11.9
12.30	31	37	-12.73	535	198.7	344.77	31.1	2.5	8.05
12.35	31	36	-16.69	180.1	95.9	87.9	7.9	2.1	26.3
12.40	32	38	-20.53	787	290.5	530.17	47.8	2.5	5.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.6 หาคความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 22 พฤษภาคม 2564)

Time	$T_{w,1}$	$T_{w,2}$	θ_z	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	$I_{b,n}$ (W/m ²)	$Q_{in}(KJ)$	$Q_{abs}(KJ)$	$E_{con}(\%)$
11.35	30	50	50	994	240.9	1171.62	105.5	8.3	7.89
11.40	30	58	48	1044	261.8	1168.98	105.2	11.6	11.08
11.45	30	62	46.66	941	241.1	1019.78	91.8	13.3	14.52
11.50	30	60	44.73	342	198.5	201.99	18.1	12.5	68.73
11.55	30	56	43.67	470	221.8	337.56	30.4	10.4	34.27
12.00	31	52	40.44	277.2	144.1	174.88	15.7	8.7	55.57
12.05	31	53	38.04	682	204.7	606.03	54.5	9.1	16.79
12.10	31	50	35.44	367.7	189.1	219.22	19.7	7.9	40.10
12.15	31	49	32.63	627	218.9	484.58	43.6	7.5	17.18
12.20	31	46	-0.89	301.2	154.1	147.12	13.2	6.2	47.18
12.25	31	44	-5.04	320.8	164.3	157.11	14.1	5.4	38.29
12.30	31	42	-9.17	303.3	164.4	140.7	12.6	4.1	32.89
12.35	32	40	-13.2	353.7	173.1	185.5	16.7	3.3	19.95
12.40	32	41	-17.1	449	184.9	276.32	24.8	3.7	15.07
12.45	32	38	-20.83	312.8	168.2	154.71	13.9	2.5	17.94
12.50	32	37	-24.38	263.5	135.8	140.2	12.6	2.0	16.50
12.55	32	37	-27.73	365.8	176.6	213.75	19.2	2.0	10.82
13.00	32	36	-30.84	387.3	176.3	245.75	22.1	1.2	5.64
13.05	33	36	-33.98	323.7	165.4	190.45	17.1	1.25	7.28
13.10	33	36	-36.51	321.7	142	223.58	20.1	1.66	8.27
13.15	32	35	-39	376.4	178.5	254.65	22.9	14.5	63.60

ตารางที่ ค.7 หาความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 23 พฤษภาคม 2564)

Time	$T_{w,1}$	$T_{w,2}$	θ_z	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	$I_{b,n}$ (W/m ²)	$Q_{in}(KJ)$	$Q_{abs}(KJ)$	$E_{con}(\%)$
12.00	28	32	39.86	658	218.6	572.42	51.5	1.6	3.23
12.05	28	35	37.4	1022	345.1	852.07	76.7	2.9	3.80
12.10	28	45	34.86	1082	332.1	913.9	82.2	7.0	8.60
12.15	28	52	32.09	1068	388.3	802.28	72.2	10.0	13.84
12.20	28	64	-0.82	1003	307.5	695.57	62.6	15.0	23.95
12.25	28	68	-4.93	1057	325.5	734.22	66.1	16.6	25.21
12.30	28	70	-8.98	1004	319.4	693.1	62.4	17.5	28.04
12.35	29	70	-12.93	958	287.8	687.64	61.9	17.1	27.59
12.40	29	72	-16.76	1014	302.1	743.48	66.9	17.9	26.76
12.45	29	72	-20.44	927	308.6	659.95	59.4	17.9	30.15
12.50	29	71	-23.92	819	283.4	585.92	52.7	17.5	33.17
12.55	29	71	-27.22	867	236.2	709.36	63.8	17.5	27.39
13.00	29	73	-30.33	964	243.4	834.87	75.1	18.3	24.38
13.05	30	70	-33.22	878	239.5	763.23	68.7	16.6	24.25
13.10	30	65	-35.91	735	199.7	660.91	59.5	14.5	24.50
13.15	30	69	-38.44	991	288.2	897.28	80.8	16.2	20.11
13.20	30	69	-54.17	1060	382.4	1157.53	104.2	16.2	15.59
13.25	30	61	-55.35	345	184	283.17	25.5	12.9	50.66
13.30	30	62	-56.45	719	188.3	960.26	86.4	13.3	15.42
13.35	31	60	-57.46	303.5	115.2	350.07	31.5	12.1	38.33
13.40	31	64	-58.44	759	185.4	1095.93	98.7	13.7	13.93
13.45	31	64	-59.33	741	183.7	1092.55	98.4	13.7	13.97
13.50	31	63	-60.14	847	263.3	1172.37	105.5	13.3	12.63
13.55	31	63	-60.93	796	232.1	1160.58	104.5	13.3	12.75
14.00	32	63	-61.64	842	239.4	1268.6	114.2	12.9	11.30

ตารางที่ ค.8 หาคความเข้มแสงของดวงอาทิตย์และประสิทธิภาพความร้อน (วันที่ 24 พฤษภาคม 2564)

Time	$T_{w,1}$	$T_{w,2}$	θ_z	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	$I_{b,n}$ (W/m ²)	$Q_{in}(KJ)$	$Q_{abs}(KJ)$	$E_{con}(\%)$
11.00	29	37	63.45	845	198.7	1445.93	130.2	3.3	2.56
11.05	29	36	62.91	623	186.3	958.96	86.3	2.9	3.37
11.10	29	41	62.27	922	243.6	1457.97	131.3	5.0	3.80
11.15	29	45	61.61	871	237.8	1334.73	120.2	6.6	5.54
11.20	29	55	53.15	885	234.5	1084.68	97.6	10.8	11.09
11.25	30	60	51.82	954	238.7	1157.19	104.2	12.5	11.99
11.30	30	65	50.43	964	239.1	1137.95	102.4	14.5	14.23
11.35	30	71	48.89	872	220.5	990.86	89.2	17.1	19.14
11.40	30	76	47.26	895	230.2	979.56	88.2	19.1	21.73
11.45	30	74	45.47	870	215.5	933.29	84.1	18.3	21.81
11.50	30	75	43.57	875	198.4	933.84	84.1	18.7	22.30
11.55	30	78	41.52	940	228	950.95	85.6	20.0	23.35
12.00	30	75	39.27	935	218.8	925.12	83.3	18.7	22.51
12.05	31	76	36.89	890	205.8	855.46	77.0	18.7	24.34
12.10	31	78	36.33	941	219.9	895.09	80.6	19.5	24.29
12.15	30	77	31.57	921	218.4	824.65	74.2	19.5	26.37
12.20	30	75	-0.81	845	188.9	656.17	59.1	18.7	31.73
12.25	30	70	-4.83	913	231.1	684.33	61.6	16.6	27.04
12.30	30	60	-8.81	396.7	179.1	220.2	19.8	12.5	63.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.9 การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 5 นาที (วันที่ 6 มิถุนายน 2564)

Time (min)	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	T_H (°C)	T_C (°C)	N(RPM)	E (V)	I (A)	P_g (W)
0	876	175.2	52.4	33.7	0	0	0	0
5	953	165.5	86.6	37.5	0	0	0	0
10	924	174.6	137.2	39.8	297	1.5	0.01	0.015
15	873	168.6	156.7	40.2	312	1.6	0.01	0.016
20	848	163.7	163.8	40.8	362	1.8	0.01	0.018
25	982	175.4	175.2	41.8	375	1.9	0.01	0.019
30	891	174.2	169.2	41.5	358	1.7	0.01	0.017
35	867	169.8	165.9	41.6	346	1.7	0.01	0.017
40	846	179.3	162.3	41.1	331	1.6	0.01	0.016
45	875	168.2	168.2	41.3	357	1.7	0.01	0.017
50	961	161.5	179.3	41.9	394	2.1	0.02	0.042
55	835	164.2	164.9	41.5	372	2	0.02	0.04
60	872	182.1	167.5	41.7	368	2	0.02	0.04
65	881	187.4	169.2	42.3	377	2.1	0.02	0.042
70	898	167.1	171.7	42.7	382	2.2	0.02	0.044

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.10 การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 5 นาที (วันที่ 7 มิถุนายน 2564)

Time (min)	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	T_H (°C)	T_C (°C)	N(RPM)	E (V)	I (A)	P_g (W)
0	881	164.2	49.2	31.4	0	0	0	0
5	864	174.5	84.1	36.5	0	0	0	0
10	857	167.1	142.8	38.6	301	1.6	0.01	0.016
15	891	163.8	162.4	39.1	342	1.7	0.01	0.017
20	827	171.2	159.3	39.8	331	1.7	0.01	0.017
25	913	168.7	174.6	40.2	375	1.8	0.01	0.018
30	925	175.3	178.2	40.8	387	2.1	0.02	0.042
35	864	172.5	164.2	41.6	366	1.9	0.01	0.019
40	857	166.8	161.7	41.3	345	1.6	0.01	0.016
45	894	164.4	169.2	41.8	374	1.9	0.01	0.019
50	867	172.8	167.4	41.7	368	1.8	0.01	0.018
55	914	177.4	175.2	42.1	381	2	0.02	0.04
60	848	173.8	171.1	41.9	376	1.9	0.01	0.019
65	835	171.2	170.9	41.5	367	1.9	0.01	0.019
70	879	179.3	173.8	42.4	389	2.1	0.02	0.042

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.11 การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 5 นาที (วันที่ 10 มิถุนายน 2564)

Time (min)	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	T_H (°C)	T_C (°C)	N(RPM)	E (V)	I (A)	P_g (W)
0	814	168.3	60.2	32.1	0	0	0	0
5	865	173.5	98.6	38.3	0	0	0	0
10	885	186.2	138.9	39.2	320	1.6	0.01	0.016
15	897	188.3	140.5	40.8	335	1.7	0.01	0.017
20	856	178.4	161.3	41.2	359	1.9	0.01	0.019
25	829	176.6	134.7	41.3	324	1.7	0.01	0.017
30	858	178.6	150.7	41.4	341	1.8	0.01	0.018
35	833	176.4	132.5	41.6	318	1.5	0.01	0.015
40	897	180.2	136.8	41.7	329	1.6	0.01	0.016
45	865	160.1	142.6	42	347	1.8	0.01	0.018
50	891	162.8	129.7	42.3	322	1.9	0.01	0.019
55	837	166.1	146.9	42.5	339	2.1	0.02	0.042
60	831	157.8	165.1	42.8	364	2.3	0.02	0.046
65	864	197.9	174.6	43.3	389	2.4	0.02	0.048
70	836	157	178.3	43.9	412	2.6	0.02	0.052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.12 การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 3 นาที (วันที่ 8 มิถุนายน 2564)

Time (min)	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	T_H (°C)	T_C (°C)	N(RPM)	E (V)	I (A)	P_g (W)
0	862	178.5	57.2	33.5	0	0	0	0
3	857	185.2	69.4	36.8	0	0	0	0
6	894	179.3	89.1	38.9	0	0	0	0
9	827	182.5	108.7	39.2	0	0	0	0
12	871	174.6	126.8	40.2	289	1.5	0.01	0.015
15	839	179.5	134.3	40.8	312	1.5	0.01	0.015
18	814	182.3	137.9	41.2	324	1.6	0.01	0.016
21	885	172.1	142.5	41.6	335	1.7	0.01	0.017
24	798	170.5	135.4	41.2	317	1.5	0.01	0.015
27	781	172.6	132.7	41.1	305	1.5	0.01	0.015
30	816	186.5	138.1	41.5	327	1.6	0.01	0.016
33	835	182.1	142.5	41.9	373	2	0.01	0.02
36	849	183.6	143.2	42.3	381	2.1	0.01	0.021
39	867	180.9	145.6	42.5	396	2.3	0.01	0.023
42	876	179.5	148.9	42.8	402	2.3	0.01	0.023
45	794	177.4	141.2	42.6	377	2	0.01	0.02
48	841	182.2	146.8	42.5	386	2.1	0.01	0.021
51	852	184.8	147.1	42.6	398	2.2	0.02	0.044
54	883	186.7	151.2	42.9	412	2.3	0.02	0.046
57	875	188.9	149.5	42.8	401	2.2	0.01	0.022
60	867	185.6	148.9	42.7	384	2.1	0.01	0.021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.13 การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 3 นาที (วันที่ 9 มิถุนายน 2564)

Time (min)	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	T_H (°C)	T_C (°C)	N(RPM)	E (V)	I (A)	P_g (W)
0	896	168.4	55.4	34.7	0	0	0	0
3	824	175.8	63.7	37.1	0	0	0	0
6	867	182.3	81.5	38.5	0	0	0	0
9	781	183.5	102.4	40.1	0	0	0	0
12	824	179.6	132.1	40.4	305	1.5	0.01	0.015
15	861	188.9	135.6	40.7	324	1.6	0.01	0.016
18	859	184.2	138.9	40.5	348	1.7	0.01	0.017
21	872	177.1	141.3	41.1	352	1.8	0.01	0.018
24	883	187.4	143.5	41.3	369	1.9	0.01	0.019
27	794	185.6	139.7	41	347	1.7	0.01	0.017
30	865	174.6	138.4	40.8	331	1.6	0.01	0.016
33	857	164.8	135.6	40.7	326	1.6	0.01	0.016
36	878	178.2	142.2	41.2	363	1.9	0.01	0.019
39	824	169.3	140.3	41.1	357	1.7	0.01	0.017
42	858	186.7	144.8	41.5	372	2	0.01	0.02
45	823	184.6	138.6	41.3	348	1.7	0.01	0.017
48	835	165.5	141.7	41.4	355	1.8	0.01	0.018
51	758	179.8	137.4	41	329	1.6	0.02	0.032
54	796	174.1	138.2	41.1	334	1.6	0.02	0.032
57	837	177.4	142.6	41.6	381	2.1	0.01	0.021
60	849	182.9	145.1	41.9	397	2.2	0.01	0.022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.14 การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 3 นาที (วันที่ 11 มิถุนายน 2564)

Time (min)	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	T_H (°C)	T_C (°C)	N(RPM)	E (V)	I (A)	P_g (W)
0	868	189.3	69.4	32.6	0	0	0	0
3	730	172.9	76.8	34.1	0	0	0	0
6	770	174.8	92.6	36.9	0	0	0	0
9	790	176.7	115.3	38.3	0	0	0	0
12	822	185.8	121.5	39.8	279	1.4	0.01	0.014
15	783	174.8	125.8	40.6	295	1.5	0.01	0.015
18	786	175.4	127.3	40.8	312	1.6	0.01	0.016
21	722	172.5	125.9	41.1	305	1.6	0.01	0.016
24	742	173.6	126.1	41.3	317	1.6	0.01	0.016
27	812	178.3	129.9	41.6	328	1.7	0.01	0.017
30	833	181.4	130.6	41.9	334	1.7	0.01	0.017
33	850	186.7	132.9	42.2	341	1.9	0.01	0.019
36	842	185.9	133.5	42.5	338	1.8	0.01	0.018
39	856	187.5	135.3	42.6	352	1.9	0.01	0.019
42	815	179.1	134.9	42.4	329	1.7	0.01	0.017
45	826	180.6	135.6	42.3	337	1.7	0.01	0.017
48	847	186.3	138.5	42.4	356	1.9	0.01	0.019
51	851	187.2	140.1	42.6	363	2	0.02	0.04
54	865	189.4	142.3	42.7	374	2.1	0.02	0.042
57	846	185.6	141.9	42.5	358	1.9	0.01	0.019
60	838	184.7	140.8	41.8	342	1.8	0.01	0.018

ตารางที่ ค.15 การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 1 นาที (วันที่ 12 มิถุนายน 2564)

Time (min)	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	T_H (°C)	T_C (°C)	N (RPM)	E (V)	I (A)	P_g (W)
0	861	168.5	63.2	31.5	0	0	0	0
1	894	172.3	76.3	33.2	0	0	0	0
2	912	176.1	88.4	34.9	0	0	0	0
3	865	162.7	92.8	36.1	0	0	0	0
4	873	166.8	99.6	37.5	0	0	0	0
5	821	170.1	106.3	39.8	0	0	0	0
6	932	186.9	112.7	41.3	0	0	0	0
7	883	174.2	114.6	41.4	0	0	0	0
8	867	172.8	116.8	41.4	0	0	0	0
9	839	161.1	119.8	41.5	0	0	0	0
10	894	174.4	127.6	41.5	298	1.4	0.01	0.014
11	873	169.8	135.4	42.3	325	1.5	0.01	0.015
12	852	166.5	134.2	42.1	316	1.5	0.01	0.015
13	932	176.1	140.6	42.6	345	1.7	0.01	0.017
14	916	172.8	139.5	42.2	331	1.6	0.01	0.016
15	957	162.2	138.2	41.9	329	1.6	0.01	0.016
16	944	182.4	142.6	42.1	357	1.8	0.01	0.018
17	896	174.6	147.2	42.6	362	1.8	0.01	0.018
18	925	185.4	152.8	42.8	379	1.9	0.01	0.019
19	948	189.2	150.1	42.5	361	1.8	0.01	0.018
20	877	181.3	148.6	42.1	342	1.7	0.01	0.017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.16 การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 1 นาที (วันที่ 13 มิถุนายน 2564)

Time (min)	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	T_H (°C)	T_C (°C)	N(RPM)	E (V)	I (A)	P_g (W)
0	873	162.3	59.8	32.1	0	0	0	0
1	867	186.4	68.2	33.6	0	0	0	0
2	889	175.6	84.1	34.2	0	0	0	0
3	854	164.2	89.4	35.7	0	0	0	0
4	942	177.1	93.7	36.5	0	0	0	0
5	935	168.9	101.3	37.9	0	0	0	0
6	876	162.5	109.8	38.4	0	0	0	0
7	842	168.4	117.5	38.7	0	0	0	0
8	891	179.2	123.4	39.2	0	0	0	0
9	934	165.9	125.2	39.8	0	0	0	0
10	928	172.4	131.3	40.6	324	1.6	0.01	0.016
11	942	177.6	136.9	41.8	337	1.7	0.01	0.017
12	861	167.8	135.4	41.5	326	1.6	0.01	0.016
13	894	185.5	139.2	42.1	346	1.8	0.01	0.018
14	927	184.6	143.8	42.3	361	1.9	0.01	0.019
15	938	175.1	145.6	42.5	372	2	0.01	0.02
16	848	168.9	142.7	42.1	355	1.9	0.01	0.019
17	862	167.4	144.6	42.4	354	1.9	0.01	0.019
18	957	172.3	150.7	43.1	379	2.1	0.01	0.021
19	871	181.7	146.8	42.7	382	2.3	0.01	0.023
20	982	174.6	153.6	43.5	391	2.4	0.01	0.024

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.17 การทดลองวัดกำลังไฟฟ้าที่ทำได้จากเครื่องยนต์สเตอร์ลิง วัดทุก 1 นาที (วันที่ 14 มิถุนายน 2564)

Time (min)	$I_{t,h}$ (W/m ²)	$I_{d,h}$ (W/m ²)	T_H (°C)	T_C (°C)	N(RPM)	E (V)	I (A)	P_g (W)
0	871	164.2	52.4	31.2	0	0	0	0
1	824	175.8	55.7	32.6	0	0	0	0
2	927	187.1	61.2	33.4	0	0	0	0
3	842	189.3	73.4	35.2	0	0	0	0
4	876	167.5	82.7	36.8	0	0	0	0
5	821	174.9	98.4	37.9	0	0	0	0
6	864	177.4	106.8	38.2	0	0	0	0
7	878	187.6	118.1	38.9	0	0	0	0
8	851	178.2	124.5	39.2	0	0	0	0
9	847	187.9	129.8	39.6	0	0	0	0
10	946	175.4	134.5	40.5	315	1.5	0.01	0.015
11	935	189.2	138.5	41.2	334	1.6	0.01	0.016
12	852	174.2	134.7	41.8	324	1.5	0.01	0.015
13	873	175.8	135.6	42.1	331	1.6	0.01	0.016
14	835	186.5	132.1	41.9	318	1.5	0.01	0.015
15	842	174.8	134.2	42	321	1.5	0.01	0.015
16	867	173.9	139.6	42.4	346	1.7	0.01	0.017
17	924	184.6	142.5	42.6	352	1.8	0.01	0.018
18	896	181.2	141.6	42.2	353	1.8	0.01	0.018
19	864	167.2	140.2	42	341	1.7	0.01	0.017
20	967	185.6	145.6	42.8	367	1.9	0.01	0.019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



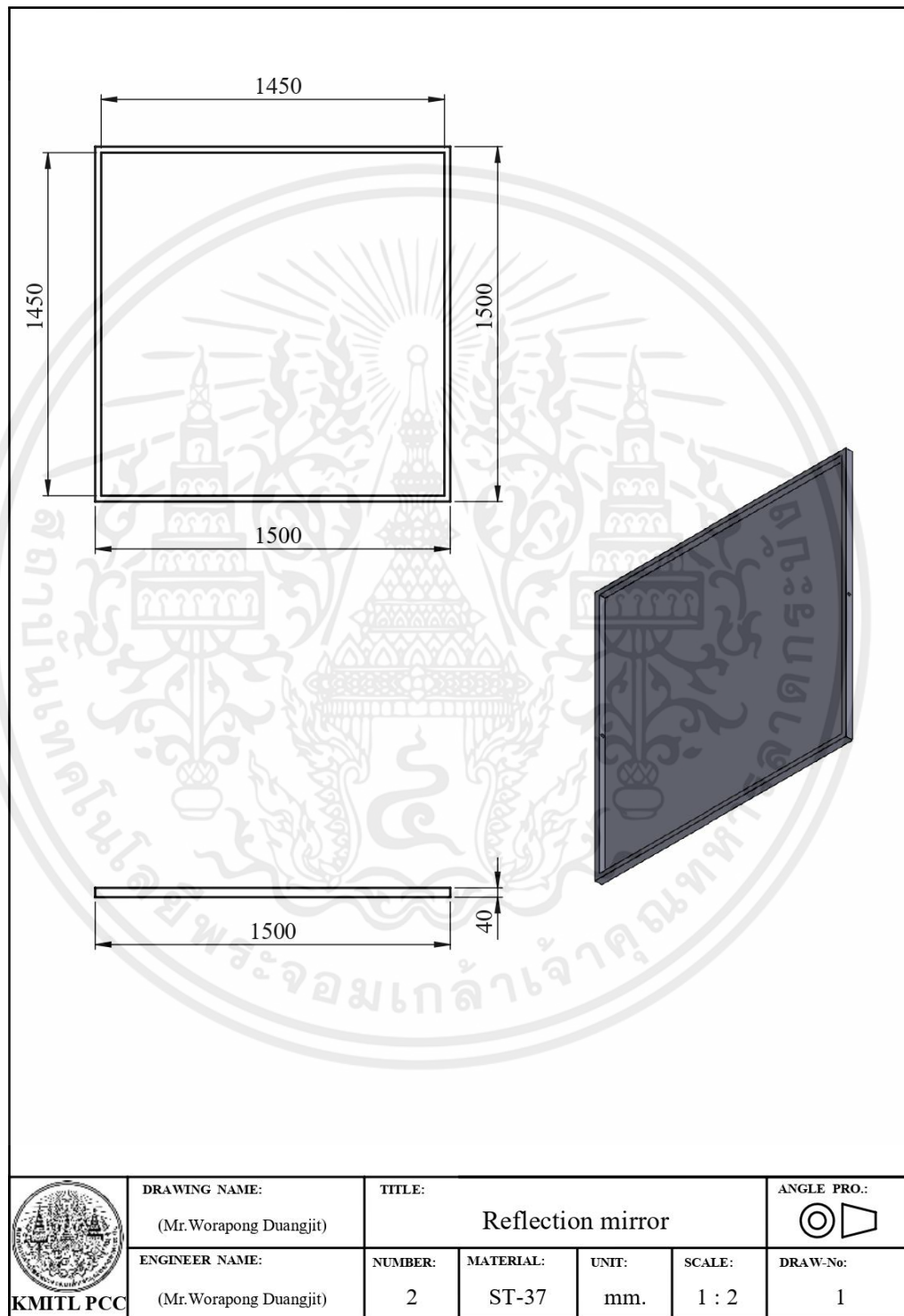
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนนี้จะเป็นการออกแบบและบอกขนาดต่างๆ ของชุดรวมแสงให้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เพื่อศึกษาในการทำงาน

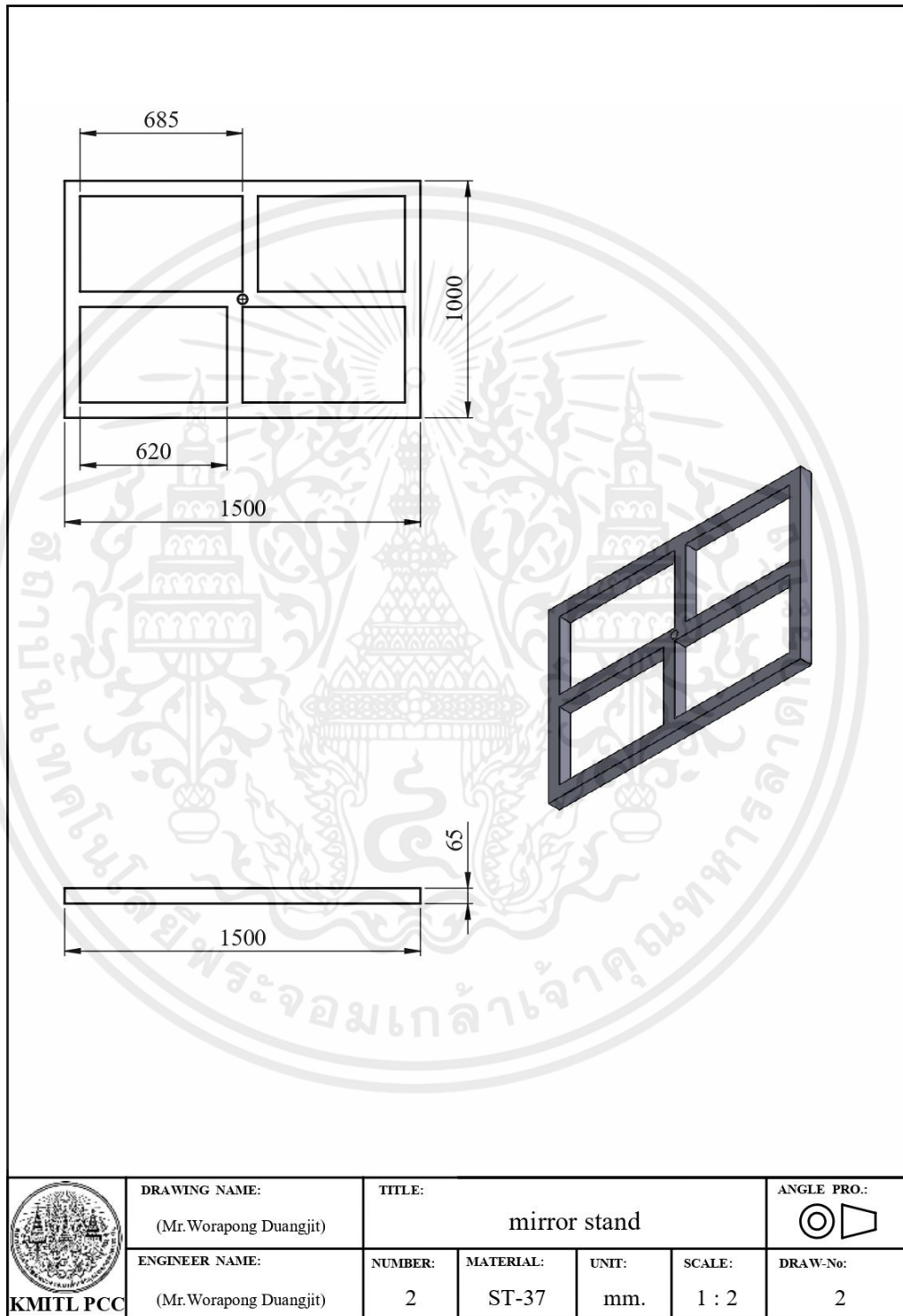


รูปที่ ง.1 ชุดรวมแสงให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิง

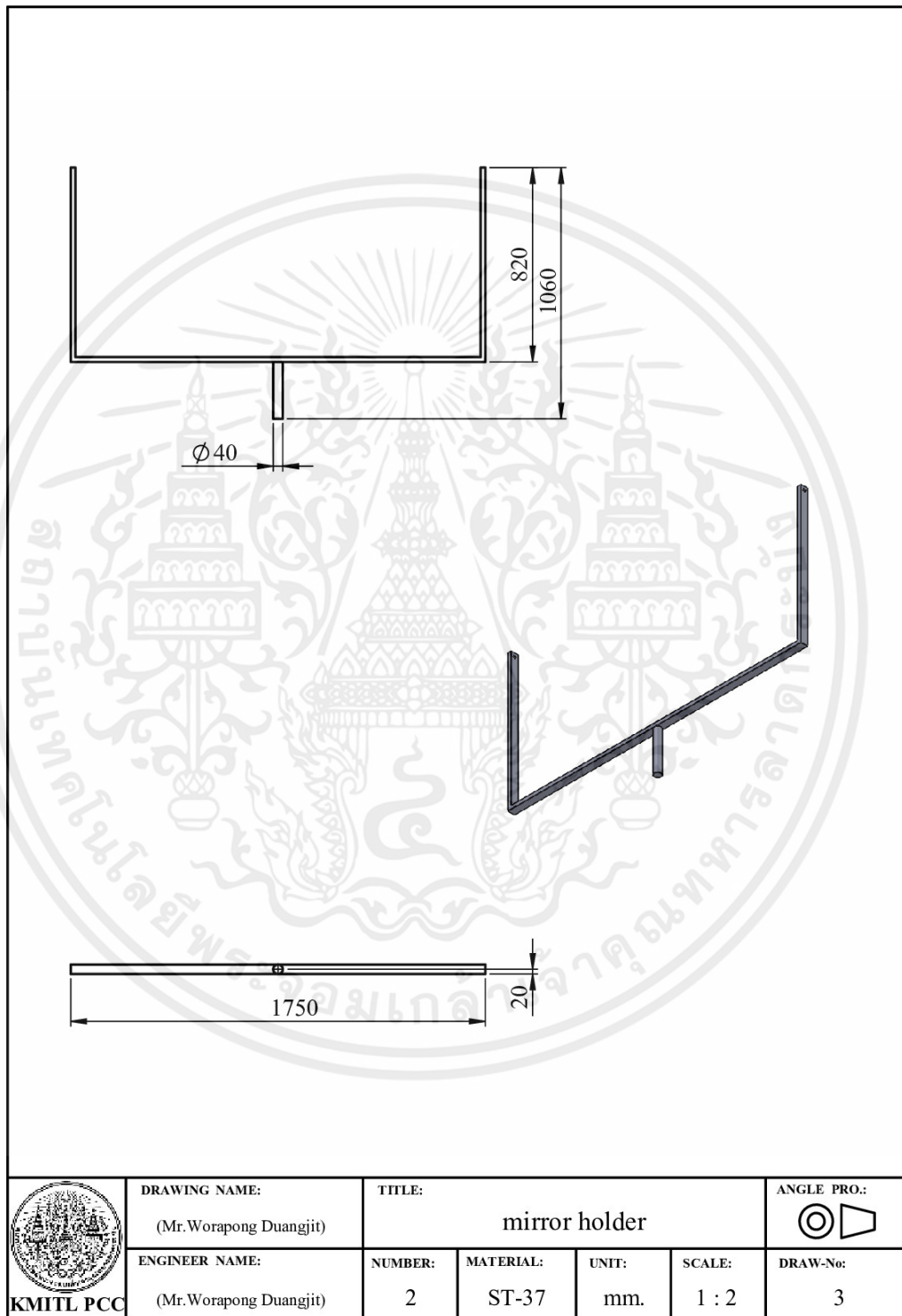
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



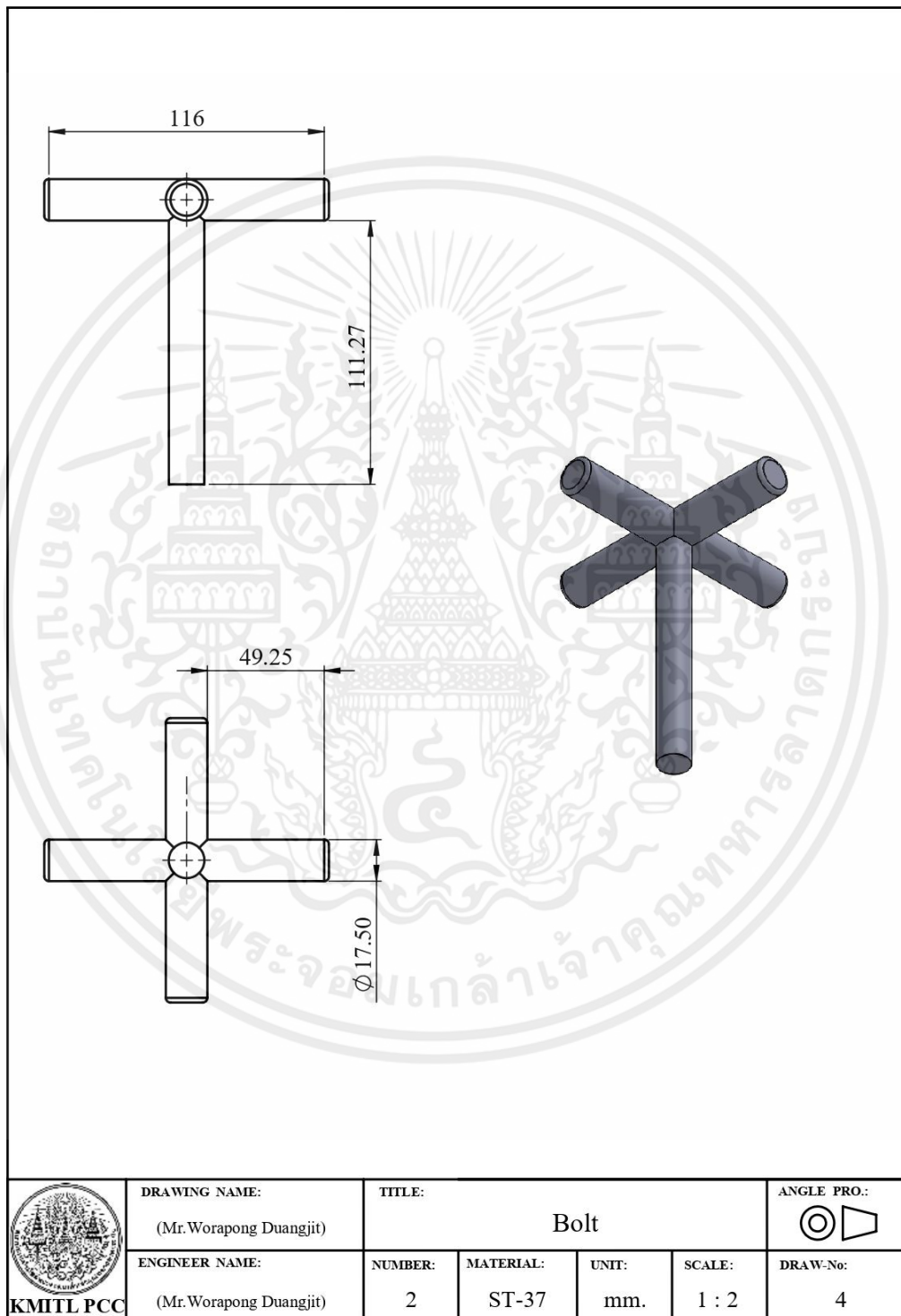
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



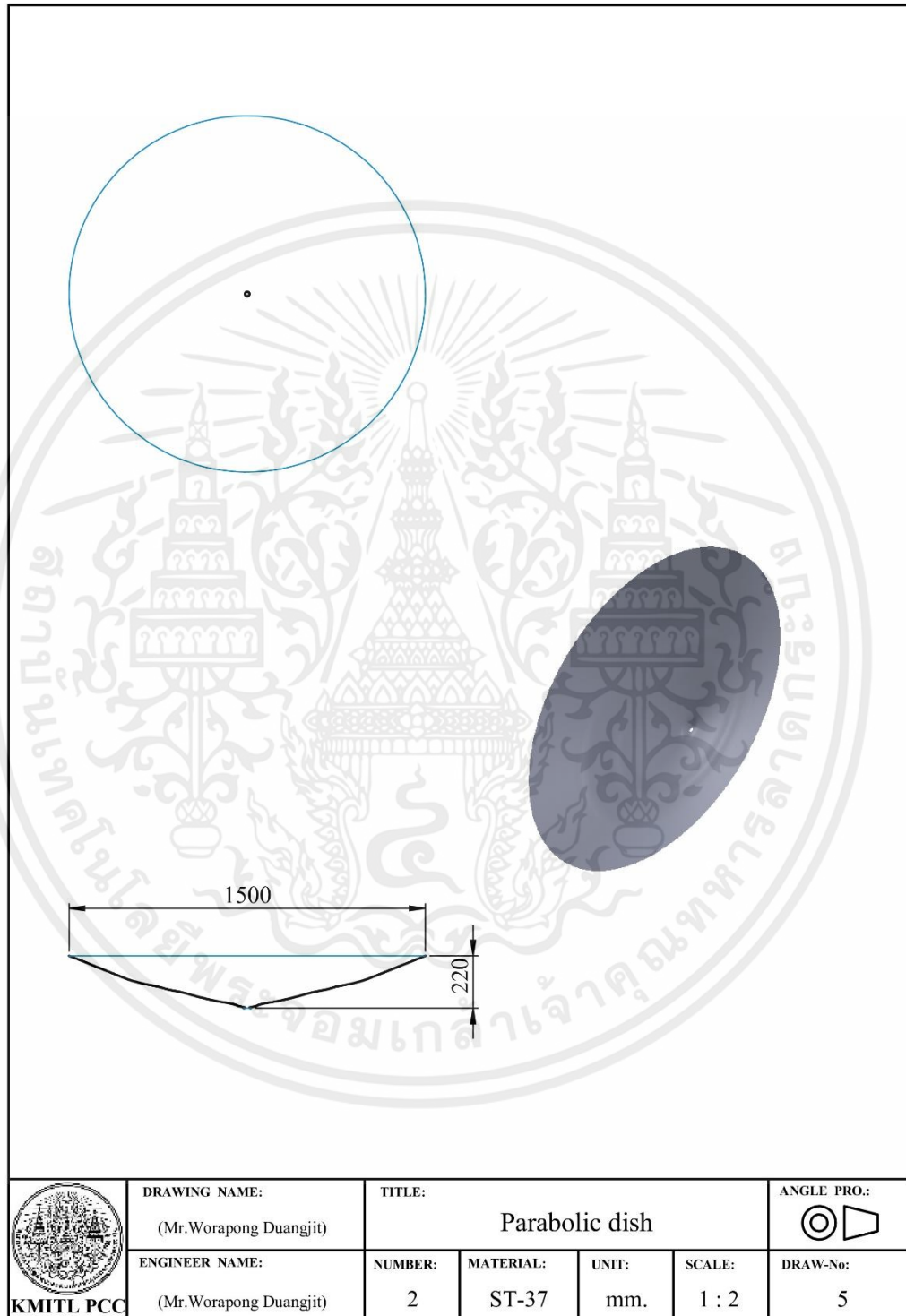
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



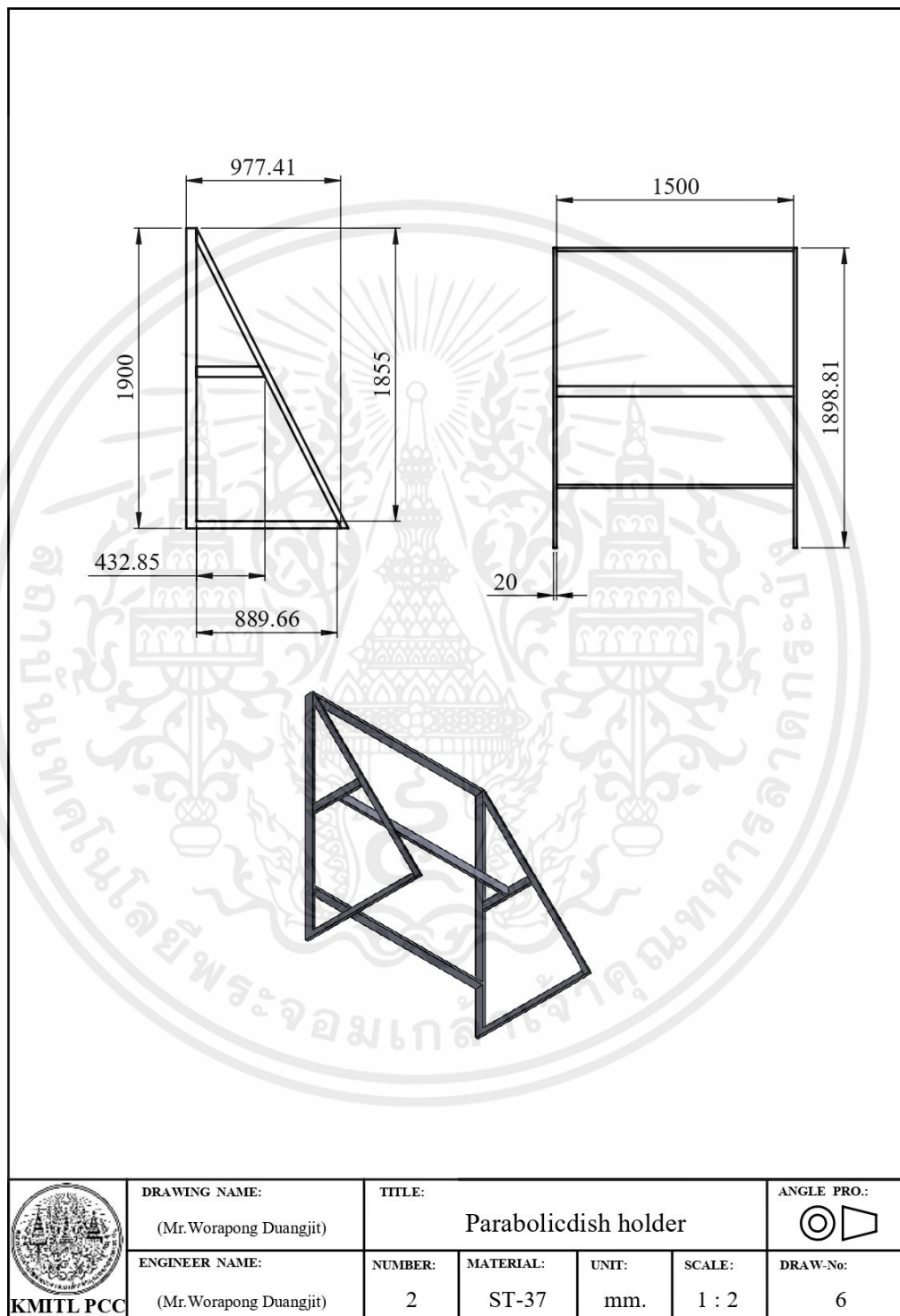
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายพีรศักดิ์ สมบูรณ์
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดนครศรีธรรมราช
 ที่อยู่ 113 หมู่ 4 ตำบลการะเกด อำเภอเชียรใหญ่
 จังหวัดนครศรีธรรมราช 80190

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนเชียรใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- บรรยายให้คำปรึกษาน้องเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ในงาน KMITL open house

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายวรพงศ์ ดวงจิตร
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 5 กันยายน พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดกระบี่
 ที่อยู่ 18/1 หมู่ 2 ตำบลโคกยาง อำเภอเหนือคลอง
 จังหวัดกระบี่ 81130

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียนวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียนเหนือคลองประชาบำรุง จังหวัดกระบี่
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขตชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- บรรยายให้คำปรึกษาน้องเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ในงาน KMITL open house

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-นามสกุล นายศุภประเสริฐ ก้อนทิพย์
 วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2541
 ภูมิลำเนา จังหวัดราชบุรี
 ที่อยู่ 57 หมู่ 5 ตำบลเตาปูน อำเภอโพธาราม
 จังหวัดราชบุรี 70120

ประวัติการศึกษา

- สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย แผนการเรียน วิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ปีการศึกษา 2559 จากโรงเรียน รัตนราษฎร์บำรุง จังหวัดราชบุรี
- สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วศ.บ. (วิศวกรรมเครื่องกล) ปีการศึกษา 2563 จากสถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วิทยาเขต ชุมพร เขตอุดมศักดิ์ จังหวัดชุมพร

ผลงานและกิจกรรม

- บรรยายให้คำปรึกษาน้องเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ในงาน KMITL open house

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้