

การพัฒนาออกแบบและควบคุมจากรวมแสงอาทิตย์

DESIGNING AND CONTROLLING DEVELOPMENT ON
SOLAR COLLECTIVE DISH



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาออกแบบและควบคุมงานรวมแสงอาทิตย์

DESIGNING AND CONTROLLING DEVELOPMENT ON
SOLAR COLLECTIVE DISH



T143895

ภควัต ตริโสภา
ภัทรนันท์ แสงผล
สรรเพชร ศรีอิทธิรมย์

ร.พ.
ภ/167
2058

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143895
วันเดือนปี 04 ต.ค. 2559

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGNING AND CONTROLLING DEVELOPMENT ON
SOLAR COLLECTIVE DISH



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาออกแบบและควบคุมจานรวมแสงอาทิตย์

DESIGNING AND CONTROLLING DEVELOPMENT ON SOLAR COLLECTIVE DISH

ผู้จัดทำ

- | | | |
|------------------|------------|-----------------------|
| 1. นาย ภาควัต | ตรีโสภา | รหัสประจำตัว 55010905 |
| 2. นาย ภัทรนันท์ | แสงวงผล | รหัสประจำตัว 55010920 |
| 3. นาย สรรเพชร | ศรีอภิรมย์ | รหัสประจำตัว 55011273 |



ปัญญา ชันสุวรรณ
(ผศ.ดร. ปัญญา ชันสุวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบพัฒนาและการควบคุมงานรวมแสงอาทิตย์

นายภควัต ตริโสภา 55010905
นายภัทรนันท์ แสงผล 55010920
นายสรรเพชร ศรีอภิมย์ 55011273
ผศ.ดร.ปัญญา ชันธุ์สุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นรายงานการออกแบบควบคุมและทดลองหาประสิทธิภาพพื้นผิวรับแสงของงานพาราโบลิคและออกแบบระบบติดตามแสงจากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยมีการใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติในการควบคุมงานพาราโบลิคให้เคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ ซึ่งจำเป็นต้องมีระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เพื่อให้งานรวมแสงรับรังสีตรงของดวงอาทิตย์และรวมแสงที่จุดโฟกัสได้อย่างแม่นยำ รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพของงานพาราโบลิครวมแสงที่มีระบบเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ในการรวบรวมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในระดับครัวเรือนหรือชุมชนเล็ก ซึ่งประสิทธิภาพของงานพาราโบลิคจะขึ้นอยู่กับพื้นผิวและจุดโฟกัสของงาน พื้นผิวงานต้องมีการสะท้อนแสงได้ดีและจุดโฟกัสจะต้องรวมอยู่ที่จุดๆเดียวโดยให้งานตั้งฉากกับแสงของดวงอาทิตย์ตลอดเวลา

คำหลัก: ระบบควบคุมการหมุน ระบบติดตาม งานรวมแสง

DESIGNING AND CONTROLLING DEVELOPMENT ON SOLAR COLLECTIVE DISH

Pakawat	Trisopa	55010905
Pataranan	Savangpol	55010920
Sunpetch	Sriapirom	55011273
Asst.Prof.Dr.Panya Kansuwan		Advisor

Abstract

This report including design guideline and experiment to improve efficiency of Solar Parabolic Dish by Solar Tracking System which using automatic control system to make the dish focus on the sun precisely. Also including experiment to measures the heat extracted by the parabolic dish. Guideline to improve efficiency on parabolic dish is depends on reflection efficiency and focus point of the dish and using tracking system to make the dish angular to the sun all the time.

Keyword: controlling system module, tracking system, solar concentrator

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จได้หากปราศจากความช่วยเหลือจากคำแนะนำของ ผศ.ดร.ปัญญา ขันธุ์สุวรรณ และอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง ผู้ให้คำแนะนำและติดตามการทำงานอย่างต่อเนื่องตลอดปีการศึกษา ขอขอบคุณโรงงานตัดชิ้นโลหะและร้านเชื่อมเหล็กในการช่วยเหลือตลอดการทำงานและการปรับแก้งาน ขอขอบคุณที่ร่วมโปรเจกต์ทุกคนที่คอยให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะต่างๆในการจัดหาอุปกรณ์ และการจัดซื้อ รวมไปถึงการให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ตลอดมา และขอบคุณครอบครัว ซึ่งให้การสนับสนุนและเป็นแรงผลักดันที่ทำให้สามารถก้าวเดินจนมาถึงจุดนี้ได้



นายกวด ตริโสภา
นายภัทรนันท์ แสงผล
นายสรเพชร ศรีอภิมย์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีการวิจัย	3
2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	3
2.2 ทฤษฎีการสะท้อนแสงของวัตถุ	4
2.2.1 การดูดกลืนแสงและการสะท้อนแสงของวัตถุ	4
2.3 ชนิดจานรวมแสง	5
2.3.1 ระบบ Solar Dish Stirling Engine	5
2.3.2 ระบบรางพาราโบลา	6
2.3.3 ระบบจานพาราโบลา	6
2.3.4 ระบบหอคอย	7
2.4 เส้นทางเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	8
2.4.1 แผนภูมิเส้นทางดวงอาทิตย์	10
2.5 ทฤษฎีพาราโบลา	11
2.6 อุณหภูมิจากจานรวมแสง	13
2.7 พลังงานความร้อน	14
2.7.1 การคำนวณหาปริมาณความร้อน	15
2.8 แผงวงจรประมวลผลขนาดเล็ก	15
2.9 สวิตช์รีเลย์	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การออกแบบ	18
3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบระบบขับเคลื่อน	18
3.2 ระบบขับเคลื่อน	19
3.3 การเลือกใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน	20
3.4 ชุดทดลองกำลังระบบเฟืองหนอน	21
3.4.1 ชุดเฟืองควบคุมแกน Vertical	22
3.4.1 ชุดเฟืองควบคุมแกน Horizontal	22
3.5 การควบคุมมอเตอร์	23
3.6 งานรวมแสงอาทิตย์	24
3.7 การประกอบชุดขับเคลื่อนเข้ากับงานรวมแสง	26
บทที่ 4 การควบคุม	27
4.1 รับค่าเวลาและวันที่ปัจจุบัน	27
4.2 ประมวลผล	29
4.3 สวิตช์รีเลย์	30
4.3.1 การใช้โปรแกรมควบคุมสวิตช์รีเลย์	31
4.4 ระบบติดตามแสงอาทิตย์	34
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	36
5.1 จุดประสงค์ของการทดลอง	36
5.2 อุปกรณ์การทดลอง	36
5.3 ค่าที่ได้จากการทดลอง	38
5.4 ขั้นตอนการทดลอง	38
5.4.1 เงื่อนไขการทดลอง	38
5.4.2 ขั้นตอนการทดลอง	38
5.5 ผลการทดลอง	42
5.5.1 การทดลองภายใน 1 วัน	42
5.5.2 การทดลอง ณ ช่วงเวลาหนึ่ง	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการดำเนินการวิจัย	47
6.1 สรุป	47
6.2 ข้อเสนอแนะ	47
บรรณานุกรม	48
ภาคผนวก	49



สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงรายละเอียดจุดส่งกำลังและระบบขับเคลื่อน	30
ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงรายละเอียดของจานรวมแสงอาทิตย์	39
ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงอุณหภูมิที่วัดได้จาก Thermocouple และ Digital thermometer ของน้ำในกระป๋องของอุณหภูมิที่จุดโฟกัสและแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขณะนั้นๆ	60
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงค่าตัวแปรและข้อมูลที่ใช้หรือวัดได้ในการทดลองและการคำนวณ	64



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2.1 Solar Dish-Stirling Engine	5
2.2 ระบบรางพาราโบลิค	6
2.3 ระบบจานรวมแสงพาราโบลิค	7
2.4 ระบบหอคอยแสงอาทิตย์	7
2.5 มุม Azimuth และมุม Elevation	8
2.6 เส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์	10
2.7 เส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ใน 1 ปี	10
2.8 ออกแบบชิ้นส่วนจานพาราโบลิค	11
2.9 ความสัมพันธ์ของสมการพาราโบลิค	11
2.10 ขนาดต่างๆของจานพาราโบลิค	12
2.11 แผงวงจรประมวลผลขนาดเล็ก	16
2.12 การทำงานของสวิตช์รีเลย์	16
2.13 วงจรระหว่างสวิตช์รีเลย์กับแผงวงจรประมวลผล	17
3.1 ชุดระบบขับเคลื่อน	18
3.2 ระบบขับเคลื่อนแกน Vertical	19
3.3 ระบบขับเคลื่อนแกน Horizontal	19
3.4 มอเตอร์ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อน	20
3.5 ตัวอย่างการทำงานระบบขับเคลื่อนชุดเฟืองหนอน	21
3.6 การเชื่อมต่อระหว่างสวิตช์รีเลย์เข้ากับชุดขับเคลื่อน	23
3.7 จานรวมแสงก่อนติดตั้ง	24
3.8 จานรวมแสงในสภาพเสร็จสมบูรณ์	25
3.9 การยี่ดระหว่างจานรวมแสงกับระบบขับเคลื่อน	26
4.1 Real Time Clock Module	27
4.2 คำสั่งรับค่าจาก Real Time Clock Module	28

สารบัญรูป(ต่อ)

4.3	คำสั่งประมวลผลจากเวลาเป็นพิกัด	29
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมต่างๆกับวัตถุในอวกาศ	29
4.5	การเชื่อมต่อสวิตช์รีเลย์	30
4.6	คำสั่งการระบุขาที่เชื่อมต่อสวิตช์รีเลย์	31
4.7	คำสั่งควบคุมสวิตช์รีเลย์	31
4.8	การวัดมุมสำหรับคำสั่ง Delay	32
4.9	แผนผังการทำงานของโปรแกรมติดตามแสงอาทิตย์	34
5.1	Thermocouple	36
5.2	Multi-meter	37
5.3	Digital Thermometer	37
5.4	จนวนรวมแสงและกลไกขับเคลื่อน	38
5.5	Thermocouple ติดตั้งเข้ากับภาชนะทดลอง	39
5.6	ภาชนะทดลองติดตั้งบริเวณจุดโฟกัส	40
5.7	จนวนรวมแสงที่ติดตั้งแล้ว	40
5.8	การเก็บค่าอุณหภูมิของน้ำในภาชนะทดลอง	41
5.9	กราฟแสดงอุณหภูมิที่จุดโฟกัสในแต่ละชั่วโมง	43
5.10	กราฟแสดงอุณหภูมิของน้ำในภาชนะทดลองแต่ละชั่วโมง	43
5.11	Sun path diagram ที่ใช้ในการทดลอง	44
5.12	อุณหภูมิที่วัดได้สูงสุดของวันที่ทำการทดลอง	46
5.13	จุดโฟกัสของจนวนรวมแสงอาทิตย์	46

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา

การเพิ่มขึ้นของปัญหาการขาดแคลนพลังงานในปัจจุบันเป็นปัญหาสำคัญเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นต่อทั้งระบบอุตสาหกรรมและการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์ แหล่งกำเนิดพลังงานในปัจจุบันเป็นแหล่งกำเนิดที่ใช้แล้วหมดไปจึงทำให้เกิดปัญหาในระยะยาวได้เช่นปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าเพื่อนำไปใช้สาธารณูปโภคพื้นฐาน และปัญหามลพิษที่เกิดจากการใช้แหล่งพลังงานที่ไม่สะอาดเช่น ก๊าซธรรมชาติหรือถ่านหิน ดังนั้นการใช้พลังงานทางเลือกจึงเป็นวิธีแก้ปัญหาด้านพลังงานในระยะยาวได้โดยการใช้พลังงานสะอาดเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำหรือพลังงานลมซึ่งเป็นพลังงานที่ไร้มลพิษ และสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่หรือเรียกว่า พลังงานทดแทน (Renewable Energy) การนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้สามารถทำได้ด้วยหลายวิธี โดยในส่วนของโครงการนี้จะใช้วิธีการ จานรวมแสงรูปร่างพาราโบลา สะท้อนแสงให้รวมเข้าที่บริเวณเดียวซึ่งได้ทำการติดตั้งตัวรับความร้อนและนำความร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆและได้ทำการเพิ่มระบบควบคุมการหมุนในระหว่างวันเพื่อใช้สำหรับเพิ่มประสิทธิภาพในการหมุนมากขึ้นอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

โดยปริญญานิพนธ์นี้จะเลือกศึกษาการใช้พลังงานทดแทนในประเภทพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้วิธีพลังงานแสงผ่านทางจานรับแสงแบบพาราโบลาดีสก์เพื่อนำความร้อนที่ได้จากการรวมแสงนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานกลผ่านเครื่องยนต์สเตอร์ลิงหรือใช้ในงานที่ต้องการความร้อนอื่นๆเช่น การกลั่นน้ำสะอาดหรือการทำอาหาร โดยแนวทางการศึกษาจะศึกษาการออกแบบจานรวมแสงเพื่อนำไปปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นและสามารถที่จะควบคุมตำแหน่งของจานรวมแสงได้อย่างแม่นยำในทั้ง 2 แกนการหมุนโดยอ้างอิงจากแผนภูมิเส้นทางของดวงอาทิตย์รวมไปถึงการเพิ่มระบบการติดตามแสงอาทิตย์ (Solar Tracking System) ให้กับจานรวมแสงโดยใช้โปรแกรมควบคุมผ่านทางแผงวงจรประมวลผลโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้สมการตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในระหว่างวันเทียบกับเวลาและวันที่เพื่อให้สามารถรับพลังงานที่ได้รับจากการรวมแสงได้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยวัตถุประสงค์ของโครงการมีดังต่อไปนี้

1. ออกแบบระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของจานรวมแสงอาทิตย์
2. ใช้ระบบควบคุมจานรวมแสงอาทิตย์ควบคุมได้ตลอดวัน
3. สามารถนำความร้อนที่จากจานรวมแสงนำมาใช้ประโยชน์ได้

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ออกแบบระบบควบคุมสำหรับจานรวมแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร
2. ใช้แผงวงจรประมวลผลขนาดเล็ก (Micro-Processor) โปรแกรมด้วยรหัสภาษา C++ ในการควบคุม
3. ใช้แผนผังการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในการควบคุมจานรวมแสง

1.4 แผนผังการดำเนินงาน

หัวข้อ	ระยะเวลา (สัปดาห์)									
	1-2	3	4-5	6	7-9	10-13	14	15-16	17	
1. ค้นคว้าหาข้อมูล	↔									
2. ศึกษาข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้า		↔								
3. เรียบเรียงข้อมูลที่ได้เพื่อใช้ทำอุปกรณ์			↔							
4. ทหารัสตุที่ใช้ทำอุปกรณ์				↔						
5. เริ่มต้นทำจานรับแสง					↔					
6. ทำการทดสอบการรับแสงของจานรวมแสง						↔				
7. สรุปผลการทดลองที่ได้จากจานรับแสง							↔			
8. ศึกษาแนวทางการปรับปรุงเพิ่มเติม								↔		
9. นำเสนองานวิจัย										↔

รูปที่ 1.1 แสดงแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีการวิจัย

2.1 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

เป็นทฤษฎีที่ว่าด้วยการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนตัวของพลังงานความร้อนที่มีตัวกลางหรือไม่มีตัวกลางก็ได้ โดยแบ่งรูปแบบการถ่ายเทความร้อนได้เป็นสามรูปแบบคือ

1. Conduction (การนำความร้อน)
2. Convection (การพาความร้อน)
3. Radiation (การแผ่รังสีความร้อน)

โดยปรกติงานพจนานี้มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการนำพาความร้อนโดยใช้ทฤษฎี Conduction ระหว่างงานรวมแสงกับจุดรวมแสงโดยมีอากาศเป็นตัวกลางในการนำพาความร้อนโดยสามารถหาพลังงานความร้อนที่ส่งผ่านได้จากสมการ Newton's law of convection

$$Q_{convection} = hA(T_a - T_b)$$

โดยกำหนดให้

A คือพื้นที่รับความร้อน

h คือ Heat transfer coefficient

T_a คืออุณหภูมิที่พื้นผิวของวัตถุ

T_b คืออุณหภูมิของเหลวตัวกลาง

ทฤษฎีการส่งถ่ายความร้อนที่มีตัวกลางในการส่งถ่ายพลังงานโดยตัวกลางนั้นๆจะมีลักษณะวัตถุที่เป็นของแข็ง การถ่ายเทพลังงานแบบการนำความร้อน (Conduction) โดยการถ่ายเทพลังงานนั้นจะเป็นการถ่ายเทพลังงานระดับโมเลกุล ขณะที่โมเลกุลได้รับพลังงานความร้อน โมเลกุลจะเกิดการการสั่น จึงส่งผลให้เกิดการสั่นส่งต่อกันไปเรื่อยๆและจากการส่งต่อการสั่นนั้นจะมีพลังงานถูกถ่ายเทตามไปด้วยโดยไม่ต้องมีการเคลื่อนย้ายโมเลกุล หลักการการถ่ายเทของอุณหภูมินั้นจะมีทิศการเคลื่อนที่จากพลังงานความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงไปยังที่อุณหภูมิต่ำกว่า โดยตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่

2.2 ทฤษฎีการสะท้อนแสงของวัตถุ

พลังงานที่ถูกส่งออกมาโดยการแผ่รังสีนั้นพลังงานที่ถูกปล่อยออกมาจะมีลักษณะเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic waves) หรือ เป็นรูปแบบการส่งถ่ายพลังงานไม่ต้องการตัวกลางในการส่งผ่าน ดังนั้น ในความสมดุลของพลังงานดังกล่าวของวัตถุทุกชนิดจึงเป็นผลรวม ของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (Absorptivity, α), ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Reflectivity, ρ) , และค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่าน (Transitivity, τ) ของคลื่นที่ตกกระทบพื้นผิวของวัตถุ จะมีค่าเท่ากับค่าหนึ่ง โดยทั้งสามค่าจะมีค่าที่ แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสมบัติต่างๆของวัตถุนั้นๆ เช่น คุณสมบัติทางกายภาพ, อุณหภูมิ, ลักษณะพื้นผิว ฯลฯ และถ้าค่าสัมประสิทธิ์ในการดูดกลืนมีค่าเท่ากับหนึ่ง (ค่าสัมประสิทธิ์ของการสะท้อนและการส่งผ่านจะมี ค่าเท่ากับ ศูนย์) นั้นหมายความว่าวัตถุนั้นมีคุณสมบัติของวัตถุเป็นวัตถุดำ (Blackbody) หมายความว่า วัตถุจะเป็นวัตถุที่ไม่สามารถสะท้อนได้เลย แต่ถ้าในทางกลับกันค่าสัมประสิทธิ์ในการสะท้อนมีค่าเท่ากับ หนึ่งวัตถุนั้นจะเป็นวัตถุที่สามารถสะท้อนแสงได้ทั้งหมดซึ่งจะตรงข้ามกับวัตถุดำ (Blackbody) โดยค่าการ สะท้อนแสงจะใช้หลักการแบ่งด้วย Reflectivity Index

2.2.1 การดูดกลืนแสงและการสะท้อนแสงของวัตถุ

เป็นการศึกษาเกี่ยวกับส่วนต่างๆคลื่นแสง ซึ่งประกอบด้วย ความยาวคลื่น, ความถี่ ดังนั้นเมื่อแสงไป กระทบวัตถุนั้นและมีความถี่ของแสงเหมือนกันจะทำให้เกิดปรากฏการณ์การดูดกลืนแสง และพลังงานที่ ถูกดูดกลืนเข้าไปจะถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานความร้อน ส่วนเรื่องการสะท้อนของแสงและการ ส่งผ่านจะใช้เรื่องความถี่เช่นเดียวกันและในอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยอะตอมและโมเลกุล โดยเราจะใช้ ประโยชน์จากการสั่นสะเทือน อิเล็กตรอนจะสั่นสะเทือนและปล่อยความถี่เฉพาะออกมา คล้ายๆกับซอ มเสียง ในอิเล็กทรอนิกส์อะตอมจะมีความถี่ธรรมชาติ (Natural Frequency) ของการสั่นสะเทือน เมื่อคลื่นแสง ส่งความถี่มากระทบและมีความถี่ธรรมชาติเดียวกันกับอะตอม จะส่งผลให้อะตอมที่อยู่ในอิเล็กตรอนเกิด การสั่น คือถ้าคลื่นแสงส่งความถี่ลงมากระทบกับวัตถุและวัตถุก็มีความถี่ที่เหมือนกับที่คลื่นแสงส่งมา จะ ทำให้อิเล็กตรอนของวัตถุจะดูดซับพลังงานและเปลี่ยนพลังงานเป็นการสั่นการสะท้อน และการส่งผ่าน เกิดจากการที่ความถี่ของคลื่นแสงและความถี่ของวัตถุไม่เข้ากันจึงเกิดการผลึกออกไปจึงไม่เกิดการดูดซับ ของอิเล็กตรอน เมื่อคลื่นแสงส่งความถี่ออกมากระทบกับวัตถุ อะตอมในอิเล็กตรอนจะเริ่มการสั่น แทนที่ อิเล็กตรอนจะเกิดสั่นในรูปแบบที่มีความสูงของคลื่นที่กว้าง แต่กลับสั่นแบบเล็กๆแทน ดังนั้นพลังงานที่ถูก

ส่งออกมาจากคลื่นแสง ถ้าวัสดุเป็นแบบโปร่งใส การสั่นสะท้อนของอิเล็กตรอนจะถูกส่งไปยังอะตอมของกลุ่มอิเล็กตรอนข้างๆ และจะถูกผลักออกไปด้วนตรงข้ามวัตถุ ความถี่ของแสงรูปแบบนี้เรียกว่า Transmission ถ้าวัสดุเป็นวัสดุแบบโปร่งแสง การสั่นสะท้อนจะผ่านไปจนถึงระดับอะตอมของวัสดุ แต่จะเกิดการสั่นของอะตอมระดับพื้นผิวและถูกส่งกลับไป ความถี่ของแสงรูปแบบนี้เรียกว่า Reflection

2.3 ชนิดงานรวมแสง

2.3.1 ระบบ Solar Dish Stirling Engine

ระบบ Solar Dish Stirling Engine ใช้ทิวแถวกระจกในการสะท้อนและรวบรวมรังสีตรงตั้งฉากแสงอาทิตย์หรือ Direct Normal Insolation (DNI) กับชุดเครื่องรับความร้อนและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อสร้างอุณหภูมิที่สูงกว่า 700-800°C ให้ของไหลทำงานในการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นงานกล โดยรังสีแสงอาทิตย์ที่รวบรวมไว้แล้วจะส่งต่อให้ชุดเครื่องรับซึ่งเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แล้วส่งต่อให้เครื่องยนต์ทำงาน อุณหภูมิที่สูงขนาดนี้จึงต้องมีระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ใน 2 แนวแกน เพื่อให้จานรับแสงปรับตัวตั้งฉากกับรังสีอาทิตย์ ระบบ Solar Dish Stirling Engine ให้ประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าได้สูงที่สุด (ประมาณ 29.4%) ดังนั้นจึงอาจเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่ราคาถูกที่สุดได้ในอนาคตอันใกล้

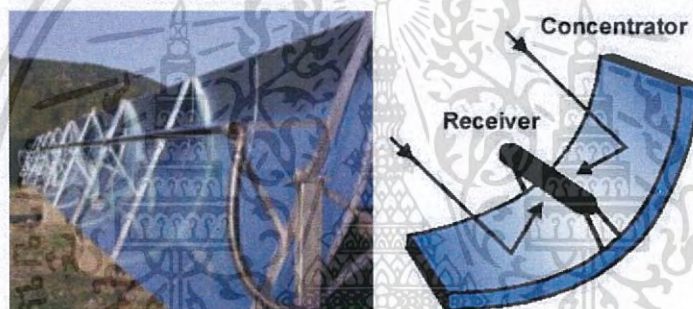


รูปที่ 2.1 Solar Dish Stirling Engine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ระบบรางพาราโบล่า (Parabolic Trough)

เป็นตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Collector) ซึ่งทำงานโดยใช้หลักการรวมรังสีดวงอาทิตย์ด้วยการสะท้อนจากผิวโค้งรูปพาราโบล่าที่เป็นรางยาว โดยตัวรับรังสีประกอบด้วยตัวสะท้อนรังสี (Reflector) และท่อรับรังสี (Receiver) ซึ่งท่อรับรังสีจะเป็นท่อโลหะอยู่ภายในท่อแก้ว โดยช่องว่างระหว่างท่อเป็นสุญญากาศเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ภายในจะมีของเหลวประเภทน้ำมันจุดเดือดสูงไหลในท่อโลหะเพื่อพาความร้อนไปถ่ายเทให้กับหม้อไอน้ำ (Boiler) สำหรับผลิตไอน้ำเพื่อขับเคลื่อนเครื่องยนต์กังหันไอน้ำซึ่งทำงานด้วย วัฏจักร Rankine โดยงานเพลลาที่ได้จากเครื่องยนต์ดังกล่าวจะนำไปใช้ขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ



รูปที่ 2.2 ระบบรางพาราโบล่า

2.3.3 Parabolic Dish (ระบบจานพาราโบลิก)

จะทำงานร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ระบบผลิตไฟฟ้าแบบนี้จะใช้หลักการแปลง พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ให้เป็นความร้อน แล้วแปลงพลังงานความร้อนให้เป็นพลังงานกล เพื่อนำไปผลิตไฟฟ้า โดยระบบประกอบด้วยจานรวมแสงแบบพาราโบล่าและเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยตัวรวมแสงแบบจานพาราโบล่าอาจมีผิว สะท้อนเป็นผิวต่อเนื่องหรือประกอบด้วยแผ่นสะท้อนแสงหลายชิ้น ซึ่งประกอบกันเป็นผิวโค้ง พาราโบล่าและมีเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวางอยู่ที่จุดโฟกัสของจานพาราโบล่า โดยงานดังกล่าวต้องมีระบบขับเคลื่อนแบบ 2 แกน ตามดวงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน



รูปที่ 2.3 ระบบงานพาราโบลิก

2.3.4 Solar Tower (ระบบหอคอย)

ประกอบไปด้วยหอคอย(Tower) และระบบกระจกสะท้อนแสงแผ่นราบ (Heliostat) โดย กระจกแต่ละแผ่นจะสะท้อนแสงอาทิตย์ไปรวมกันที่หอคอย ซึ่งมีตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ที่มีของไหลไหลผ่านเพื่อพาพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ขับเคลื่อนเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า ของไหลที่นิยมใช้ทั้งเกลือหลอมละลาย (Molten Salt) น้ำ และอากาศ



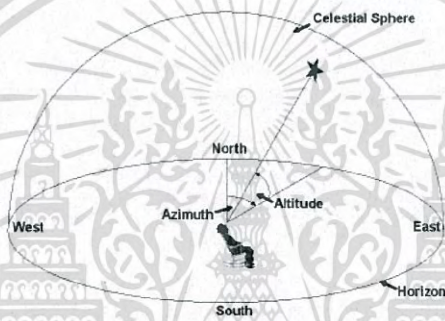
รูปที่ 2.4 แสดงระบบหอคอยแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 เส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

เนื่องจากวงโคจรของโลกระหว่างดวงอาทิตย์มีรูปแบบเป็นวงรีทำให้ระยะห่างของดวงอาทิตย์กับโลกมีระยะที่เปลี่ยนแปลงในระหว่างปีโดยการที่จำทำให้สามารถติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันได้ จำเป็นที่จะต้องรู้ค่ามุม 2 ค่าซึ่งประกอบไปด้วย

1. Altitude Angle มุมเงยระหว่างเส้นขอบฟ้ากับดวงอาทิตย์
2. Azimuth Angle มุมระหว่างทิศเหนือกับดวงอาทิตย์ในแกน Horizontal



รูปที่ 2.5 แสดงมุม Azimuth และ Elevation

โดยที่มุมที่โลกเอียงกับดวงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 23.45 องศาโดยมุมระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของโลกกับดวงอาทิตย์หรือเรียกว่า Declination Angle สามารถหาได้จากการเทียบระหว่างวันที่ใน 1 ปี คำนวณได้จากสมการที่ 2.1

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left[\frac{N+284}{365} * 360^\circ \right] \quad (2.1)$$

เมื่อ δ คือ Declination Angle

N คือเลขวันที่ใน 1 ปี (1 มกราคมนับเป็น N=1)

โดยตำแหน่งของโลกจะแบ่งเป็น Latitude และ Longitude โดยตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในตำแหน่งที่ทำการวัดจะเปลี่ยนตามค่า Latitude ของพิกัดนั้นๆ โดยอีกปัจจัยคือเวลาในแต่ละชั่วโมงหรือเรียกว่า Hour Angle โดยคำนวณจากสมการที่ 2.2

$$H = \frac{(\text{จำนวนนาฬิกาที่เลยจากเที่ยงคืน}) - 720}{4} \quad (2.2)$$

ทำให้เราสามารถหาค่า Elevation Angle (β) จากสมการที่ 2.3

$$\sin(\beta) = \cos(L) \cos(\delta) \cos(H) + \sin(L) \sin(\delta) \quad (2.3)$$

เมื่อ L คือ พิกัด Latitude

และ Azimuth Angle (α) โดยสามารถหาได้จากสมการที่ 2.4

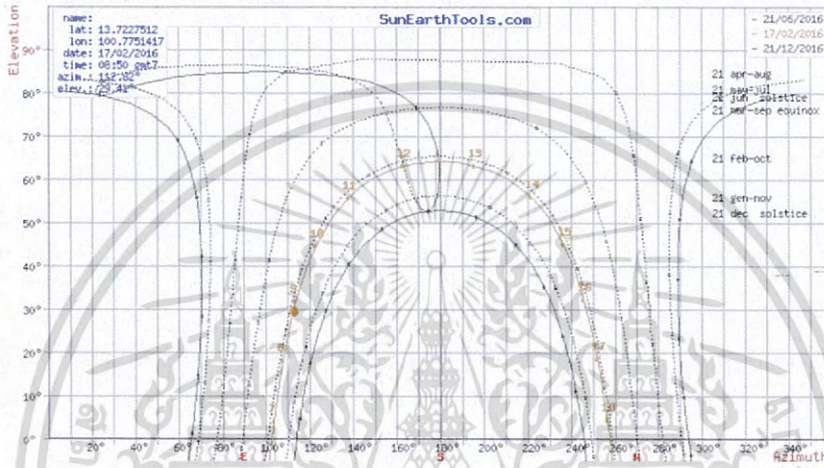
$$\cos(\alpha) = \frac{\sin(\delta) - \cos(\beta) \sin(L)}{\sin(\beta) \cos(L)} \quad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

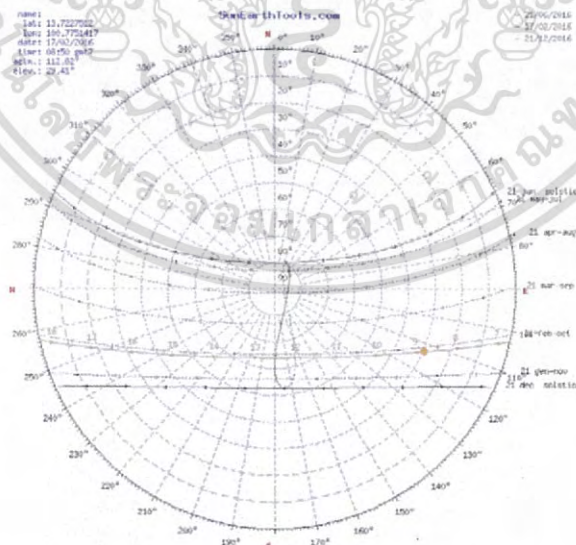
2.4.1 แผนภูมิเส้นทางดวงอาทิตย์

ตัวอย่างเส้นทางดวงอาทิตย์โดยคำนวณจากตำแหน่งของคณะวิศวกรรมศาสตร์

(Latitude ที่ 13.72 องศา และวันที่ 17/02/2016 (N=48)



รูปที่ 2.6 แสดงตัวอย่างเส้นทางดวงอาทิตย์

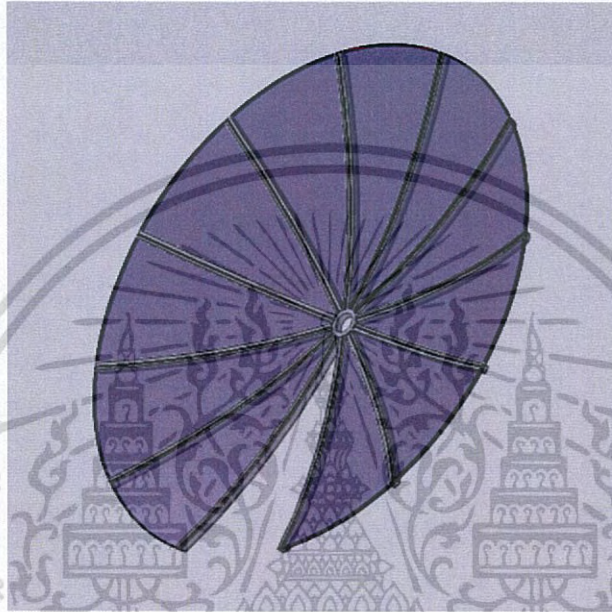


รูปที่ 2.7 เส้นทางเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในปี

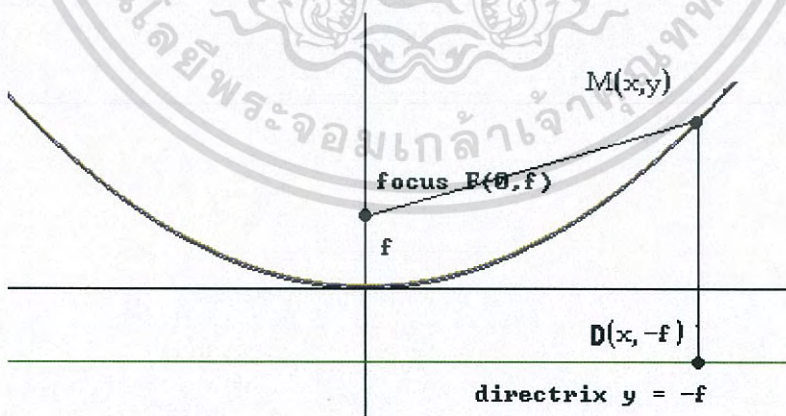
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีพาราโบลา

2.4.1 การหาจุดโฟกัสของระบบงานพาราโบลิก



รูปที่ 2.8 ออกแบบชิ้นส่วนงานพาราโบลิก



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ของสมการพาราโบลิก

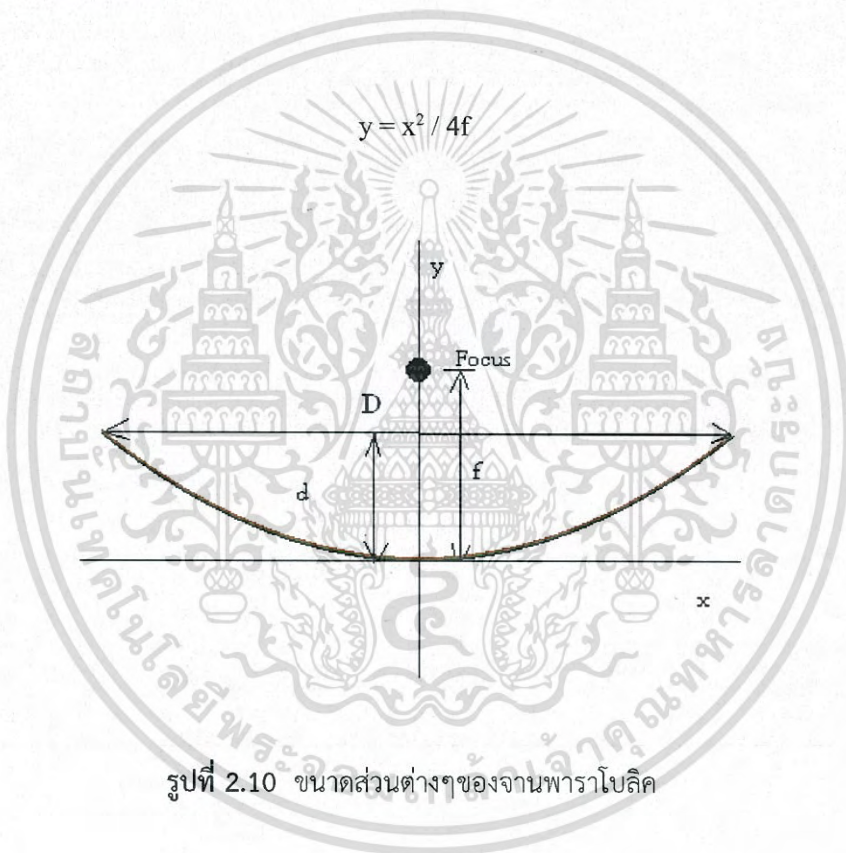
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากทฤษฎีพาราโบลา ทุกจุด $M(x,y)$ มีระยะห่างจากจุดโฟกัสเท่ากับระยะห่างจากจุด $D(x,-f)$ จึงได้สมการที่ 2.5

$$x^2 + y^2 + f^2 - 2y*f = y^2 + f^2 + 2y*f \quad (2.5)$$

Simplified ได้เป็นสมการที่ 2.6

$$y = x^2 / 4f \quad (2.6)$$



รูปที่ 2.10 ขนาดส่วนต่างๆของจานพาราโบลิก

สามารถหาจุดโฟกัสของจานพาราโบลิกได้จากสมการที่ 2.7

$$f = D^2 / 16d \quad (2.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 อุณหภูมิที่ได้จากจานรวมแสง

ประสิทธิภาพของจานรับแสงจะมีค่าที่สามารถคำนวณได้โดยคำนึงถึงอุณหภูมิบริเวณ Receiver ที่จุดรวมแสงของจานโดยปัจจัยที่มีผลต่อความร้อนจะประกอบไปด้วยปัจจัยดังนี้

1. พื้นที่ผิวของจานรวมแสง
2. Reflectivity factor ของวัสดุที่ผิวของจานรวมแสง
3. อุณหภูมิบรรยากาศในปัจจุบัน
4. Heat Absorption Efficiency ของจุดรวมแสง
5. Power density of solar radiation at sea level
6. Heat transfer coefficient
7. พื้นที่ผิวของจุดรวมแสง

จากสมการ Newton's law of convection (2.5)

$$Q_{convection} = hA(T_a - T_b) \quad (2.8)$$

เมื่อ	A	คือพื้นที่ผิวของจุดรวมแสง
	h	คือ Heat transfer coefficient
	T_a	คืออุณหภูมิที่จุดรวมแสง
	T_b	คืออุณหภูมิของอากาศ

ในบริเวณจานรวมแสงที่จุดรวมแสงจะรับความร้อนจากดวงอาทิตย์และสูญเสียความร้อนให้กับบรรยากาศ โดยถ่ายเทในรูปแบบ Steady State ดังนั้น

$$Q_{sun} = Q_{atm} \quad (2.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่บริเวณจุดรับแสงความร้อนที่ได้ทั้งหมดจะเท่ากับ

$$Q_{sun} = P_{sun} S r a \quad (2.10)$$

- เมื่อ P_{sun} คือ Power density of solar radiation
 S คือ พื้นที่ผิวของจานรวมแสง
 r คือ Reflectivity factor ของวัสดุจานรวมแสง
 a คือ Heat absorption efficiency

โดยในที่นี้กำหนดให้เป็นสมการที่ 2.8

$$Q_{convection} = Q_{atm} \quad (2.11)$$

แทนค่าสมการ 2.5 และ 2.7 ในสมการที่ 2.8 จะได้เป็นสมการที่ 2.9

$$P_{sun} S r a = h A (T_a - T_b) \quad (2.12)$$

ดังนั้นอุณหภูมิที่ได้บริเวณจุดรวมแสงจะได้เป็นสมการที่ 2.10

$$T_a = T_b + \frac{P_{sun} S r a}{h A} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 พลังงานความร้อน

พลังงานความร้อน เป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงาน มนุษย์เราได้พลังงานความร้อนมาจากหลายแห่งด้วยกัน เช่น จากดวงอาทิตย์ พลังงานในของเหลวร้อนใต้พื้นพิภพ การเผาไหม้ของเชื้อเพลิง พลังงานไฟฟ้า พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานน้ำในหม้อต้มน้ำ พลังงานเปลวไฟ ฯลฯ ผลของความร้อนทำให้สารเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น อุณหภูมิสูงขึ้น หรือมีการเปลี่ยนสถานะไป และนอกจากนี้แล้ว พลังงานความร้อนยังสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้อีกด้วย

2.7.1 การคำนวณหาปริมาณความร้อน

ความจุความร้อนจำเพาะ หมายถึง ปริมาณความร้อนที่ทำให้สารมวล 1 กรัม มีอุณหภูมิเปลี่ยนไป 1 °C

ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่าเท่ากับ 1 แคลอรี / กรัม- องศาเซลเซียส (cal/g - °C)
ปริมาณความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.16

$$Q = mc\Delta t \quad (2.16)$$

เมื่อ	Q	คือปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของสารนั้นๆ (แคลอรี)
	m	คือมวลของสาร (กรัม)
	c	คือความจุความร้อนจำเพาะ
	Δt	คืออุณหภูมิของสารที่เปลี่ยนแปลงไป(อุณหภูมิตอนหลัง – อุณหภูมิตอนแรก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 แผงวงจรประมวลผลขนาดเล็ก

Arduino เป็นระบบที่ใช้สำหรับพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบโดยเป็นระบบ Open-Source ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้โดยเป็นอุปกรณ์ประเภทไมโครคอนโทรลเลอร์โดยทำหน้าที่ประมวลผลจากข้อมูลที่รับได้จาก Sensor ต่างๆและทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ต่างๆโดยการทำงานจะใช้รูปแบบการกำหนดโปรแกรมภาษา C เข้าไปสู่แผงวงจร Arduino เพื่อกำหนดเงื่อนไขในการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆซึ่งในที่นี้ Arduino จะทำหน้าที่ควบคุม Motor ที่ใช้สำหรับหมุนจานรวมแสงอาทิตย์ตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้โดยใช้ค่าที่ได้จากระบบ tracking system

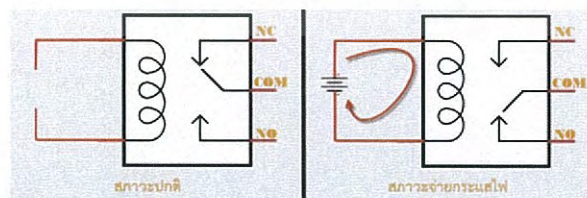


รูปที่ 2.11 แสดงแผงวงจร Arduino

2.9 สวิตช์รีเลย์

รีเลย์ (Relay) เป็นสวิตช์ไฟฟ้าที่สามารถควบคุมการทำงานผ่านการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ขดลวดแม่เหล็กที่อยู่ภายในรีเลย์ โดยภายในรีเลย์จะประกอบไปด้วย3ขา คือ

- Normally Close
- Normally Open
- Common



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของสวิตช์รีเลย์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเมื่อแผงวงจร Arduino ทำการสั่งงาน Digital Pin จะทำให้ขดลวดแม่เหล็กภายใน Relay ทำงานโดยหลักการทำงานจะเกิดจากการสับสวิตช์ของสาย Common จาก Normally Close ไปที่ Normally open ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลของกระแสไฟฟ้าดังรูป



รูปที่ 2.13 แสดงวงจรระหว่างสวิตช์รีเลย์กับแผงวงจรประมวลผล

โดยมอเตอร์ที่ใช้จะทำการควบคุมทิศทางการหมุนผ่านรีเลย์จะควบคุมกระแสไฟที่จ่ายโดยใช้ Potentiometer เพื่อให้สามารถปรับความเร็วรอบในการหมุนของมอเตอร์ได้โดยจะต่อแบตเตอรี่และกำหนดทิศทางการหมุนโดยใช้รีเลย์ในการควบคุมทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเข้าสู่มอเตอร์โดยใช้การทำงานของรีเลย์

บทที่ 3

การออกแบบ

3.1 ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบระบบขับเคลื่อน

การออกแบบระบบควบคุมจากรวมแสงจะคำนึงถึง 2 ปัจจัยในการออกแบบ

1. มุมอิสระที่จำเป็นในการควบคุมจากรวมแสงให้มีทิศทางที่หันหน้าเข้าสู่ดวงอาทิตย์ตลอดวัน โดยประกอบไปด้วย
 - 1.1 มุมเงย คือการหมุนไปข้างหน้าหรือข้างหลังรอบ แกน Y
 - 1.2 มุมบิด คือการหมุนซ้ายและขวาบน แกน Z
2. แรงขับเคลื่อนที่จำเป็นในการเคลื่อนที่จากรวมแสงที่มีน้ำหนักสูงสุด 40 กิโลกรัม ทั้งในการเคลื่อนที่แบบมุมเงยและการเคลื่อนที่แบบมุมหันโดยการออกแบบจะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการช่วยออกแบบเพื่อเพิ่มความแม่นยำและสามารถคำนวณแรงที่เกิดขึ้นจากน้ำหนักของระบบขับเคลื่อนและน้ำหนักของจากรวมแสงโดยการออกแบบจะใช้ระบบชุดขับเคลื่อนแบบเฟืองหนอนซึ่งสามารถที่จะส่งแรงบิดที่มากขึ้นตามจำนวนรอบที่ทำการทอรอบ



รูปที่ 3.1 แสดงชุดระบบขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ระบบขับเคลื่อน

ระบบขับเคลื่อนจะใช้ระบบขับเคลื่อนที่แบ่งออกเป็น 2 ชุด

1. ระบบขับเคลื่อนแกน Vertical (ควบคุมในทิศทางมุมเงย)
2. ระบบขับเคลื่อนแกน Horizontal (ควบคุมในทิศทางมุมหัน)



รูปที่ 3.2 แสดงระบบขับเคลื่อนแกน Vertical



รูปที่ 3.3 แสดงระบบขับเคลื่อนแกน Horizontal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเลือกใช้มอเตอร์ขับเคลื่อน

การเลือกใช้มอเตอร์จะต้องคำนึงถึงปัจจัยดังนี้

1. กำลังของไฟที่จ่ายเข้ามอเตอร์ขับเคลื่อน
2. แรงบิดที่ได้จากมอเตอร์
3. น้ำหนักสูงสุดที่มอเตอร์สามารถรับได้
4. ความเร็วรอบและอัตราทดของมอเตอร์

โดยมอเตอร์ที่เลือกใช้ในการออกแบบสำหรับการหมุนงานน้ำหนัก 40 กิโลกรัมโดยรายละเอียดของชุดส่งกำลังของระบบขับเคลื่อนมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของชุดส่งกำลังของระบบขับเคลื่อน

รายละเอียด	ค่าที่ได้
กำลังไฟที่จ่ายเข้ามอเตอร์	12 โวลต์ 3 แอมแปร์
กำลังที่ได้จากมอเตอร์ที่ประสิทธิภาพ 0.1	6.87 นิวตันต่อเมตรที่ความเร็ว 5 RPM
อัตราทดเกียร์ชุดขับเคลื่อนมุมงาย	12 : 1
อัตราทดเกียร์ชุดขับเคลื่อนมุมบิด	15 : 1
แรงบิดที่ได้หลังการทดชุดขับเคลื่อนมุมงาย	83 นิวตันต่อเมตร
แรงบิดที่ได้หลังการทดชุดขับเคลื่อนมุมบิด	103 นิวตันต่อเมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองชุดบน	0.15 เมตร
เส้นผ่านศูนย์กลางเฟืองชุดล่าง	0.20 เมตร



รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างมอเตอร์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน

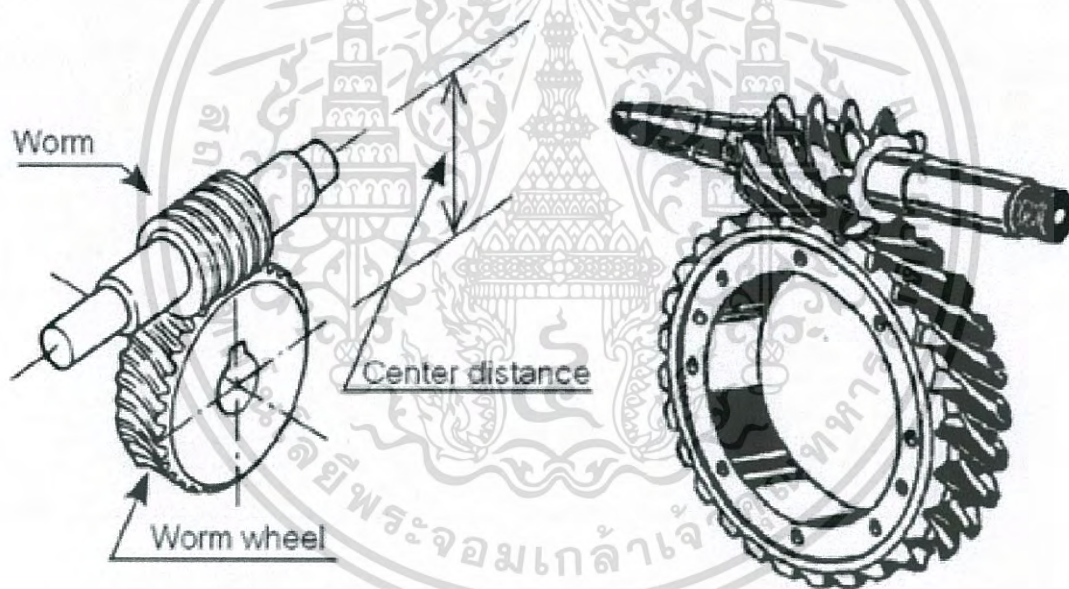
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ชุดทดกำลังระบบเฟืองหนอน

การใช้ชุดเฟืองหนอนในระบบขับเคลื่อนมีข้อดีดังนี้

1. สามารถเพิ่มกำลังแรงบิดจากเดิมได้มาก
2. ประหยัดพื้นที่ของชุดขับเคลื่อน
3. เนื่องจากการหมุนมีความเร็วรอบที่ต่ำการใช้เฟืองสามารถทำให้การหมุนมีความเร็วช้าทำให้สามารถเพิ่มความสามารถในการปรับที่ละเอียดมากขึ้น

โดยระบบเฟืองหนอนจะประกอบไปด้วยเกสลิยวตัวหนอนและเฟืองตัวหนอนขบกันใช้ส่งกำลังสำหรับระบบขับเคลื่อนที่แกนเพลตตั้งฉากกับเฟืองตัวหนอน



รูปที่ 3.5 แสดงตัวอย่างการทำงานระบบขับเคลื่อนเฟืองหนอน

โดยขนาดของระยะห่างจากศูนย์กลางของเฟืองหนอนกับเกสลิยวหนอนจะมีผลต่อแรงที่ได้จากการทำงานโดยน้ำหนักแรงกดเกิดความเค้นบริเวณผิวฟันเฟืองจะมากกว่าเฟืองแบบอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยหลักการคำนวณหาความเร็วการหมุนของชุดขับเคลื่อนคือ

$$m_{GW} = \frac{\omega_W}{\omega_G} = \frac{N_G}{N_W} \quad (3.1)$$

เมื่อ	m_{GW}	คืออัตราทดของเฟืองตัวหนอน
	ω_W	คือความเร็วเชิงมุมของสกรูหนอน (เรเดียน/นาที)
	ω_G	คือความเร็วเชิงมุมของเฟืองเกียร์ (เรเดียน/นาที)
	N_G	คือจำนวนฟันของเกียร์
	N_W	คือจำนวนฟันของสกรู

3.4.1 ชุดเฟืองควบคุมแกน Vertical

จากชุดเฟืองหนอนที่มีอัตราทด 15:1 และใช้แรงดันไฟฟ้า 12 V ต่อเข้ากับมอเตอร์ ทำให้เฟืองเกียร์หมุนไป 1 องศาใช้เวลา 8วินาที หรือมีความเร็วเชิงมุม = 0.13 rad/min แทนในสูตรจะได้

$$\frac{15}{1} = \frac{1.95}{0.13}$$

3.4.2 ชุดเฟืองควบคุมแกน Horizontal

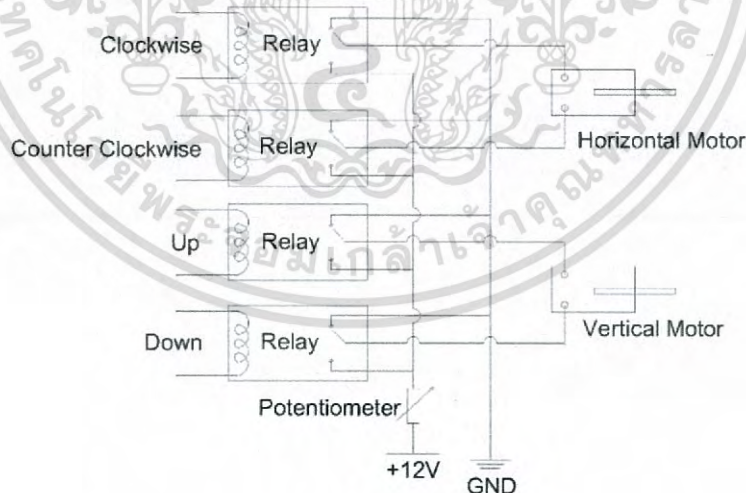
จากชุดเฟืองหนอนที่มีอัตราทด 12:1 และใช้แรงดันไฟฟ้า 12 V ต่อเข้ากับมอเตอร์ ทำให้เฟืองเกียร์หมุนไป 1 องศาใช้เวลา 10วินาที หรือมีความเร็วเชิงมุม = 0.105 rad/min แทนในสูตรจะได้

$$\frac{12}{1} = \frac{1.26}{0.105}$$

3.5 การควบคุมมอเตอร์

การควบคุมการจ่ายไฟเข้าไปสู่มอเตอร์โดยใช้รีเลย์จำเป็นต้องสั่งการทำงานในช่วงระยะเวลาที่ได้ทำการคำนวณไว้จากสมการเส้นทางดวงอาทิตย์โดยการที่จะหมุนได้อย่างแม่นยำนั้นจำเป็นต้องใช้โปรแกรมเข้ามาช่วยเหลือในการควบคุมโดยแบ่งระบบควบคุมออกเป็นดังนี้

1. รับค่าเวลาจากแผงวงจรส่งค่าเวลาปัจจุบันที่เรียกว่า Real time Clock Module เนื่องจากสมการการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จำเป็นต้องใช้เวลาและวันที่ปัจจุบันเพื่อนำมาใช้ในการหาตำแหน่งพิกัดของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลานั้นๆ
2. ใช้แผงวงจรประมวลผลขนาดเล็กที่ทำการใส่สมการที่จำเป็นในการคำนวณเข้าไปโดยแผงวงจรจะรับค่าจาก Real Time Clock Module และนำค่าที่ได้นำไปประมวลผลเพื่อหาพิกัดของดวงอาทิตย์และนำค่าที่ได้เข้าสู่โปรแกรมที่ได้ตั้งไว้เพื่อใช้สำหรับควบคุมการเปิดปิดของรีเลย์เพื่อนำไปใช้ในการควบคุมมอเตอร์ของระบบขับเคลื่อนทั้ง 2 แกน
3. รีเลย์ขนาด 12 โวลต์ที่ติดตั้งบนชุดระบบขับเคลื่อนจะทำงานเปิดและปิดโดยใช้การส่งกระแสไฟฟ้าจากแผงวงจรประมวลผลที่ได้ทำการตั้งโปรแกรมไว้โดยมีการต่อเข้ากับวงจรดังรูป



รูปที่ 3.6 แสดงการเชื่อมต่อสวิตซ์รีเลย์เข้ากับชุดขับเคลื่อน

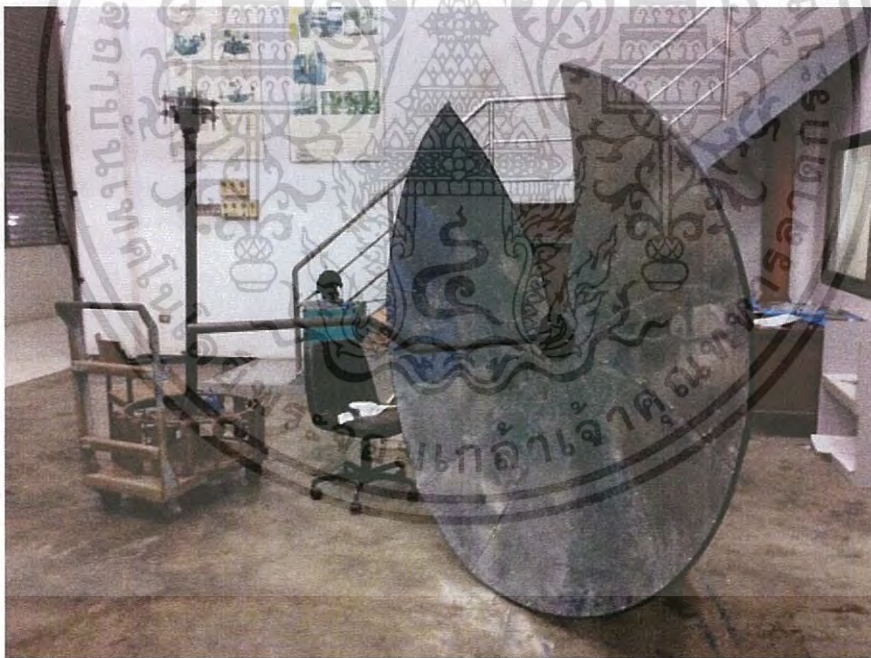
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 งานรวมแสงอาทิตย์

ส่วนสำคัญในการออกแบบคืองานรวมแสงอาทิตย์สามารถให้ประสิทธิภาพได้สูงสุดจากการติดตั้งกลางแสงแดดโดยในโครงการนี้จะใช้จานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตรโดยหลักการในการออกแบบคือ

1. งานรวมแสงอาทิตย์มีความแข็งแรงที่สามารถทนต่อลมและปัจจัยอื่นๆได้
2. งานรวมแสงสามารถสะท้อนแสงจากพื้นผิวเข้าสู่จุดรวมแสงได้มากที่สุด
3. สามารถติดตั้งเครื่องมือที่จุดรับแสงได้เพื่อนำความร้อนไปใช้งาน

โดยงานรวมแสงจะใช้แผ่นเหล็ก Galvanized Steel ติดตั้งบริเวณโครงตามรูปร่างพาราโบลาโดยจะทำให้งานรวมแสงสามารถทนต่อแรงกดต่างๆได้มากหลังจากนั้นติดแผ่นสะท้อนแสง PET บนพื้นผิวของแผ่นเหล็กเพื่อทำการเพิ่มค่าสะท้อนแสงของพื้นผิวหลังจากทำการประกอบพื้นผิวส่วนที่สำคัญอีกสิ่งคือเสายึดระหว่างงานรวมแสงกับจุดรวมแสงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้วโดยเสยติดตั้งได้ทำการรอเพื่อสามารถติดตั้งเครื่องรับแสงที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้



รูปที่ 3.7 แสดงงานรวมแสงอาทิตย์ก่อนติดตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยรายละเอียดของงานรวมแสงอาทิตย์มีดังนี้

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของงานรวมแสงอาทิตย์

รายละเอียด	ค่า
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	2 เมตร
ความลึกจากขอบถึงฐานของงานรวมแสง	20 เซนติเมตร
ระยะจุดโฟกัสจากฐานงานรวมแสง	1.25 เมตร
วัสดุที่ใช้	แผ่นเหล็ก Galvanized เคลือบด้วย แผ่นสะท้อนแสง PET
น้ำหนัก (ซึ่งโดยถอดแยกชิ้นส่วน)	24 กิโลกรัม



รูปที่ 3.8 แสดงงานรวมแสงอาทิตย์ในสภาพเสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 การประกอบชุดขับเคลื่อนเข้ากับจานรวมแสง

ในการประกอบชุดขับเคลื่อนเข้ากับดวงอาทิตย์จะทำการยึดชุดขับเคลื่อนเข้ากับจานรวมแสงบริเวณกึ่งกลางของเสาที่เชื่อมต่อบริเวณกลางจานรวมแสงอาทิตย์โดยข้อดีของการยึดรูปแบบนี้คือ

1. เกิดความสมดุลของจานรวมแสงอาทิตย์
2. จานรวมแสงสามารถหมุนมุมเงยได้มากกว่ายึดที่บริเวณด้านล่างของจานรวมแสงอาทิตย์และยังสามารถจัดเก็บจานคว่ำลงได้อีกด้วย

เนื่องจากน้ำหนักของจานรวมแสงการติดตั้งจึงต้องถอดแยกประกอบตลอดเวลาตั้งนั้นการออกแบบจุดยึดให้มีการถอดประกอบได้ง่ายก็เป็นอีกข้อสำคัญในการออกแบบด้วยเช่นกัน



รูปที่ 3.9 แสดงการยึดระหว่างระบบขับเคลื่อนกับจานรวมแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การควบคุม

4.1 รับค่าเวลาและวันที่ปัจจุบัน

จากทฤษฎีการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์การที่จะรู้ถึงค่าตำแหน่งของดวงอาทิตย์ปัจจุบันได้นั้นจำเป็นที่จะรู้ค่าดังต่อไปนี้

1. เวลาปัจจุบัน
2. วันที่ของวันในช่วงเวลาที่ต้องการหา
3. ตำแหน่งพิกัด Latitude ของตำแหน่งที่อยู่ของจุดที่ทำการสังเกต

โดยค่าเวลาและวันที่ปัจจุบันนั้นสามารถรับค่าได้จากอุปกรณ์ที่เรียกว่า Real Time Clock Module โดยจะประกอบไปด้วยหน่วยประมวลผลขนาดเล็กและหน่วยความจำขนาดเล็ก



รูปที่ 4.1 แสดง Real Time Clock Module

โดย Real Time Clock Module จะเชื่อมต่อกับแผงวงจรขนาดเล็กเพื่อส่งค่าข้อมูลเวลาและวันที่ปัจจุบันในรูปแบบไบนารีเพื่อที่แผงวงจรประมวลผลจะเปลี่ยนค่าไบนารีเป็นเวลาและวันที่ในปัจจุบันโดยจำเป็นต้องใช้โปรแกรมที่ตั้งไว้ในแผงวงจรเพื่อส่งงานให้รับสัญญาณจาก Real Time Clock Module โดยโปรแกรมที่ใช้จะใช้โปรแกรมในรูปแบบภาษา C++ สำหรับแผงวงจรขนาดเล็กโดยเชื่อมต่อเข้ากับช่อง Input ที่ติดตั้งที่แผงวงจรประมวลผลขนาดเล็กเข้ากับเข็มของ Real Time Clock Module

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้สำหรับรับค่าสัญญาณจาก Real Time Clock Module มีดังนี้

```
RTC.readClock();
hours = RTC.getHours();
minutes = RTC.getMinutes();
seconds = RTC.getSeconds();
dates = RTC.getDate();
months = RTC.getMonth();
years = RTC.getYear();
date = RTC.getDayOfWeek();
```

รูปที่ 4.2 แสดงคำสั่งรับค่าจาก Real Time Clock Module

โดยเริ่มจากคำสั่ง RTC.readClock() เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับสั่งให้แผงวงจรขนาดเล็กทำการอ่านค่าสัญญาณจากแผง Real Time Clock Module โดยสามารถอ่านค่าแบ่งเป็น

1. ชั่วโมง
2. นาที
3. วินาที
4. วันที่
5. เดือน
6. ปี
7. วันในหนึ่งอาทิตย์

โดยค่าที่อ่านจะเป็นข้อมูลในรูปแบบตัวเลขเพื่อที่จะสามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปประมวลผลต่อไปโดยการเก็บค่าไว้ในตัวแปรต่างๆ

4.2 ประมวลผล

เมื่อแผงวงจรรับค่าข้อมูลจาก Real Time Clock Module แล้วจะทำให้สามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปประมวลผลเพื่อเปลี่ยนให้เป็นค่าพิกัดของดวงอาทิตย์โดยสมการที่ใช้จะประกอบไปด้วย

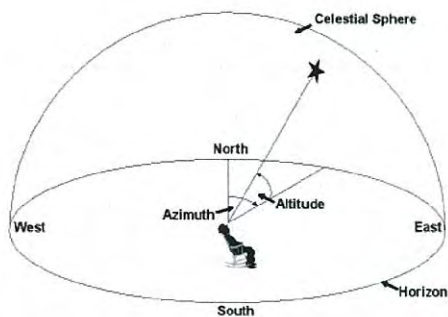
1. สมการหามุมระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์
2. สมการหา Hour Angle ของเวลาปัจจุบัน
3. สมการหามุม Zenith
4. สมการหามุม Elevation
5. สมการหามุม Azimuth โดยนับจากทิศเหนือของโลก

โดยการประมวลผลจะใช้สมการตรีโกณมิติเข้ามาใช้ในการคำนวณโดยโปรแกรมภาษา C++ สามารถใช้คำสั่งฟังก์ชันตรีโกณมิติได้โดยตัวอย่างการใช้คำสั่งประมวลผลสมการการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ดังนี้

```
declin=(23.45*((sin((((dates+30*month)+284)/365)*360)))));
hourang=(((hours*60)+minutes)-720)/4);
zenith=(acos((cos(lat)*cos(declin)*cos(hourang))+sin(lat)*sin(declin)))*(180/PI);
elev=(asin((cos(lat)*cos(declin)*cos(hourang))+sin(lat)*sin(declin)))*(180/PI);
azim=(acos(((sin(declin)-(cos(zenith)*sin(lat))))/((sin(zenith)*cos(lat)))))*(180/PI);
```

รูปที่ 4.3 แสดงคำสั่งประมวลผลจากเวลาเป็นพิกัด

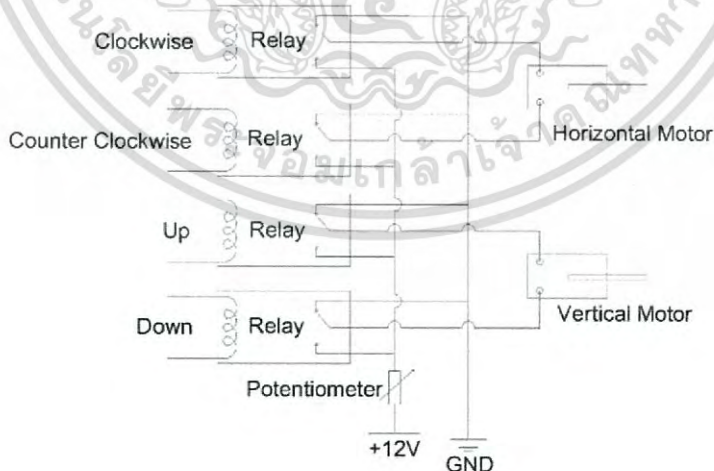
โดยเมื่อใช้คำสั่งชุดนี้สามารถทำให้เปลี่ยนข้อมูลเวลาปัจจุบันเปลี่ยนเป็นข้อมูลพิกัดของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาในขณะนั้นได้โดยข้อมูลที่ได้นำไปเปลี่ยนเป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับควบคุมมอเตอร์ของระบบขับเคลื่อนต่อไปได้อย่างแม่นยำโดยข้อมูลจะทำการประมวลผลไปเรื่อยๆในรูปแบบวนลูปเพื่อที่จะส่งค่าพิกัดของดวงอาทิตย์ทั้งมุม Elevation และมุม Azimuth



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมต่างๆกับวัตถุบนอวกาศ

4.3 สวิตช์รีเลย์

สวิตช์รีเลย์ประกอบไปด้วยขดลวดภายในซึ่งเมื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปจะทำให้เกิดแรงแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งจะทำให้ขาที่เชื่อมต่อสวิตช์มีการเคลื่อนไหวเข้าสู่ขั้วในรีเลย์ทำให้วงจรที่ได้ทำการตั้งไว้เกิดการครบวงจรโดยรีเลย์สามารถนำไปประยุกต์เข้ากับการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ได้โดยสามารถใช้รีเลย์ 2 ตัวต่อเข้ากับมอเตอร์ 1 ตัว เพื่อที่จะสามารถควบคุมการเปิด-ปิดของมอเตอร์และทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านมอเตอร์ซึ่งจะส่งผลให้ทิศทางการหมุนของมอเตอร์มีค่าเปลี่ยนไปตามเฟสไฟฟ้าที่ไหลผ่านมอเตอร์ได้



รูปที่ 4.5 แสดงการเชื่อมต่อสวิตช์รีเลย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยการต่อรีเลย์เข้ากับมอเตอร์จะสามารถควบคุมได้โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแผงวงจรประมวลผลขนาดเล็กซึ่งได้ทำการตั้งโปรแกรมไว้ให้จ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่รีเลย์โดยพร้อมกับตั้งค่าการหน่วงเวลา (delay) ซึ่งจะควบคุมช่วงระยะเวลาในการเปิด - ปิด ของสวิตซ์รีเลย์ได้

4.3.1 การใช้โปรแกรมควบคุมสวิตซ์รีเลย์

ขั้นตอนแรกในการใช้โปรแกรมควบคุมสวิตซ์รีเลย์คือการระบุขาของสายที่จะเชื่อมต่อระหว่างสวิตซ์รีเลย์ นั้นเข้ากับแผงวงจรประมวลผลขนาดเล็กโดยจะแยกสวิตซ์รีเลย์ที่ใช้ในการควบคุมมอเตอร์ออกเป็น 4 สวิตซ์เพื่อใช้สำหรับควบคุมการหมุน 4 ทิศทางดังนี้

1. Up เชื่อมต่อเข้ากับมอเตอร์หมุนเงยในซ้ายบวก
2. Down เชื่อมต่อเข้ากับมอเตอร์หมุนเงยในซ้ายลบ
3. Clockwise เชื่อมต่อเข้ากับมอเตอร์หมุนบิดในซ้ายบวก
4. Counter-Clockwise เชื่อมต่อเข้ากับมอเตอร์หมุนบิดในซ้ายลบ

โดยโปรแกรมที่ใช้ในการระบุช่องเชื่อมต่อมีดังนี้

```
#define CW 4
#define CCW 4
#define UP 4
#define DOWN 4
```

รูปที่ 4.6 แสดงการระบุขาที่เชื่อมต่อสวิตซ์รีเลย์

โดยการระบุตัวเลขที่ขาของสายเชื่อมต่อเข้าไปผ่านคำสั่ง define จะทำให้เมื่อแผงวงจรประมวลผลขนาดเล็กทำงานจะสั่งการให้ช่องสัญญาณที่กำกับตัวเลขไว้มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปตามตัวเลขที่ได้ตั้งไว้โดยโปรแกรมที่จะทำการควบคุมการเปิดปิดของสวิตช์รีเลย์คือ

```
digitalWrite(UP, LOW);
digitalWrite(DOWN, HIGH);
delay(millisecods)
```

รูปที่ 4.7 แสดงโปรแกรมควบคุมสวิตช์รีเลย์

โดยในคำสั่ง digitalWrite นั้นในช่องแรกจะเป็นการระบุขาของสายเชื่อมต่อที่แผงวงจรขนาดเล็กจะทำการส่งสัญญาณไฟฟ้าออกไปโดยได้ทำการระบุขาที่เชื่อมต่อกับสวิตช์รีเลย์ไว้ในตอนแรกเรียบร้อยแล้วโดยในช่องที่สองสามารถแยกคำสั่งออกเป็น

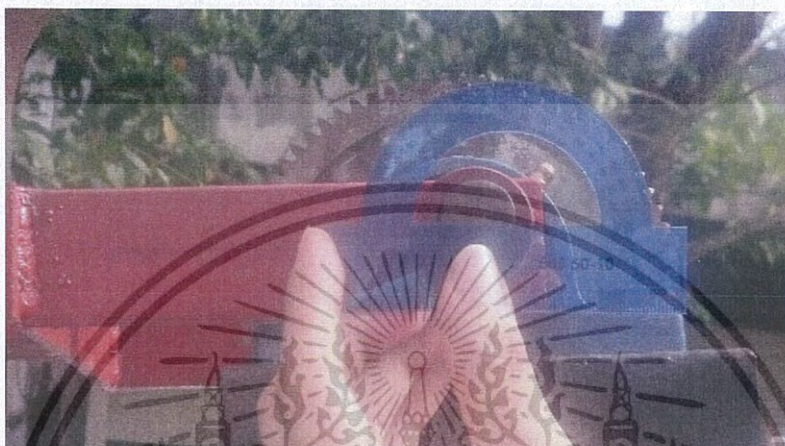
1. HIGH สั่งงานให้เริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าทำให้ขดลวดแม่เหล็ก
2. LOW สั่งงานให้หยุดการจ่ายไฟเข้าสู่ขดลวดภายในสวิตช์รีเลย์

โดยการควบคุมสวิตช์รีเลย์นั้นจำเป็นที่จะต้องระบุช่วงเวลาการเปิดและปิดรีเลย์เนื่องจากเวลาที่ใช้จะสัมพันธ์กับเวลาที่มอเตอร์ทำการหมุนโดยช่วงเวลาที่คำสั่ง Delay จะหาด้วยขั้นตอนดังนี้

1. ตั้งค่าให้สวิตช์รีเลย์ทำงานแบบไม่หยุด
2. จ่ายไฟเข้าสู่มอเตอร์ของชุดขับเคลื่อนทำให้จนวนรวมแสงเกิดการเคลื่อนที่
3. เริ่มต้นจับเวลา
4. หยุดการจับเวลาเมื่อจุดที่ตั้งไว้เคลื่อนไปเป็นระยะ 10 องศา
5. บันทึกค่าที่ได้และทำซ้ำอีกครั้ง
6. หาค่าเฉลี่ยเพื่อหาค่า Delay ในหน่วย Milliseconds ของการหมุน 1 องศา

การใช้วิธีจะทำให้สามารถตั้งค่าเพื่อให้สวิตช์รีเลย์ควบคุมให้จนวนรวมแสงอาทิตย์หมุนไปตามองศาที่ต้องการให้หมุนเมื่อแผงวงจรประมวลผลขนาดเล็กสั่งให้ชุดคำสั่งนี้ทำงานโดยใช้ค่าการหน่วงเวลาที่ทำการ

ตั้งไว้โดยแนวทางการปรับปรุงเพื่อให้การแม่นยำมากขึ้นอาจสามารถใช้เครื่องอ่านค่า Rotary Encoder เพื่อที่จะสามารถหาค่ามุมที่แม่นยำมากขึ้นโดยทำงานร่วมกับแผงวงจรประมวลผลขนาดเล็ก



รูปที่ 4.8 แสดงการวัดมุมสำหรับคำสั่ง Delay

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ระบบติดตามแสงอาทิตย์

ในการควบคุมการหมุนระหว่างวันในขั้นตอนแรกเราจำเป็นต้องรู้ถึงช่วงเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้นโดนสามารถหาได้จากค่า Elevation ในช่วงเวลานั้นเมื่อมีค่ามากกว่าศูนย์แสดงว่าพระอาทิตย์มีการขึ้นโดยจะใช้ช่วงเวลานี้ในการเริ่มทำงานของชุดขับเคลื่อนจากรวมแสงอาทิตย์

โดยการควบคุมการหมุนระหว่างจะตั้งให้ชุดขับเคลื่อนทำงานเมื่อพระอาทิตย์เคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง 5 องศาจากจุดเดิมก่อนหน้านี้ทำให้จำเป็นต้องใช้ข้อมูล 2 ค่าเป็นหลักนั่นคือ

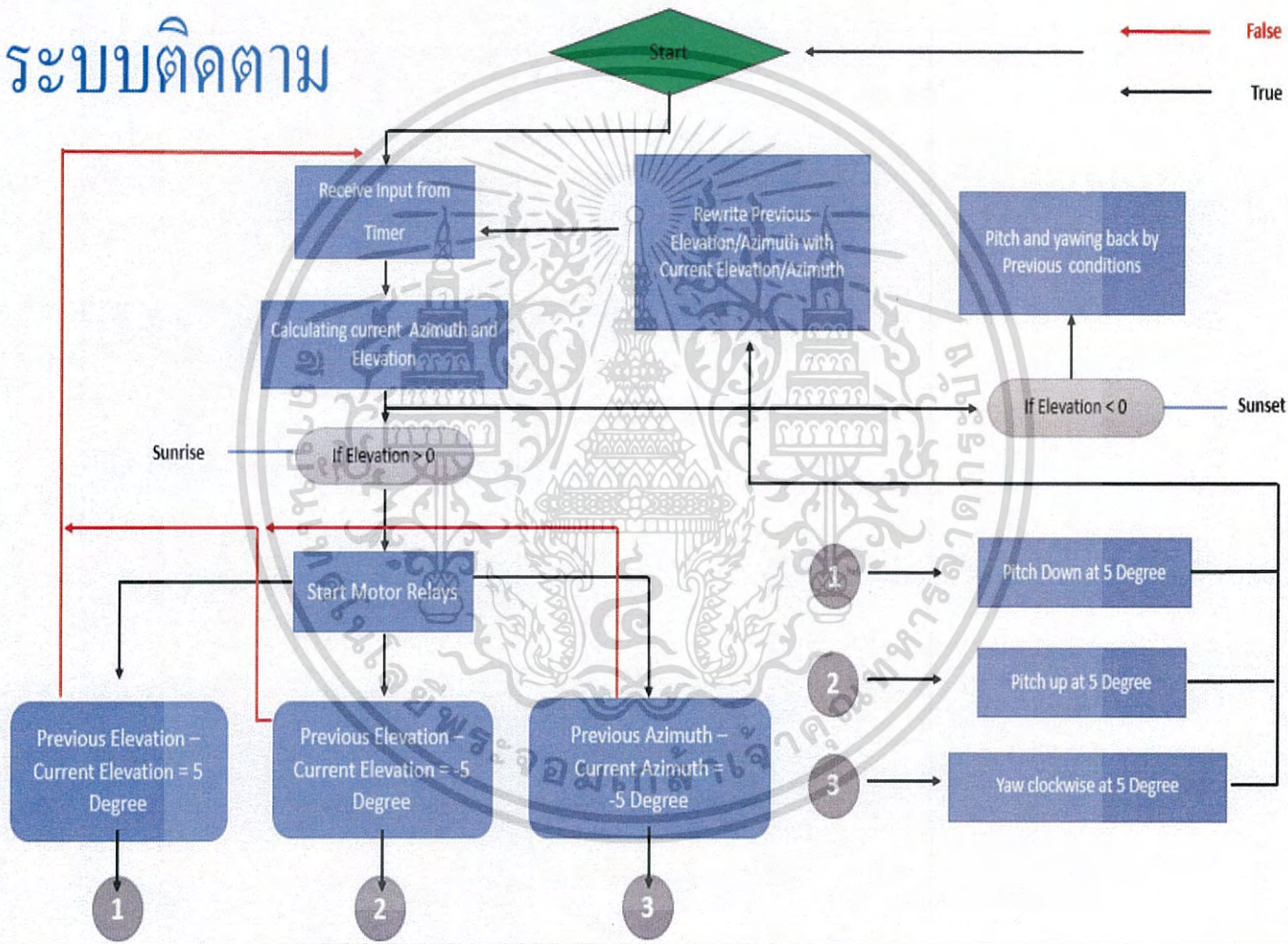
1. Previous Azimuth/Elevation Angle เป็นพิกัดของตำแหน่งก่อนหน้าที่มอเตอร์จะทำการเริ่มหมุนโดยแยกออกเป็น 2 พิกัดคือ Azimuth และ Elevation
2. Current Azimuth/Elevation Angle เป็นพิกัด ณ เวลาปัจจุบันโดยใช้คำสั่งคำนวณพิกัดแบบวนลูปไปเรื่อยๆตามเวลาที่รับค่า

โดยจะรู้ว่าพระอาทิตย์เคลื่อนที่ไปเป็นระยะ 5 องศาโดยใช้ค่า Previous Coordinates นำมาลบกับค่า Current Coordinates โดยจะแบ่งเงื่อนไขออกเป็น

1. $\text{Previous Elevation} - \text{Current Elevation} = -5$
แสดงว่าค่า Current มีค่าที่มากขึ้นจึงแสดงว่าพระอาทิตย์มีทิศทางเคลื่อนที่ขึ้น
2. $\text{Previous Elevation} - \text{Current Elevation} = 5$
แสดงว่าค่า Current มีค่าที่น้อยลงจึงแสดงว่าพระอาทิตย์มีทิศทางลง
3. $\text{Previous Azimuth} - \text{Current Azimuth} = -5$
แสดงว่าพระอาทิตย์เคลื่อนจากตะวันออกไปตะวันตกเป็นระยะ 5 องศาแล้ว

โดยเมื่อสั่งการทำงานสวิตช์รีเลย์และมอเตอร์แล้วจะทำการสั่งให้แผงวงจรประมวลผลขนาดเล็กทำการบันทึกค่า Previous Coordinates ใหม่ด้วย Current Coordinates เพื่อให้สามารถติดตามการเคลื่อนไหวของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันได้อย่างแม่นยำ โดยจะสิ้นสุดการทำงานของระบบติดตามระบบติดตามเมื่อพระอาทิตย์ตกซึ่งสามารถหาช่วงเวลาได้จากเงื่อนไข Elevation มีค่าน้อยกว่าศูนย์

ระบบติดตาม



รูปที่ 4.9 แผนผังการทำงานของโปรแกรมติดตามแสงอาทิตย์

บทที่ 5

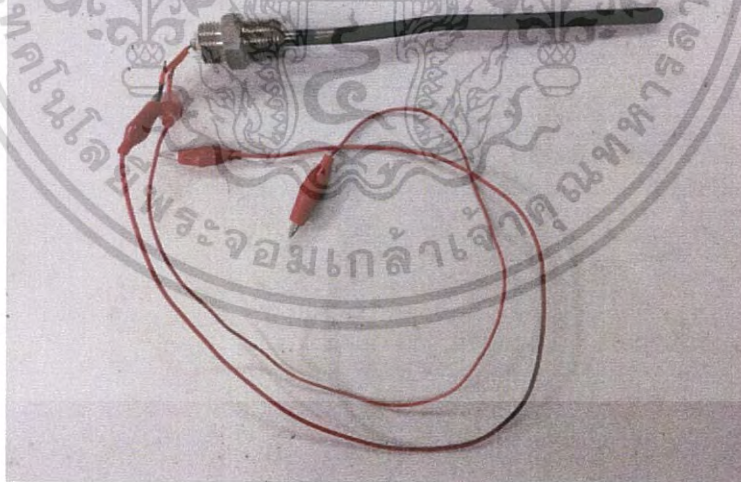
การทดลองและผลการทดลอง

5.1 จุดประสงค์ของการทดลอง

เพื่อตรวจหาว่าจันรวมแสงอาทิตย์ที่ออกแบบขึ้น จะได้รับความร้อนหรืออุณหภูมิที่จุดโฟกัสของจันเป็นเท่าไร ในแต่ละชั่วโมงภายใน 1 วัน และคำนวณหาค่ากำลังที่ได้จากการรวมแสงอาทิตย์

5.2 อุปกรณ์การทดลอง

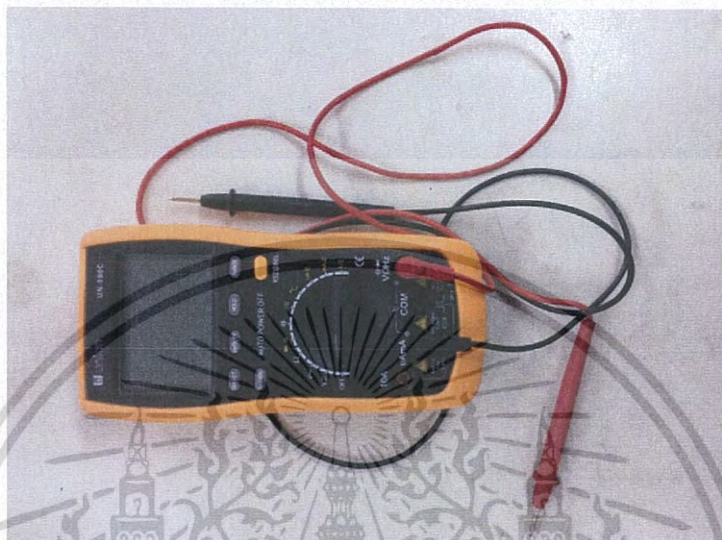
1. น้ำปริมาตร 600 mL ใส่ลงในภาชนะที่ปิดไว้
2. Thermocouple – เพื่อวัดอุณหภูมิของน้ำที่อยู่ภายในภาชนะ



รูปที่ 5.1 Thermocouple

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Multi-meter - เพื่ออ่านค่าอุณหภูมิจาก Thermocouple



รูปที่ 5.2 Multi-meter

4. Digital thermometer - เพื่อวัดอุณหภูมิ ณ จุดโฟกัส



รูปที่ 5.3 Digital thermometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Computer – เพื่อเก็บข้อมูลที่ได้ คำนวณหาดำเนินงานของดวงอาทิตย์ และสั่งการทำงานของ microcontroller
6. งานรวมแสงอาทิตย์
7. ระบบควบคุมติดตามและกลไกของเครื่อง



รูปที่ 5.4 งานรวมแสงอาทิตย์และกลไกขับเคลื่อน

5.3 ค่าที่ได้จากการทดลอง

1. อุณหภูมิที่จุดโฟกัสและน้ำในภาชนะ
2. กำลังที่ได้จากงานรวมแสง
3. ค่าความร้อนที่ได้จากงานรวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ขั้นตอนการทดลอง

5.4.1 เงื่อนไขการทดลอง

1. ทดลองจนรวมแสงภายในเวลา 1 วัน
2. เริ่มทดลองตั้งแต่วันที่ 10.00 – 15.30 น.

5.4.2 ขั้นตอนการทดลอง

1. นำ thermocouple ติดตั้งเข้ากับภาชนะทดลองที่ใส่น้ำ 600 mL



รูปที่ 5.5 Thermocouple ติดเข้ากับภาชนะทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำภาชนะทดลองที่ติด thermocouple แล้วไปติดตั้งกับจานรวมแสงที่จุดโฟกัสของจาน



รูปที่ 5.6 ภาชนะทดลองติดตั้งที่จุดโฟกัสของจาน

3. ติดตั้งจานรวมแสงอาทิตย์ในพื้นที่เปิดกว้าง



รูปที่ 5.7 จานรวมแสงที่ติดตั้งแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เก็บค่าอนุภูมิที่ได้ในทุกๆครึ่งชั่วโมง เริ่มจาก 10.00 น.



รูปที่ 5.8 เก็บค่าอนุภูมิของน้ำในภาชนะทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

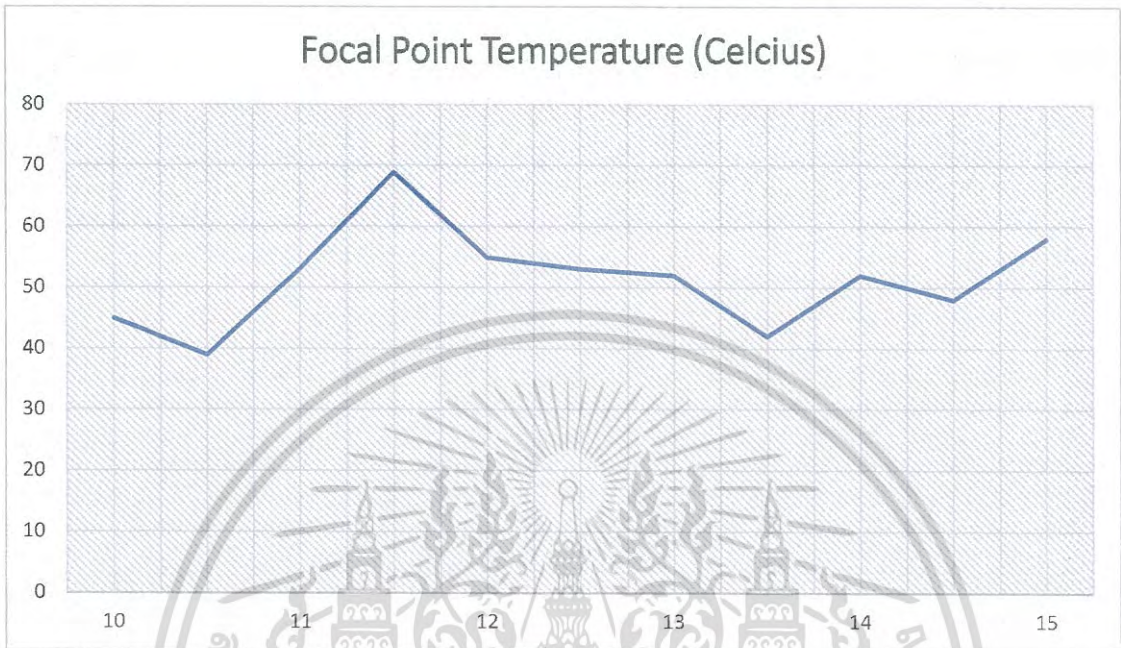
5.5 ผลการทดลอง

5.5.1 การทดลองภายใน 1 วัน

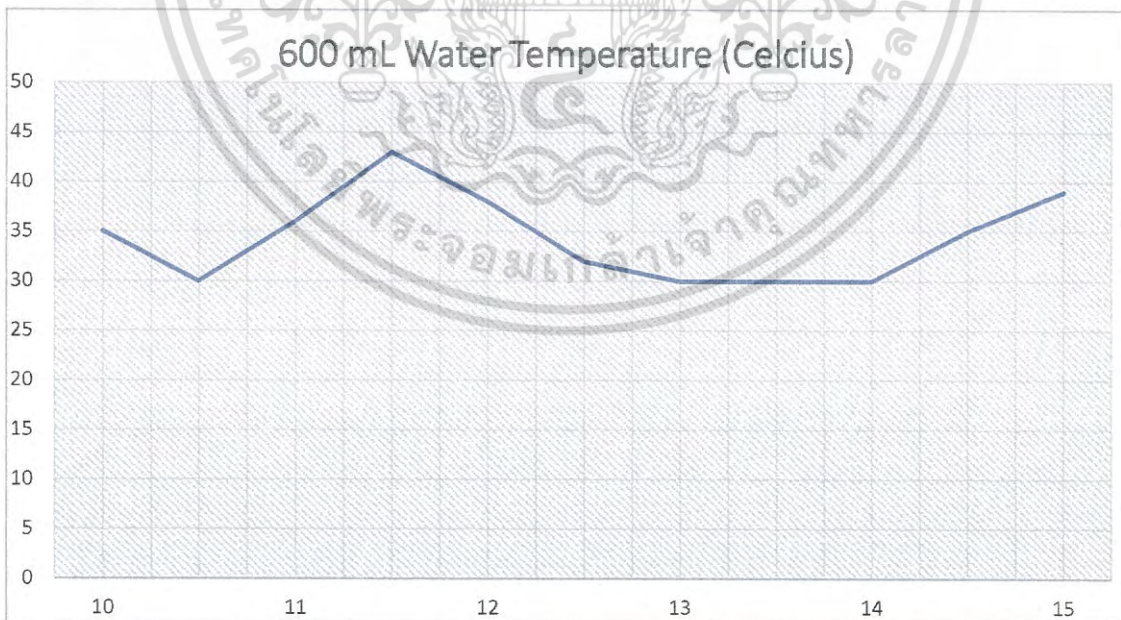
ตารางที่ 5.1 แสดงอุณหภูมิที่วัดได้จาก Thermocouple และ Digital thermometer ของน้ำใน กระจกปองและอุณหภูมิที่จุดไฟกัส และแสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ณ เวลานั้นๆ

Time	Temperature		Sun Coordinates		Mark
	Focal point	Water Temp.	Azimuth	Elevation	
10.00	45	35	108	60	About 50 percent of cloud
10.30	39	30	111	67	About 60 percent of cloud
11.00	53	36	118	74	About 50 percent of cloud
11.30	69	43	135	80	Clear sky
12.00	55	38	180	83	About 30 percent of cloud
12.30	53	32	225	80	Clear sky
13.00	52	30	242	74	About 40 percent of cloud
13.30	42	30	249	67	About 40 percent of cloud
14.00	52	30	252	61	Clear sky
14.30	48	35	254	54	About 30 percent of cloud
15.00	58	39	255	47	Clear sky
15.30	58	37	255	40	Clear sky

การทดลองดำเนินการขึ้นในวันที่ 24 พฤษภาคม 2559 เวลาที่เริ่มทำคือ 10.00 น. และเวลาที่สิ้นสุดการทดลองคือ 15.30 น. สถานที่ทดลองคือหน้าตึกสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีค่า Latitude เท่ากับ 13.75 องศาเหนือ



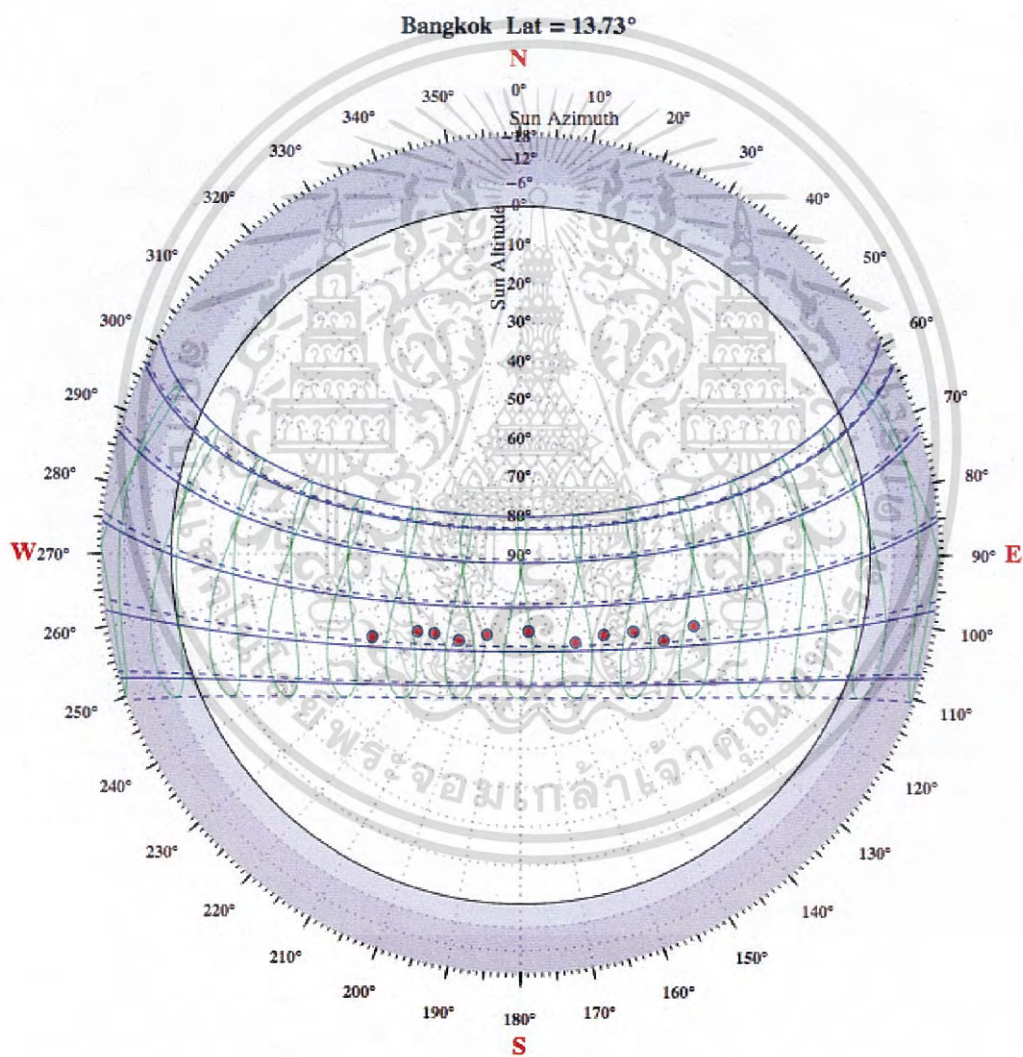
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงอุณหภูมิ ณ จุดโฟกัสที่วัดได้ในแต่ละชั่วโมง



รูปที่ 5.10 กราฟแสดงอุณหภูมิของน้ำที่วัดได้ในแต่ละชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่จุดโฟกัสจะอยู่ระหว่าง 40 ถึง 60 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิของน้ำในกระป๋องจะอยู่ระหว่าง 30 ถึง 40 องศาเซลเซียส ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่จากรวมแสงได้คือ 69 °C และ 43 °C เนื่องจากท้องฟ้าปลอดโปร่ง ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยคือ 52 °C และ 34.58 °C ของจุดโฟกัสและน้ำตามลำดับ ค่าอุณหภูมิที่ได้จะอยู่ในช่วงกลางๆ เนื่องจากสภาพอากาศที่ไม่ดี มีเมฆมาบดบังดวงอาทิตย์และลมพัดทำให้ความร้อนที่ได้จากรวมแสงมีค่าไม่มาก



รูปที่ 5.11 แสดง Sun path diagram ของวันทดลอง และตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

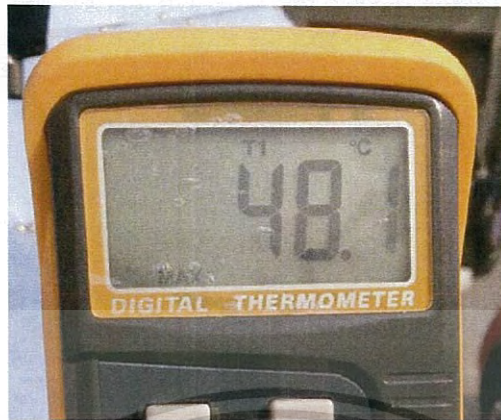
จากรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าจุดสีแดงคือตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่คำนวณได้ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ใน sun path diagram ของวันทดลอง

5.5.2 การทดลอง ณ ช่วงเวลาหนึ่ง

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าตัวแปรและข้อมูลที่ใช้หรือวัดได้ในการทดลองและการคำนวณ

ตัวแปร	ค่า/ข้อมูล
Testing subject	Water
Volume	0.6 L
Atmosphere Temperature	304° Kelvin
Testing Duration	20 minutes at 2 PM
Maximum Water Temperature	321° Kelvin
Water specific heat	4.187 (kJ/(kg K))
Heat energy	43 kJ
Power	35 Watt

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.12 อุณหภูมิสูงสุดของน้ำ ณ เวลา 14.00 น.



รูปที่ 5.13 แสดงจุดไฟกัสของจานรวมแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลการดำเนินการวิจัย

6.1 สรุป

การดำเนินงานเป็นไปตามวัตถุประสงค์ งานรวมแสงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เมตร มีจุดโฟกัสที่ระยะ 1.25 เมตร โดยใช้แผ่นเหล็ก Galvanized เคลือบทับด้วยแผ่นสะท้อนแสง PET เป็นตัวสะท้อนแสง มีน้ำหนัก 24 กิโลกรัม ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของงานรวมแสงอาทิตย์ที่ออกแบบนั้นสามารถควบคุมให้งานรวมแสงหันหน้าติดตามดวงอาทิตย์ อุณหภูมิสูงสุดของงานรวมแสงอาทิตย์ที่สามารถให้ได้คือ 69 องศาเซลเซียส และ 48 องศาเซลเซียสเมื่อวัดอุณหภูมิของน้ำ และสามารถคิดเป็นกำลังได้เท่ากับ 35 วัตต์ นำไปใช้ประโยชน์ได้ในการกลั่นน้ำซึ่งต้องการอุณหภูมิในการกลั่นที่ไม่สูง ปัญหาหลักของทดลองคือสภาพอากาศที่ไม่ดีมีผลต่อการทดลอง ลมแรงและมีเมฆมากทำให้งานรวมแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพต่ำ

6.2 ข้อเสนอแนะ

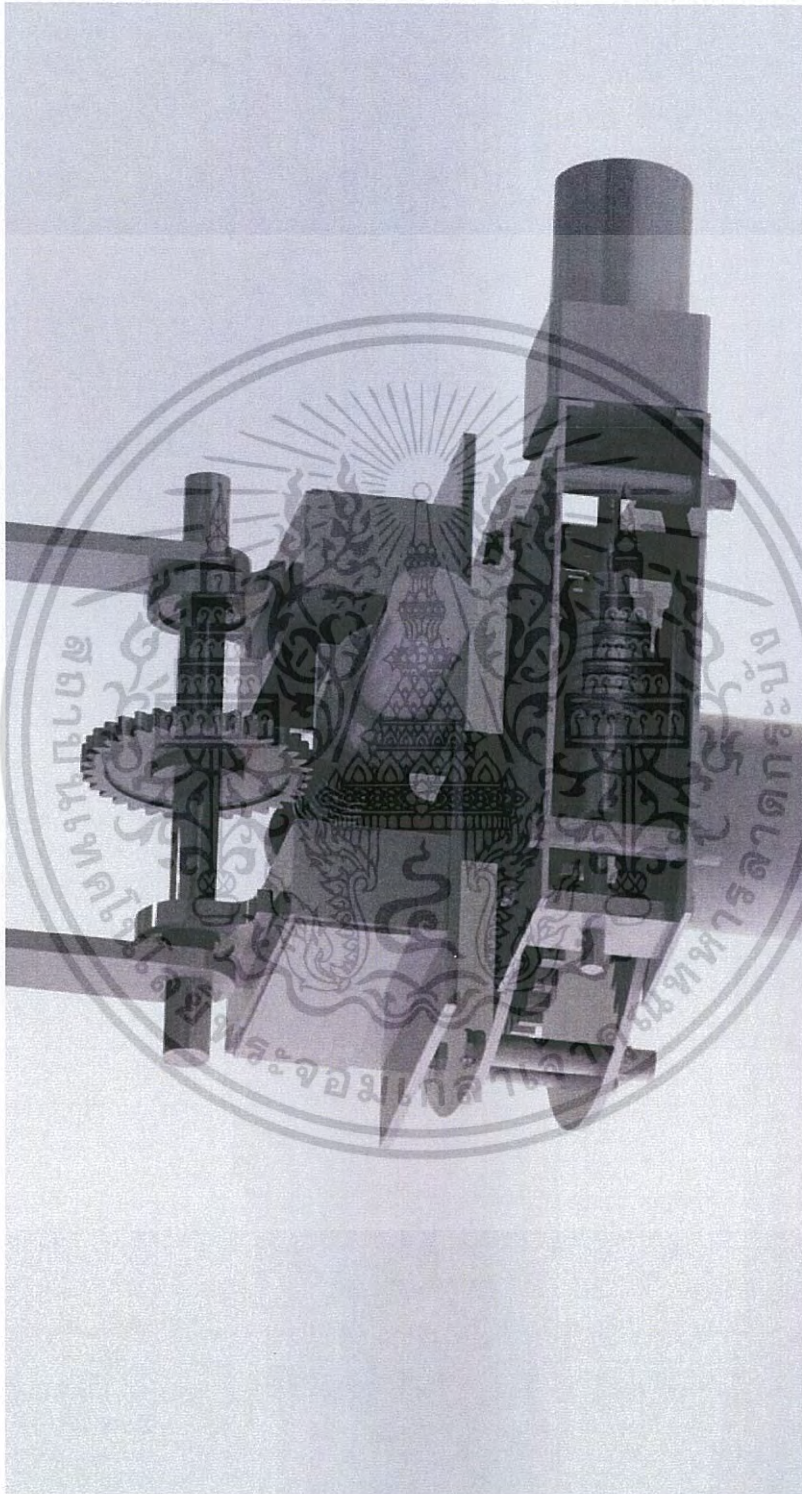
1. งานรวมแสงอาทิตย์นั้นยังมีการสั่นเกิดขึ้นเมื่อมีลมมาปะทะ จึงควรใช้วัสดุและออกแบบโครงสร้างของงานให้มีความแข็งแรงขึ้น
2. อุณหภูมิที่บันทึกได้สามารถมีค่าที่เพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการทดลองในช่วงหน้าร้อนในช่วงที่ท้องฟ้าปลอดโปร่งซึ่งจะทำให้ความร้อนที่ได้มีค่าที่มากขึ้น
3. ควรปรับปรุงบริเวณฐานของชุดขับเคลื่อนงานรวมแสงเพื่อเพิ่มความมั่นคงในระหว่างการหมุนงานรวมแสงอาทิตย์โดยใช้การถ่วงน้ำหนักหรือเสารองรับบริเวณฐานได้

บรรณานุกรม

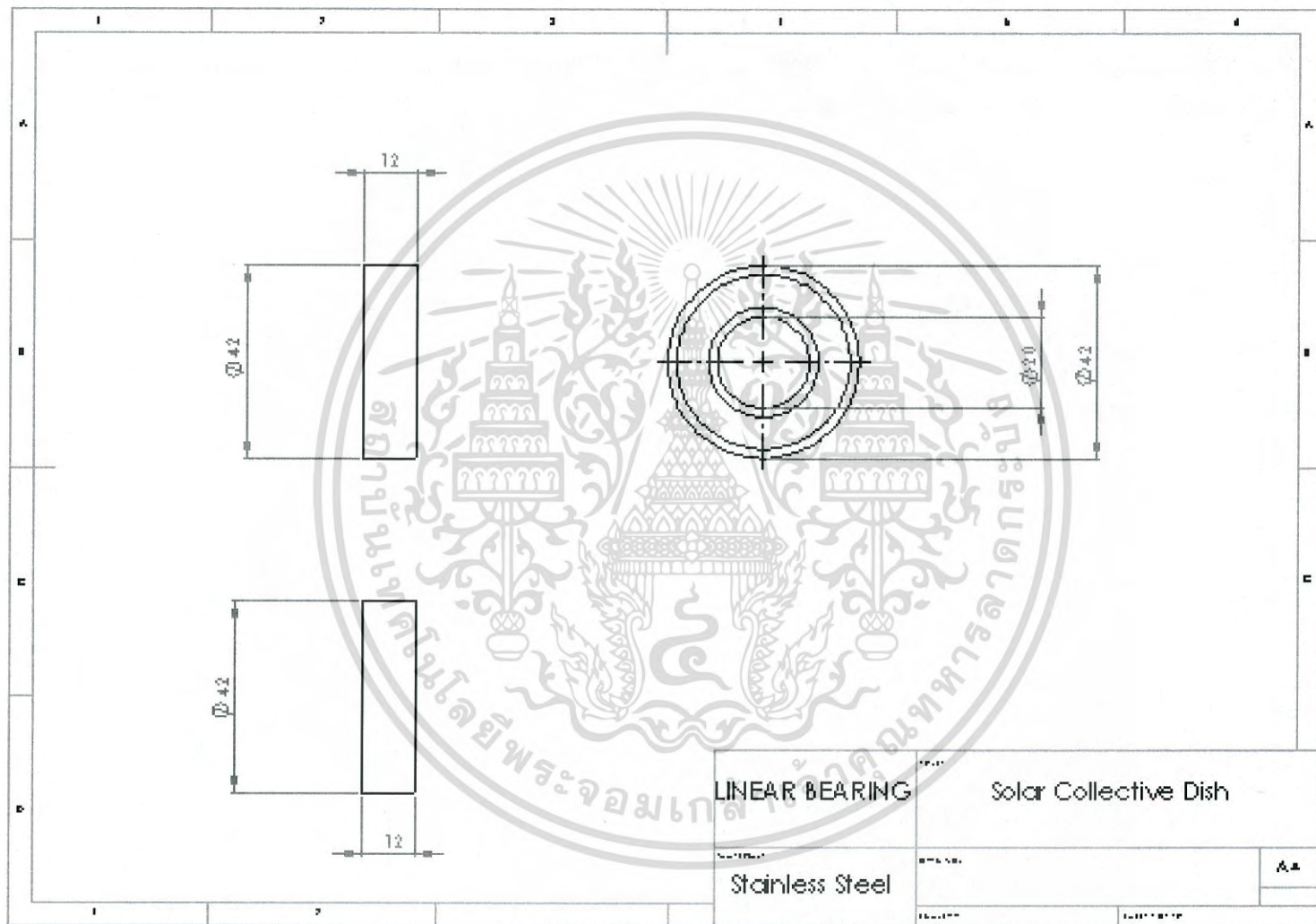
- [1] K. Forson, M.A.A. Nazha, H. Rajakaruna, Modelling and experimental studies on a mixed-mode natural convection solar crop- dryer , *Solar Energy, Volume 81, Issue 3, March 2007, Pages 346- 357*
- [2] A Segal, M. Levy, Modular solar chemical heat pipe for a parabolic dish: conceptual design and model calculations ,*Solar Energy, Volume 51, Issue 5, 1993, Pages 419-422* , An improved model for natural convection heat loss from modified cavity receiver of solar dish concentrator , *Solar Energy, Volume 83, Issue 10, October 2009, Pages 1884-1892.*
- [3] Daniel Feuermann, Jeffrey M. Gordon, High-concentration photovoltaic designs based on miniature parabolic dishes ,*Solar Energy, Volume 70, Issue 5, 2001, Pages 423-430*
- [4] Andy Ross “Making Stirling Engines”, *Model Engineer, January 10th, 2011*
- [5] William B. Stine and Michael Geyer”Power From The Sun” ,
<http://www.powerfromthesun.net>
- [6] เครื่องยนต์สเตอร์ลิงกำเนิดไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์, แบบเสนอโครงการวิจัย ประกอบการเสนอของบประมาณของสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประเภททุนโครงการสนับสนุนการวิจัยขยายผลสู่การปฏิบัติและพัฒนาต่อยอดงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ ประจำปี 2555
- [7] http://researchconference.kps.ku.ac.th/article_7/pdf/o_eng01.pdf
- [8] http://lib3.dss.go.th/fulltext/bulletin_science/bas_vol2_no2_2013_P90-99.pdf
- [9] <http://www.ennex.co.za/downloads/Dish%20Stirling%20Solar%20South%20Africa%20Conference%2021%20June%202011.pdf>

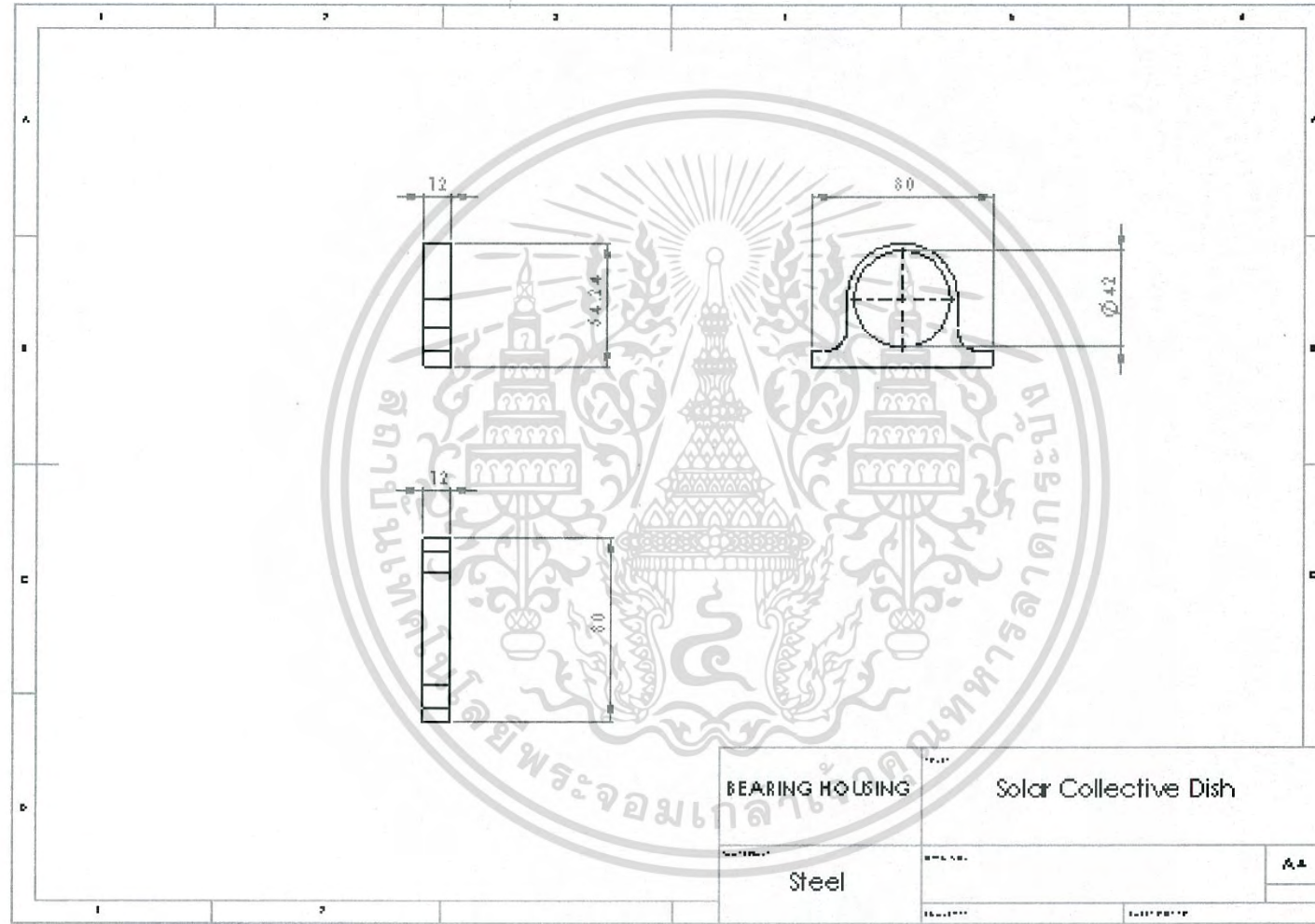


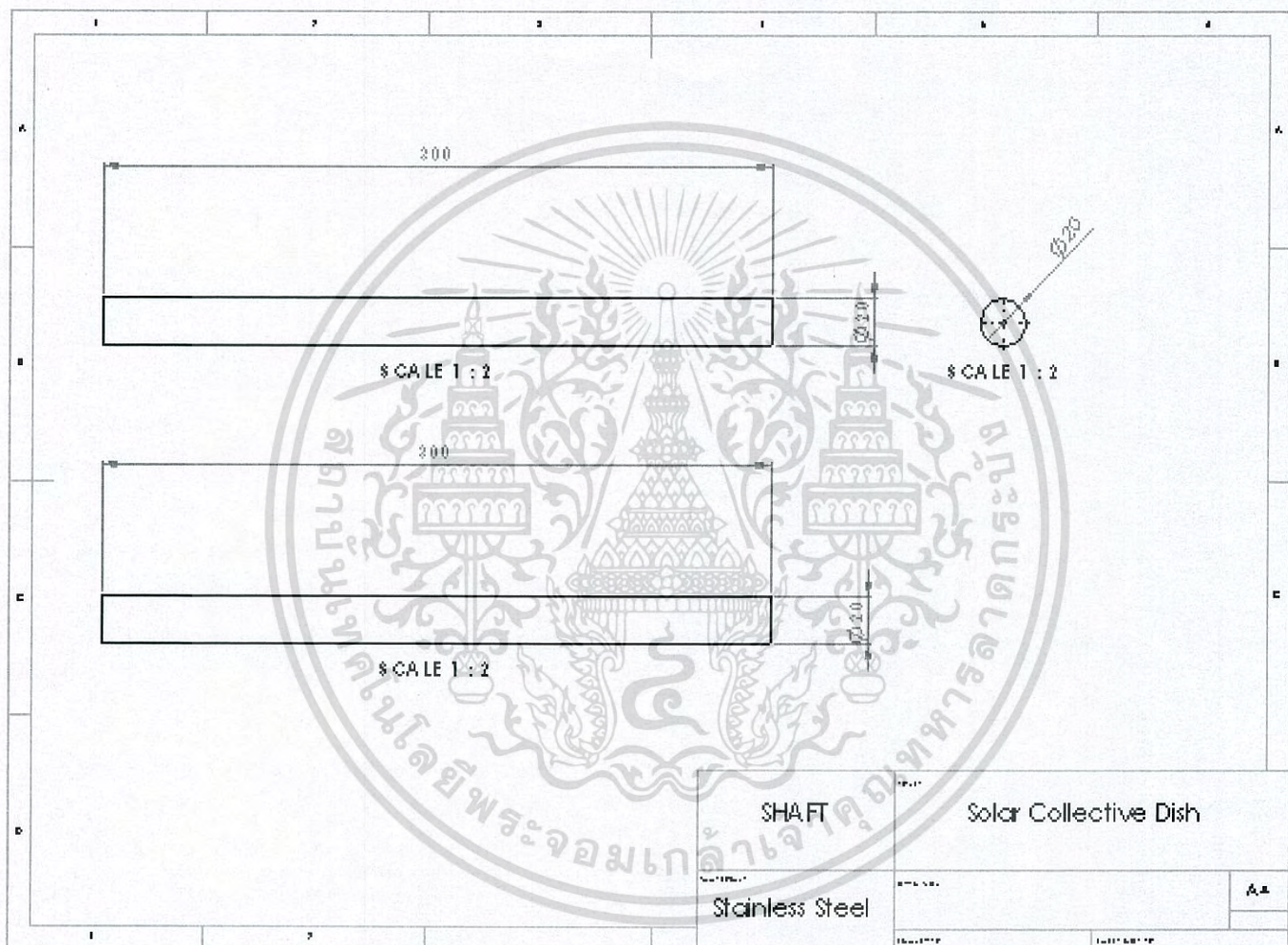
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

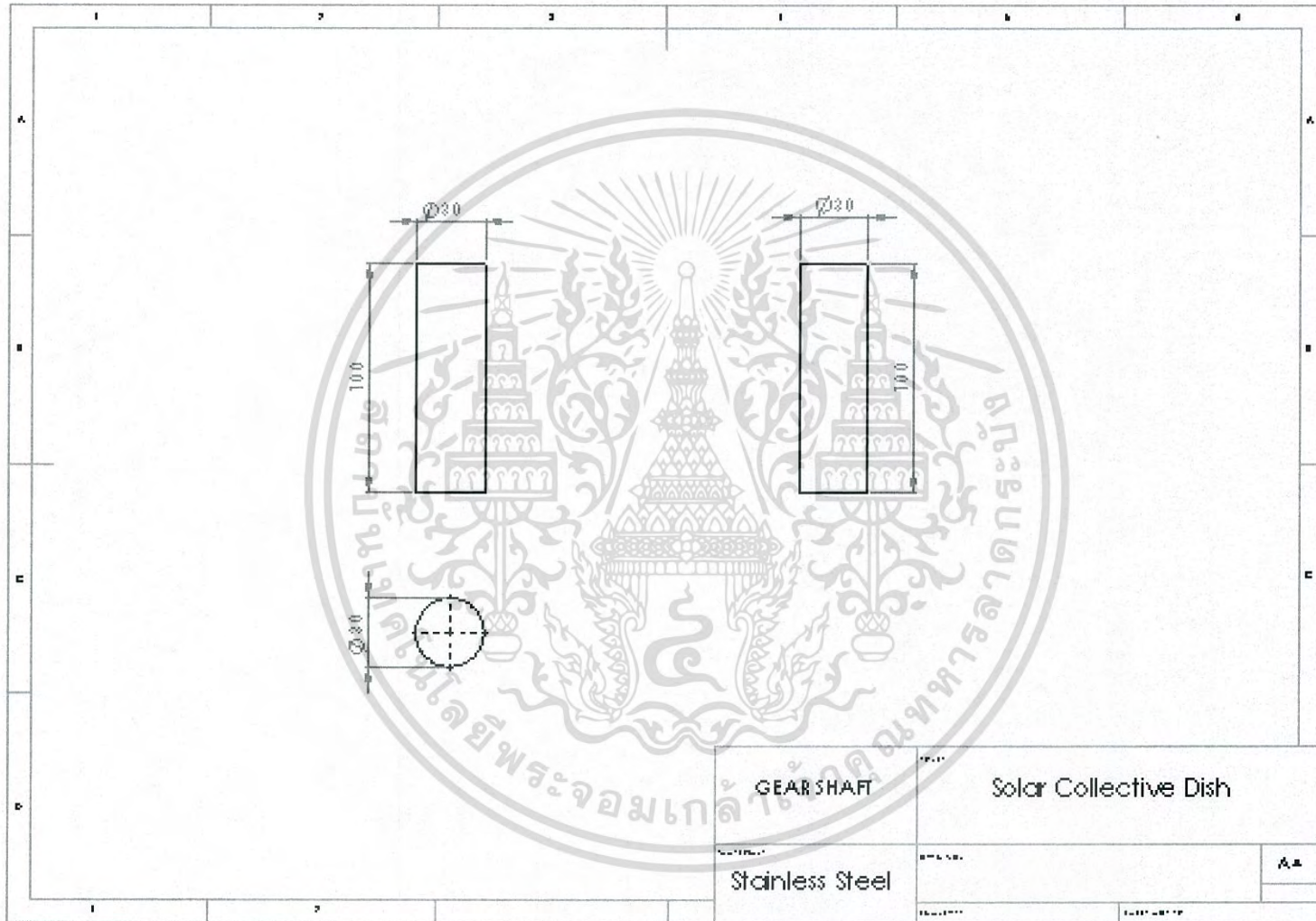


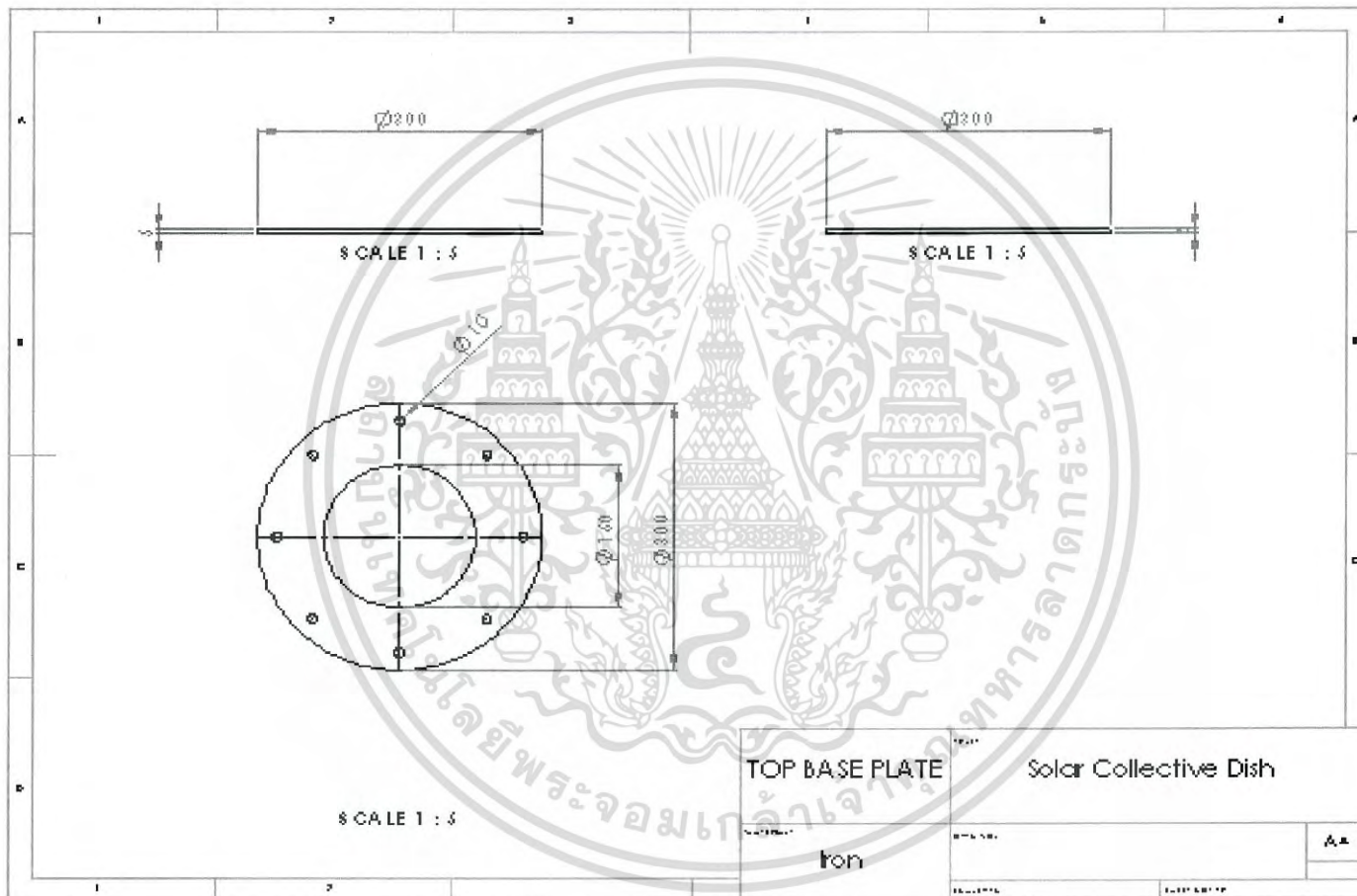
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

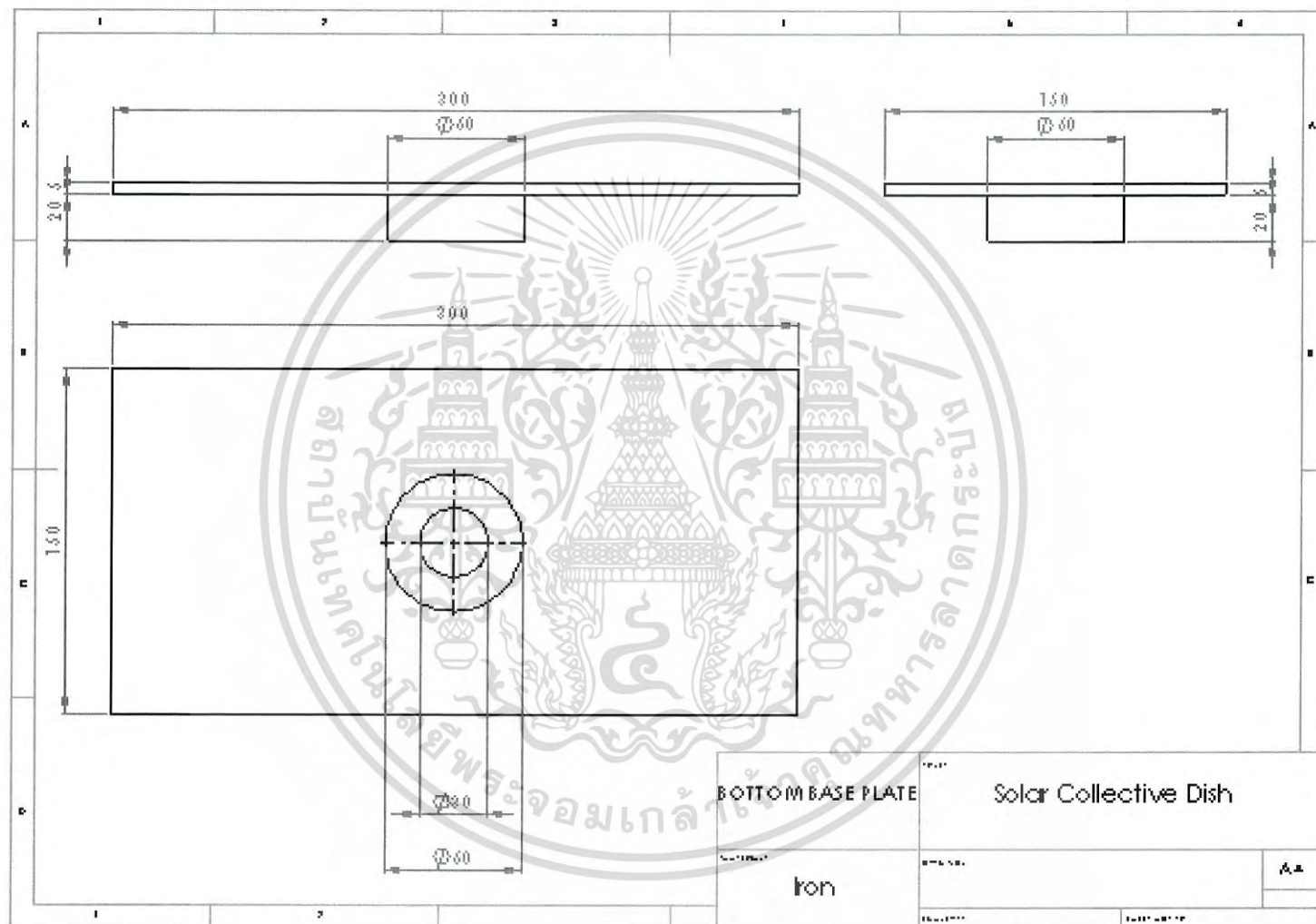


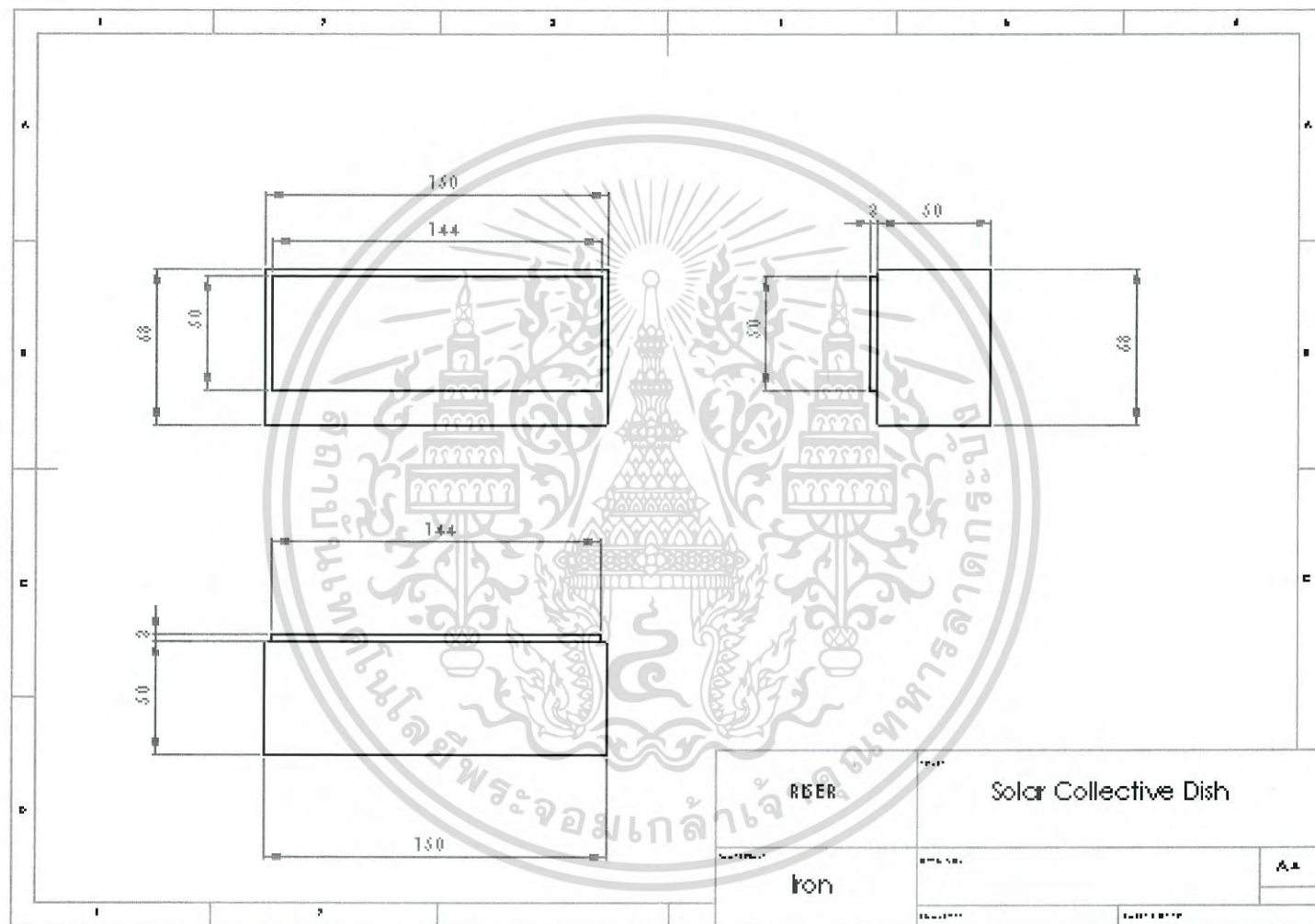


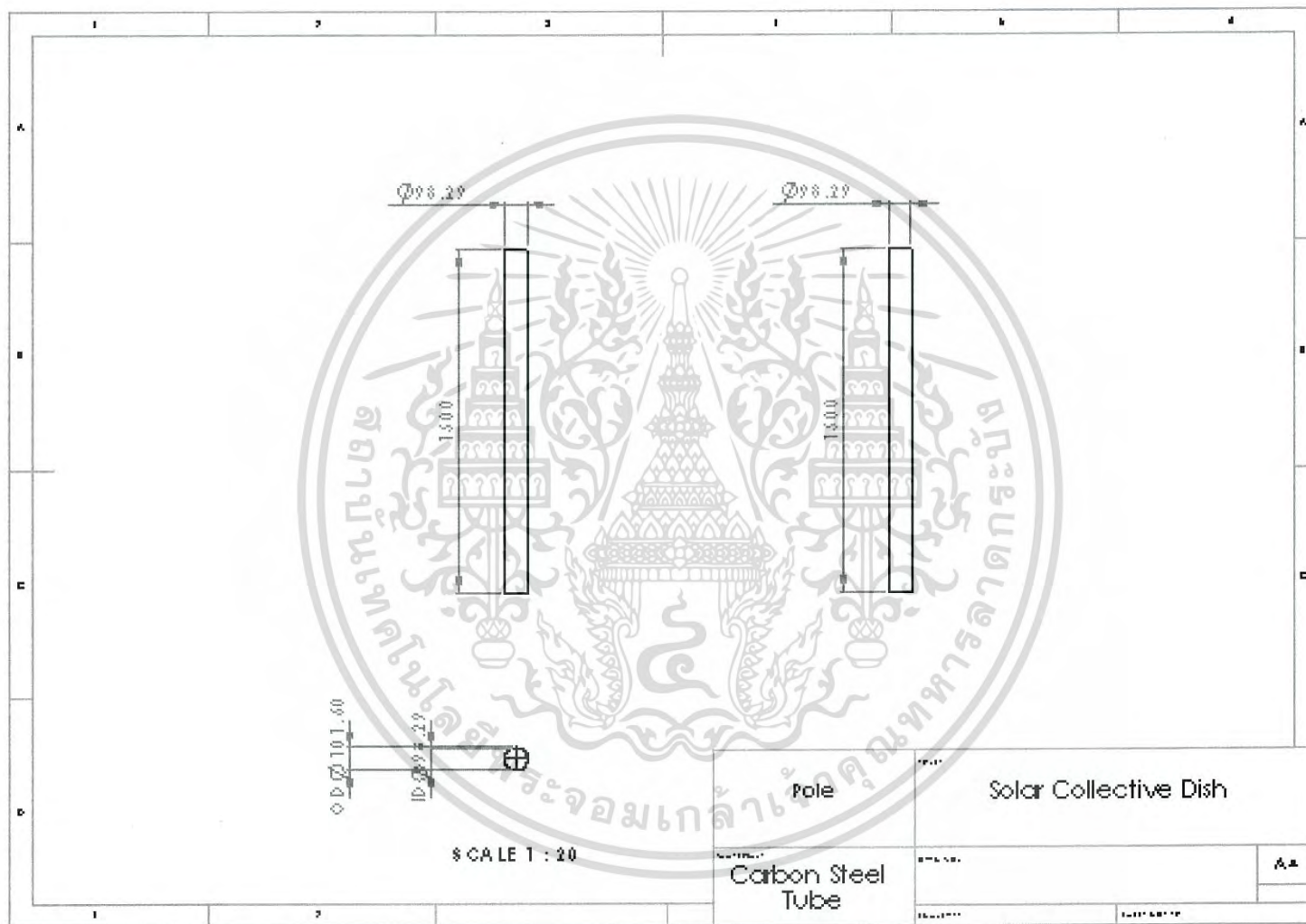


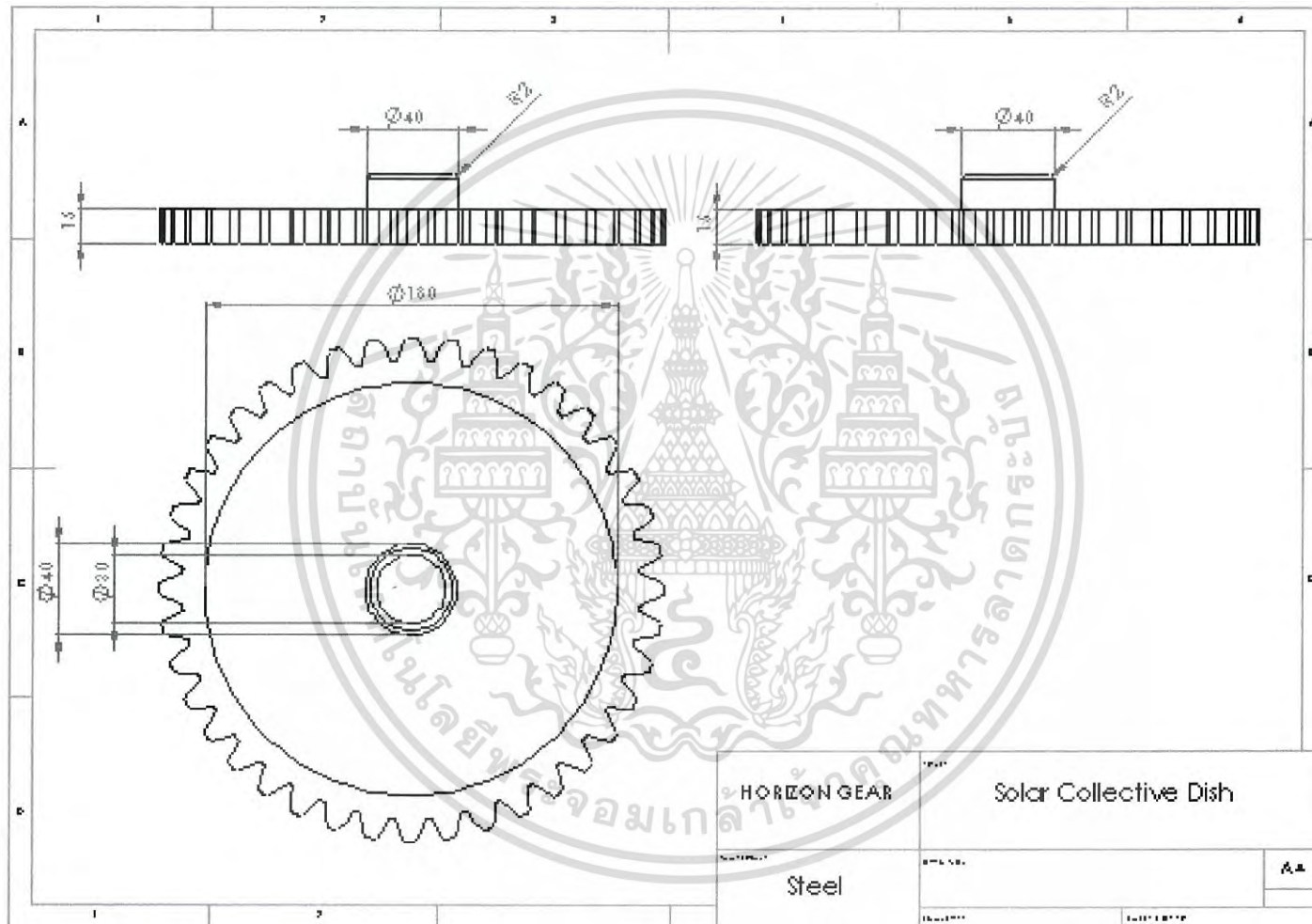


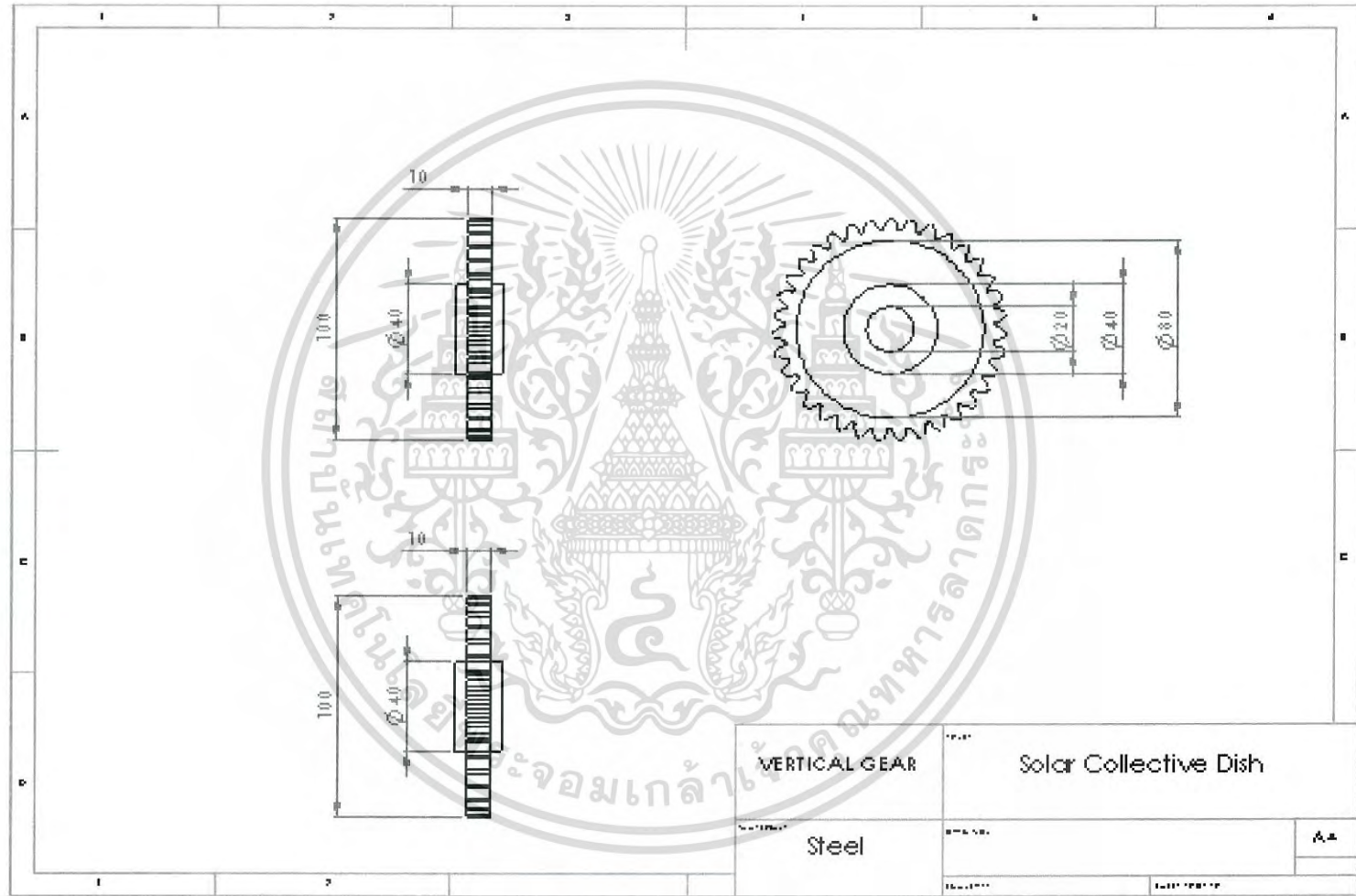


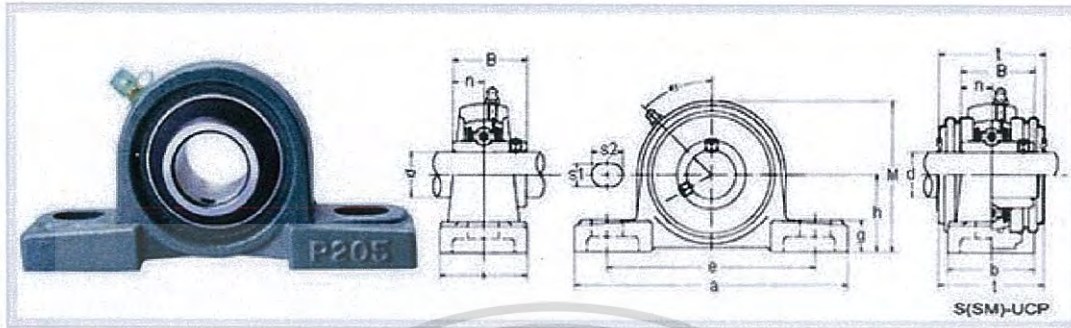








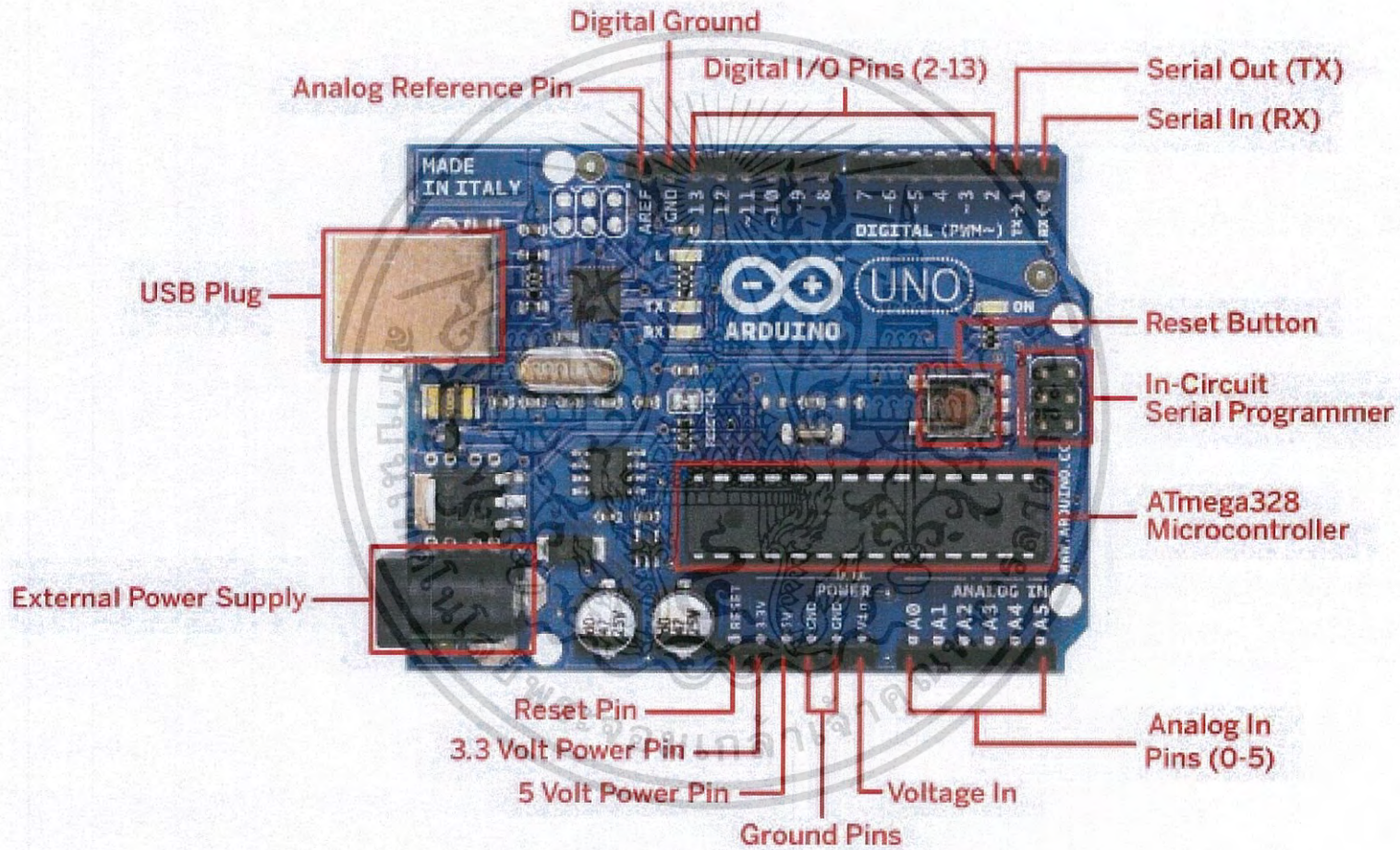


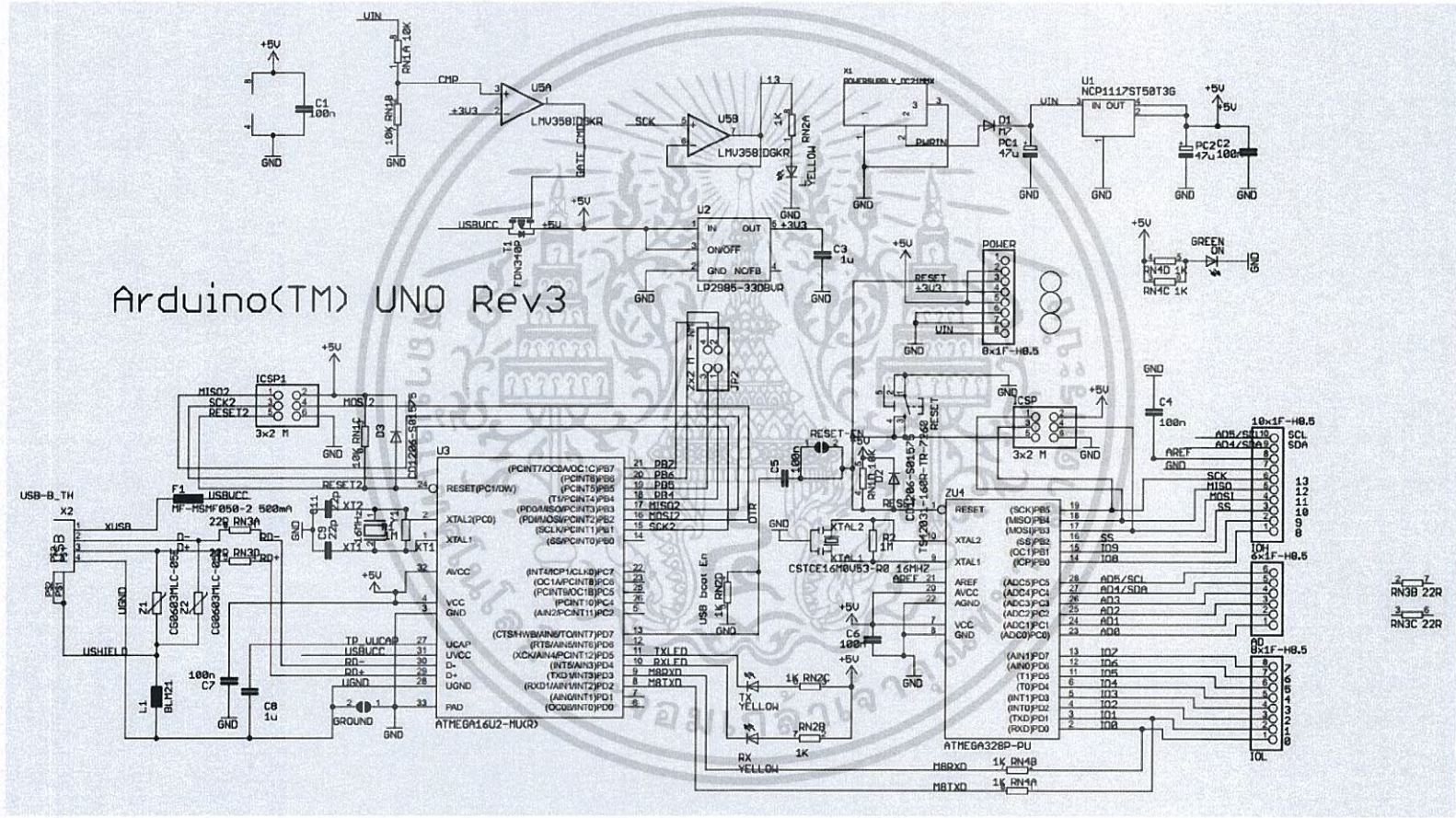


产品说明:

Unit No.	Dimensions mm												Bolt Size mm	Bearing No.	Housing No.	Weight (kg)
	d	h	a	e	b	s1	s2	g	w	t	B	n				
UCP201	12	30.2	127	95	38	13	19	14	62	44.5	31	12.7	M10	UC201	P203	0.69
UCP202	15	30.2	127	95	38	13	19	14	62	44.5	31	12.7	M10	UC202	P203	0.69
UCP203	17	30.2	127	95	38	13	19	14	62	44.5	31	12.7	M10	UC203	P203	0.68
UCP204	20	33.3	127	95	38	13	19	15	71	48	34.1	14.3	M10	UC204	P204	0.66
UCP205	25	36.5	140	105	38	13	19	15	71	48	34.1	14.3	M10	UC205	P205	0.81
UCP206	30	42.9	165	121	48	17	20	17	84	53	38.1	15.9	M14	UC206	P206	1.24
UCP207	35	47.6	167	127	48	17	20	18	93	59.5	42.9	17.5	M14	UC207	P207	1.58
UCP208	40	49.2	184	137	54	17	20	18	100	68	49.2	19	M14	UC208	P208	1.89
UCP209	45	54.0	190	146	54	17	20	20	106	69	49.2	19	M14	UC209	P209	2.14
UCP210	50	57.2	200	159	60	20	23	21	113	74.5	51.6	19	M16	UC210	P210	2.66
UCP211	55	63.5	219	171	60	20	23	23	125	76	55.8	22.2	M16	UC211	P211	3.31
UCP212	60	69.8	241	184	70	20	23	25	138	89	65.1	25.4	M16	UC212	P212	4.90
UCP213	65	76.2	265	203	70	25	28	27	150	89	65.1	25.4	M20	UC213	P213	5.15
UCP214	70	79.4	266	210	72	25	28	27	156		74.6	30.2	M20	UC214	P214	6.20
UCP215	75	82.6	275	217	74	25	28	28	162		77.8	33.3	M20	UC215	P215	7.16
UCP216	80	88.9	292	232	78	25	28	30	174		82.6	33.3	M20	UC216	P216	8.10
UCP217	85	95.2	310	247	83	25	28	32	185		85.7	34.1	M20	UC217	P217	9.81
UCP218	90	101.6	327	262	88	27	30	33	198		96	39.7	M22	UC218	P218	11.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





Arduino(™) UNO Rev3

2-7
RN3B 22R
3-6
RN3C 22R

Product Description

Features:

- * 3 temperature modes: ° C, ° F and K
- * One push button to switch between ° F/° C/K mode as well to switch between MAX/MIN/AVG
- * 2 temperature channels: T1 / T2
- * Differential temperature measurement
- * K-Type Thermocouple offers good accuracy and fast response
- * Hold mode function & Hold indicator
- * Overload display alert if input exceeds the selected measurement range
- * Comes with rubber holster that protects the meter from impact Portable and compact design
- * Allows easy and secured battery replacement
- * 2pcs Type "K" thermocouple sensors

Specifications:

- * Temperature range: -50° C to 1300° C (-58° F - 2372° F)
- * Resolution: 0.1° C or 0.1° F
- * Accuracy: $\pm 0.4^{\circ} \text{C} \pm 1\%$
- * Special functions:
 - A. Auto Power Shut Off
 - B. Data Hold Function
 - C. Switchable ° C or ° F or K
 - D. Low Battery Indication
 - E. MIN/MAX/AVG
 - F. T1, T2, Two K-Type
 - G. Differential Temperature Measurement (T1-T2)
 - H. Two Type "K" Thermocouple Input
- * Ambient Operating Range: 0-40° C (32-104° F)
- * Relative Humidity: 0-70% RH
- * Power supply: 9V x1 Battery
- * Weight: Approx. 300g
- * Dimensions: 149 x 71 x 41mm

Basic Info

Model NO.: 6802 II

Accuracy: $\pm 2^{\circ} \text{C}$

Display: Digital LCD

Hygrometer Type: Digital Thermometer for Thermocouple

3 Temperature Modes: ° C, ° F and K

Trademark: BESTONE

Origin: China

Standard: Celsius/Fahrenheit

Usage: Industrial

Material: Industrial

Range: -50° C~1300° C

Two Channels: T1, T2, Two K-Type

Specification: CE, ROHS

HS Code: 9025199090

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้