

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

DESIGN OF A SOLAR DISH COLLECTOR WITH THE TRACKING SYSTEM



E074448



Thesis  
Paid  
2010

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน.....  
วัน,เดือน,ปี.....

74448

27 ก.ย. 2555

b. 1238292X  
i.....

A Thesis submitted to

The Department of Mechanical Engineering

King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang

In partial fulfillment of the

Requirements for the Bachelor degree of Engineering

Academic Year 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Academic Year 2010

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering

King Mongkut's Institute of Technology, Ladkrabang

Design of a Solar Dish Collector with the Tracking System

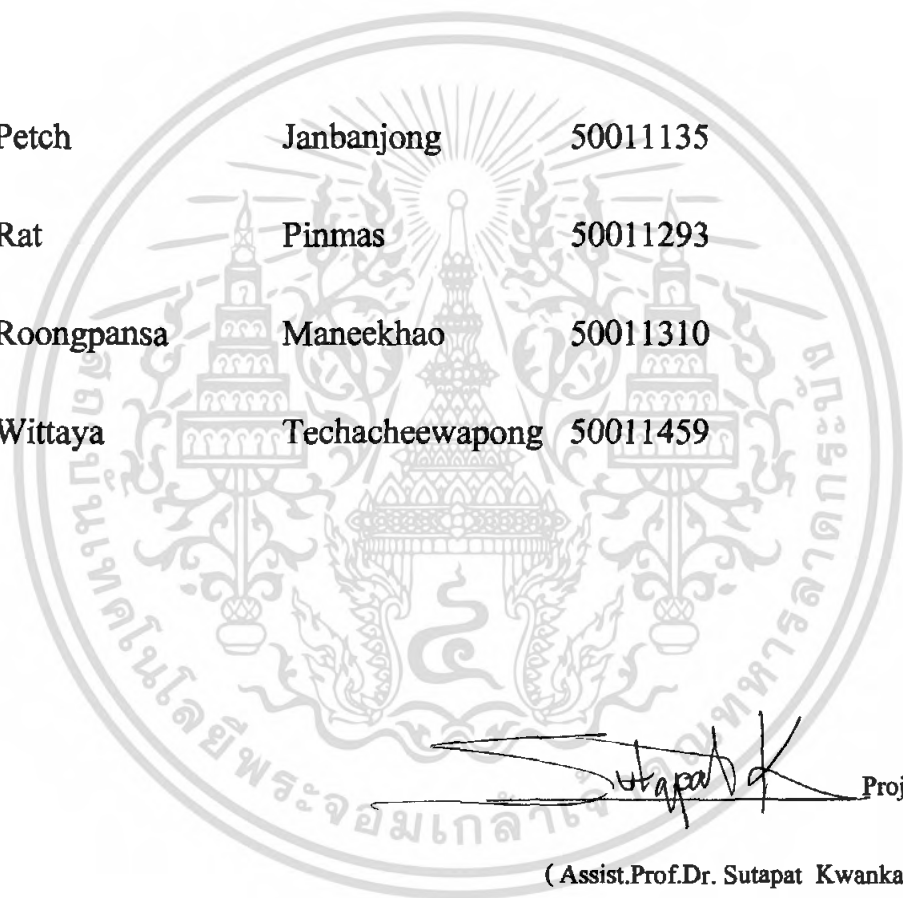
By

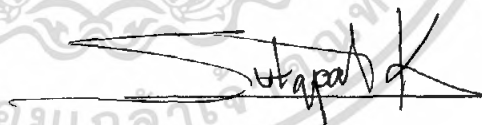
Petch Janbanjong 50011135

Rat Pinmas 50011293

Roongpansa Maneekhao 50011310

Wittaya Techacheewapong 50011459



 Project Advisor

( Assist.Prof.Dr. Sutapat Kwankaomeng )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบอุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยมีระบบติดตาม

นายเพชร จันบรรจง 50011135

นายรัตน์ ปิ่นมาศ 50011293

นางสาว รุ่งพรธมา มณีขาว 50011310

นายวิทยา เศรษฐพงษ์ 50011459

### บทคัดย่อ

ประเทศไทยได้รับพลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์เฉลี่ย 210 วัตต์ต่อตารางเมตร ต่อวัน พลังงานแสงอาทิตย์จึงนับเป็นสิ่งที่น่าดึงดูดใจในการนำมาประยุกต์ใช้งานหลายๆแบบ เนื่องจากเป็นพลังงานที่สะอาดและไม่เสียค่าใช้จ่าย โครงการนี้มุ่งเน้นไปที่การออกแบบและสร้างจานรับแสงอาทิตย์โดยมีระบบติดตาม ตัวรับแสงอาทิตย์นั้นจะเป็นแบบจานพาราโบลา ซึ่งจะทำให้การรวมแสงอาทิตย์ให้เป็นลำแสงเดียวกันและโฟกัสไปที่จุดเดียว และเป็นจุดที่ความร้อนจะถูกรวบรวมและนำไปใช้ ตัวจานรับแสงนั้นจะถูกปรับและควบคุมทั้งแกน โพลาร์และแกนเอียง กลไกควบคุมประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนจาน ตัวจานรับแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร และพื้นที่ฉาย 1.76 ตารางเมตร สามารถผลิตกำลังได้ 371 วัตต์ โดยประมาณ ระบบติดตามแสงอาทิตย์ถูกใช้ในการติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยการ ใช้ระบบบอกตำแหน่งแบบ GPS ซึ่งจะทำให้มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ ในการทดสอบอุปกรณ์นั้น อุปกรณ์ตัวต้นแบบจะถูกทำการทดลองเบื้องต้น โดยการทดลองนำวัสดุสะท้อนแบบต่างๆมาทดสอบ เช่น กระดาษ, แผ่นฟอยล์อลูมิเนียม และ เพลาสติกใส ผลการทดลองในเบื้องต้นปรากฏว่า ค่าอุณหภูมิสูงสุดที่จุดโฟกัสที่ทำได้คือ 385 องศาเซลเซียส ในสภาพอากาศที่เหมาะสม และจากการคิดวัสดุทำสะท้อนลงบนจานพาราโบลา ตำแหน่งของจุดโฟกัสได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากค่าทางทฤษฎี 1.7 เปอร์เซ็นต์ อุปกรณ์ต้นแบบได้ถูกทำการทดลองและพัฒนาต่อไป การพัฒนาต่อไปในอนาคตอาจรวมไปถึงทางด้านวัสดุและอุปกรณ์ควบคุม เพื่อให้เกิดความน่าเชื่อถือ ในการติดตามดวงอาทิตย์และให้เกิดประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

คำสำคัญ : พลังงานแสงอาทิตย์, อุปกรณ์รับพลังงานแสงอาทิตย์, จานพาราโบลา, การถ่ายเทความร้อน และการแผ่รังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Design of a Solar Dish Collector with the Tracking System

Petch Janbanjong 50011135

Rat Pinmas 50011293

Roongpansa Maneekhao 50011310

Wittaya Techacheewapong 50011459

### ABSTRACT

Thailand receives average solar radiation of  $722 \text{ W/m}^2$  a day. Solar energy, therefore, is very attractive to employ for many applications because it is free and clean energy. This project aims to design and fabricate a solar dish collector with the tracking system. The solar collector is a parabolic dish that concentrates the sunlight into a beam and focuses one hot spot which heat is gathered for utilizing. The dish is adjusted and controlled in both polar and inclination axis. The controller mechanism comprises the direct current motor to move the dish. The solar parabolic dish has diameter and projective area of 1.5 m and  $1.76 \text{ m}^2$ , respectively, providing approximate power of 371 W. The tracking system is used to track the location of the sun by using global positioning system (GPS) resulting in precision and reliability. In the proof of concept device, the prototype was preliminary tested. The experimental set up was conducted. The parabolic dish surface is covered with various reflective materials such as mirror, aluminum foil and plexiglass. The preliminary testing results show that plexiglass offered the highest temperature at the focal point of the dish of  $385^\circ\text{C}$  with suitable climate. According to the reflective material thickness which laminated on the surface of the dish, the focal point is changed by 1.7 % from the theoretical design dish. The prototype is being tested and developed. The future development including mechanical and controlling devices will be conducted to verify the reliability of tracking the sun and effectiveness of solar collector.

**Key words:** Solar Collector, Parabolic Dish, Tracking System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ACKNOWLEDGEMENT

We want to distribute our special thanks to Dr.Sutapat Kwaenkaomeng, the project advisor, who always contributes valuable time, suggestions and also guidance to fix every mistake occurred in this project.

Thanks Colonel Anusorn, for the invaluable helps of material and equipment findings and also for worthy suggestions and recommendations. Thanks Mr. Tisakorn, teachers and friends in KMITL mechanical engineering department, for every helps, advice, knowledge and also every support that help this project to succeed



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CONTENTS

CHAPTER	TITLE	PAGE
1	INTRODUCTION	1
	1.1 Motivation	1
	1.2 Literature Review	2
	1.3 Previous Works	6
	1.4 Project Goal	9
2	BACKGROUND	10
	2.1 Solar Spectrum and Principle of Solar Reflection	10
	2.2 Optics	19
	2.3 Collector Design	26
	2.4 Tracking System	32
3	EXPERIMENTAL SETUP	42
	3.1 Parabolic Dish	42
	3.2 Reflective Surface	43
	3.3 Frame	43
	3.4 Receiver	45
	3.5 Tracking System	46
	3.6 GPS Tracker	49
	3.7 Data acquisition and Instrumentation	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CONTENTS (Cont')

4	RESULTS AND DISCUSSION	53
	4.1 Reflective Material Experiments	53
	4.2 Collector Geometrical Test	55
	4.3 Focal Point Location Test	56
	4.4 Temperature Concentration Test	59
	4.5 Application Test	63
5	CONCLUSIONS	66
	5.1 Conclusions	66
	5.2 Problem Issues	67
	5.3 Recommendation	67
	REFERENCES	68
	APPENDIX	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LIST OF TABLES

TABLE	TITLE	PAGE
1	Concentrated Temperature at 11.00 AM.	53
2	Concentrated Temperature at 11.30AM.	54
3	Concentrated Temperature at 12.00 PM	54
4	Concentrated Temperature at 12.30 PM	54
5	Focal length experimental results on 15 December 2010	56
6	Focal length experimental results on 16 December 2010	56
7	Focal length experimental results on 17 December 2010	56
8	Focal Point Location Test Results	57
9	Temperature Concentration Results on 14 February 2011 – 17 February 2011	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LIST OF FIGURES

FIGURE	TITLE	PAGE
1.1	Pifre's 1878 Sun-Power Plant Driving a Printing Press	3
1.2	Process Flow and Thermodynamic State for Johnson and Johnson Solar Facility	4
1.3	Solar parabolic dish coupling with Stirling Engine	5
1.4	Solar Dish Stirling System	6
1.5	Schematic of Solar 1	7
1.6	Concentrator Assemble for Solar 1	7
1.7	Joshua Folaranmi's Representation of Solar Steam Generator	8
2.1	Three-dimensional view of the earth relative to the sun for a point P on the earth's surface	12
2.2	Cross sectional view of earth at solar noon for point P	12
2.3	Solar azimuth and zenith angles	13
2.4	Solar incidence angle for a tilted plane	13
2.5	Sun Path diagram (cylindrical) using solar time	14
2.6	Use of sun path diagrams for shading	15
2.7	Angle relationships for simple shading	15
2.8	Spectral distribution of solar radiation	16
2.9	Effect of air mass, or distance through the atmosphere	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LIST OF FIGURES (Cont')

2.10	Spectral distribution of direct and diffuse radiation	18
2.11	Defining wave fronts and rays	19
2.12	Sound Wave Emitting By a Pulsating Sphere	20
2.13	Laws of Light Reflection	20
2.14	Difference between Specular Reflection and Diffuse Reflection	21
2.15	The person's right hand becomes the image's left hand	22
2.16	The geometry used to show that the image distance $d_i$ is equal to the object distance $d_o$	22
2.17	Formation of Images by a Plane Mirror	23
2.18	Spherical Mirrors Formation of Images	23
2.19	Formation of Images of Spherical Mirrors from Faraway Objects	24
2.20	Formation of Images of Spherical Mirrors at Focal Point	24
2.21	Spherical Abberation Phenomena	25
2.22	Paraxial Rays Formation of Images	25
2.23	Parabola Reflection Characteristic	26
2.24	Parabola Definition	27
2.25	Parabola Composition and Representation	27
2.26	Focal Point of Parabola	28
2.27	Solar Reflection on Parabolic Dish	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LIST OF FIGURES (Cont')

2.28	Parabolic Surface	29
2.29	Heat Balance on Collector Plate	30
3.1	Solar Parabolic Dish Collector	42
3.2	Aluminum Anodized Surface	43
3.3	Upper Part Frame	44
3.4	Lower Part Frame	44
3.5	Black Carbon Steel Flat Plate as The Heat Receiver	45
3.6	Strling Engine as The Heat Receiver	46
3.7	The Tracking System Module	47
3.8	Direct Current Motor as a Driver of Collector	47
3.9	Worm Gear Set as a Movement Mechanism	48
3.10	Absolute Encoder as a Collector Position Indicator	48
3.11	GPS Tracker Module	49
3.12	Solar Parabolic Dish with The Tracking System	51
3.13	Device in experiments	52
4.1	Reflective Material Experimental Results	55
4.2	Focal Point Location Test Results	58
4.3	Focal Point Location Test: By Using Paper Rod	58
4.4	The Temperature Concentration Test	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## LIST OF FIGURES (Cont')

4.5	Temperature Concentration Results on 14 February 2011	60
4.6	Temperature Concentration Results on 16 February 2011	61
4.7	Temperature Concentration Results on 17 February 2011	62
4.8	The Application Test - Stirling Engine Test	63
4.9	The Application Test - Water Boiling Test	64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CHAPTER 1

## INTRODUCTION

### 1.1 Motivation

Nowadays, fuel and energy lacking problems become more and more severe. The solutions of renewable energy and alternative energy have been presented gradually. Along with the alternative energy technology, the new technology to support energy usage is growing widely. One among those is the solar energy support technology. The most famous one is solar cells technology, which converts sunlight to electricity. However, the most elementary energy used is in the heat form, so the technology of converting solar energy to heat energy draws more and more attention from the world.

The devices used to store solar energy in heat form called “Solar Collector” then, being studied worldwide. Solar Collector is the device that absorbs solar radiation from the sun and then converts to more usable and storable heat form. Solar collector has various different types such as parabolic dish, solar trough and solar towers. Solar parabolic dish is being claimed as the most effective type that concentrates sunlight at single focal point. Sunlight rays that comes to earth’s surface are almost parallel, so almost all incoming radiation will be reflected to the focal point and results in high temperature produce. Also, the application of parabolic dish is variety. One more advantage of parabolic dish is that the losses occur are kept to minimal compare to other designs. One main disadvantage of this type is the inability to convert diffused light; however, the tracking system can reduce severity of it.

In the past, development and invention of solar parabolic dish collector focused mainly on the size and shape of the reflector. To study the previous design can give us the rough image of parabolic dish function and optimum shape design of each size. However, with higher technology available, solar collector with tracking system was developed. The tracking system most used is tracking by sun path. The sun path will be input to the system, so by this method the collector will be available to restricted areas. For the area that has different time zone from the original location, the new function commands needed to be programmed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This project will come up with the solution to this problem, the different type of tracking system which tracks the sun by the light intensity or the trajectory of the sun. With this system the availability of the device will be expanded and the complication of command function will be minimized.

## 1.2 Literature Review

### 1.2.1 Brief History of Solar Collector Device

The device used to concentrate and focus the solar power density at a single point is called "Solar Collector". Based on the same principle of magnifying glass, the solar collector can condense the sunlight at single focal point by using reflector material. Sunlight shining through the magnifying glass concentrates at one small point, so does the sunlight incident hit the reflector surface reflects and concentrates at small single point. The result of this natural phenomenon is the dramatic temperature rise at the focus point. This method called "Concentrating Solar Power, CSP" has been utilized by inventors for thousand years ago.

The first documented use of concentrated power comes from the great Greek scientist Archimedes (287-212 B.C.). Stories of Archimedes repelling the invading Roman fleet of Marcellus in 212 B.C. by burning their ships with concentrated solar rays were told by Galen (A.D. 130-220). This is considered the beginning of modern solar concentration. Solar concentrators then began being used as furnaces in chemical and metallurgical experiments. They were preferred because of the high temperatures they could reach without the need for any fuel. Further applications opened for concentrated power when August Mouchot pioneered generating low-pressure steam to operate steam engines between 1864 and 1878. Abel Pifre made one of his solar engines operate a printing press in 1878 at the Paris Exhibition, but after extensive testing he declared the system too expensive to be feasible. His press is shown in Figure 1.1. Pifre's and Mouchot's research began a burst of growth for solar concentrators.



Figure 1.1: Pifre's 1878 Sun-Power Plant Driving a Printing Press

The early twentieth century brought many new concentrating projects varying from solar pumps to steam power generators to water distillation. A 50 kW solar pump made by Shuman and Boys in 1912 was used to pump irrigation water from the Nile. Mirrored troughs were used in a 1200 m<sup>2</sup> collector field to provide the needed steam. In 1920 J.A. Harrington used a solar-powered steam engine to pump water up 5 m into a raised tank. This was the first documented use of solar storage. The water was stored for continual use as power for a turbine inside a small mine. Concentrating technology had made a huge leap from the nineteenth century but was halted by World War II and the resulting explosion of cheap fossil fuels. The advantages of solar power lost their luster and the technology would merely inch forward for nearly five decades.

Starting in the late seventies and early eighties, solar power came back to the forefront of researchers' agendas with oil and gas shortages. In 1977 in Shenandoah, GA, 114 7-meter parabolic dishes were used to heat a silicon-based fluid for a steam Rankine cycle. The plant also supplied waste heat to a lithium bromide absorption chiller. The plants total thermal efficiency was 44%, making it one of the most efficient systems ever implemented. More modern systems like the Department of Energy's Dish Engine Critical Components (DECC) project, which was built at the National Solar Thermal Test Facility, consisted of a 89 m<sup>2</sup> dish with a peak system electrical efficiency of 29.4%. This system utilizes the high efficiency of the Stirling engine to convert the heat generated into electricity. This efficiency is unmatched by any concentrator that utilizes a steam cycle, with one or two working fluids.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.2.2 Solar Steam Turbine

The Rankine cycle can be utilized by the solar thermal system to produce electricity. Using solar energy, the steam is created and passed through the turbine. As the solar radiation emitted by the sun hit the reflector surface of the solar collector, the collector will reflect the sunlight to a single point. The heat generated will raise the temperature of the vicinity area. Generally, heat transfer fluid such as salts or oil will be pumped through the solar field to heat up the fluid. The hot fluid will then be directed through the heat exchanger and exchange heat energy with water to produce steam. The steam can then be directed to the turbine to produce electricity onwards. The advantage of using heat transfer fluid is that it has high boiling temperature. It remains fluid at high temperature, contains high heat energy capacity and then increases heat transfer rate.

Even though using an oil or salt as a heat transfer fluid is the most popular choice, water is still used in some cases. The Johnson and Johnson Solar Process Heat System used pressurized water as the heat transfer fluid in a parabolic trough plant. The facility had 1070 m<sup>2</sup> of parabolic troughs which heated water pressurized at 310 psi to 200 C. The water was stored in a tank where steam was created 4 times a day for industrial processes. To create steam, the pressurized water was throttled down to 125 psi where it vaporized additional feed water. The saturated steam that was produced was sent to do work. Thermal collection efficiency for the system was 30%. Figure 1.2 shows the process flow and corresponding thermodynamic state for this facility.

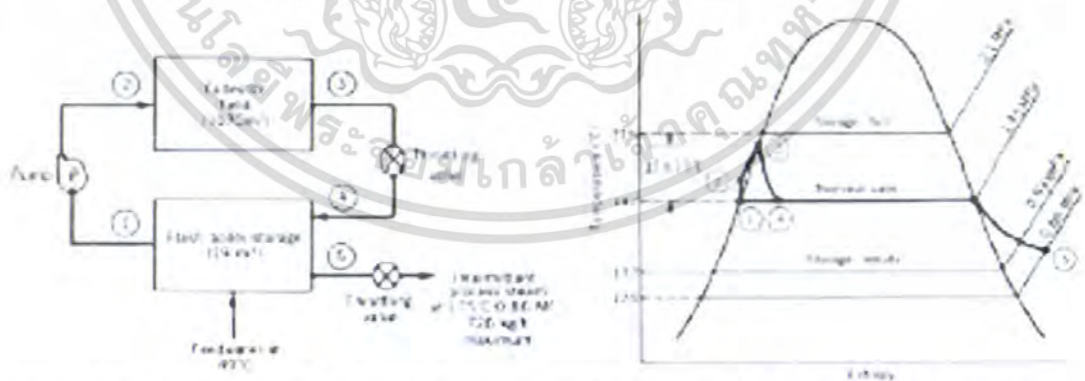


Figure 1.2: Process Flow and Thermodynamic State for Johnson and Johnson Solar Facility

### 1.2.3 Solar Collector with Stirling Engine

When the parallel light rays from the sun hit the collector surface, they will reflect to one

single point. If we attach the engine driver source to this point, then we can use the heat generated at  
 เอกสารฉบับนี้สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาและวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

that point as the driving energy. The functional characteristics of Stirling engine seem to match with this principle perfectly. Because Stirling engine exchanges heat with external heat source at its transfer area, so we can utilize the collector as a heat source for the engine. By mounting the engine with the collector and focusing solar heat energy to the transfer area of the engine, we can use the engine as an electric generator.

To use the Stirling engine as an electric generator, we consider it as a dynamo. When the engine is driven by the heat energy from external source, the piston will operate and give out mechanical output power. If we use this power to spin the dynamo across the magnetic field, the induction electric current will be generated.



Figure 1.3: Solar parabolic dish coupling with Stirling Engine

In the 1980's McDonnell Douglas built a solar concentrator and Stirling engine combination to generate electricity from the sun. In 1996, SES acquired the patent, tooling, and equipment rights to the world's most efficient solar dish concentrator system: the Dish Stirling. Initially developed in the 1980s by McDonnell Douglas (now The Boeing Co.) the Dish Stirling system was field-tested by Southern California Edison and Georgia Power for over 175,000 hours between 1982 and 1988. Edison's test data indicated the Dish Stirling out-performed all other solar-to-electric generating systems by a factor of two, yet had comparable start-up costs. SES optimized the McDonnell Douglas dish to operate with a 25kW Stirling power conversion unit (PCU) developed in Sweden by United Stirling, Kockums and Volvo. The resulting system, the "Dish Stirling", has fewer moving parts than comparable diesel engines and operates relatively quietly. The SES Solar Test Site and เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

related tooling and equipment facilities are located at the Boeing facility in Huntington Beach, California. The 25kW SES Dish Stirling system has an operating track record of more than 17 years. Since 1984, it has held the world record for efficiency in converting solar energy into grid-quality electricity.



Figure 1.4: Solar Dish Stirling System

### 1.3 Previous Works

An economic solar dish system was built in 2006 by graduate student C. Christopher Newton. This first dish system built at SESEC, nicknamed Solar I, attempted to complete the same goal as the one addressed in this paper, which is to provide 1 kW of electrical energy for an installation cost of only \$1000 dollars. Figure 1.5 shows a schematic of the system. A parabolic concentrator reflected solar radiation to a central receiver. The receiver produced intermittent steam that was injected into a steam turbine. The turbine was connected to an electric generator that produced electricity. The concentrator used was a fiberglass Channel

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

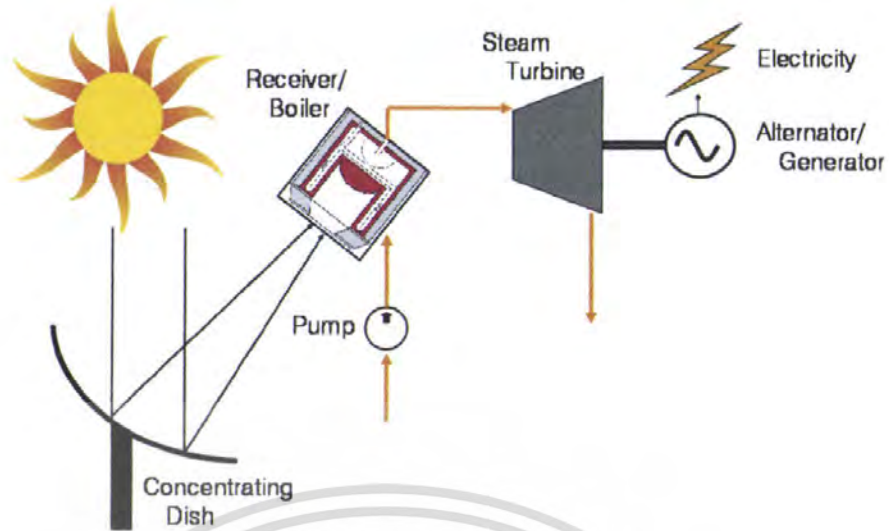


Figure 1.5: Schematic of Solar 1

Master Satellite dish with an aperture diameter of 3.66 m. Figure 1.6 shows the operational concentrator. Solar 1 pivoted on a steel alt-azimuth type frame. Two independent linear actuators move the dish throughout the day. The actuators were controlled automatically by a set of photo-sensing modules.



Figure 1.6: Concentrator Assemble for Solar 1

The modules consisted of light sensing LEDs that sent signals to the actuators when the module was not oriented normal to incoming solar radiation. The power for the sensors and actuators was provided by 2 small thin film photovoltaic panels, which charged two 24 V deep cell batteries. The reflective material used to coat the fiberglass surface was aluminized mylar, which has an optical reflectivity of 76%.

In 2009, Joshua Folaranmi, mechanical engineering student of Federal University of Technology Minna, Nigeria, designed the methodology of constructing and testing parabolic solar steam generator. The device was constructed to concentrate the heat energy from the sun in the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

black absorber located at the focus point of the reflector. On the absorber, the boiler is mounted to produce steam from absorbed heat. The tracking system is also developed which operate manually. Using the lever at the base of the parabolic dish, the reflector can be directed at the desire orientation. The testing procedures are to conduct experiments for 3 entire days, collect the data about ambient temperature and focus point temperature at each time of the day to find the maximum temperature of the device.

One obvious drawback of this device is the lacking of accuracy of the system. The manually operated tracking system seems to not accurate enough, since the magnitude of movement has to be controlled by human force and also the interval of data collecting time is too rough. For more accuracy of the device, the automatically operated tracking system is needed and also the data collecting time interval should be shorten. Apart from one main disadvantage, this system has an advantage of heat loss minimizing. By mounting the absorber with boiler at the focus point can reduce the heat loss to an atmosphere.

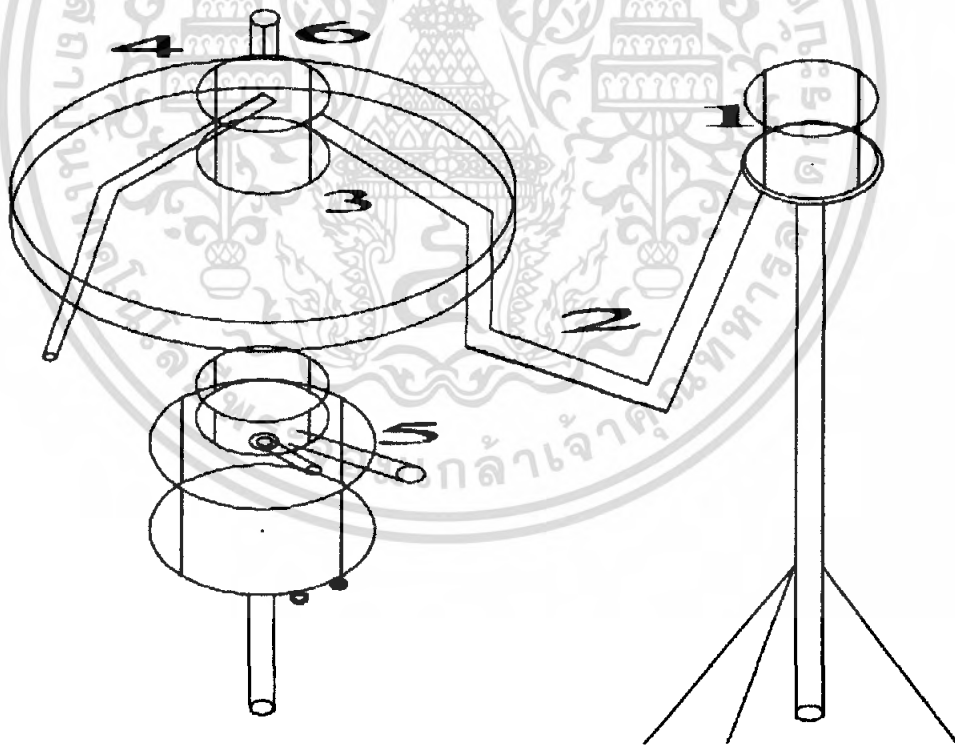


Figure 1.7: Joshua Folaranmi's Representation of Solar Steam Generator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.4 Project Goal

The generator set designed by Joshua Folanrami seems to be a reasonably good prototype for the solar tracking system. In this project, however, the applications of the device are not the focus point. In the project discussed here, it was decided to focus on power produced by solar heat energy and solar tracking system and put aside the application purposes. Two different tracking systems were presented here to compare and find the most efficient system. A goal of this project is to produce the solar collector that can produce heat energy power up to 350 w and up to 200 °C concentrated temperature with enhanced efficient tracking system.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CHAPTER 2

### BACKGROUND

#### 2.1 Solar Spectrum and Principle of Solar Reflection

##### Solar Angles

Equation of Time: Difference between clock time and solar time due to the earth tilt angle and the elliptical orbit of the earth around the sun. This is a curve fit and several other curve fits are available

$$E_t = 9.87 \sin 2B - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B$$

$$B = 360^\circ \left( \frac{n-38}{364} \right) \quad (1)$$

Solar time from local time: Solar time is defined such that solar noon occurs when the sun is highest overhead. Using solar time, each day is symmetrical about solar noon. The difference between solar time and clock time are due to the local longitude relative to the standard longitude for the time zone and the equation of time. Note that clock time is expressed as standard time, not including daylight saving time.

$$t_{sol} = t_{std} + \frac{(L_{std} - L_{loc})}{15} + \frac{E_t}{60} \quad (2)$$

Solar hour angle : The sun travels  $360^\circ$  in 24 hours, or  $15^\circ$  per hour. The hour angle translates solar time to the angle in the period of rotation.

$$\omega = 360 \left( \frac{t_{sol} - 12}{24} \right) \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Declination: The earth's axis is tilted at  $23.45^\circ$  relative to the plane of orbit around the sun. The tilt causes the sun to be high in the sky in the summer in the northern hemisphere and lower in the sky in the winter. The total angle between the lowest point and the highest point is twice this angle, or  $46.9^\circ$ . The declination is defined to account for the variation in this solar plane over the course of the year.

$$\sin \delta = -\sin 23.45^\circ - \frac{360(n+10)}{365.25} \quad (4)$$

Zenith angle and altitude angle: The zenith angle is the angle from a vertical line to the position of the sun. The altitude angle is the angle from the horizontal to the position of the sun.

$$\begin{aligned} \cos \Theta_s &= \sin \beta_s = \cos \lambda \cos \delta \cos \omega + \sin \lambda \sin \delta \\ \beta_s &= 90^\circ - \Theta_s \end{aligned} \quad (5)$$

Solar azimuth angle: Imagine placing a compass on the ground and facing the sun. The azimuth angle is the angle between due south and the direction you are facing. It is negative when the sun is east of south (morning) and positive when the sun is west of south (afternoon). Be careful of the sign when using trigonometric functions. Notice that the first equation below can not differentiate between azimuth angles of  $-10^\circ$  and  $+10^\circ$ , while the second equation can not differentiate between  $80^\circ$  and  $100^\circ$ .

$$\begin{aligned} \sin \phi_s &= \frac{\cos \delta \sin \omega}{\sin \Theta_s} \\ \cos \phi_s &= \frac{\cos \delta \sin \lambda \cos \omega - \sin \delta \cos \lambda}{\sin \Theta_s} \end{aligned} \quad (6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solar incidence angle: The solar incidence angle on any point on a surface is the angle between the direction of the sun and the direction of the surface normal.

$$\cos \theta_i = \sin \Theta_s \sin \Theta_p \cos (\phi_s - \phi_p) + \cos \Theta_s \cos \Theta_p \quad (7)$$

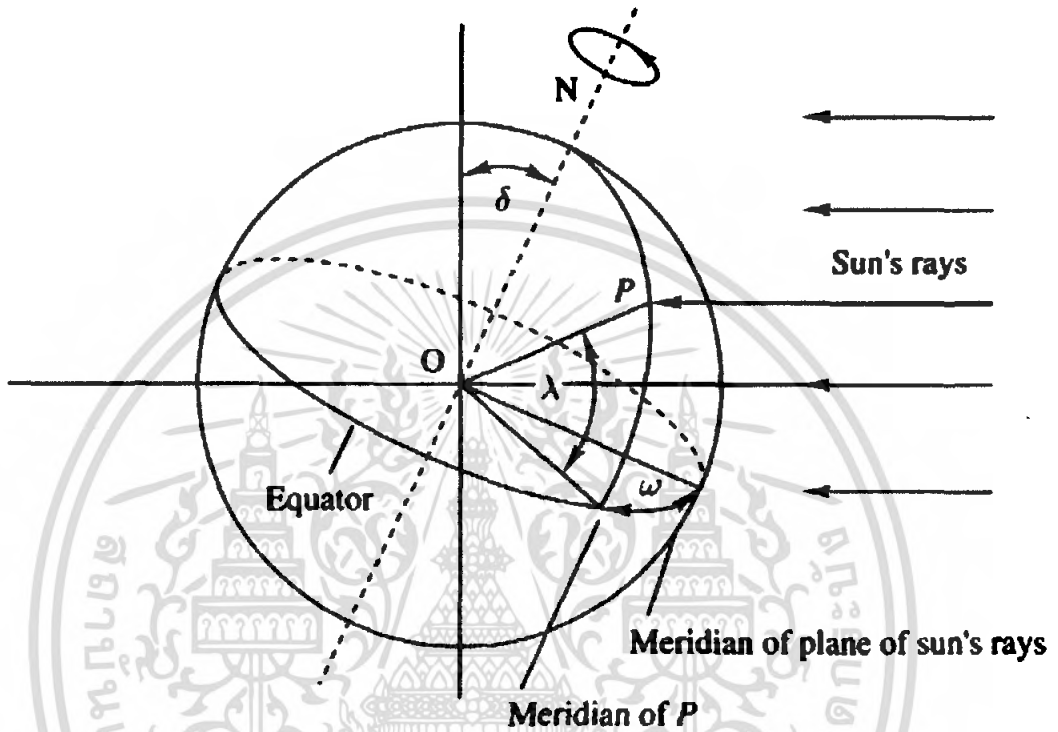


Figure 2.1: Three-dimensional view of the earth relative to the sun for a point P on the earth's surface

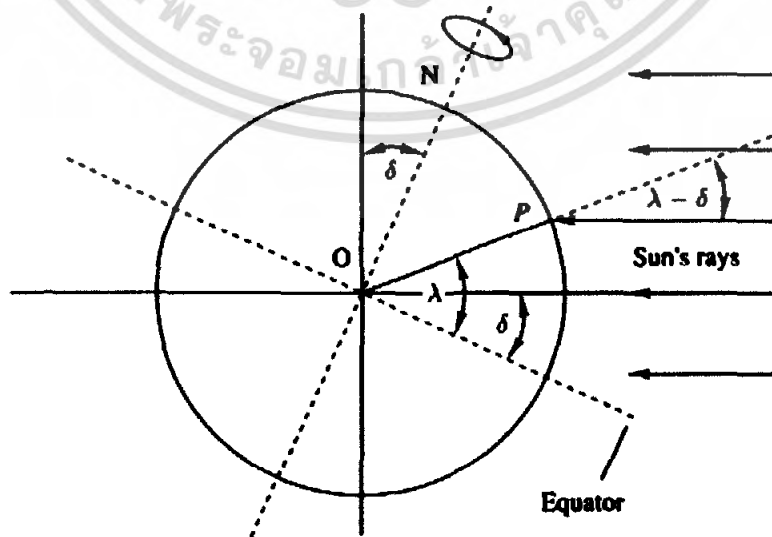


Figure 2.2: Cross sectional view of earth at solar noon for point P

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

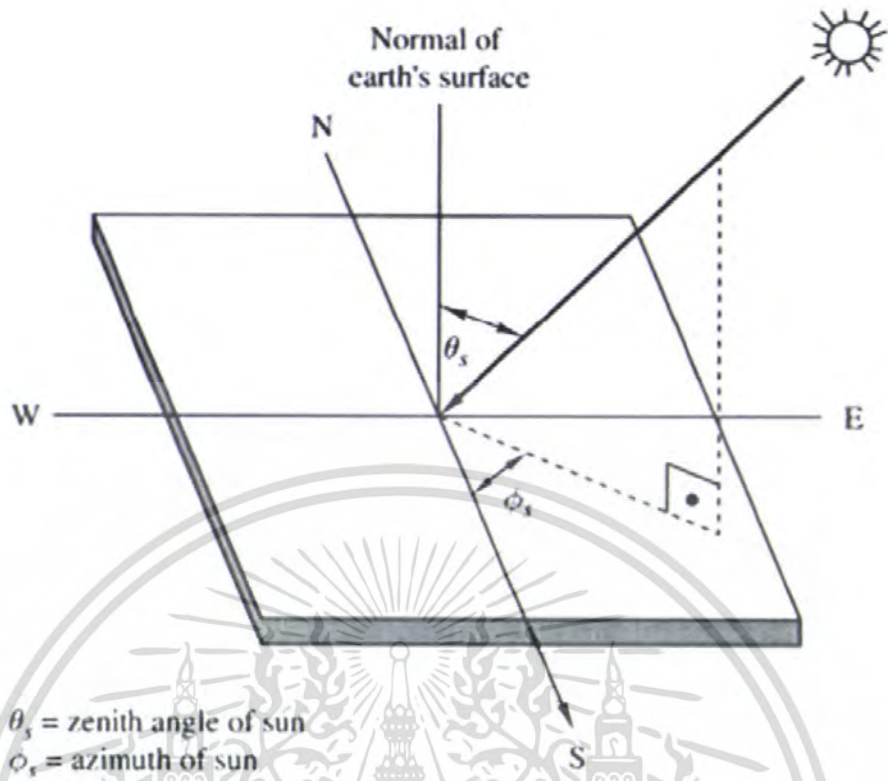


Figure 2.3: Solar azimuth and zenith angles

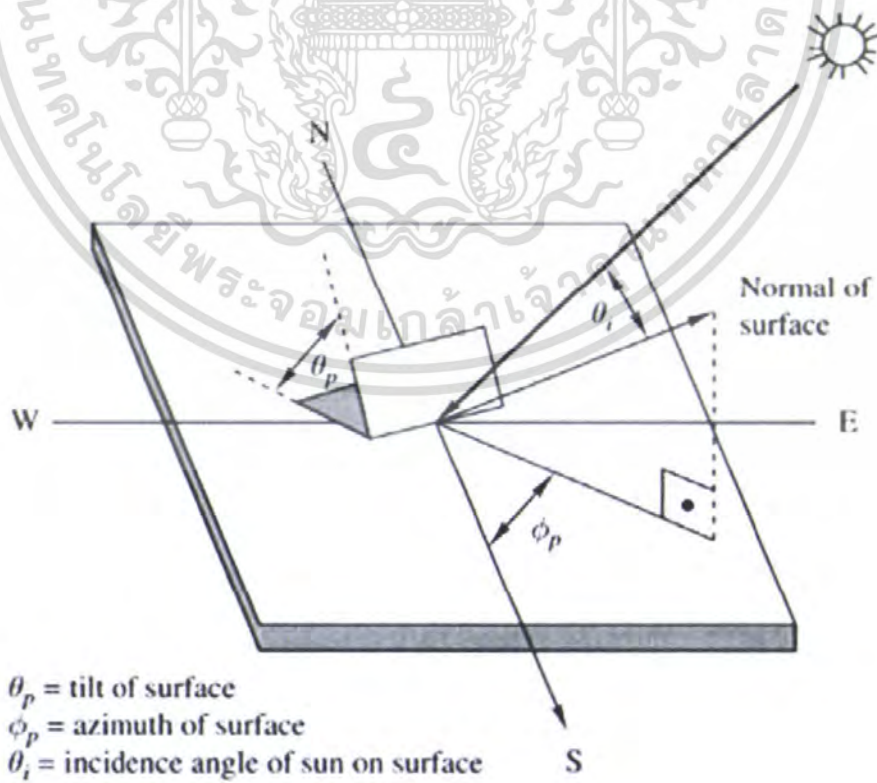


Figure 2.4: Solar incidence angle for a tilted plane

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

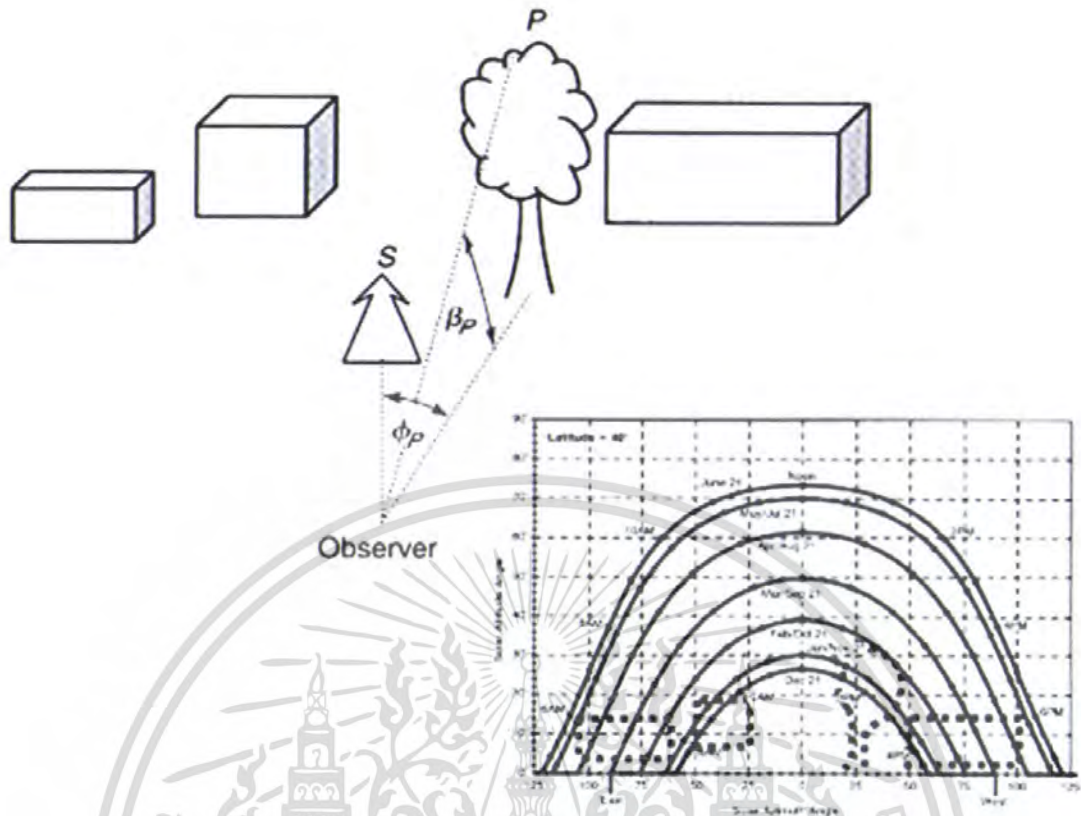


Figure 2.5: Sun Path diagram (cylindrical) using solar time

**Shading**

Sun path diagrams can be used to evaluate shading due to other buildings, trees, or mountains. By noting the azimuth and altitude angles of such external objects, the objects can be overlaid on the sun path diagram to identify the times of the year that a point will be shaded.

Shading calculations for overhangs and other shading devices can be performed with simple trigonometric relationships. Using the notation of Figure 7, the shadow location of any point P can be easily calculated knowing the solar altitude angle and azimuth angle.

$$\begin{aligned}
 x &= z \tan (\Delta \phi) \\
 y &= \frac{z \cot (\theta_s)}{\cos (\Delta \phi)}
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

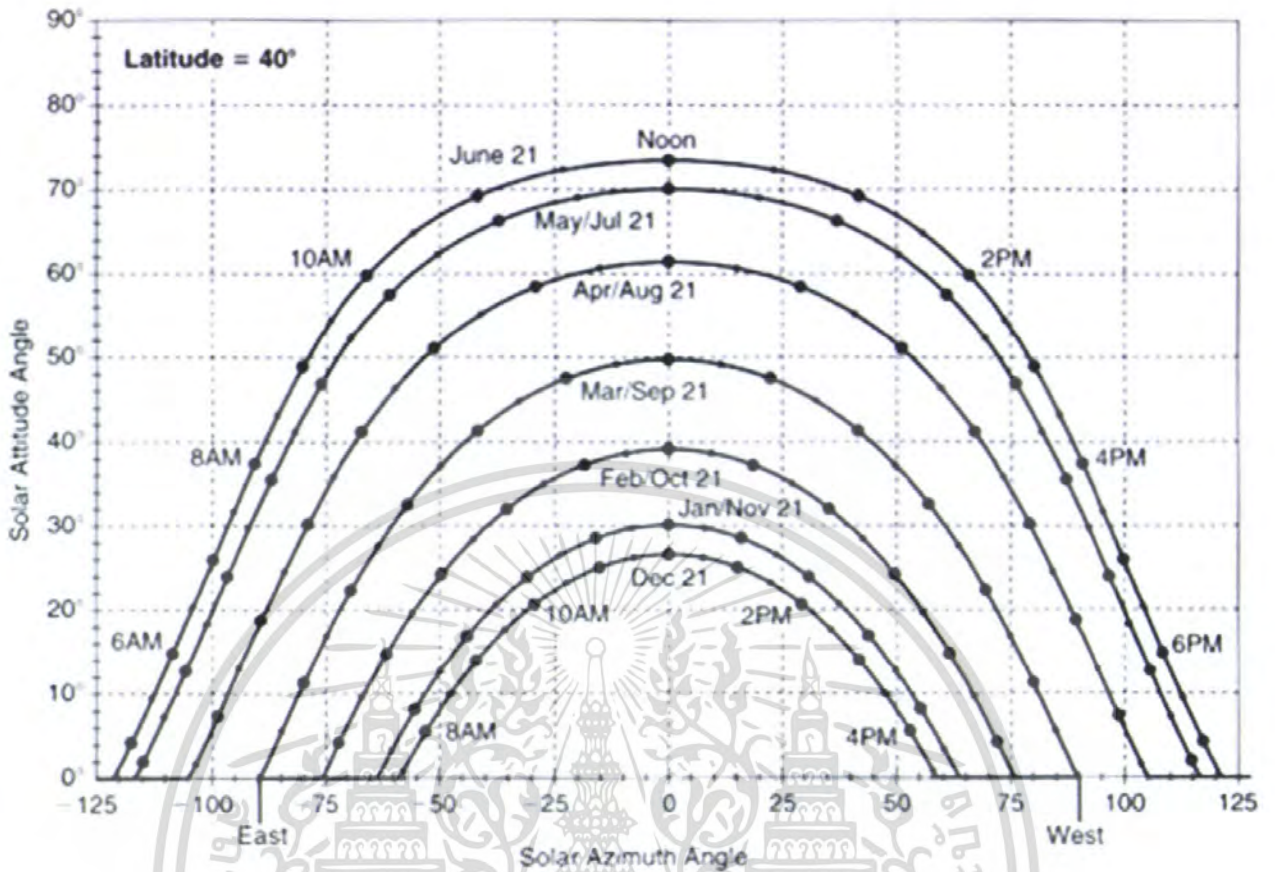


Figure 2.6: Use of sun path diagrams for shading

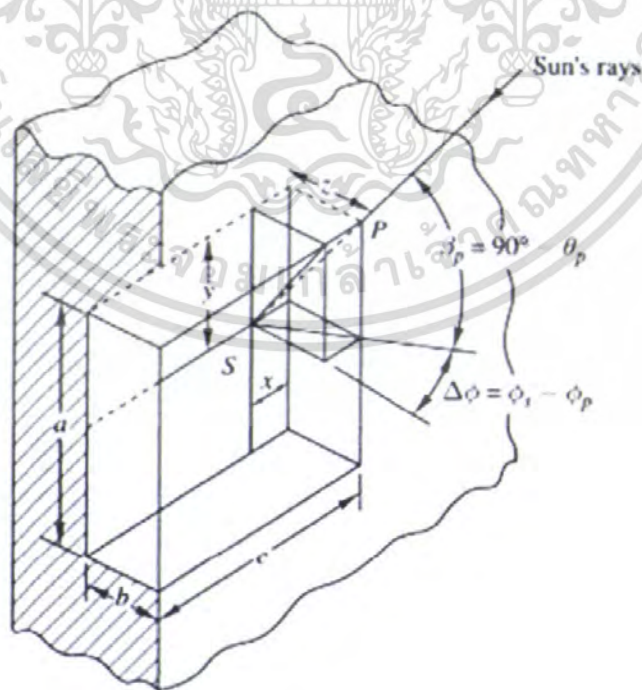


Figure 2.7: Angle relationships for simple shading

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Solar Radiation Spectral Characteristics

Solar radiation is the source of energy for life on earth. Outside the earth's atmosphere, the energy flux is approximately  $1373 \text{ W/m}^2$ , also known as the solar constant, distributed over a range of electromagnetic wavelengths. Outside the atmosphere, this spectral distribution is approximately that of a blackbody at a temperature of  $5777 \text{ K}$ . The spectral distribution and the effect of atmospheric absorption are given in Figure 8. An air mass of unity represents the nominal thickness of the atmosphere and implies that the radiation is normal to the earth surface ( $\beta_s = 90^\circ$  or  $\theta_s = 0^\circ$ ). When the radiation enters the atmosphere at an angle, it travels a longer path through the atmosphere and experiences greater absorption and scattering. Figure 9 shows the effect of the air mass, or path length, on the spectral distribution. Notice that shorter wavelengths are absorbed or scattered much more than longer wavelengths.

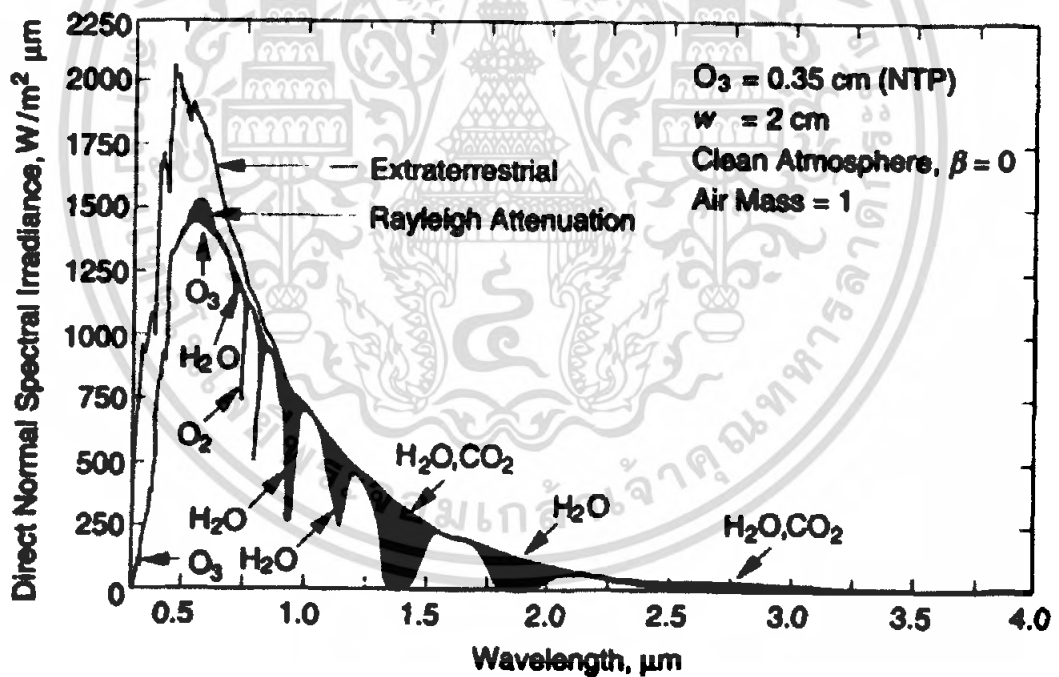


Figure 2.8: Spectral distribution of solar radiation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

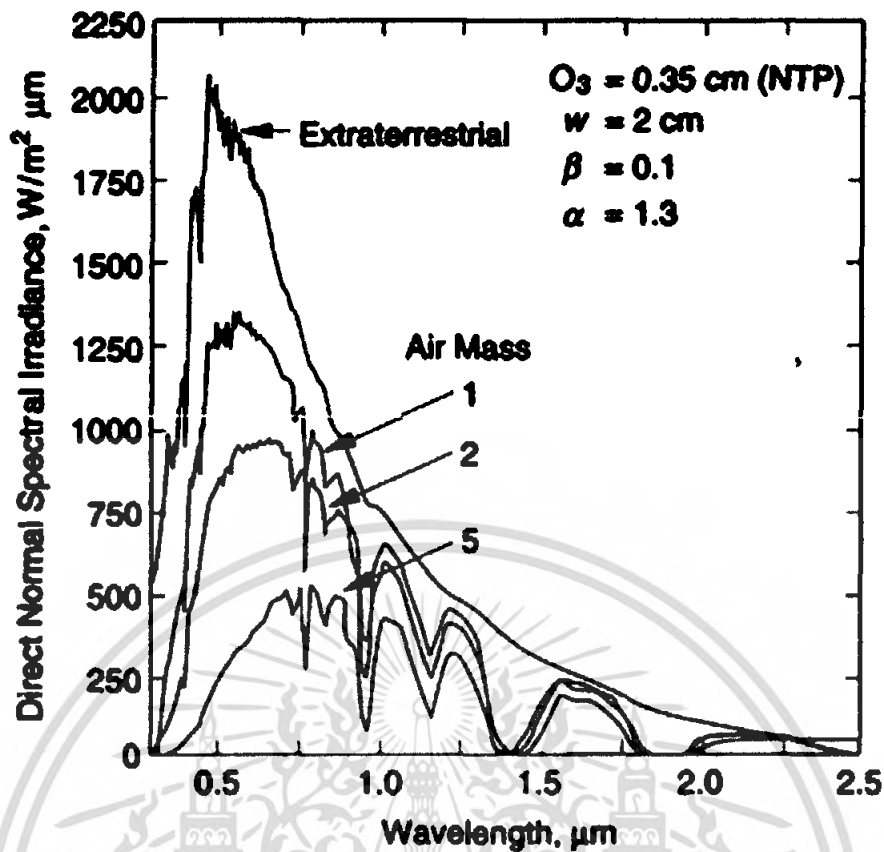


Figure 2.9: Effect of air mass, or distance through the atmosphere

We will generally refer to three sources of solar radiation: direct or beam radiation is the radiation directly from the solar disk, diffuse radiation comes from the rest of the sky dome, and reflected radiation comes from reflection off the ground or other buildings. The spectral characteristics also depend on the source of the radiation and are shown in Figure 10.

It is often convenient to divide the spectrum into three principal wavelength bands: ultraviolet (UV), visible, and infrared (IR). Approximate wavelength ranges:

- UV:  $\lambda < 0.38 \mu\text{m}$
- Visible:  $0.38 \mu\text{m} < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$
- IR:  $\lambda > 0.78 \mu\text{m}$

#### Solar Energy Quantities

While the spectral characteristics of solar radiation have a significant impact on the performance of windows, we will generally perform energy and comfort calculations based on irradiance integrated across over all wavelengths. That is, we will seek to calculate the solar radiation through the window without regard for the particular wavelengths. The following equations are useful for such calculations.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาใดๆ อย่างยิ่งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Extraterrestrial Irradiance, solar radiation flux outside the earth's atmosphere.

$$I_0 = \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365.25} \right) \times 435.2 \text{ Btu/(h ft}^2\text{)}$$

$$I_0 = \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365.25} \right) \times 1373 \text{ W/m}^2 \quad (9)$$

- Irradiance on horizontal surface, also known as the global horizontal irradiance that accounts for direct irradiance, modified by the cosine of the zenith angle, and the diffuse radiation from the sky.

$$I_{glo} = I_{dir} \cos \theta_s + I_{dif} \quad (10)$$

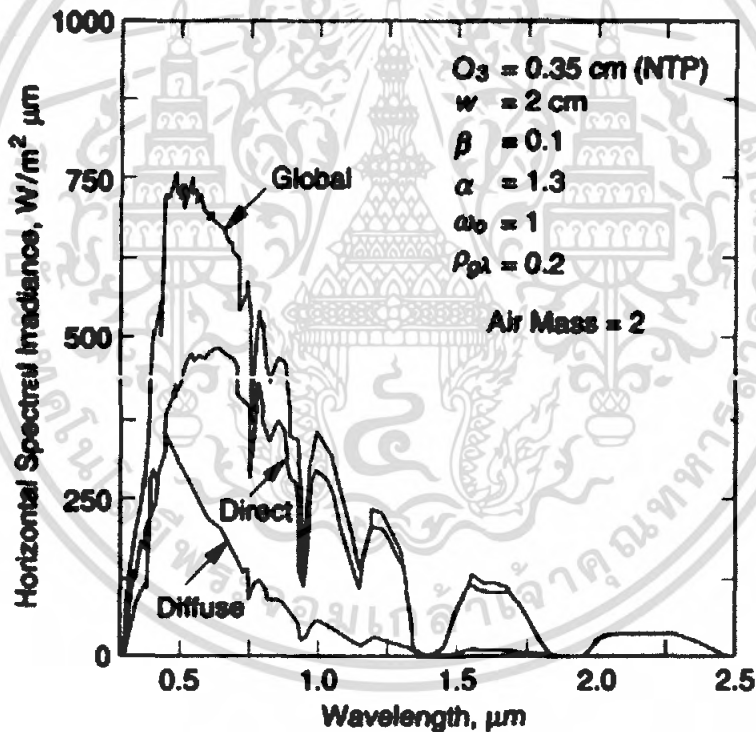


Figure 2.10: Spectral distribution of direct and diffuse radiation

Diffuse irradiance on horizontal surface. It is common to measure only the global horizontal irradiance (e.g., at airports). The diffuse fraction has been correlated to the *clearness index*, *kt*.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{I_{dir}}{I_{glo}} = \begin{cases} 1.0 - 0.09 k_1 & \\ 0.9511 - 0.1604k_1 + 4.388 k_1^2 - 16.638 k_1^3 + 12.336 k_1^4 & 0.22 \leq k_1 \leq 0.80 \\ 0.165 & \end{cases} \tag{11}$$

$$k_1 = \frac{I_{glo}}{I_o \cos \theta_s} \tag{12}$$

• Irradiance on surface of tilted plane. The global irradiance on a tilted plane is the sum of the direct irradiance, the diffuse irradiance from the sky, and the reflected irradiance from the ground. This equation assumes that the diffuse and reflected irradiance are isotropic, i.e., uniform in all directions. The cosine correction factors account for the view factors to the sky and ground.

$$I_{glo,p} = I_{dir} \cos \theta_p + I_{dir} \frac{(1 + \cos \theta_p)}{2} + I_{glo} \rho_g \frac{(1 - \cos \theta_p)}{2} \tag{13}$$

## 2.2 Optics

### 1. Wave Fronts and Rays

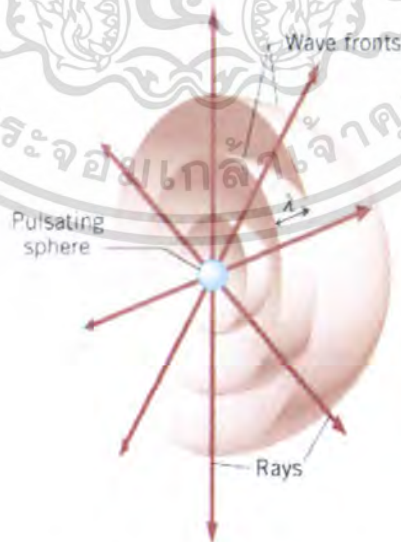


Figure 2.11: Defining wave fronts and rays.

Consider a sound wave since it is easier to visualize.

Shown is a hemispherical view of a sound wave emitted by a pulsating sphere.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The rays are perpendicular to the wave fronts (e.g. crests) which are separated from each other by the wavelength of the wave,  $\lambda$ .

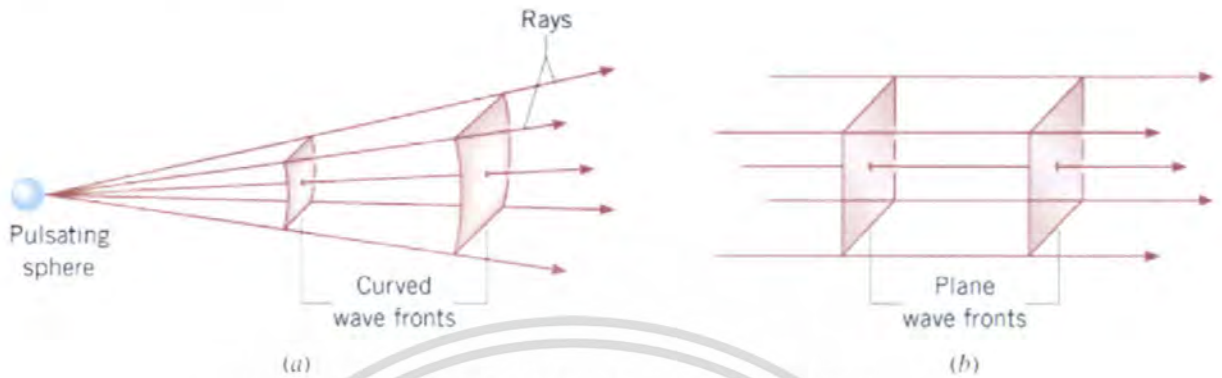


Figure 2.12: Sound Wave Emitting By a Pulsating Sphere

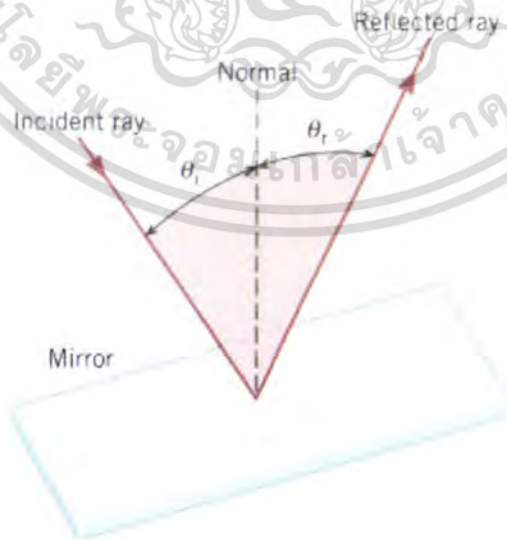
The positions of two spherical wave fronts are shown in (a) with their diverging rays.

At large distances from the source, the wave fronts become less and less curved and approach the limiting case of a plane wave shown in (b). A plane wave has flat wave fronts and rays parallel to each other. We will consider light waves as plane waves and will represent them by their rays.

## 2. The Reflection of Light

### Law of Reflection from Flat Mirrors

The incident ray, the reflected ray, and the normal to the surface all lie in the same plane, and the angle of incidence,  $\theta_i$ , equals the angle of reflection,  $\theta_r$ .



$$\theta_i = \theta_r$$

Figure 2.13: Laws of Light Reflection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

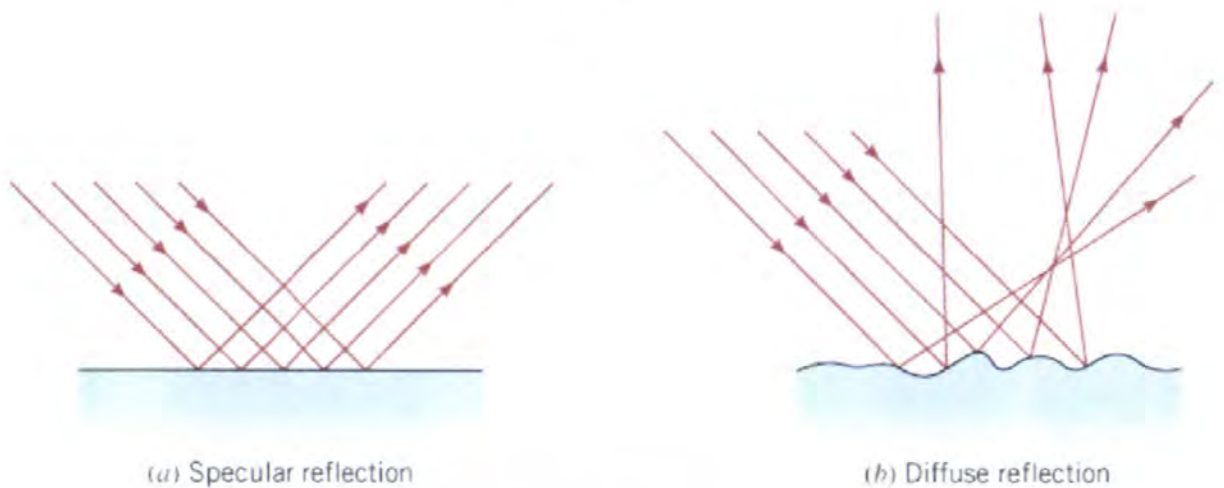


Figure 2.14: Difference between Specular Reflection and Diffuse Reflection

In specular reflection, the reflected rays are parallel to each other. In diffuse reflection, light is reflected in random directions.

Flat, reflective surfaces, e.g. mirrors, polished metal, surface of a calm pond of water  
 Rough surfaces, e.g. paper, wood, unpolished metal, surface of a pond on a windy day

### 3. The Formation of Images by a Plane Mirror

Your image in a flat mirror has four properties:

1. It is upright.
2. It is the same size as you are.
3. The image is as far behind the mirror as you are in front of it.
4. It is reversed, left  $\leftrightarrow$  right

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

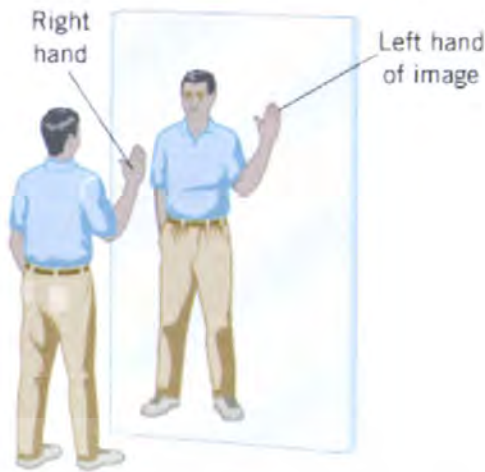


Figure 2.15: The person's right hand becomes the image's left hand.

A ray of light from the top of the chess piece reflects from the mirror.

To the eye, the ray seems to come from behind the mirror. Because none of the rays actually emanate from the image, it is called a *virtual image*.

Each point of an illuminated object emits a continuum of light rays in a range of directions.

Two of these rays are shown here.

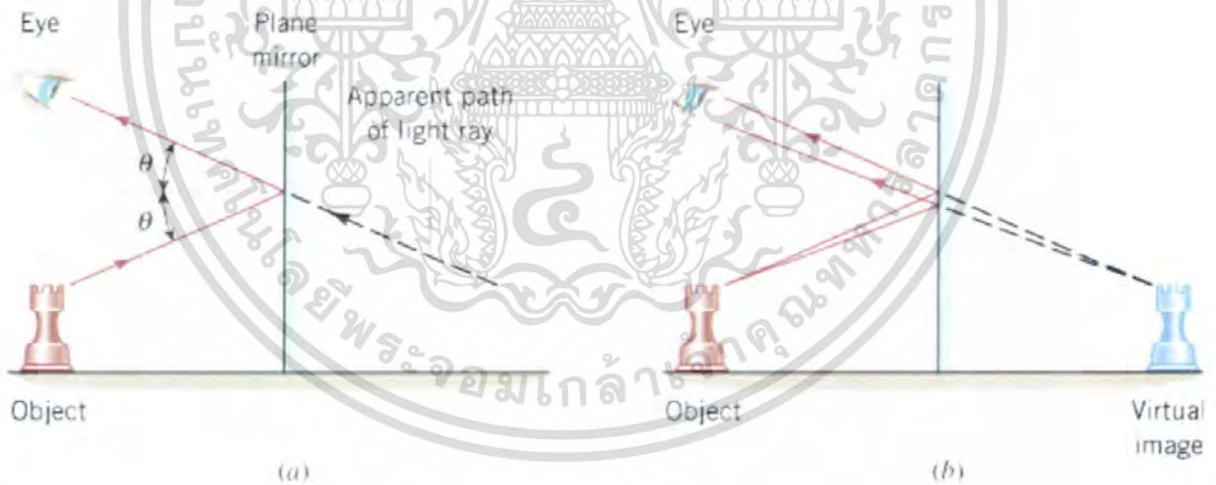


Figure 2.16: The geometry used to show that the image distance  $d_i$  is equal to the object distance  $d_o$ .

Since  $\theta = \alpha$  by intersecting lines,  $\beta_1 = \beta_2$ .

Thus  $ABC$  and  $BCD$  are similar triangles.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Since the triangles share the common side  $BC$ , they are also identical triangles, so

$$d_o = d_i$$

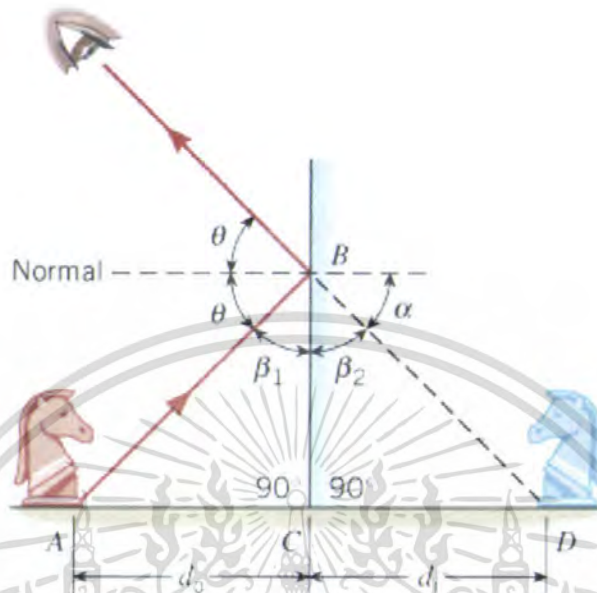


Figure 2.17: Formation of Images by a Plane Mirror

#### 4. Spherical Mirrors



Figure 2.18: Spherical Mirrors Formation of Images

If the inside surface of the spherical mirror is polished, it is a concave mirror. If the outside surface is polished, it is a convex mirror.  $R$  is the radius of curvature of the mirror.

The law of reflection applies, just as it does for a plane mirror, i.e. the angles of incidence and reflections are measured from the normal to the surface of the mirror at the reflection point.

The principal axis of the mirror is a straight line drawn through the center of curvature  $C$  and the midpoint of the mirror.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

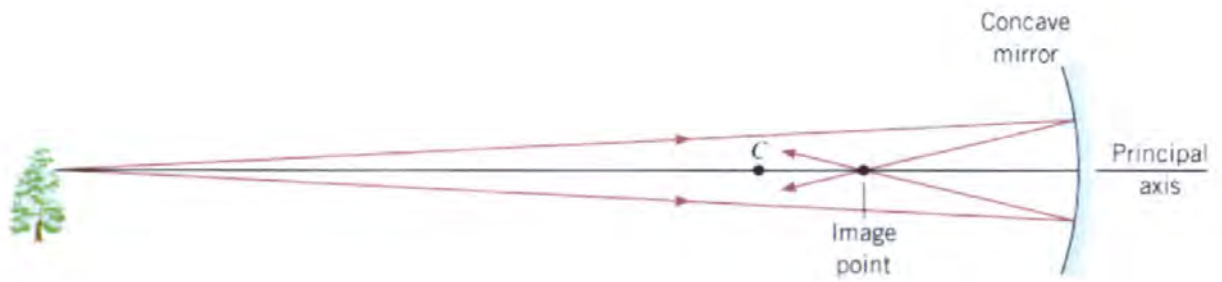


Figure 2.19: Formation of Images of Spherical Mirrors from Faraway Objects

Consider a point on a tree which lies on the principal axis of the concave mirror as shown above. Rays from that point that are near the principal axis cross the axis at the image point. Since the tree is far away, the rays from it are almost parallel to each other and to the principal axis.

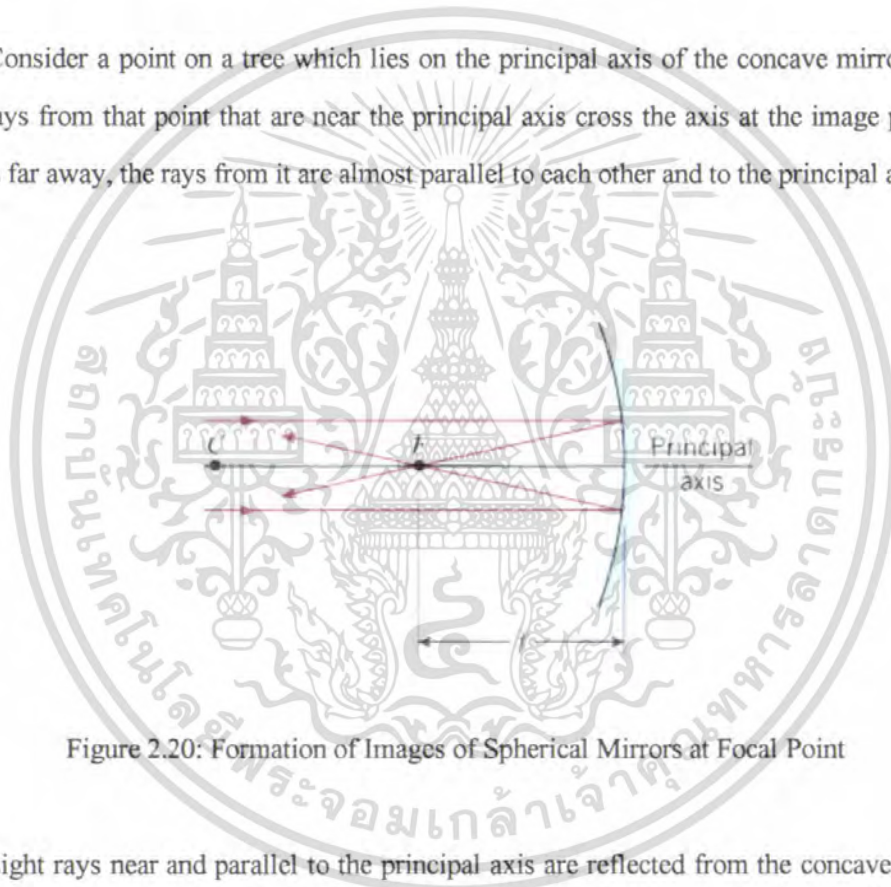


Figure 2.20: Formation of Images of Spherical Mirrors at Focal Point

Light rays near and parallel to the principal axis are reflected from the concave mirror and converge at the focal point  $F$ . The focal length  $f$  is the distance between the focal point and the mirror.

The focal point  $F$  of a concave mirror is halfway between the center of curvature of the mirror  $C$  and the mirror at  $B$ .

$$f = 1/2 R$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

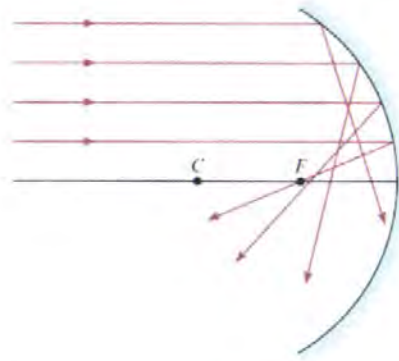


Figure 2.21: Spherical Abberation Phenomena

Rays that lie close to the principal axis are called paraxial rays. Rays that are far from the principal axis do not converge to a single point. The fact that a spherical mirror does not bring all parallel rays to a single point is known as *spherical abberation*.

Spherical abberation can be minimized by using a mirror whose height is small compared with the radius of curvature.

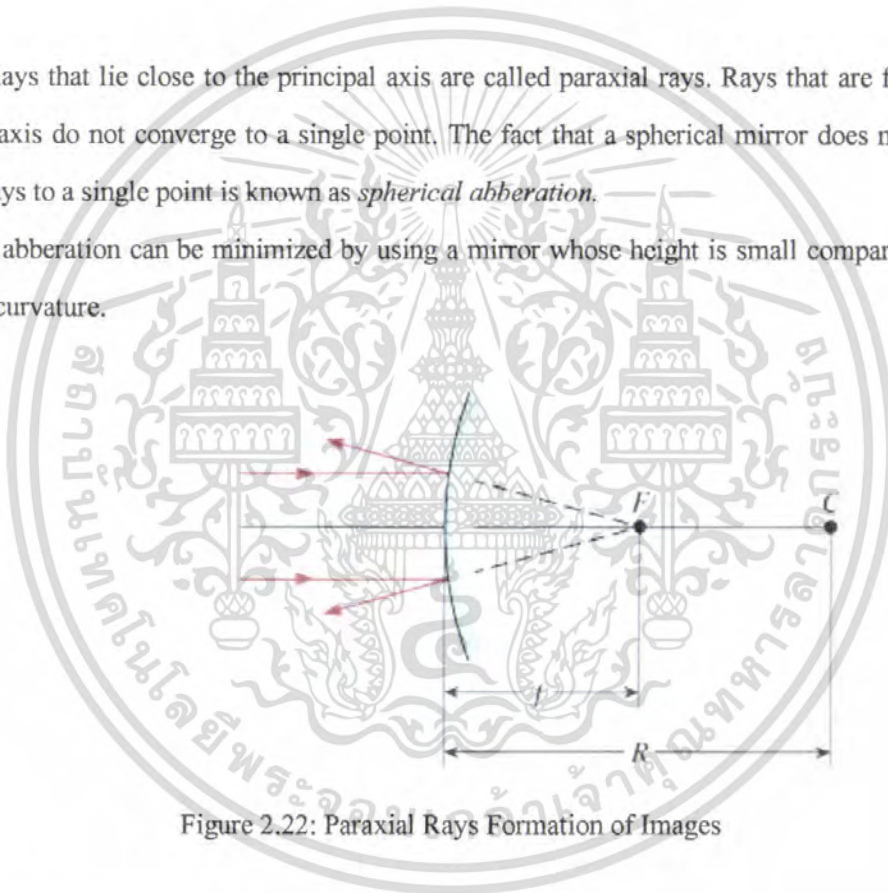


Figure 2.22: Paraxial Rays Formation of Images

When paraxial light rays that are parallel to the principal axis strike a convex mirror, the rays appear to originate from a focal point behind the mirror.

$$f = -(1/2) R$$

The negative sign indicates that it is a convex mirror.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 Collector Design

### Find the Focus of Parabolic Dish

An electromagnetic ray parallel to the axis of the parabola (in this case the y axis) is incident on the inner surface of the parabola; see figure below.

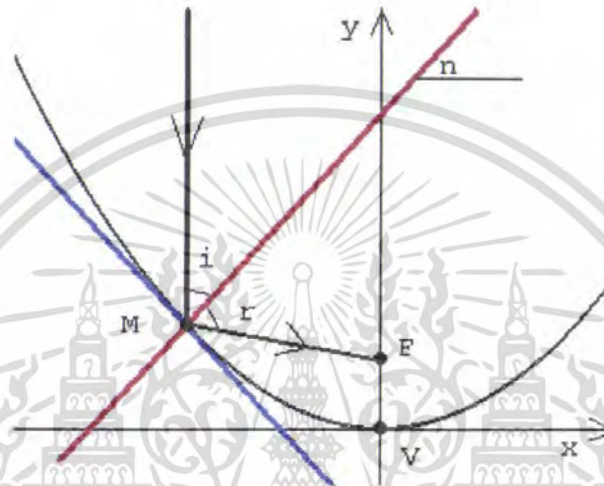


Figure 2.23 Parabola Reflection Characteristic

Point M is the point at which the ray hits the parabolic dish.  $i$  is the angle made by the incident ray and the normal (in red) which is perpendicular to the tangent (in blue) to the parabola at point  $M(a,b)$ .  $r$  is the angle made by the reflected ray and the normal. According to the laws of reflection, angles  $i$  and  $r$  are equal.

The position of the focus of a parabolic dish antenna or parabolic reflector) is found in term of the diameter of the dish and its depth. We first write the equation of the parabola so that the focal distance (distance from vertex to focus) appears in the equation. The figure below shows a parabola, its focus F at  $(0, f)$  and its direct at  $y = -f$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

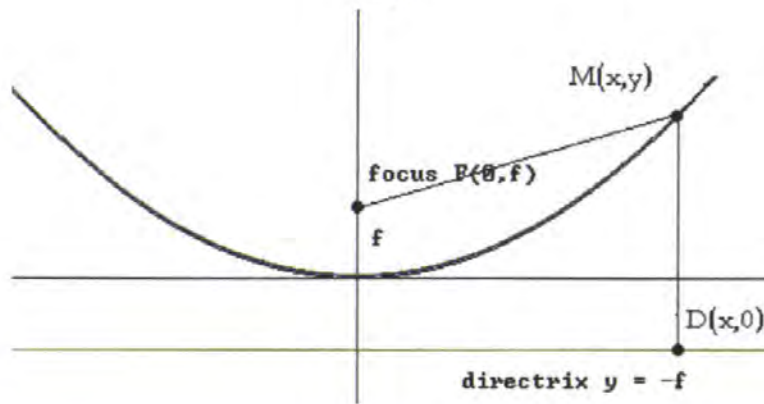


Figure 2.24: Parabola Definition

We now use the definition of the parabola. Any point  $M(x,y)$  on the parabola is equidistant from the focus and the directrix. Hence the equation:

$$\sqrt{[(x-0)^2 + (y-f)^2]} = \sqrt{[(x-x)^2 + (y-(-f))^2]}$$

We now square both sides and expand the squares.

$$x^2 + y^2 + f^2 - 2y*f = y^2 + f^2 + 2y*f$$

Simplify to obtain the equation of the parabola involving the focal distance  $f$ .

$$y = x^2 / 4f$$

We now look at a more practical situation where we know the dimensions of the dish and we want to find the focal distance which gives the position of the focus relative to the position of the dish as shown in the figure below.

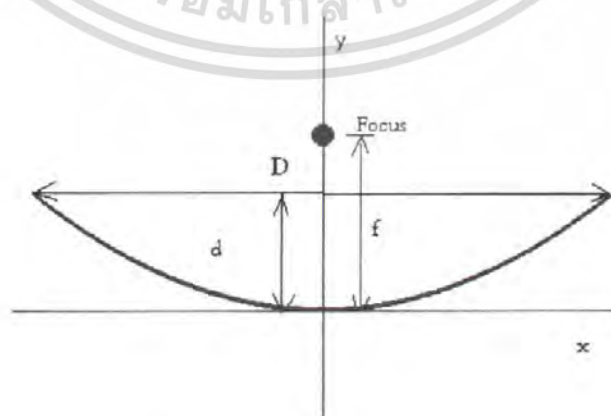


Figure 2.25: Parabola Composition and Representation

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$D$  is the diameter of the dish,  $d$  is the depth of the dish and  $f$  is the focal distance. The points  $(D/2, d)$  and  $(-D/2, d)$  are on the parabola, hence  $d = (D/2)^2 / 4f$  Which gives a relationship between the  $D$ ,  $d$  and  $f$

$$f = \frac{D^2}{16c}$$

The above formula helps in positioning the feed of the parabolic antennas as it gives the focal distance  $f$ . Of course in practice the shape of the dish is not a perfect parabola and therefore small adjustments are needed when positioning the feed.

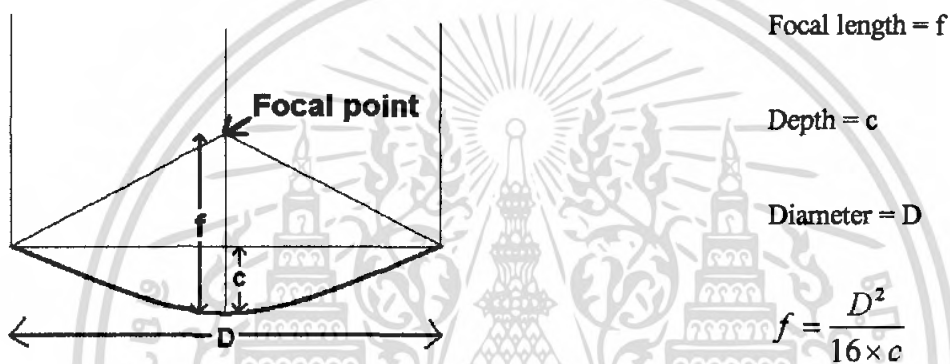


Figure 2.26: Focal Point of Parabola

Measure the depth using a tight fishing line across the dish and a rule to measure depth  $c$ .

If the  $f/D$  ratio is low, say 0.25 to 0.35 then the feed will be close to the dish and needs to spread its power at a wide angle to efficiently illuminate the dish. The feed therefore needs to be of small diameter. If the  $f/D$  is 0.25 the feed is level with the dish aperture, which may make it difficult to make a satisfactory feed. If the  $f/D$  is large like 0.5 to 0.75 then the feed will be further away from the dish and needs to project its power into a narrower angle. The feed needs to be of larger diameter.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

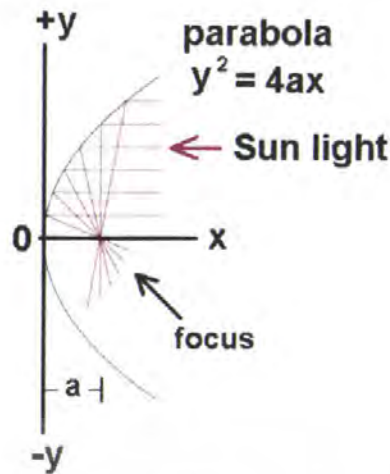


Figure 2.27: Solar Reflection on Parabolic Dish

The basic geometry of a parabolic mirror, light rays coming from infinity will tend to be reflected towards a point called the focus.

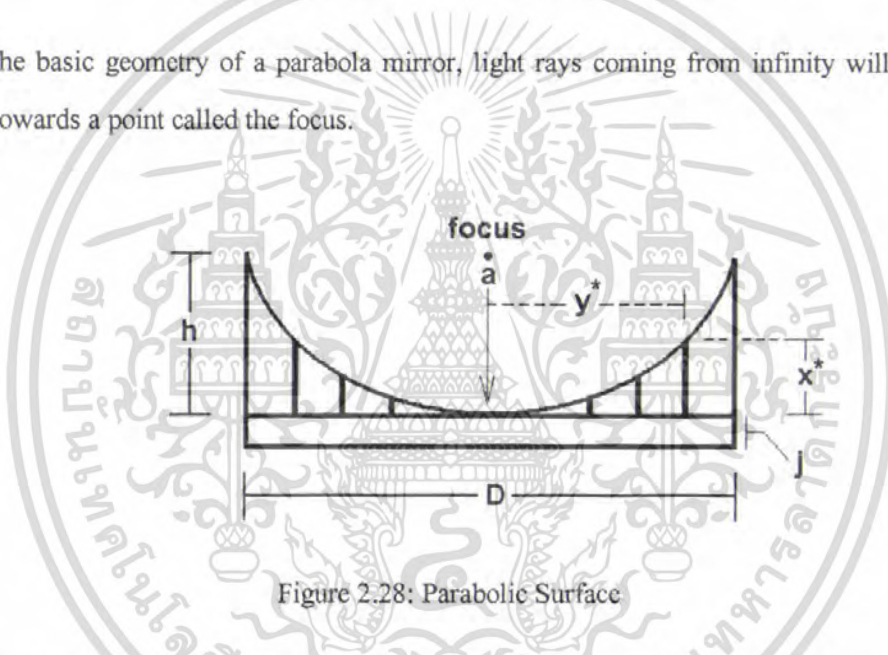


Figure 2.28: Parabolic Surface

Parabolic surface made using i) a cut-out template or ii) by thin sheet fixed to vertical wooden supports. The position ( $y^*$ ) and height ( $x^*$ ) of each support (point) is calculated from the equation 1 and 3. A set of  $x$  and  $y$  values for the model in photo 1 is give in table 1, where;  $D$ -length,  $h$ -height,  $a$ -focus and  $j$  (an offset used to make the template version, see text).

A parabolic dish aimed at the sun on a clear day will receive about  $1000 \text{ W}$  power per  $\text{m}^2$ . The maximum concentration factor of a well made parabolic dish is about  $1/\sin(\phi)$  where  $\phi$  is the half-angle of the dish of the sun as seen from Earth (about  $1/4$  of a degree). This makes the maximum solar concentration about 230. That means that your collector (the focal point) has an area of about  $1/230$ th the area of your mirror. In other words, a parabolic concentrator focal area will obtain  $230 \text{ kW/m}^2$  powers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Balancing the solar energy in a solar collector we get the following result:

$$Q_{tot} = Q_{gain} + Q_{loss}$$

$$Q_{tot} = A \times I$$

$$Q_{tot} = Q_{gain} + Q_{loss}$$

$$Q_{loss} = U \times A \times (T_{plate} - T_{amb})$$

$$Q_{gain} = \alpha_p \times A \times I$$

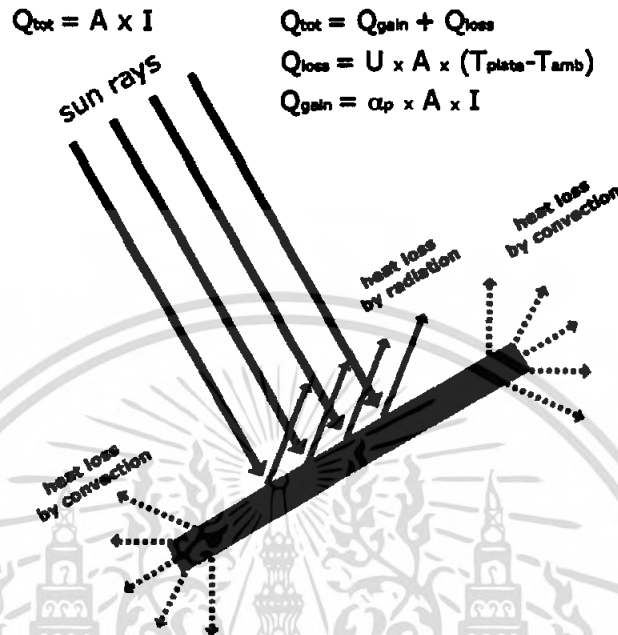


Figure 2.29: Heat Balance on Collector Plate

## Heat Balance

Heat Losses are related mainly to radiation and convection as shown in Picture 3. Moreover because of the properties of the components of the collector (glass, plate, and insulation) we can experience reflection losses, convection and radiation losses. In fact, the glass cover behaves nearly as a black body for long-wave radiation. It let the short wave radiation from the sun to come inside the tube collector, and traps inside the tube all reflected long wave radiations coming from the plate. In this way we should take into account all these value in order to quantify the real efficiency of the solar collector.

$$Q_{loss} = U * A * (T_{plate} - T_{ambient})$$

$$Q_{gain} = \alpha_p * A * I$$

U = Admittance of the glass

A = Area of the collector

T plate = temperature over the plate  
inside the evacuated solar collector

T ambient = ambient temperature

$\alpha_p$  = factor of absorption of the plate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Heat Losses and Heat Gains

Therefore the efficiency could be represented by the following equation:

$$\eta = \frac{(Q_{gain} - Q_{loss})}{Q_{tot}}$$

The previous equation for the efficiency could be expressed by:

$$\eta = \alpha_p \times U (T_{plate} - T_{ambient})$$

Because of the coefficient of transmittance “ $t$ ” of the glass and because of “ $a_p$ ” (factor of absorption of the plate) the previous equation is formulated by Hottel-Willier in the following way:

$$\eta = \frac{\eta_{opt} \times U (T_{initial} - T_{ambient})}{I}$$

Where “ $\eta_{opt}$ ” is called “optical efficiency” and it is indicated as “ $t + \alpha_p$ ”

Where “ $T_{initial}$ ” is the temperature entering in the plate at the initial stage (the meaning is the same as  $T_{plate}$ )

## Collector Design: Calculation

### Design Factor

(i) The average solar radiation energy in Thailand =  $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day} = 722 \text{ W/m}^2$

(ii) The minimum power output desired = 300 W

(iii) Typical thermal efficiency of the solar collector = 30 - 40% = 216.6 - 288.8 W/m<sup>2</sup>

(iii) The required collector diameter = 1.15 - 1.22 m

(iv) The available collector diameter size in the market = 0.75 m, 0.9 m, 1.2 m and 1.5 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Design Value

- The expected efficiency of the device = 30% = 216.6 W/m<sup>2</sup>
- The required projection area = 1.38 m<sup>2</sup>
- The collector diameter = 1.22 m
- The available diameter size of collector = 1.5 m

(i) Find the focus (f) of parabolic dish reflector

$$*f = (D^2) / (16 * C) = (1.5^2) / (16 * 0.25) = 0.57 \text{ m}$$

(ii) The focus to diameter ratio = 0.57/1.5 = 0.38

## 2.4 Tracking System

### Tracking System

Tracking system is an electro-mechanical system that is used to control the solar collector and direct it to the sun. Generally, the tracker will minimize the angle of incidence between the incoming light and the solar collector surfaces. This operation can increase the heat received by the fixed solar collector. Because, if we can fix the angle of incidence to the optimum value all the time, the heat received by the collector will be optimum too.

There are two types of widely used tracking system: 1. Single-axis tracker and 2. Double-axis tracker

#### 1. Single Axis Trackers

Single axis trackers have one degree of freedom that acts as an axis of rotation. The axis of rotation of single axis trackers is typically aligned along a true North meridian. It is possible to align them in any cardinal direction with advanced tracking algorithms.

There are several common implementations of single axis trackers. These include Horizontal Single Axis Trackers, Vertical Single Axis Trackers, and Tilted Single Axis Trackers.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The orientation of the module with respect to the tracker axis is important when modeling performance.

## 2. Dual Axis Trackers

Dual axis trackers have two degrees of freedom that act as axes of rotation. These axes are typically normal to one another. The axis that is fixed with respect to the ground can be considered a primary axis. The axis that is referenced to the primary axis can be considered a secondary axis.

There are several common implementations of dual axis trackers. They are classified by the orientation of their primary axes with respect to the ground. Two common implementations are Tip - Tilt trackers and Azimuth-Altitude trackers.

The orientation of the module with respect to the tracker axis is important when modelling performance. Dual Axis Trackers typically have modules oriented parallel to the secondary axis of rotation.

### Tracker Type Selection

The selection of tracker type is dependent on many factors including installation size, electric rates, government incentives, land constraints, latitude, and local weather.

Horizontal single axis trackers are typically used for large distributed generation projects and utility scale projects. The combination of energy improvement and lower product cost and lower installation complexity results in compelling economics in large deployments.

Vertical axis trackers with fixed or (seasonably) adjustable angles are suitable for high latitudes, where the apparent solar path is not especially high, but which leads to long days in summer, with the sun traveling through a long arc.

Dual axis trackers are typically used in smaller residential installations and locations with very high government Feed in Tariffs.

## Categorize the tracker by driving type

### Active tracker

Active trackers use motors and gear trains to direct the tracker as commanded by a controller responding to the solar direction.

Since the motors consume energy, one wants to use them only as necessary. So instead of a continuous motion, the heliostat is moved in discrete steps. Also, if the light is below some threshold there would not be enough power generated to warrant reorientation. This is also true when there is not enough difference in light level from one direction to another, such as when clouds are passing overhead. Consideration must be made to keep the tracker from wasting energy during cloudy periods.

### Passive tracker

Passive trackers use a low boiling point compressed gas fluid that is driven to one side or the other (by solar heat creating gas pressure) to cause the tracker to move in response to an imbalance.

### Chronological Tracker

A chronological tracker counteracts the Earth's rotation by turning at an equal rate as the earth, but in the opposite direction. Actually the rates aren't quite equal, because as the earth goes around the sun, the position of the sun changes with respect to the earth by  $360^\circ$  every year or 365.24 days. A chronological tracker is a very simple yet potentially a very accurate solar tracker specifically for use with a polar mount. The drive method may be as simple as a gear motor that rotates at a very slow average rate of one revolution per day (15 degrees per hour). Alternatively, an electronic controller may be used, with a real time clock that is used to infer the "solar time" (hour angle). Tracking adjustments can be made periodically or continuously.

## Tracking System Compositions

Mainly, tracking system consists of 4 important parts: 1. Absolute Encoders, 2. Controllers, 3. DC Motor, 4. Moving Mechanism, 5. GPS Tracker and 6. Power Supply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เฉพาะในหน่วยงานที่ขอเท่านั้น เมื่อผู้ใดให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Electrical Motors

Electrical Motors are continuous actuators that convert electrical energy into a rotational type movement, although linear motors are also available. There are basically three types of conventional electrical motor available: AC type Motors, DC type Motors and Stepper Motors. AC Motors are generally used in high power single or multi-phase industrial applications where a constant rotational torque and speed is required to control large loads. In this tutorial on motors we will look only at simple light duty DC Motors and Stepper Motors which are used in many electronics, positional control, microprocessor, PIC and robotic circuits and systems.

### The DC Motor

The DC Motor or Direct Current Motor is the most commonly used actuator for producing continuous movement and whose speed of rotation can easily be controlled, making them ideal for use in applications where speed control, servo type control, and/or positioning is required. There are basically 3 types of DC Motor:

- **Brushed Motor** - This type of motor produces a magnetic field in a wound rotor by passing an electrical current through a commutator and carbon brush assembly, hence the term "Brushed". The stator's magnetic field is produced by using either a wound stator field winding or by permanent magnets. Generally brushed DC motors are cheap, small and easily controlled.
- **Brushless Motor** - This type of motor produces a magnetic field in the rotor by using permanent magnets attached to it and commutation is achieved electronically. They are generally smaller but more expensive than conventional brushed type DC motors because they use "Hall effect" switches in the stator to produce the required stator field rotational sequence but they have better torque/speed characteristics, are more efficient and have a longer operating life than equivalent brushed types.
- **Servo Motor** - This type of motor is basically a brushed DC motor with some form of positional feedback control connected to the rotor shaft. They are connected to and controlled by a PWM type controller and are mainly used in positional control systems and radio controlled models.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DC motors have almost linear characteristics with their speed of rotation being determined by the applied DC voltage and their output torque being determined by the current flowing through the motor windings. The speed of rotation of any DC motor can be varied from a few revolutions per minute (rpm) to many thousands of revolutions per minute making them suitable for electronic, automotive or robotic applications. By connecting them to gearboxes or gear-trains their output speed can be decreased while at the same time increasing the torque output of the motor.

### **Absolute rotary encoder**

Absolute digital type produces a unique digital code for each distinct angle of the shaft. They come in two basic types: optical and mechanical.

#### **Mechanical absolute encoders**

A metal disc containing a set of concentric rings of openings is fixed to an insulating disc, which is rigidly fixed to the shaft. A row of sliding contacts is fixed to a stationary object so that each contact wipes against the metal disc at a different distance from the shaft. As the disc rotates with the shaft, some of the contacts touch metal, while others fall in the gaps where the metal has been cut out. The metal sheet is connected to a source of electric current, and each contact is connected to a separate electrical sensor. The metal pattern is designed so that each possible position of the axle creates a unique binary code in which some of the contacts are connected to the current source (i.e. switched on) and others are not (i.e. switched off).

#### **Optical absolute encoders**

The optical encoder's disc is made of glass or plastic with transparent and opaque areas. A light source and photo detector array reads the optical pattern that results from the disc's position at any one time.

This code can be read by a controlling device, such as a microprocessor or microcontroller to determine the angle of the shaft.

The absolute analog type produces a unique dual analog code that can be translated into an absolute angle of the shaft (by using a special algorithm).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Worm Gear set

*Worm gears* resemble screws. A worm gear is usually meshed with an ordinary looking, disk-shaped gear, which is called the *gear*, *wheel*, or *worm wheel*.

Worm-and-gear sets are a simple and compact way to achieve a high torque, low speed gear ratio. For example, helical gears are normally limited to gear ratios of less than 10:1 while worm-and-gear sets vary from 10:1 to 500:1. A disadvantage is the potential for considerable sliding action, leading to low efficiency.

Worm gears can be considered a species of helical gear, but its helix angle is usually somewhat large (close to 90 degrees) and its body is usually fairly long in the axial direction; and it is these attributes which give it its screw like qualities. The distinction between a worm and a helical gear is made when at least one tooth persists for a full rotation around the helix. If this occurs, it is a 'worm'; if not, it is a 'helical gear'. A worm may have as few as one tooth. If that tooth persists for several turns around the helix, the worm will appear, superficially, to have more than one tooth, but what one in fact sees is the same tooth reappearing at intervals along the length of the worm. The usual screw nomenclature applies: a one-toothed worm is called *single thread* or *single start*; a worm with more than one tooth is called *multiple thread* or *multiple start*. The helix angle of a worm is not usually specified. Instead, the lead angle, which is equal to 90 degrees minus the helix angle, is given.

In a worm-and-gear set, the worm can always drive the gear. However, if the gear attempts to drive the worm, it may or may not succeed. Particularly if the lead angle is small, the gear's teeth may simply lock against the worm's teeth, because the force component circumferential to the worm is not sufficient to overcome friction. Worm-and-gear sets that do lock are called self locking, which can be used to advantage, as for instance when it is desired to set the position of a mechanism by turning the worm and then have the mechanism hold that position. An example is the machine head found on some types of stringed instruments.

If the gear in a worm-and-gear set is an ordinary helical gear only a single point of contact will be achieved. If medium to high power transmission is desired, the tooth shape of the gear is

modified to achieve more intimate contact by making both gears partially envelop each other. This is done by making both concave and joining them at a saddle point; this is called a cone-drive.

Worm gears can be right or left-handed following the long established practice for screw threads.

## **GPS tracking unit**

A GPS tracking unit is a device that uses the Global Positioning System to determine the precise location of a vehicle, person, or other asset to which it is attached and to record the position of the asset at regular intervals. The recorded location data can be stored within the tracking unit, or it may be transmitted to a central location data base, or internet-connected computer, using a cellular (GPRS or SMS), radio, or satellite modem embedded in the unit. This allows the asset's location to be displayed against a map backdrop either in real time or when analysing the track later, using GPS tracking software

## **Types of GPS trackers**

### **Data Loggers**

A GPS logger simply logs the position of the device at regular intervals in its internal memory. Modern GPS loggers have either a memory card slot, or internal flash memory and a USB port. Some act as a USB flash drive. This allows downloading of the track log data for further analyzing in a computer. The tracklist or point of interest list may be in GPX, KML, NMEA or other format.

Most digital cameras save the time a photo was taken. Provided the camera clock was reasonably accurate, or the GPS was used as a time source, this time can be correlated with GPS log data, to provide an accurate location. This can be added to the Exif metadata in the picture file, thus geotagging it.

In some Private Investigation cases, these data loggers are used to keep track of the vehicle or the fleet vehicle. The reason for using this device is so that a PI will not have to follow the target so closely and always has a backup source of data.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Data pushers

Data pusher is the most common type of GPS tracking unit, used for asset tracking, personal tracking and Vehicle tracking system.

Also known as a *GPS beacon*, this kind of device pushes (i.e. "sends") the position of the device as well as other information like speed or altitude at regular intervals, to a determined server, that can store and instantly analyze the data.

A GPS receiver and a mobile phone sit side-by-side in the same box, powered by the same battery. At regular intervals, the phone sends a text message via SMS or GPRS, containing the data from the GPS receiver. Newer GPS-integrated smartphones running GPS tracking software can turn the phone into a data pusher (or logger) device; as of 2009 open source and proprietary applications are available for common Java ME enabled phones, iPhone , Android, Windows Mobile, and Symbian.

Most of the modern GPS trackers provide data "push" technology, enabling sophisticated GPS tracking in business environments, specifically organizations that employ a mobile workforce, such as a commercial fleet. Typical GPS tracking systems used in commercial fleets have two core parts: location hardware (or tracking device) and tracking software. This combination is often referred to as an Automatic Vehicle Location system. The tracking device is most often hardwire installed in the vehicle; connected to the CAN-bus, Ignition system switch, battery. It allows collection of extra data, which later get transferred to the tracking server, where it is available for viewing, in most cases via a website accessed over the internet, where fleet activity can be viewed live or historically using digital maps and reports.

GPS tracking systems used in commercial fleets are often configured to transmit location and telemetry input data at a set update rate or when an event (door open/close, auxiliary equipment on/off, geofence border cross) triggers the unit to transmit data. Live GPS Tracking used in commercial fleets, generally refers to systems which update regularly at 1 minute, 2 minute or 5 minute intervals, whilst the ignition status is on. Some tracking systems combine timed updates with heading change triggered updates

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DC Battery

There are two types of batteries: primary batteries (disposable batteries), which are designed to be used once and discarded, and secondary batteries (rechargeable batteries), which are designed to be recharged and used multiple times. Miniature cells are used to power devices such as hearing aids and wristwatches; larger batteries provide standby power for telephone exchanges or computer data centers. A battery is a device that converts chemical energy directly to electrical energy. It consists of a number of voltaic cells; each voltaic cell consists of two half cells connected in series by a conductive electrolyte containing anions and cations. One half-cell includes electrolyte and the electrode to which anions (negatively charged ions) migrate, i.e., the anode or negative electrode; the other half-cell includes electrolyte and the electrode to which cations (positively charged ions) migrate, i.e., the cathode or positive electrode. In the redox reaction that powers the battery, reduction (addition of electrons) occurs to cations at the cathode, while oxidation (removal of electrons) occurs to anions at the anode. The electrodes do not touch each other but are electrically connected by the electrolyte. Some cells use two half-cells with different electrolytes. A separator between half cells allows ions to flow, but prevents mixing of the electrolytes.

### Principles of Operation

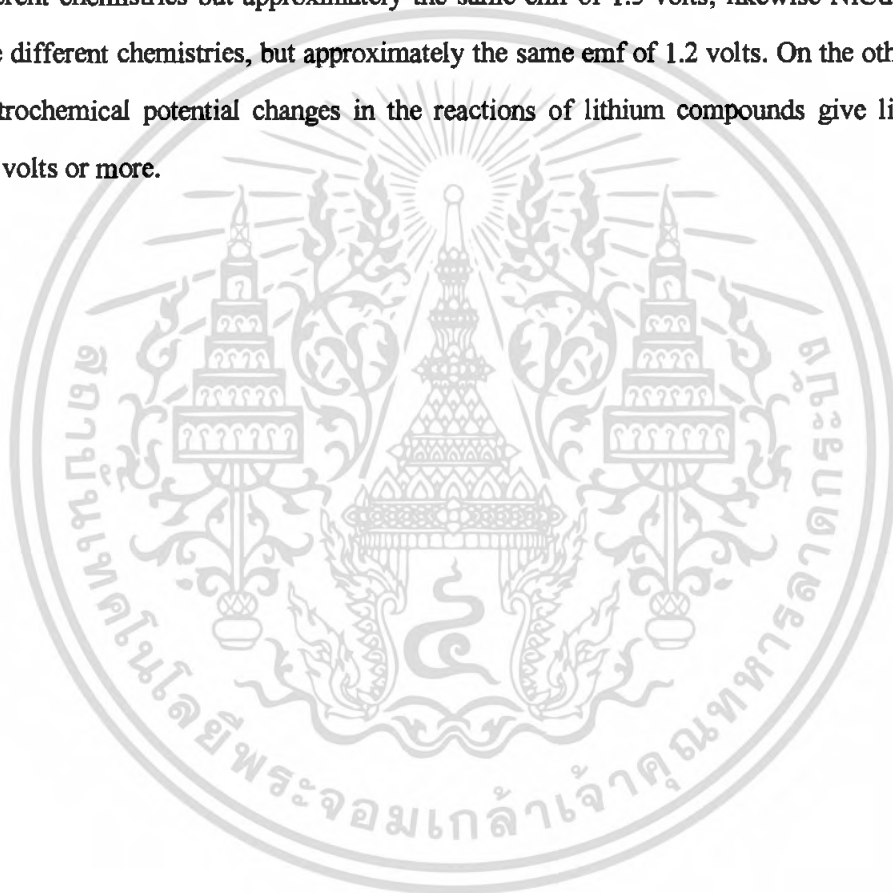
Each half cell has an electromotive force (or emf), determined by its ability to drive electric current from the interior to the exterior of the cell. The net emf of the cell is the difference between the emfs of its half-cells, as first recognized by Volta. Therefore, if the electrodes have emfs  $\mathcal{E}_1$  and  $\mathcal{E}_2$ , then the net emf is  $\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1$ ; in other words, the net emf is the difference between the reduction potentials of the half-reactions.

The electrical driving force or  $\Delta V_{bat}$  across the terminals of a cell is known as the *terminal voltage (difference)* and is measured in volts. The terminal voltage of a cell that is neither charging nor discharging is called the open-circuit voltage and equals the emf of the cell. Because of internal resistance, the terminal voltage of a cell that is discharging is smaller in magnitude than the open-circuit voltage and the terminal voltage of a cell that is charging exceeds the open-circuit voltage. An ideal cell has negligible internal resistance, so it would maintain a constant terminal voltage of  $\mathcal{E}$  until exhausted, then dropping to zero. If such a cell maintained 1.5 volts and stored a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับผูกขาดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

charge of one coulomb then on complete discharge it would perform 1.5 joule of work .In actual cells, the internal resistance increases under discharge and the open circuit voltage also decreases under discharge. If the voltage and resistance are plotted against time, the resulting graphs typically are a curve; the shape of the curve varies according to the chemistry and internal arrangement employed.

As stated above, the voltage developed across a cell's terminals depends on the energy release of the chemical reactions of its electrodes and electrolyte. Alkaline and carbon-zinc cells have different chemistries but approximately the same emf of 1.5 volts; likewise NiCd and NiMH cells have different chemistries, but approximately the same emf of 1.2 volts. On the other hand the high electrochemical potential changes in the reactions of lithium compounds give lithium cells emfs of 3 volts or more.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CHAPTER 3

### EXPERIMENTAL SETUP

#### 3.1 Parabolic Dish

The parabolic dish solar collector was designed and tested at Mechanical Engineering Department. The dish frame was chosen to be the D-SAT parabolic dish due to its perfectly parabolic shape and desired size. The reflectors are made of steel thin plate because of its flexibility and high reflectivity. The dish comprised of 6 identical pieces, each was a 60 degree wedge. The pieces were fastened together with nuts and bolts and then coated with the reflective surfaces of aluminum. The effective size of the collector was 1.5 m in diameter and 0.25 m in depth. A focal length of 0.57m provided the focus to diameter ratio of 0.38 and surface area of  $1.71 \text{ m}^2$ . The size of collector was defined by target power output that is directly proportional to the reflector projection area. The rim angle of the collector was 18 degree. A greater rim angle (shorter focal length) would decrease the acceptance angle of radiation into the absorber cavity. A lesser rim angle (longer focal length) would increase strain on the receiver arm and cause the optics to be more sensitive to error in the dish.



Figure 3.1: Solar Parabolic Dish Collector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 Reflective Surface

The reflective surface coating was the neatest work of this project. The reflective material used in this project was thin plate aluminum anodized with 8 cm width each. The material was chosen from its high reflectivity and good flexibility. The high flexibility allows thin plate to bend easily so that when stuck on the collector dish, it would enclose perfectly. The aluminum plate was stuck on the dish using high adhesive glue and aligned in two patterns. The alignment of the material caused no effect on focal point location if the plates were enclosed perfectly and formed perfectly parabolic surface. The disadvantage of the material is that it is easily scratched and got dirty so care should be taken. The fingerprint or dirty stain on the surface can cause optical clarity decrease and lower the efficiency. The optical error due to this effect is believed to be the same order of magnitude as the error in the curvature of the dish surface. However, compared to the advantages of the material, the drawback seems to be acceptable.

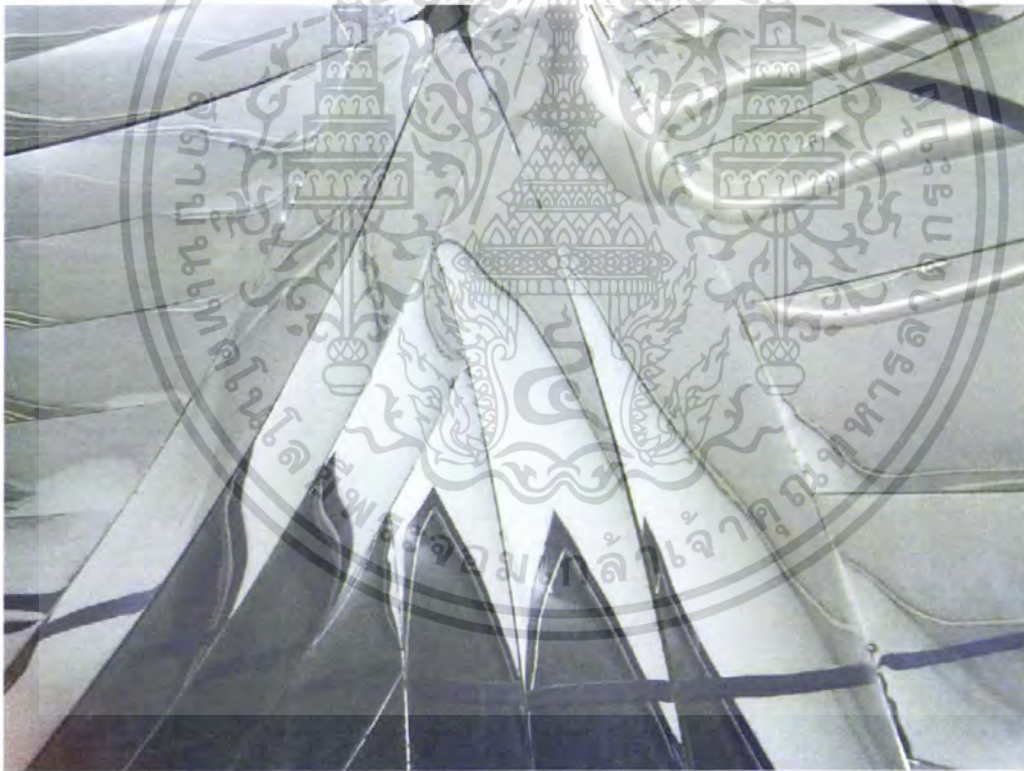


Figure 3.2: Aluminum Anodized Surface

### 3.3 Frame

The horizontal mount system has two axes of movement that independently track the altitude and azimuth motion of the Sun. The frame was separated into 2 parts: Upper part and Lower part. เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนูญตาได้เห็นาเบเซประยชนดานการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

part. The upper part was designed to support the collector movement and rotation. The shape of the upper part was like the swing with height of 90cm and width of 180 cm. The collector was supported by the rounded steel bar on the top and inserted in the journal bearing. The journal bearing helped and allowed the rotation of the steel bar. The lower part was designed to support the overall weight of the device. The height of this part was 80 cm with the width of 130 cm. The wheels were attached to the base of the lower part for the ease of moving the device.



Figure 3.3: Upper Part Frame



Figure 3.4: Lower Part Frame

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 Receiver

The receiver of this device functions as a heat absorber, a heater and a heat storage unit. The absorber is the heater or heat source of the Stirling engine that is mounted around the focal point of the reflector. The heater was made from steel which has the ability of high heat capacity and absorption. Also the receiver should have the ability of good heat transfer with the working fluid inside the heater for the high efficiency of the engine. The working fluid will be pumped by the piston inside when it absorbs heat and expands. Another heat receiver used was a black carbon steel flat plate, with specific heat capacity of 0.49 KJ/kg k. The plate had dimension of 10 mm x 8 mm. and weight of 0.58 kg. At the receiver, coupled with thermocouple used to measure the temperature the collector can concentrate at the focal point.



Figure 3.5: Black Carbon Steel Flat Plate as The Heat Receiver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Figure 3.6: Stirling Engine as The Heat Receiver

### 3.5 Tracking System

The tracking system was one of the most important parts of this device. Tracking system and mechanism could define the efficiency and reliability of the device. Tracking system consisted of microcontroller system and dc motor set. The microcontroller system was programmed to control the motor function. By using the equation of sun position, the azimuth angle and altitude angle of the sun were put into the controller. The controller, then, controlled the direct current motor to operate and drive the collector to the target position. The position of the collector, then, was sent back to the encoder to compare the desire position with the current position. From this process, the accuracy of tracking system can be optimized.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

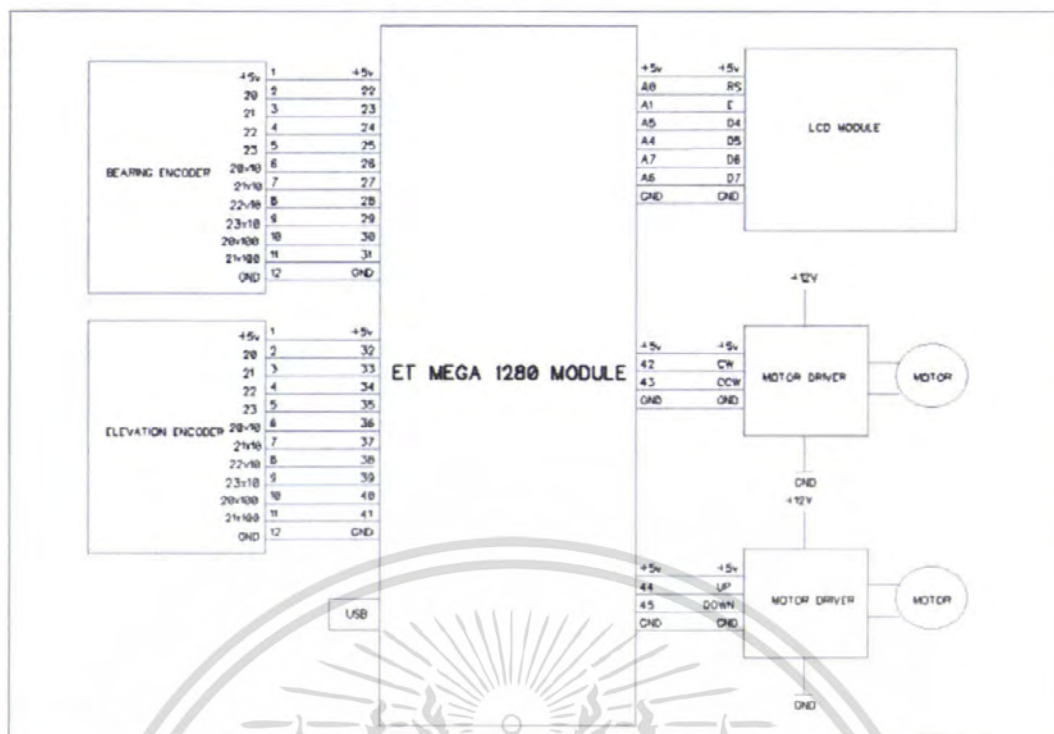


Figure 3.7: The Tracking System Module



Figure 3.8: Direct Current Motor as a Driver of Collector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

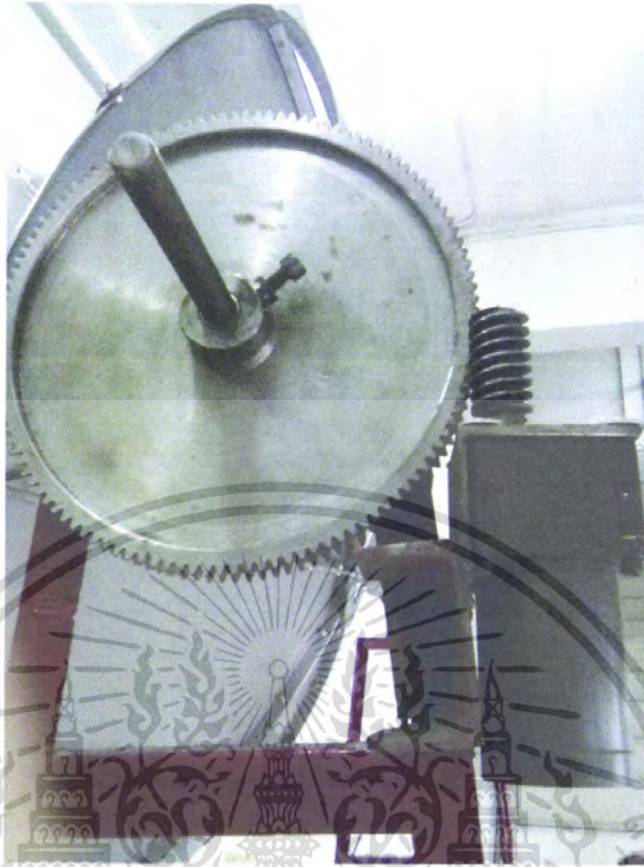


Figure 3.9: Worm Gear Set as a Movement Mechanism



Figure 3.10: Absolute Encoder as a Collector Position Indicator

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 GPS Tracker

The GPS tracker was of the Holux brand made from Taiwan. The tracker was used to locate the position of the device from the satellite system. The position of the device was shown in the latitude and longitude value which were the desired input value. By using the GPS tracker, the device would be available for every area on earth without complication of finding the lat-long position. Without GPS tracker, for every distinct position we would have to connect to the internet for locating the latitude and longitude of the device. From this problem, the device would be barely available in rural area that would need the application of this device.



Figure 3.11: GPS Tracker Module

### 3.7 Data acquisition and Instrumentation

In this experiment, the efficiency of parabolic dish solar collector is investigated. The experiment will be held in an outdoor environment, on the top deck of ME building. The system is composed by a parabolic dish solar collector, a Stirling engine to utilize the heat energy, a tracking system to optimize the dish position and a computer to calculate sun position and record temperatures during a range of one hour. After the experiments the maximum efficiency can then be determined. Critical explanations of the efficiency curve and its characteristics will be discussed. Factors influencing the operation of the collector will be discovered and commented.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Objective:**

The objective of this experiment is to investigate how a solar collector and solar tracking system are working and how to calculate its efficiency curve using a series of records taken during the experiment. Obviously the experiments will be held outdoors in real environment where natural light is available. The Ambient temperature is considered the one of the factor. These approximations, together with other factors (like for example uncontrolled heat losses and wind flow) allow us in any case to understand the system.

**Equipment:**

1. Thermocouple or thermometer – For collecting temperature value at the collector surface, ambient temperature and also at the absorber.
2. Position sensors – For locating the position of the collector after it has been driven to the desired position according to the sun.
3. Pyranometer – For measuring direct and indirect solar radiation.
4. Parabolic dish collector
5. Tracking system and mechanism
6. GPS – For specifying the real coordinate of the experiments place and calculating the sun position
7. Computer – For collecting test results, calculating sun position and also operating the microcontroller

**Desired values**

1. Temperature of the absorber and collector
2. Power that can be produced by collector
3. Accuracy of the tracking system
4. Efficiency of the device

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Method

The experiment consists in a series of processes that are listed as follows:

1. *Turn on the solar tracking device*
2. *Record the ambient temperature, collector surface temperature and absorber temperature*
3. *Record the temperature results every 15 minutes*
4. *Record the position output of the tracking system for every moves*
5. *Record the solar radiation energy*
6. *Record the power produced by the device*
7. *Calculate the efficiency and accuracy of the device*
8. *Plot the efficiency curve and also the accuracy curve*

*For optional experiment method, turn off the tracking device and conduct the same experiment to find the differences.*



**Figure 3.12: Solar Parabolic Dish with The Tracking System**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

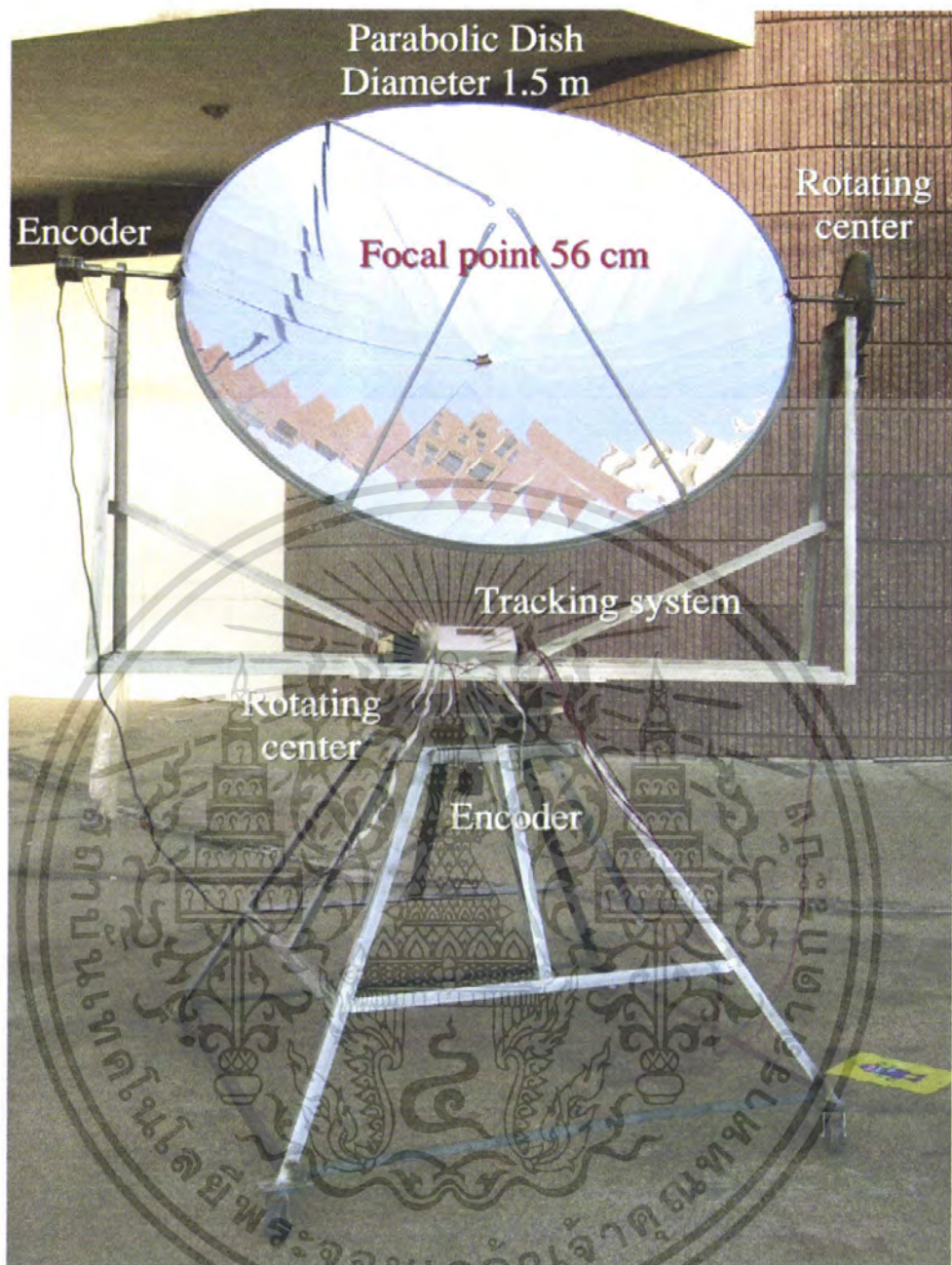


Figure 3.13: Device in experiments

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CHAPTER 4

### RESULTS AND DISCUSSION

This chapter contains the results and analysis for testing performed at various locations in the faculty of engineering, KMITL. Tests were performed to determine the efficiency and the accuracy of the collector and tracking system. The heat generated and concentrated from the collector was focused to the receiver of Stirling engine. From the output of the engine, we can analyze the efficiency and worthiness of the device.

#### 4.1 Reflective Material Experiments

##### 4.1.1 Concentrated Temperature from Different Reflectors

###### Results

Weather Condition on the experiments period

Bangkok: Cloudy with more than 80% of rainy weather around the city.

Minimum temperature: 25 degree Celsius.

Maximum temperature: 33 degree Celsius.

13 September 2010

Table 1: Concentrated Temperature at 11.00 AM.

Material	Temp.
Foil	45
Mirror	46
Aluminum	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Table 2: Concentrated Temperature at 11.30AM.

Material	Temp.
Foil	55
Mirror	54
Aluminum	64

Table 3: Concentrated Temperature at 12.00 PM

Material	Temp.
Foil	62
Mirror	62
Aluminum	78

Table 4: Concentrated Temperature at 12.30 PM

Material	Temp.
Foil	67
Mirror	78
Aluminum	150

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

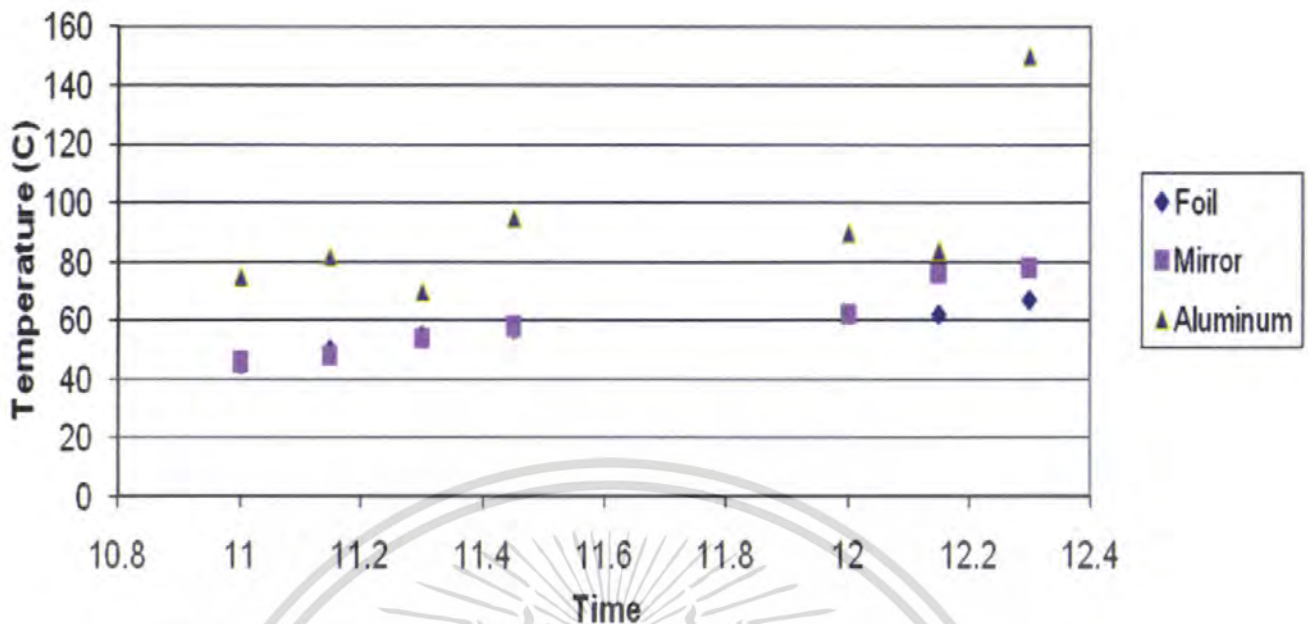


Figure 4.1: Reflective Material Experimental Results

From the results, it can be concluded that the reflector made from Aluminum would provide the highest efficiency for the concentration of solar radiation. The collector can provide up to 150 degree Celsius concentrated temperature on the cloudy day. So on the sunny day the result was expected to be better and the estimated maximum concentrated temperature would be more than 200 degree Celsius.

#### 4.2 Collector Geometrical Test

From the geometrical test, the collector's characteristic of perfect parabola can be specified. And also the smoothness of the reflective surface on the collector can be analyzed.

#### Results

Experimental Period: 15 December 2010 – 17 December 2010

Weather Condition: Cloudy with high air pressure. Ample rains in some area with higher than average 1.2 degree Celsius temperatures.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Table 5: Focal length experimental results on 15 December 2010**

Time	Focus (cm)
11.00 AM	57
12.00 PM	58
13.00 PM	56

**Table 6: Focal length experimental results on 16 December 2010**

Time	Focus (cm)
11.00 AM	56
12.00 PM	58
13.00 PM	57

**Table 7: Focal length experimental results on 17 December 2010**

Time	Focus (cm)
11.00 AM	59
12.00 PM	59
13.00 PM	60

From the results, the focus points were varied from 56 cm – 60 cm. Compare to the theoretical focal point of 57 cm, it can be concluded that the geometrical shape of the collector was perfectly parabolic shape. And the reflective surface of the collector seemed smooth enough.

#### 4.3 Focal Point Location Test

The focal point location test can be done simply by putting a paper rod through the center hole of the collector and let the collector receive the sunlight. After a short time period, smoke started to appear on the paper rod and then the paper rod finally burned. The focal point location in this case, was simply the point that smoke started to occur and burn. This method is easy and simply but offers low precision. For more precise result, the temperatures at the different regions on the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

heat receiver were recorded and compared. The region that generated highest temperature value was the focal point.

Experimental Date: 13 December 2011

Weather Condition: Dry air, low humidity with average temperature of 27 °C. Cloudy and low sunlight intensity.

### Results:

**Table 8: Focal Point Location Test Results**

Location \ Time	45 cm.	50 cm.	55 cm.	57 cm.	60 cm.	65 cm.
	Temperature (°C)					
10.00	85	92	95	97	94	90
10.30	103	112	120	123	120	115
11.00	130	134	137	139	135	131
11.30	151	155	157	160	158	153
12.00	187	191	197	201	196	188
12.30	172	175	178	180	177	170
13.00	151	156	159	161	157	149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

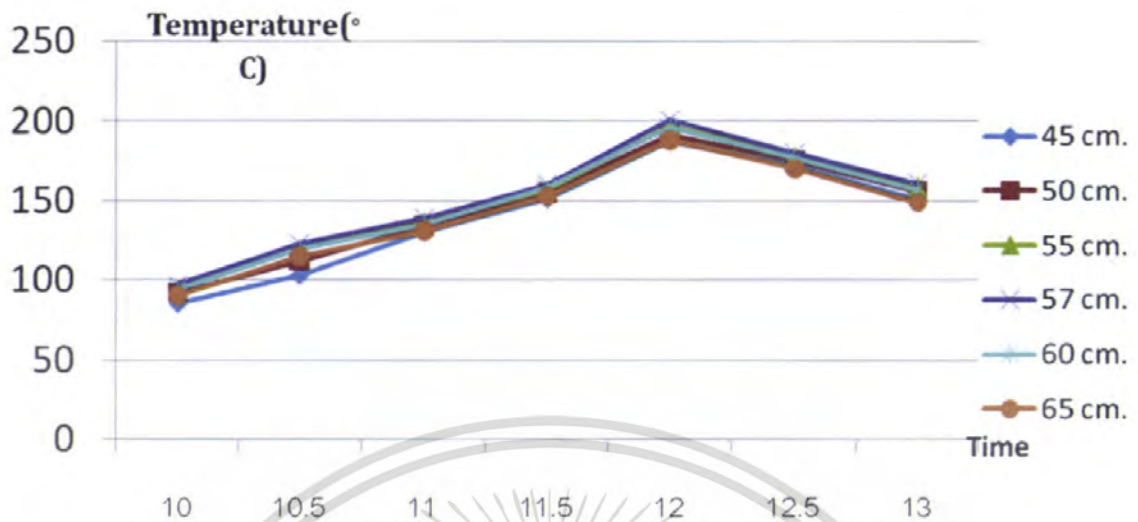


Figure 4.2: Focal Point Location Test Results

The result showed that at the position of 57 cm. from the collector base, the temperature reached the highest value compared with other positions. At 12.00 the temperature at 57 cm. was 201°C. Compare this value with the 56 cm. focal length in the paper rod burning test; the difference was only 1 cm. From the comparison, it can be assumed that the focal point was the same as the theoretical value, 57 cm. and that the collector offered the proper reflecting characteristic and perfectly parabolic shape.



Figure 4.3: Focal Point Location Test: By Using Paper Rod

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 Temperature Concentration Test

From the reflective characteristic of the parabolic collector that reflects the sun ray into one single focal point, the temperature at the focal point rises as the heat is accumulated. This is the simplest way to test the performance and efficiency of the device. The accumulated temperature can be used for various applications, and can give the rough image of the device's efficiency.

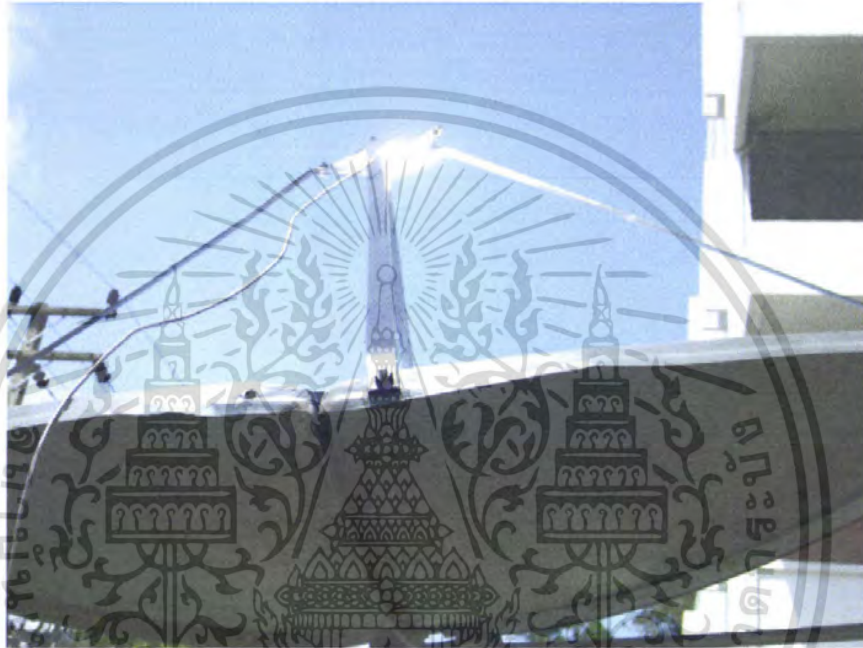


Figure 4.4: The Temperature Concentration Test

#### Results

Experimental Period: 14 February 2011 – 17 February 2011

Weather Condition: Windy and cloudy in some areas especially in the afternoon. High ambient temperature around  $29^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}$ .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

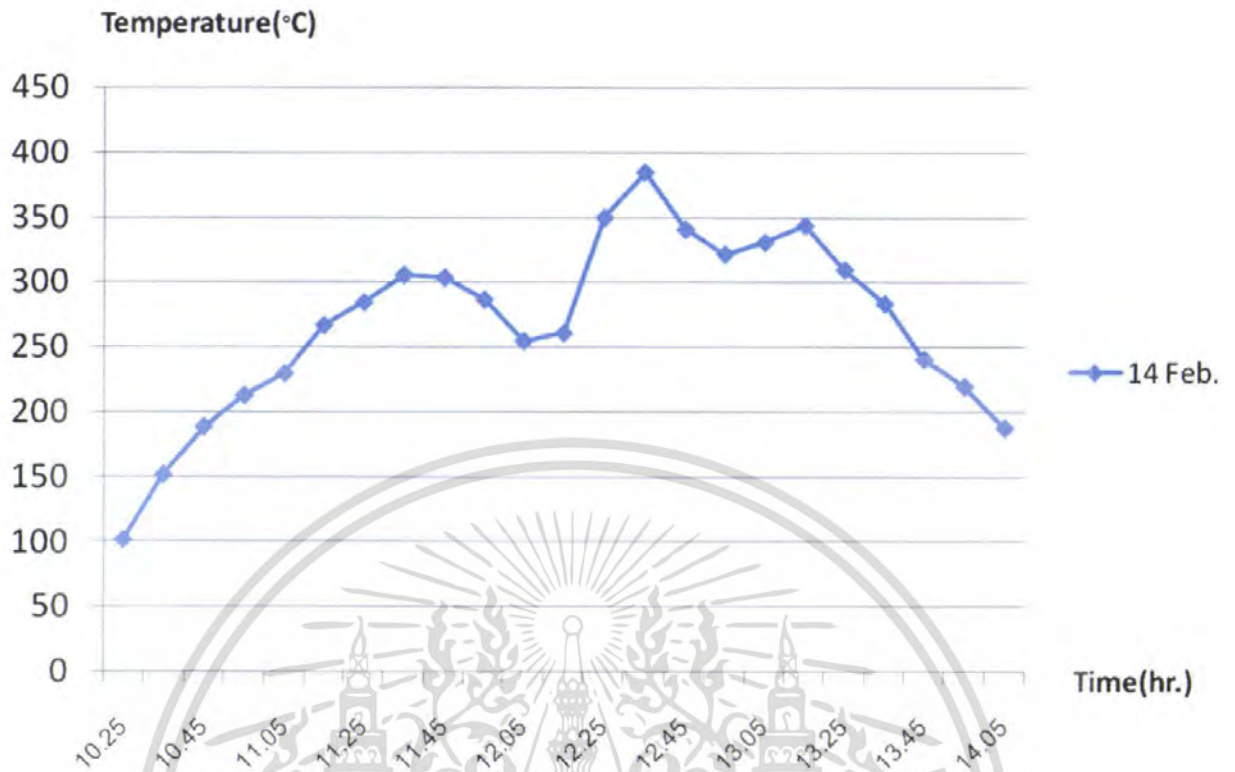


Figure 4.5: Temperature Concentration Results on 14 February 2011

The results were created from the collector without tracking system. The highest temperature the device can generate was 385 °C. The average temperature was 259.3 °C. The fluctuating results at the mid-region were because of the bad weather condition, as the cloud blocked the sunlight and the wind carried the heat away from the device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

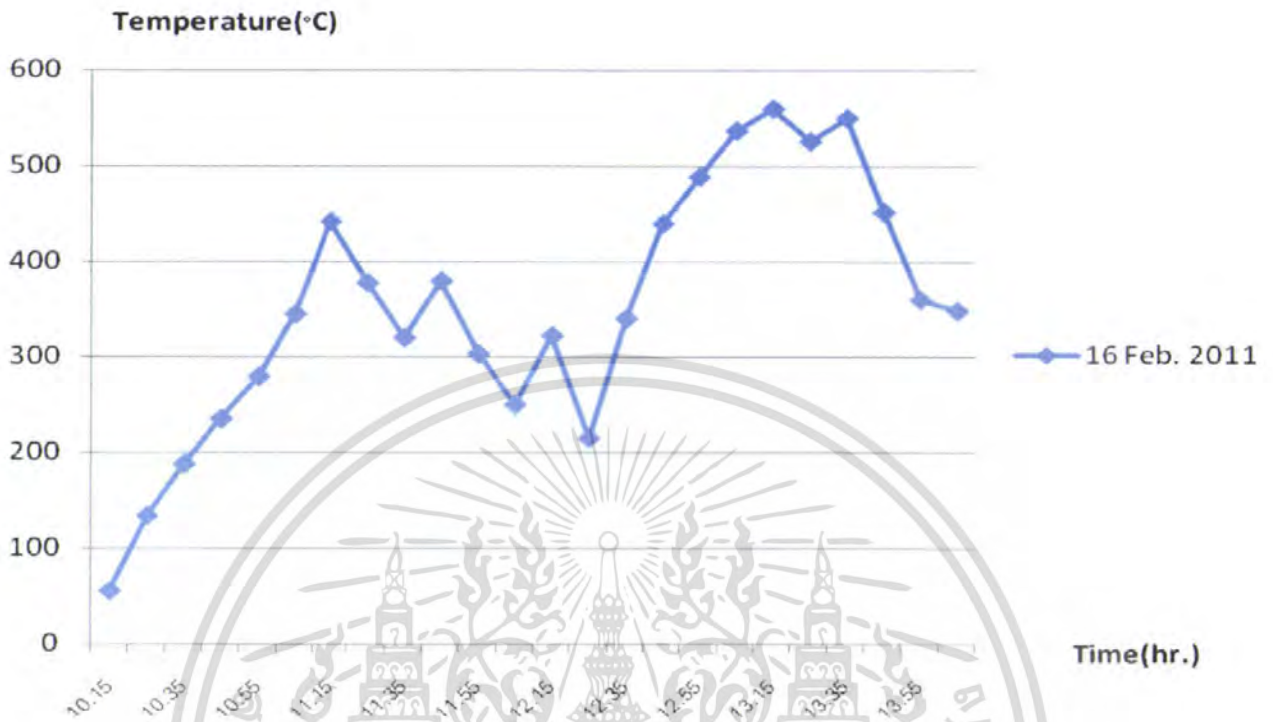


Figure 4.6: Temperature Concentration Results on 16 February 2011

The results were created from the collector that coupled with the solar tracking system. The highest temperature the device can generate was  $560^{\circ}\text{C}$  and the average temperature was  $352^{\circ}\text{C}$ . The results were tensely fluctuated, especially in the midday. This was because at the time of experiment, the cloud covered and blocked the sunlight and the heat convection caused by the wind lowered the temperature generated at the focal point and fluctuated the results.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

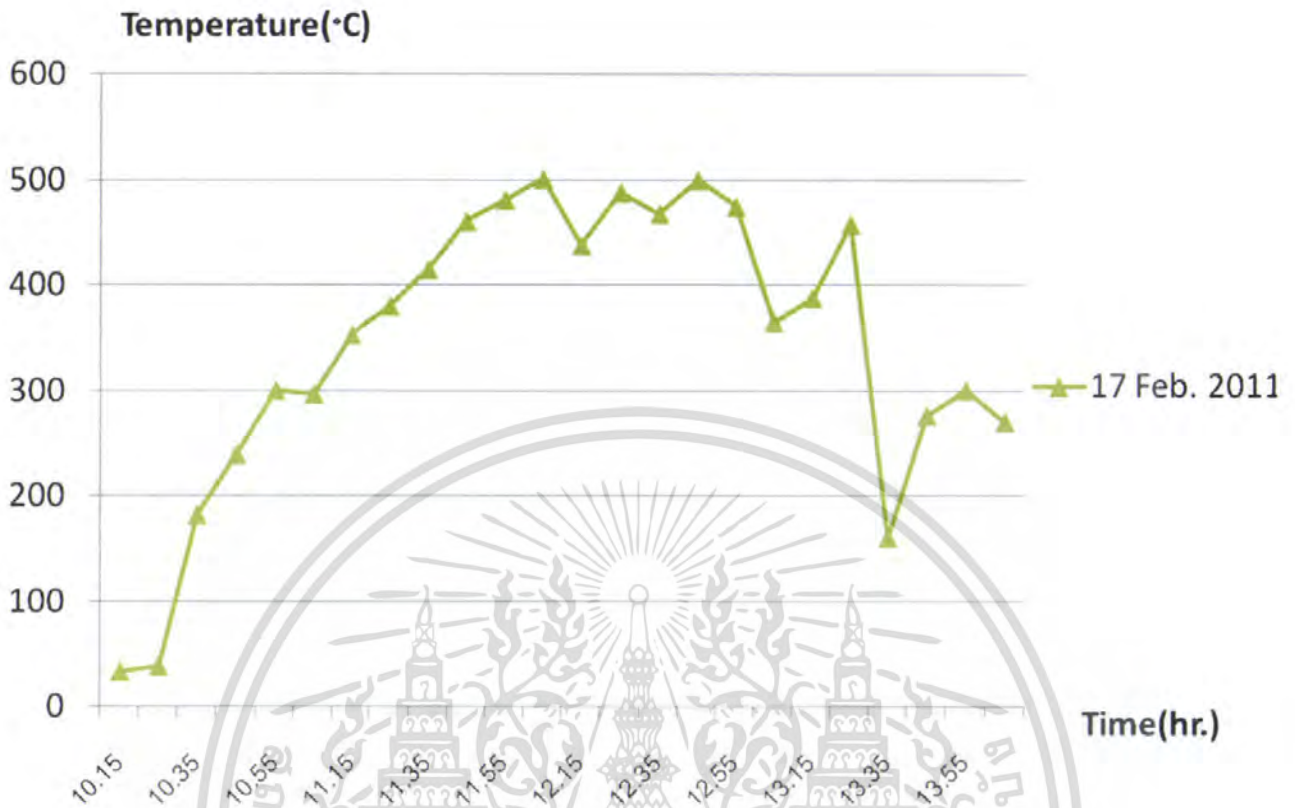


Figure 4.7: Temperature Concentration Results on 17 February 2011

This is another experimental result collected from the collector with solar tracking system. The highest temperature was  $500^{\circ}\text{C}$  at the time of 12.45 PM. The average temperature was  $344.4^{\circ}\text{C}$ . The graph run in smooth trend at the early stage and started to fluctuate after reaching the highest output value. The drop down in temperature was because of wind. The heat convection occurs at the time of temperature decreasing which after 12.00 PM. By theoretically value, the highest temperature generated should occur at 12.00PM, but as the time of experiments were in winter so the sun position differed from the expected value and caused the highest temperature to occur in the afternoon rather than at midday.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5 Application Test

The heat generated by the collector at the focal point can be utilized by loads of methods. One of the most popular applications is to drive the Stirling engine, which is the external combustion engine. By coupling the Stirling engine at the focal point of the collector, the heat generated by the collector accumulated at engine's heat receiver. After that, the temperature at the receiver increased until it reached startup point of the engine. At this startup point, the engine operated continuously with constant speed and proved the device's effectiveness. Another application is to use the heat to boil water. The beaker of water was coupled at the focal point instead of Stirling engine. The heat generated by the collector is absorbed by water in the beaker until the temperature reached  $100^{\circ}\text{C}$  and the water boiled. Then, reckon the time until water ran dry and the power output can be calculated from this method.



Figure4.8: The Application Test - Stirling Engine Test

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

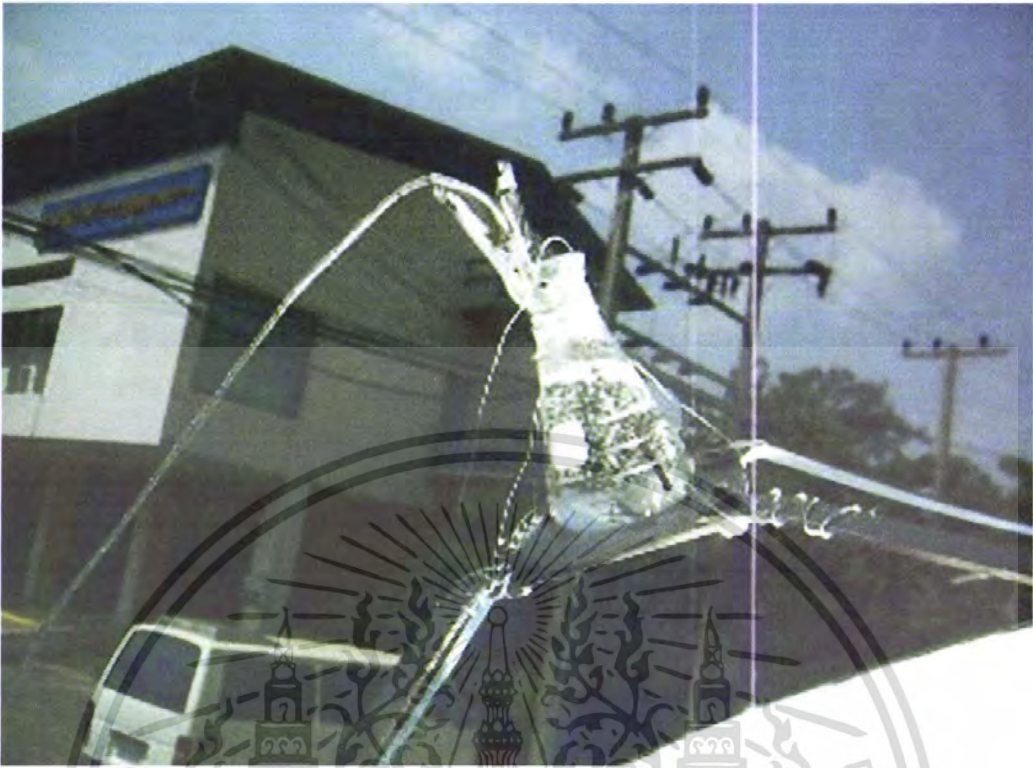


Figure4.9: The Application Test - Water Boiling Test

In the experiment, 50 ml and 42 °C of water was heated in the beaker. After 5 minutes and 48 seconds, temperature reached 100 °C and started to boil. And for another 7 minutes 3 seconds, the water ran dry. Theoretically, the power output of the device is simply the power used in boiling the water from its initial state to the point that it ran dry.

The heat used in this process can be separated into 2 parts: sensible heat of heating and latent heat of vaporization. Each can be calculated individually as followed;

Latent Heat of Vaporization,  $Q_v = mL$

$$Q_v = 0.05 \text{ kg} \times 2,257 \text{ kJ/kg}$$

Power used in water vaporization ,  $P_v = Q_v / t$

$$\begin{aligned} P_v &= Q/\text{Vaporization time} = 112,850 \text{ J} / 423 \text{ s} \\ &= 266.78 \text{ W} \end{aligned}$$

Sensible Heat of Water,  $Q_s = mc(T_{\text{final}} - T_{\text{initial}})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Q_s = 0.05 \text{ kg} \times 4.187 \text{ kJ/kg K} \times (373 - 315) \text{ K}$$

$$= 12.14 \text{ kJ}$$

Power used in sensible process,  $P_s = Q_s / t$

$$P_s = 12.14 \text{ kJ} / 348 \text{ s} = 35 \text{ W}$$

The result was that the power output the device can generate was about 302 W. Compare to the expected value of 300 W, it can be concluded that the device works properly and yield the satisfying results.

However, the efficiency of the device cannot be determined because in the efficiency calculation, the power input is needed. The power input to the collector value can be recorded by using device called "Pyranometer" that can measure the solar intensity on the object. This measurement device has high cost, about 100,000 baht each, and at KMITL has none of this device then we had to decide to leave the power input information and test the performance of the collector by its various applications instead.

## CHAPTER 5

# CONCLUSION

### 5.1 Conclusions

The parabolic dish solar collector with tracking system is the device to absorb solar energy in heat form and utilize it by further application. The movement of the reflector will correspond with the sun position and then optimize the incident solar radiation. The collector size is 1.5 m in diameter and 0.25 m in depth provides 1.71 m<sup>2</sup> and 0.57 m focal length. The focus-to-diameter ratio of the collector is 0.38. The target power output is 300 W from the collector. From Thailand daily average solar intensity, 722 W/m<sup>2</sup>, the size of collector can be determined as mentioned earlier. The most effective reflective surface material is aluminum. The reflective surface smooth coated can provide the perfectly parabola characteristics of the collector and gives the close to theoretical value of focal distance. The tracking system chosen is dual axis type to provide the movement of collector in both altitude and azimuth angle direction. The collector is driven by the direct current motors in each direction separately. To operate the device, the input values of latitude, longitude and time have to be generated by GPS tracker so that the device can operate automatically in every location. From the experiments, the focal length of the device was 0.56 m which differed 1.7% from the theoretical value and can be concluded that the collector showed the good reflection characteristic. The maximum temperature that the device without tracking system can generate is up to 385 degree Celsius, in a cloudy day. With the tracking system the device can provide the highest temperature of 560 degree Celsius. The device can provide the power output of 302 W, measured by the water boiling method. The power output then, meets the expectation of the project. The major problem of this project is the weather condition that influences the experimental results. Windy and cloudy weather condition affects the results and lowers the device efficiency. The successive experiments are needed for more consistent results. Another major problem is the lacking of instruments. The power input to the device needs to be measured by pyranometer which has high cost. Another method of device evaluation is needed which in this case, by various application of the device. The Stirling engine can be used for the device application, and from the experiments, the engine can work well when it used this solar collector as a heat source.

Another application is water boiling. By this application, the power output can be calculated and

เอกรินทร์, พงษ์สิทธิ์. (2564). การออกแบบและพัฒนาระบบติดตามตำแหน่งของจานรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิก. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์เอกรินทร์. หน้า 66-67

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

from the experiments yielded the power output of 302 W as stated earlier. So it can be concluded that the device operate properly and offer the satisfying results. Future development including mechanical and controlling devices will be conducted to verify the reliability of tracking the sun and effectiveness of solar collector.

## 5.2 Problem Issues

**The major problems encountered in this project are:**

1. The weather condition problem: On the cloudy and windy day, the results on the experiments were severely affected because the cloud blocked sunlight and the wind lowered the concentration temperature and caused heat convection to occur. The result was lower in efficiency and power output.

Solution: The successive experiments are needed for more consistent results and reliability

2. Material quality problem: Low quality of structure material can lower the device reliability and durability. With lacking of structural strength, the device was shaken when the wind blew and then resulted in fluctuating experimental results.

Solution: Higher quality of structure material is needed with better design in structure.

3. Unavailability of instrument: Pyranometer was needed to measure the power input for efficiency calculation.

Solution: Use the application test instead.

## 5.3 Recommendations

Base on the experience of present research, recommendations for further study are as :

1. Better structure design for the device: The truss structure of the frame can give more strength to the device.

2. Another type of controlling device and system: The controlling system can be changed to the type that can store the memory or programming code so that the device can work automatically without connecting to computer.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## REFERENCES

- [1] Anderson, Edward E. 1983. Fundamentals of solar energy conversion. 1<sup>st</sup> ed. United States
- [2] DA-WEI LIN and Tu-Cheng. United States Patent No. 20090288656. Solar energy collector. United States of America. 2009
- [3] Dascomb, John. Low-Cost Concentrating Solar Collector for Steam Generation. Master of Science Thesis. Florida, United States. Florida State University, 2009
- [4] Folaranmi, Joshua. Design, Construction and Testing of a Parabolic Solar Steam Generator, 2009
- [5] Goswami, D. Yogi. (2007). Advances in solar energy : an annual review of research and development. London : Earthscan.
- [6] Hunt, V. Daniel. (1982). Solar energy Dictionary. New York : Industrial Press.
- [7] Baker, E. (1984). Solar heating and cooling systems design for Australian condition. Oxford : Pergamon.
- [8] Tiwari, G. N. (1987). Solar thermal engineering systems. New Delhi : Narosa.
- [9] Agnihotri, O. P. (1981). Solar selective surfaces. New York : John wiley.
- [10] Kirtikara, K. & Siriprayuk, T. Relationship between solar radiation and some meteorological data of Thailand. S.I. : S.N.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## APPENDIX

**Table 9: Temperature Concentration Results on 14 February 2011 – 17 February 2011**

14 February 2011		16 February 2011		17 February 2011	
Time(hr.)	Temperature(°C)	Time(hr.)	Temperature(°C)	Time(hr.)	Temperature(°C)
10.15	57	10.15	55	10.15	33
10.25	102	10.25	134	10.25	38
10.35	152	10.35	188	10.35	182
10.45	189	10.45	235	10.45	239
10.55	213	10.55	279	10.55	300
11.05	230	11.05	345	11.05	297
11.15	267	11.15	442	11.15	353
11.25	285	11.25	378	11.25	380
11.35	306	11.35	320	11.35	415
11.45	304	11.45	380	11.45	461
11.55	287	11.55	303	11.55	481
12.05	255	12.05	250	12.05	501
12.15	261	12.15	322	12.15	438
12.25	350	12.25	215	12.25	488
12.35	385	12.35	340	12.35	468

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือเผยแพร่ข้อมูล  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12.45	341	12.45	440	12.45	500
12.55	322	12.55	489	12.55	475
13.05	331	13.05	537	13.05	365
13.15	344	13.15	560	13.15	388
13.25	310	13.25	526	13.25	458
13.35	284	13.35	550	13.35	160
13.45	241	13.45	452	13.45	276
13.55	220	13.55	360	13.55	300
14.05	188	14.05	348	14.05	270

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้