

การศึกษาประสิทธิภาพโดยการประยุกต์ใช้จานดาวเทียมให้เป็น
จานรวมแสงพาราโบลิก
PERFORMANCE INVESTIGATION ON MODIFIED SATELLITE DISH AS SOLAR
PARABOLIC DISH CONCENTRATOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561
KMITL-2018-EN-M-030-048

การศึกษาประสิทธิภาพโดยการประยุกต์ใช้จานดาวเทียมให้เป็น
จานรวมแสงพาราโบลิก
PERFORMANCE INVESTIGATION ON MODIFIED SATELLITE DISH AS SOLAR
PARABOLIC DISH CONCENTRATOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2561
KMITL-2018-EN-M-030-048

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PERFORMANCE INVESTIGATION ON MODIFIED SATELLITE DISH AS SOLAR
PARABOLIC DISH CONCENTRATOR



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018
KMITL-2018-EN-M-030-048

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

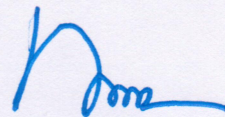
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาประสิทธิภาพโดยการประยุกต์ใช้งานดาวเทียมให้เป็นจานรวมแสงพาราโบลิก
Thesis Title Performance Investigation on Modified Satellite Dish as Solar Parabolic Dish Concentrator
นักศึกษา นางสาวปวีณา เมฆสุกใส
รหัสประจำตัว 58601125
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุตาทภัทร แคว้นเขาเม็ง
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-030-048

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.บัญชา	คังตระกูล	
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	
ผศ.ดร.ปัญญา	จันทร์สุวรรณ	
ผศ.ดร.สุตาทภัทร	แคว้นเขาเม็ง	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง HM-303 อาคารเฉลิมพระเกียรติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
วันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2561
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาประสิทธิภาพโดยการประยุกต์ใช้จานดาวเทียมให้เป็นจานรวมแสงพาราโบลิก
นักศึกษา	นางสาวปวีณา เมฆสุกใส
รหัสประจำตัว	58601125
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง

บทคัดย่อ

ประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรทำให้มีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดี โดยเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์ที่ได้รับคือ 18.2 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน และเนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาดและยั่งยืน โดยพลังงานความร้อนที่ได้สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานทางกลได้ ซึ่งจานรวมแสงพาราโบลิกเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีการรวมแสงที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูง และใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย ดังนั้นวิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบ, สร้างและทดสอบจานรวมแสงพาราโบลิกเพื่อให้มีการทำงานที่มีประสิทธิภาพด้วยราคาการผลิตที่มีต้นทุนอย่างเหมาะสม โดยศึกษาการประยุกต์ใช้จานรับสัญญาณดาวเทียมที่ไม่มีการใช้งานเป็นจานรวมแสงพาราโบลิก โดยคำนึงถึงอัตราส่วนการรวมแสงหรือพื้นที่จานรวมแสงต่อพื้นที่รับแสงและอัตราส่วนระยะโฟกัสต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังนั้นจานต้นแบบที่นำมาใช้งานมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เมตร ความลึก 0.67 เมตร จุดโฟกัส 0.955 เมตร พื้นที่รับแสง 9.32 ตารางเมตรและจานรวมแสงมีการขับเคลื่อน 2 ทิศทางเพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เพื่อให้จานต้นแบบสามารถทำงานด้วยประสิทธิภาพที่ดีขึ้น วัสดุสะท้อนแสงสามชนิดประกอบด้วย Mirror, PET aluminum และ Aluminum foil จะถูกนำมาตรวจสอบความสามารถในการสะท้อนแสงและจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่ากระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ให้เกิดการรวมแสง ณ จุดโฟกัสที่ดีที่สุดและมีอุณหภูมิสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอีกสองชนิด ต่อมาขนาดของกระจกจึงถูกวิเคราะห์โดยคำนึงถึงพื้นที่การสูญเสียความร้อนและต้นทุนการติดตั้งกระจก โดยที่การทดสอบความสามารถการทำงานของจานต้นแบบจะทำการทดสอบที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังระหว่างวันที่ 21-24 เมษายน พ.ศ. 2561 ช่วงเวลา 8:30-16:30 น. พบว่า ณ จุดโฟกัสของจานมีพื้นที่ในการรวมแสง 0.07 ตารางเมตร จึงมีอัตราส่วนการรวมแสงหรืออัตราส่วนของพื้นที่รับแสงของจานต่อพื้นที่รวมแสง ณ จุดโฟกัสมีค่าเท่ากับ 132 มีอุณหภูมิสูงสุด ณ จุดโฟกัสคือ 724.3 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิเฉลี่ย 623.5 องศาเซลเซียสและจากการหาพลังงานการรวมแสงของจานโดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อนจากการต้มน้ำด้วยหม้อที่มีพื้นที่รับความร้อน 0.03 ตารางเมตรพบว่าจานรวมแสงสามารถรวมพลังงานแสงอาทิตย์ได้ 3212.84 วัตต์ หากใช้ข้อมูลเทียบความเข้มแสงเฉลี่ยของวันที่ทำการทดลอง ซึ่งมีค่า 765 วัตต์ต่อตารางเมตร ดังนั้นจานต้นแบบสามารถรวมแสงคิดเป็น 45 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Performance Investigation on Modified Satellite Dish as Solar Parabolic Dish Concentrator
Student	Miss Paveena Meksuksai
Student ID.	58601125
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sutapat Kwankaomeng

ABSTRACT

Thailand is in the tropical area and has average solar intensity of 18.2 MJ/ m²-day. Therefore, the government is encouraging and promoting solar energy utilization for clean and sustainable energy. The solar thermal systems are emerging to produce mechanical energy and electricity by many technologies. Parabolic solar concentrating technology has a good efficiency and use a small area. Therefore, this project aims design, manufacture and test on solar parabolic dish concentrator. The satellite dish was adapted to be the solar parabolic dish. The selective dish has dimension diameter and depth of 3.2 m and 0.67 m respectively which has aperture area and focal point from bottom of 9.32 m² and 0.955 m, consecutively. The solar parabolic dish can turn on two axes to track the sun light. Temperature and solar characteristic at the focal point were observed that on three reflective materials consisting of mirror, aluminum foil, and PET aluminum. From the preliminary investigation the mirror provided the maximum at the focal point compared to that of other materials. Hence, mirror was used and laminated on the satellite dish. The experiments were conducted at Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Testing on April 21-24, 2018 during 8:30 a.m.–16:30 p.m., at the focal point of the parabolic dish has concentration area and ratio of 0.07 m² and 132, respectively. The prototype dish can collect solar energy with the maximum temperature at the focal point of 743 °C and average temperature of 623.5 °C. In the experimental test of boiling water, the pot has receiving area of 0.03 m². Power of parabolic dish can be produced 3.21 kW and 45% efficiency with respect to the average solar intensity of 765 W/m².

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ ต้องขอขอบคุณคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร. สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังและเป็นผู้ตรวจทาน ต้นฉบับวิทยานิพนธ์ของข้าพเจ้า รวมถึงอำนวยความสะดวกด้านเครื่องมือ ห้องปฏิบัติการวิจัยตลอด ระยะเวลาที่ทำการศึกษาค้นคว้าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จาก อาจารย์เป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษาประเทศไทย (สกอ.) ที่ให้ทุนอุดหนุนสำหรับ งานวิจัย ซึ่งมีส่วนผลักดันทำให้เกิดหัวข้อปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ได้ ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอด ประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า รวมทั้งเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่คอยให้แนะนำใน เรื่องต่างๆ เสมอมา

ขอขอบคุณทีมงานวิจัยจากห้องปฏิบัติการเครื่องยนต์พลังงานสะอาด (Green Energy Engine Research Laboratory, GEER LAB) รวมทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ แห่งภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกคนที่ร่วมกันทดลองพร้อมให้ความช่วยเหลือตลอด คำแนะนำต่างๆ แก่ข้าพเจ้า โดยเฉพาะนางสาวสิริธร เลี้ยงวันพร, นางสาวนัทธมน เขียวอ่อนและ นายภักดิ์ ไหมหอมทองคำ ที่อยู่เคียงข้างข้าพเจ้าตลอดการศึกษาวิตยานิพนธ์ ผู้ซึ่งเป็นเสมือนเพื่อน คู่คิดและมอบกำลังใจที่ดีตลอดมา

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม กเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่มอบงานรับสัญญาณดาวเทียมในการออกแบบและสร้างสำหรับ วิทยานิพนธ์ครั้งนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าต้องขอขอบพระคุณทุกการสนับสนุนและโอกาสทางการศึกษาปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้ของบิดามารดาและมิตรสหายของบิดาที่ให้ความช่วยเหลือในการปฏิบัติงานและเอื้อเพื่อ สถานที่โรงงานในการสร้างงานวิจัยรวมถึงกำลังใจที่สำคัญจากบทเพลง Hall of Fame - The Script ที่ทำให้ข้าพเจ้าสามารถลุกขึ้นยืน เมื่อยามที่ข้าพเจ้าท้อกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าจึงสามารถทำ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จจุล่งอย่างสมบูรณ์ ข้าพเจ้าขอบอภวิทยานิพนธ์อันมีคุณค่าและมีประโยชน์ ฉบับนี้แต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ปวีณา เมฆสุกใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ iii างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	5
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	6
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
บทที่ 3 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
3.1 พลังงานแสงอาทิตย์.....	13
3.2 ลักษณะของแสง.....	22
3.3 ลักษณะของดวงอาทิตย์.....	24
3.4 ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์.....	33
3.5 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.....	38
3.6 ทฤษฎีพาราโบลา.....	56
3.7 ประสิทธิภาพการรวมแสง.....	59
3.8 ระบบติดตามแสงอาทิตย์.....	61
บทที่ 4 หลักการออกแบบและสร้างจันรวมแสงต้นแบบ.....	63
4.1 การออกแบบจันรวมแสงต้นแบบ.....	63
4.2 การตรวจสอบความเป็น parabola ของจันรับสัญญาณดาวเทียม.....	64
4.3 การออกแบบระบบควบคุมจันรวมแสงต้นแบบ.....	68
4.4 การออกแบบส่วนประกอบโครงสร้างของจันรวมแสงต้นแบบ.....	74
4.5 การออกแบบเสาที่รับน้ำหนักจันรวมแสงต้นแบบ.....	75

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.6 การเลือกวัสดุสำหรับการสะท้อนรังสีของดวงอาทิตย์.....	80
4.7 การศึกษาประสิทธิภาพในการติดตั้งตัวอย่างคุ้มค่า.....	82
4.8 การประกอบจานรวมแสงต้นแบบ.....	86
บทที่ 5 ผลการทดสอบและอภิปรายผลการทดลอง.....	88
5.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสะท้อนแสงของวัสดุ.....	88
5.2 การทดสอบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งจุดโฟกัสของจานรวมแสง.....	89
5.3 การทดสอบความสามารถในการรวมพลังงานของจานรวมแสง.....	96
5.4 การทดสอบความสามารถในการรวมแสงของจานรวมแสง.....	98
5.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบจานรวมแสงต้นแบบ.....	100
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	100
6.1 การศึกษาประสิทธิภาพของการสะท้อนแสง.....	104
6.2 การทดสอบอุณหภูมิที่จุดโฟกัสและกำลังที่จานรวมแสงสามารถทำได้.....	105
6.3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของจานรวมแสงพาราโบลิค.....	107
6.4 ข้อเสนอแนะ.....	109
เอกสารอ้างอิง.....	110
ภาคผนวก.....	113
ภาคผนวก ก.....	114
ภาคผนวก ข.....	116
ภาคผนวก ค.....	119
ภาคผนวก ง.....	126
ประวัติผู้เขียน.....	137

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบงานรวมแสงพาราโบลิกของงานวิจัยที่ได้มีการศึกษา.....	11
3.1 ข้อมูลเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์รายเดือนในประเทศไทยประจำปีพ.ศ. 2554-2559...	21
3.2 การผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิกของพื้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกา.....	41
3.3 ประเทศที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิก.....	42
3.4 ประเทศที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีระบบหอคอย.....	48
3.5 ประเทศที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีรวมแสงชนิดระบบงานพาราโบลิก.....	54
3.6 กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี ค.ศ. 2016.....	55
3.7 เปรียบเทียบเทคโนโลยีรวมแสง.....	56
4.1 ค่าพารามิเตอร์งานรวมแสงพาราโบลิก.....	66
4.2 แสดงค่ามุม Azimuth และมุม Elevation ของดวงอาทิตย์.....	69
4.3 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์.....	71
4.4 ค่าพารามิเตอร์ของชุดระบบขับเคลื่อน.....	73
4.5 ค่าพารามิเตอร์แบบจำลองโครงสร้างพาราโบลิก.....	80
4.6 ผลการทดสอบความสามารถการสะท้อนแสงของวัสดุ.....	81
4.7 ข้อมูลที่สำคัญของกระจกที่ขนาดต่างๆ.....	84
5.1 ผลการทดสอบความสามารถการสะท้อนแสงของวัสดุ.....	88
5.2 แสดงคุณสมบัติวัสดุสะท้อนแสง.....	89
5.3 ผลการทดสอบอุณหภูมิที่จุดโฟกัสของงานรวมแสงต้นแบบ.....	91
5.4 เปรียบเทียบงานรวมแสงต้นแบบ.....	101
5.5 แสดงการเปรียบเทียบผลงานวิจัยที่ได้ศึกษาของการทดสอบอุณหภูมิงานรวมแสง.....	101
6.1 ผลการทดสอบความสามารถการสะท้อนแสงของวัสดุ.....	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 การใช้พลังงานของประเทศไทยช่วง 11 เดือน (ม.ค.-พ.ย.) ปี 2560.....	1
1.2 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560	2
1.3 แผนที่แสดงความเข้มของรังสีทั่วโลก.....	3
1.4 การทำงานของระบบจานรวมแสงพาราโบลิก.....	4
2.1 จานรวมแสงของคมสัน สุคันธวิชและทวิวัฒน์ สุภารส.....	6
2.2 solar parabolic dish thermoelectric generator.....	7
2.3 จานรวมแสงสำหรับใช้ในห้องครัว.....	7
2.4 จานรวมแสงที่ถูกออกแบบ.....	8
2.5 จานรวมแสงลักษณะให้ความร้อน 2 แหล่ง.....	8
2.6 The device in the cooking mode.....	9
2.7 กลีบลโลหะที่มีการออกแบบ.....	10
2.8 การทดสอบจานรวมแสงทั้ง 3 จาน.....	10
2.9 จานรวมแสงของนายเพชร จันบรรจงและคณะ.....	11
2.10 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางและอุณหภูมิเฉลี่ยของงานวิจัยที่มีการศึกษา.....	12
3.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วโลก	13
3.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในทวีปแอฟริกา	14
3.3 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในทวีปละตินอเมริกาและแคริบเบียน	15
3.4 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในทวีปอเมริกาเหนือ	16
3.5 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในทวีปยุโรป	16
3.6 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในทวีปเอเชีย.....	17
3.7 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศสเปน.....	18
3.8 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย.....	19
3.9 แผนที่แสดงความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนต่างๆ.....	20
3.10 กราฟแสดงข้อมูลความเข้มรังสีในประเทศไทยโดยเฉลี่ยประจำปี พ.ศ. 2554-2559...	21
3.11 แถบรังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	22
3.12 ปรากฏการณ์การสะท้อนแสง.....	23

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 การเกิดการสะท้อนกลับหมดของแสง	23
3.14 ลักษณะการหักเหของแสง	24
3.15 ลักษณะของดวงอาทิตย์	25
3.16 สเปกตรัมของแสง.....	25
3.17 การเดินทางของรังสีดวงอาทิตย์มาพื้นผิวโลก.....	26
3.18 การเปลี่ยนแปลงรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลกในวันต่างๆ.....	26
3.19 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่เดินทางมายังพื้นผิวโลก.....	27
3.20 การดูดกลืนและการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง.....	28
3.21 เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ไพราโนมิเตอร์.....	30
3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์และโลก.....	34
3.23 แผนภูมิโซนเวลา.....	34
3.24 แสดงระยะทางเชิงมุมชั่วโมง.....	35
3.25 มุมเอียงที่มีการเปลี่ยนแปลงจากช่วงฤดูร้อนในซีกโลกเหนือไปจนถึงช่วงฤดูหนาวในซีกโลกเหนือ.....	36
3.26 แสดงระยะทางเชิงมุมคติเส้นชั้น.....	36
3.27 แสดงระยะทางเชิงมุมอัลติจูดหรือมุมเอลิเวชัน.....	37
3.28 แสดงระยะทางเชิงมุมเซนนิธ.....	37
3.29 แสดงระยะทางเชิงมุมอะซิมูท.....	38
3.30 รังสีความร้อนอาร์คิมิดีส.....	39
3.31 หลักการทำงานระบบรวมแสงแบบรางพาราโบลิก.....	40
3.32 ระบบรางพาราโบลิกที่ทะเลทรายโมฮาวี รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา.....	42
3.33 ระบบรางพาราโบลิก อำเภอห้วยกระเจา จังหวัดกาญจนบุรี.....	46
3.34 หลักการทำงานเทคโนโลยีรวมแสงชนิดระบบหอคอย.....	47
3.35 ระบบหอคอยประเทศตูนีเซีย.....	47
3.36 หลักการทำงานเทคโนโลยีรวมแสงระบบจานพาราโบลิก.....	50
3.37 จานรวมแสงพาราโบลิกที่มีการใช้งานกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงของโครงการ NER300..	51
3.38 จานรวมแสงพาราโบลิกที่ใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงของโครงการ DISTAL I..	51
3.39 จานรวมแสงพาราโบลิกที่ใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงของโครงการ DISTAL II..	52
3.40 จานรวมแสงพาราโบลิกที่ใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงของโครงการ EUROdish	53
3.41 จานรวมแสงพาราโบลิกของโครงการ India One.....	53
3.42 พื้นที่ติดตั้งโรงผลิตไฟฟ้าในประเทศสเปน.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.43 พารามิเตอร์ของจานพาราโบลิก.....	57
3.44 รูปทรงเรขาคณิตของพาราโบลา.....	57
3.45 รังสีของดวงอาทิตย์เป็นคู่ขนานไปกับแกนพาราโบลาจะสะท้อนผ่านจุดโฟกัส.....	58
3.46 ความแปรผันระหว่างเส้นโค้งของพาราโบลิกและระยะโฟกัส.....	59
3.47 Imaging concentrating collector model.....	60
3.48 ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน.....	62
3.49 ตัวอย่างแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์.....	62
4.1 แสดงขั้นตอนการออกแบบและสร้างจานรวมแสงต้นแบบ.....	63
4.2 แสดงพาราโบลาที่มีจุดโฟกัสและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับแสงตำแหน่งเดียวกัน.....	65
4.3 แสดงพาราโบลาที่มีมุมขอบต่างๆ.....	65
4.4 โครงสร้างจานรับสัญญาณดาวเทียมที่ถูกมาประยุกต์เป็นจานรวมแสงอาทิตย์.....	66
4.5 โครงสร้างจานรับสัญญาณดาวเทียมก่อนการติดตั้งสะท้อนแสง.....	67
4.6 แสดงตัวอย่างการใช้งานหน้า www.sunearthtools.com	68
4.7 แสดงชุดระบบขับเคลื่อนจานรวมแสงต้นแบบ.....	70
4.8 มอเตอร์เกียร์ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อน.....	71
4.9 ชุดเฟืองตัวหนอนของระบบขับเคลื่อน.....	71
4.10 ตัวอย่างของระบบจานรวมแสงที่มีตัวขับเคลื่อนอยู่ด้านหน้าของจานรวมแสง.....	74
4.11 จานรวมแสงต้นแบบที่ได้รับการออกแบบสำหรับงานวิจัย.....	75
4.12 พื้นที่หน้าตัดของเสาที่ใช้รับน้ำหนักจานรวมแสงต้นแบบ.....	76
4.13 แสดงค่า K ของเสา โดยกรณีของงานวิจัยนี้เป็นแบบ Fixed-Free.....	77
4.14 ความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อเสามีการรับน้ำหนัก 300 กิโลกรัม.....	78
4.15 ความเครียดที่เกิดขึ้นเมื่อเสามีการรับน้ำหนัก 300 กิโลกรัม.....	79
4.16 การบิดงอไปจากตำแหน่งเดิมที่เกิดขึ้นเมื่อเสามีการรับน้ำหนัก 300 กิโลกรัม.....	79
4.17 ความโก่งของเสาที่เกิดขึ้นเมื่อมีการรับน้ำหนัก 300 กิโลกรัม.....	70
4.18 แบบจำลองโครงสร้างพาราโบลิก.....	81
4.19 ลักษณะของแสงที่เกิดขึ้นของวัสดุสะท้อนแสง.....	81
4.20 การหาตำแหน่งของชั้นกระจก.....	82
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระจกกับราคาและพื้นที่การสูญเสียความร้อน.....	84
4.22 กระจกขนาด 5x5 เซนติเมตร ถูกนำมาติดตั้งเป็นวัสดุสำหรับการสะท้อนแสง.....	85
4.23 แสดงขั้นตอนการประกอบจานรวมแสงต้นแบบ.....	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่อ ix ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.24 จานรวมแสงต้นแบบที่ได้รับการออกแบบและสร้าง.....	87
5.1 ลักษณะของแสงที่เกิดขึ้นของวัสดุสะท้อนแสง.....	88
5.2 ระบบจานรวมแสงต้นแบบพาราโบลิกแบบที่พร้อมใช้ในทำการทดสอบ.....	90
5.3 แสดงรังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนเข้า ณ ตำแหน่งโฟกัสของจานรวมแสงต้นแบบ.....	90
5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสและเวลา.....	92
5.5 กราฟอุณหภูมิ ณ จุดโฟกัสและความเข้มรังสีรายชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลาทำการทดลอง.....	94
5.6 กราฟอุณหภูมิ ณ จุดโฟกัสและความเข้มรังสีรายชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลาทำการทดลอง.....	94
5.7 กราฟอุณหภูมิ ณ จุดโฟกัสและความเข้มรังสีรายชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลาทำการทดลอง.....	95
5.8 กราฟอุณหภูมิ ณ จุดโฟกัสและความเข้มรังสีรายชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลาทำการทดลอง.....	95
5.9 แสดงการทดสอบหาพลังงานที่ใช้ได้ของจานรวมแสงต้นแบบ.....	96
5.10 ตำแหน่งที่เส้นรังสีของดวงอาทิตย์มีการสะท้อนผ่านกันมากที่สุด.....	96
5.11 พื้นที่การรวมรังสีของดวงอาทิตย์ที่มีการสะท้อน ณ จุดโฟกัส.....	98
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตัวรับแสงกับอัตราส่วนการรวมแสง.....	99
5.13 จานรวมแสงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน.....	100
6.1 แสดงพาราโบล่าที่มีจุดโฟกัสและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับแสงตำแหน่งเดียวกัน.....	103
6.2 จานรวมแสงต้นแบบที่ได้รับการออกแบบ สร้างและทดสอบสำหรับงานวิจัยครั้งนี้.....	104
6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสและเวลา.....	106
6.4 พื้นที่รับแสงจากจานรวมแสงต้นแบบ.....	107
6.5 จานรวมแสงที่มีการใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์สโตลิงในห้องปฏิบัติการ.....	108
6.6 ใอน้ำที่ทางออกจากการที่น้ำวิ่งไหลผ่านท่อทองแดง.....	108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันพลังงานเป็นปัจจัยที่สำคัญในการพัฒนาประเทศในทุกๆ ด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านเกษตรกรรม, ขนส่ง, อุตสาหกรรมหรือการดำเนินชีวิตของมนุษย์ล้วนจะต้องใช้พลังงานเป็นต้นทุนในการผลิตแทบทั้งสิ้น จากข้อมูลรายงานสถานการณ์การใช้พลังงานของประเทศไทย พบว่าประเทศไทยมีการใช้เชื้อเพลิงพลังงานจากฟอสซิลเป็นจำนวนมาก โดยการใช้พลังงานดังกล่าวทำให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศ คือ การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จำนวนมาก ฝุ่นละอองต่างๆที่จะทำให้เกิดเป็นสาเหตุของการเกิดสภาวะโลกร้อนและมีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชน และนอกจากนี้ประเทศไทยยังมีการใช้พลังงานมากเกินกว่าที่ผลิตออกมาได้ ทำให้ประเทศไทยจำเป็นต้องมีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ซึ่งในช่วง 11 เดือนที่ผ่านมา ตั้งแต่เดือนมกราคม – พฤศจิกายนของปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงานคิดเป็นมูลค่ากว่า 787,152 ล้านบาท โดยมีการนำเข้าน้ำมันดิบมากที่สุด [1] จากรูปที่ 1.1 แสดงการใช้พลังงานของประเทศไทยช่วง 11 เดือนของปี 2560

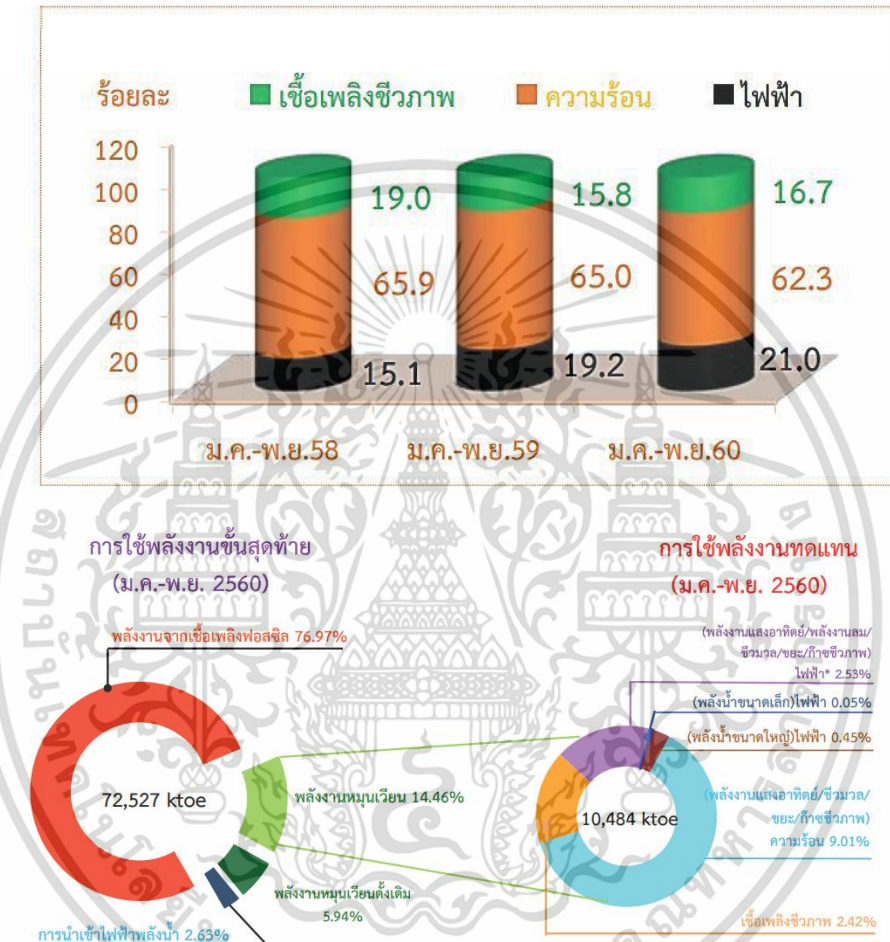


รูปที่ 1.1 การใช้พลังงานของประเทศไทยช่วง 11 เดือน (ม.ค.-พ.ย.) ปี 2560

รัฐบาลไทยจึงได้ตระหนักถึงปัญหาดังกล่าวและมีนโยบายส่งเสริมการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนที่มีอยู่ภายในประเทศให้เพิ่มมากขึ้น พร้อมทั้งพัฒนาศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทนด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม เนื่องจากพลังงานทดแทนเป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่มีขีดจำกัดและเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งป้องกันการเกิดปัญหาสภาวะโลกร้อนได้เป็นอย่างดี และยังมีอีกหลายประเทศทั่วโลกที่มีการสนับสนุนการนำพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) มาใช้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

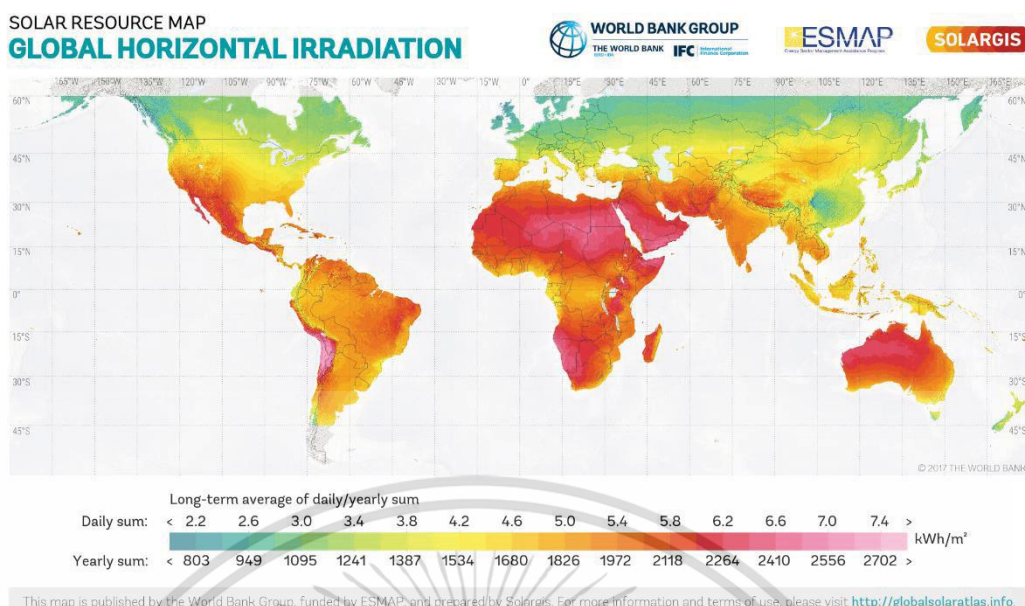
สำหรับการใช้พลังงานทดแทนในประเทศไทยก็ได้มีการสำรวจการใช้พลังงานในด้านต่างๆ เช่นกัน จากสถิติการใช้พลังงานในประเทศไทยที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [1] พบว่าในปี พ.ศ. 2560 ประเทศไทยมีการใช้พลังงานทดแทน 10,484 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ซึ่งเพิ่มขึ้นร้อยละ 4.1 จากช่วงเดียวกันของปีก่อน โดยมีการแบ่งข้อมูลการใช้พลังงานทดแทนตามประเภทต่าง ๆ ดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2560 [1]

และเมื่อศึกษาทางด้านทรัพยากรพลังงานทดแทนเพื่อให้มีการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ นั้นพบว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่สามารถนำทรัพยากรมาใช้ให้เกิดประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนได้ค่อนข้างมาก เพราะประเทศไทยมีผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก ซึ่งเป็นแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตพลังงานทดแทนทางด้านชีวมวล อีกทั้งยังมีศักยภาพสูงสำหรับการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ เนื่องจากประเทศไทยมีเขตที่ตั้งอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตร จากรูปที่ 1.3 จะเห็นว่าประเทศไทยเป็นอีกประเทศหนึ่งที่สามารถได้รับความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ได้สูง โดยมีค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 18-19 MJ/m²-day

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.3 แผนที่แสดงความเข้มของรังสีทั่วโลก [2]

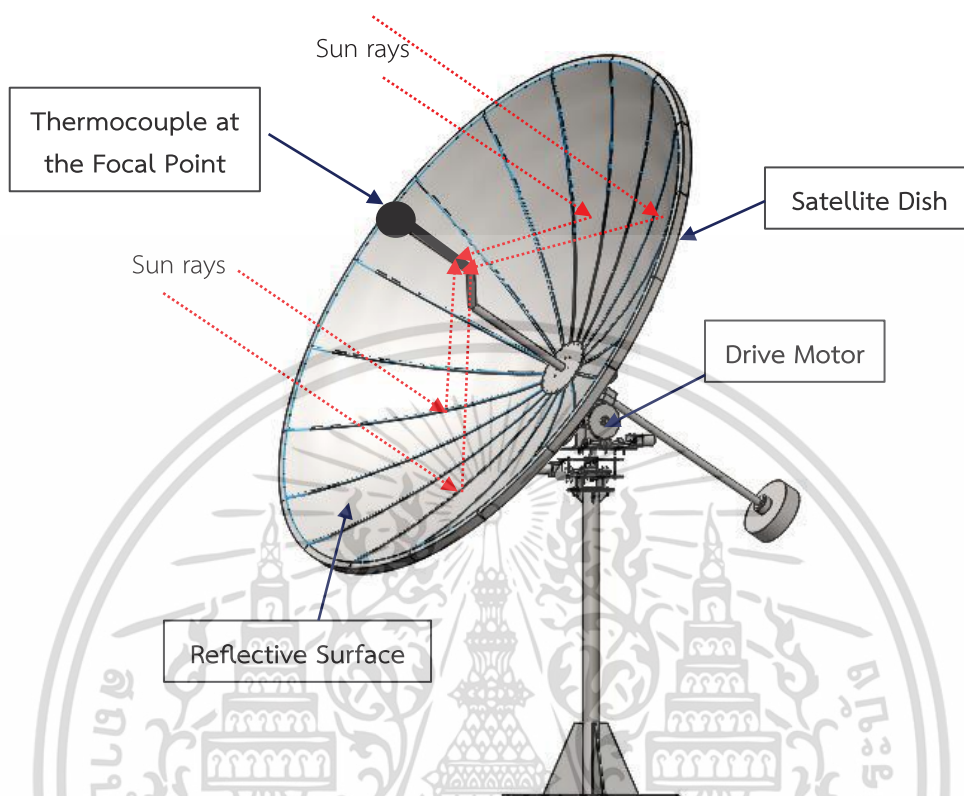
พลังงานแสงอาทิตย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวางไม่ว่าจะเป็น ด้านไฟฟ้า, ด้านความร้อน, การอบแห้ง, การต้มน้ำร้อนให้สะอาด, หรือการขนส่ง ซึ่งการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างเต็มที่ จำเป็นต้องอาศัยการวิจัยและการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ เข้ามาสนับสนุนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในปัจจุบันมีการพัฒนาและนำเทคโนโลยีมาใช้อย่างมาก โดยเฉพาะการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีอยู่ 2 ประเภทที่สำคัญ คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (photovoltaic: PV) และ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยการรวมแสงอาทิตย์ (concentrating solar power) ซึ่งจะประกอบด้วยเทคโนโลยีระบบรางพาราโบลา (Parabolic trough), ระบบหอคอย (Power tower), และระบบจานพาราโบลา (Parabolic dish) เป็นต้น

โดยเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าด้วยการรวมแสงที่นำเสนออย่างหนึ่ง คือเทคโนโลยีระบบจานรวมแสงพาราโบลา ซึ่งจุดเด่นของเทคโนโลยีระบบรางพาราโบลา คือ มีประสิทธิภาพในการรวมแสงสูง และยังใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อย เมื่อเทียบกับระบบหอคอยและระบบรางพาราโบลาที่ต้องการพื้นที่จำนวนมาก อีกทั้งยังเป็นเทคโนโลยีที่สามารถประยุกต์การใช้งานเข้ากับเครื่องยนต์สเตอเลิงที่ทำงานได้ด้วยความร้อนเพื่อผลิตพลังงานทางกลได้ ดังนั้นการพัฒนาการออกแบบจานรวมแสงพาราโบลาให้สามารถนำมาใช้กับพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย จึงเป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจและยังสามารถผลิตได้ในราคาที่เริ่มต้นทุนต่ำ เหมาะสมกับเศรษฐกิจสำหรับประเทศไทย โดยระบบจานรวมแสงพาราโบลาคือหลักการสะท้อนความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ไปยังบริเวณจุดๆ เดียวของจานรวมแสงหรือที่เรียกว่าตำแหน่งโฟกัสของจานเพื่อให้ได้พลังงานความร้อน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบจานรวมแสงพาราโบลาโดยมีการประยุกต์ใช้จากจานดาวเทียมรับสัญญาณให้มีประสิทธิภาพในการรวมแสงและพลังงานของจานรวมแสงที่ผลิตได้สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองรับเครื่องยนต์สเทอลิงที่จะถูกนำมาติดตั้งเพื่อใช้งานร่วมกันในอนาคตได้ โดยที่จางรวมแสงต้นแบบสามารถสร้างได้ในราคาที่เหมาะสม ซึ่งระบบจางรวมแสงต้นแบบจะแสดงดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 การทำงานของระบบจางรวมแสงพาราโบลิก

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติวัสดุสะท้อนแสงที่เหมาะสมกับจางรวมแสงต้นแบบ
- 1.2.2 เพื่อทำการออกแบบและสร้างจางรวมแสงต้นแบบ ให้คุ้มค่ากับราคาของการผลิต
- 1.2.3 เพื่อศึกษาพลังงานความร้อนและกำลังที่ได้จากจางรวมแสงต้นแบบ

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 วัสดุที่มีประสิทธิภาพในการสะท้อนแสงของรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุดคือ กระจก
- 1.3.2 พื้นที่รับแสงของจางที่มากขึ้นจะทำให้สามารถผลิตอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสได้สูงขึ้น

1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 สร้างระบบจางรวมแสงพาราโบลิกจากจางรับสัญญาณดาวเทียมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เมตร
- 1.4.2 ทำการทดสอบจางรวมแสงพาราโบลิกภายใต้ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์เฉลี่ยที่ต่ำสุด ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.5.1 กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย
- 1.5.2 ศึกษาทฤษฎีงานรวมแสงพาราโบลิก วิธีการคำนวณเชิงตัวเลข และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานรวมแสงพาราโบลิก
- 1.5.3 คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องตามทฤษฎีที่มีการยอมรับ
- 1.5.4 ออกแบบงานรวมแสงพาราโบลิก
- 1.5.5 จัดเตรียมอุปกรณ์และหาวัสดุในการสร้าง
- 1.5.6 สร้างระบบงานรวมแสงพาราโบลิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เมตร
- 1.5.7 ทำการทดสอบงานรวมแสงพาราโบลิก
- 1.5.8 อภิปรายผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบระบบงานรวมแสงพาราโบลิก
- 1.5.9 สรุปผลและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

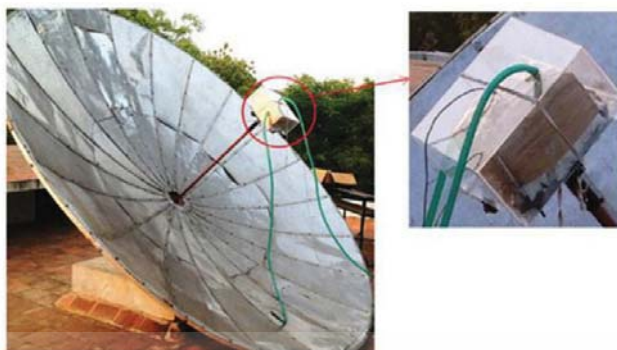
ปี 2010 คมสัน สุคันธวิช และ ทวีวัฒน์ สุภารส [3] ได้นำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องรับรังสีดวงอาทิตย์แบบดิस्क โดยจากรวมแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตร, พื้นที่ผิวรับแสง 1.95 ตารางเมตร และวัสดุที่ใช้การสะท้อนรังสีของดวงอาทิตย์คือ อลูมิเนียมฟลอยด์ ในการทดสอบระบบน้ำถูกนำมาใช้เป็นสารแลกเปลี่ยนความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีการแบ่งอัตราการไหลของน้ำเป็น 3 ลักษณะ คือ 0.5 ลิตรต่อนาที, 0.6 ลิตรต่อนาที และ 0.7 ลิตรต่อนาที และมีการปรับงานพาราโบลิกทุก 15 องศาต่อชั่วโมง ซึ่งจากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของระบบสำหรับการแลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 42% ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.5 ลิตรต่อนาที ในช่วงเวลา 11.00-12.00 น. โดยอัตราการไหลของน้ำจะมีการแปรผกผันกับสมรรถนะของระบบจากรวมแสงพาราโบลิกแบบดิस्क กล่าวคืออัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นสมรรถนะและอุณหภูมิจะลดลง



รูปที่ 2.1 จานรวมแสงของคมสัน สุคันธวิชและทวีวัฒน์ สุภารส

ปี 2013 G.Muthu และคณะ[4] ได้นำเสนอการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric generator) กับจากรวมแสงพาราโบลิกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.65 เมตรและวัสดุที่ถูกนำมาใช้ในการสะท้อนแสงคือ แผ่นอลูมิเนียม โดยจุดโฟกัสจะมีตัวรับที่เป็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก (thermoelectric modules) และถูกอะคริครอบไว้ ในการทดลองได้ใช้หลักการของปรากฏการณ์ซีแบค (Seebeck effect) โดยให้อัตราการไหลของน้ำคงที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อน จากผลการทดสอบประสิทธิภาพความร้อนของจากรวมแสงพาราโบลิกที่ได้คือ 67% อุณหภูมิสูงสุดคือ 109.85 องศาเซลเซียสสำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีอะคริครอบ ซึ่งสูงกว่า 1.56% เมื่อเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่มีอะคริครอบ ที่ความเข้มรังสี 1,050 W/m² เท่ากัน ขณะที่แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกคือ 4 โวลต์ ซึ่งสูงกว่าเทอร์โมอิเล็กทริกแบบไม่มีอะคริครอบถึง 10.75% และกำลังไฟฟ้าที่ได้คือ 2.51%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 solar parabolic dish thermoelectric generator

ปี 2014 Bily Anak Sup และคณะ [5] ได้ศึกษาผลกระทบของมุมขอบต่อเส้นผ่านศูนย์กลางในการกระจายตัวฟลักซ์บนจานรวมแสงพาราโบลา โดยการจำลองได้มีการวาดภาพ 2D ด้วยคอมพิวเตอร์และเปลี่ยนแปลงค่าของเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 17 มิลลิเมตรถึง 286 มิลลิเมตร และจากผลการจำลองทางโปรแกรม พบว่ามุมขอบที่จะทำให้พื้นที่ตัวรับมีขนาดเล็กคือ 37 มิลลิเมตร ซึ่งได้สรุปได้ว่ามุมขอบจะเป็นตัวกำหนดความยาวโฟกัสของจานพาราโบลา เพื่อให้จะได้รับความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด ประสิทธิภาพของจานรวมแสงพาราโบลาก็จะขึ้นอยู่กับความเข้มของฟลักซ์บริเวณจุดโฟกัส และพื้นที่โฟกัสมีผลต่อทั้งประสิทธิภาพเชิงแสงและอัตราส่วนของจานรวมแสงพาราโบลาลึก

ปี 2006 José M. Arenas [6] ได้ทำการออกแบบและสร้างจานรวมแสงสำหรับใช้งานในห้องครัว โดยโครงสร้างทำจากแท่งอลูมิเนียมมาประกอบกันเป็นรูปจานรวมแสงพาราโบลาที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 เซนติเมตร สามารถพับเก็บได้ (ลักษณะคล้ายร่ม) มีพื้นที่รวมแสง 0.78 m^2 และแผ่นฟิล์มโพลิโพรพิลีนความหนา 45 มิลลิเมตร ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุสะท้อนแสง สำหรับการทดสอบกระทะอลูมิเนียมสี่ตาพร้อมน้ำ 1.51 ลิตรจะถูกนำมาวางไว้ที่จุดโฟกัสของจานรวมแสง และวัดอุณหภูมิของน้ำโดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ (thermopar probe) เวลาในการทดสอบคือ 120 นาทีและปรับจานพาราโบลาทุก ๆ 20 นาที ผลจากการวิเคราะห์พลังงานแสงอาทิตย์สำหรับห้องครัว พลังงานเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 175 วัตต์ และมีประสิทธิภาพคือ 26.6 %



รูปที่ 2.3 จานรวมแสงสำหรับใช้ในห้องครัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเชิงวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

N.D. Kaushika and K.S. Reddy [7] ทำการพัฒนาและออกแบบจานรวมแสงต้นทุนต่ำที่มีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตไอน้ำ โดยจานรวมแสงที่นำมาตรวจสอบมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.405 เมตร, ตำแหน่งโฟกัส 0.96 เมตรและมีวัสดุสะท้อนแสงคือแผ่นอลูมิเนียมที่มีช่วงการสะท้อนแสง 80-90 % จากการทดสอบเบื้องต้นรวมทั้งวิเคราะห์สมรรถนะความสามารถการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไอน้ำ จานรวมแสงมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ 70-80% ที่ 450 องศา โดยมีราคา Rs 8000-9000/m²



รูปที่ 2.4 จานรวมแสงที่ถูกออกแบบ

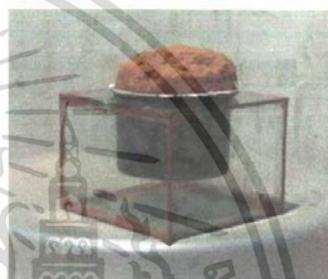
Krissadang Sookramon และคณะ [8] นำเสนอเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพาราโบลิค ในลักษณะให้แหล่งความร้อน 2 ชั้นตอน โดยในขั้นตอนแรกพลังงานแสงอาทิตย์จะตกกระทบบนที่พื้นของจานรวมแสงพาราโบลิคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.68 เมตร, ตำแหน่งโฟกัส 0.741 เมตรและแผ่นอลูมิเนียมถูกใช้เป็นวัสดุสะท้อนแสง ในขณะที่การให้แหล่งความร้อนชั้นตอนที่สอง จานดาวเทียมรูปร่างพาราโบลิคขนาด 0.625 เมตรและตำแหน่งโฟกัส 0.632 เมตร จะถูกติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งโฟกัสของจานรวมแสงแรกเพื่อจะสะท้อนพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จากการทดสอบพบว่าประสิทธิภาพของจานรวมแสงมีค่าเท่ากับ 26.291% โดยมีกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ 0.359 วัตต์และสำหรับประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า 3.71 %



รูปที่ 2.5 จานรวมแสงลักษณะให้ความร้อน 2 แหล่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ali A. Badran และคณะ [9] ได้ทำการออกแบบและทดสอบเครื่องผลิตน้ำอุ่นจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยประยุกต์จากจานดาวเทียมที่เคลือบด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ขนาด 1.50 เมตร เป็นตัวรับรังสีของดวงอาทิตย์และในการทดสอบความจุ้งมีการเก็บน้ำร้อนปริมาตร 30 ลิตร ซึ่งเป็นฉนวนโพลียูรีเทนโฟมติดตั้งบนฐานเหล็กตามที่ปรากฏดังรูป ผลการทดสอบอุณหภูมิถึงเพิ่มขึ้นจาก 20 °C เป็น 50 °C ประมาณ 2¼ ชั่วโมง ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการผลิตน้ำร้อนคือ 77 % และเมื่อทดสอบจานรวมแสงในโหมดการทำอาหาร หม้อหุงข้าวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 23 เซนติเมตรที่มีความสูง 18 ซม. และน้ำปริมาตร 7.5 ลิตรจะถูกวางไว้ที่ตำแหน่งโฟกัสของจานรับรังสี ผลจากการทดสอบพบว่าเมื่อต้มน้ำเปล่า 7 กิโลกรัมน้ำจะเดือดภายใน 1 ชั่วโมงและถ้านำหม้อใส่ลงในกล่องแก้วจะสามารถช่วยลดเวลาในการต้มน้ำให้เดือดเหลือแค่ 40 นาที ทำให้กำลังในการปรุงอาหารเพิ่มขึ้น 275 %



(a) The device in the cooking mode. (b) Cooking pot inside glass box.

รูปที่ 2.6 The device in the cooking mode

Gustavo Otero Prado และคณะ [10] ได้นำเสนอจานรวมแสงพาราโบลิกสำหรับการกลั่นน้ำ โดยการทดลองได้มีการใส่เกลือลงไปให้เป็นน้ำเค็มที่มีความเข้มข้น 0-4% ของเกลือทะเล และดำเนินการช่วงเวลาตั้งแต่ 9:00 – 16:00 นาฬิกา จากผลการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของจานรวมแสงอาทิตย์ในแง่ของการกรองน้ำ พบว่าปริมาณน้ำสูงสุดที่สามารถกลั่นได้คือ 4.95 kg/(m²-day) ซึ่งเป็นผลผลิตที่พอเพียงต่อความต้องการน้ำดื่มทุกวันของผู้ใหญ่อายุอย่างน้อยสองคน

Lifang Li และ Steven Dubowsky [11] ได้นำเสนอว่าการสร้างจานรวมแสงพาราโบลิกขนาดใหญ่จะมีราคาที่สูง จึงทำให้มีการนำเสนอรูปแบบการวิเคราะห์การออกแบบและสร้างจานพาราโบลิกขนาดใหญ่จากกระจกเงาที่ออกแบบจากกลีบโลหะที่มีรูปร่างบางและมีพื้นผิวสะท้อนแสงอย่างดี โดยแนวคิดนี้แสดงให้เห็นจากการวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบของไฟไนต์อีเลเมนต์และทดลองในห้องปฏิบัติการ ในการออกแบบชิ้นส่วนของจานจะถูกสร้างขึ้นจากแผ่นเหล็กซึ่งตัดเป็นกลีบ ซึ่งการทดสอบในห้องปฏิบัติการเลเซอร์ที่ถูกจำลองเป็นรังสีของดวงอาทิตย์จะถูกยิงกระจายไปที่ 40 จุดอย่างสม่ำเสมอบนจานพาราโบลิก โดยผลการทดสอบประสิทธิภาพพลังงานที่ได้จากการสะท้อนพบว่า มีค่าเท่ากับ 92.5 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

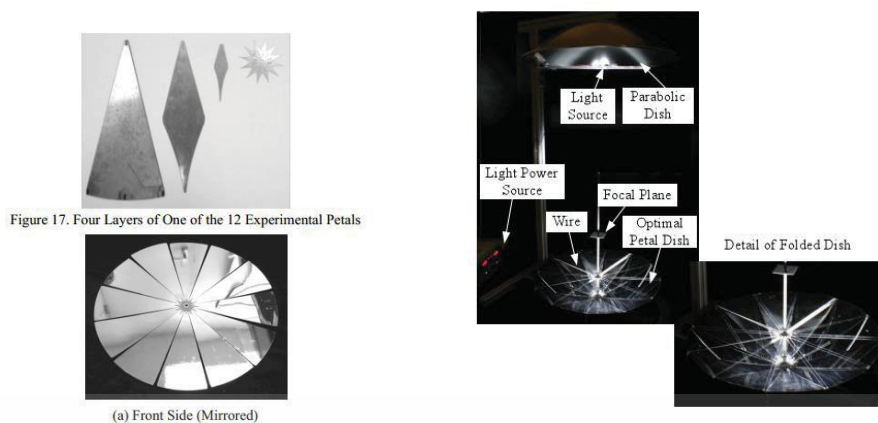


Figure 17. Four Layers of One of the 12 Experimental Petals

รูปที่ 2.7 กลีบโลหะที่มีการออกแบบ

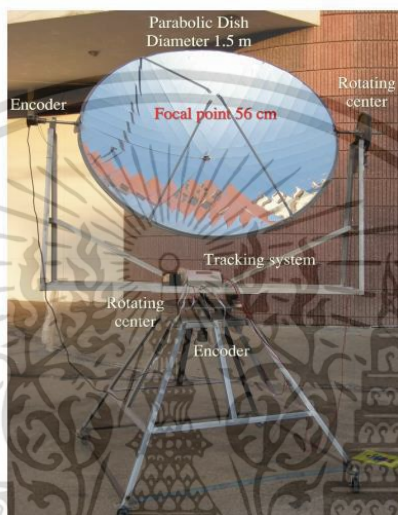
Y. Rafeeu และ M.Z.A. Ab Kadir [12] ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพความร้อนของจานรวมแสงพาราโบลิกทั้งหมด 3 จานที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน โดยจานแรกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 46 เซนติเมตร, ตำแหน่งโฟกัส 26.45 เซนติเมตร สำหรับจานที่สองมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร, ตำแหน่งโฟกัส 10.42 เซนติเมตรและทั้งสองมีวัสดุสะท้อนแสงคือ 3M aluminum film เหมือนกัน ขณะที่จานที่สามมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร, ตำแหน่งโฟกัส 12.66 เซนติเมตรและมีวัสดุสะท้อนแสงคือ stainless steel ซึ่งการทดสอบจานรวมแสงแสดงดังรูปที่ 1 และจากผลการทดสอบพบว่าจานรวมแสงที่มีวัสดุสะท้อนแสงคือ อลูมิเนียมพอลิเมอร์จะมีประสิทธิภาพความร้อนมากกว่า 60 % เมื่อเทียบกับจานรวมแสงที่มีวัสดุสะท้อนแสงเป็นสแตนเลสสตีลจะมีประสิทธิภาพ 50 % นอกจากนี้วัสดุสะท้อนแสงจะมีผลต่อประสิทธิภาพจานรวมแสงแล้ว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก็ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพจานรวมแสงเช่นกันโดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่ก็ทำให้สามารถมีพื้นที่รับแสงได้มากขึ้น



รูปที่ 2.8 การทดสอบจานรวมแสงทั้ง 3 จาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นายเพชร จั่นบรรจงและคณะ [13] ได้ทำการสร้างจานรวมแสงพาราโบลิกจากจานดาวเทียม ที่มีวัสดุสะท้อนรังสีของดวงอาทิตย์คือ อลูมิเนียม โดยขนาดจานมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตรและพื้นที่ฉาย 1.76 ตารางเมตร ซึ่งจากการทดสอบเบื้องต้นอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสที่ทำได้สูงสุดคือ 560 องศาเซลเซียส ในขณะที่การทดสอบการต้มน้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตรให้เดือดจากอุณหภูมิ 42 – 100 องศาเซลเซียส เพื่อตรวจสอบหากำลังที่จานรวมแสงผลิตได้จะใช้เวลา 7 นาที 3 วินาที ดังนั้นกำลังที่จานรวมแสงสามารถผลิตได้คือ 35 วัตต์

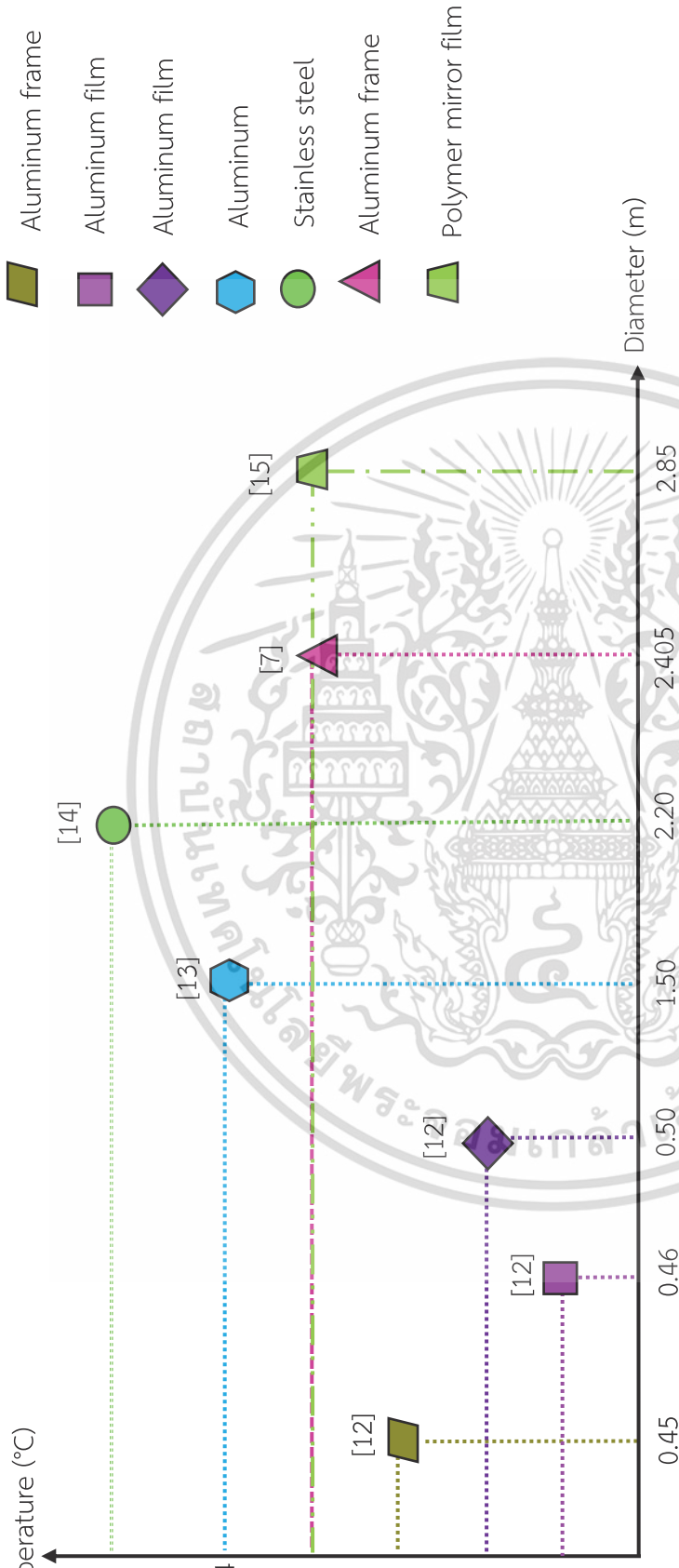


รูปที่ 2.9 จานรวมแสงของนายเพชร จั่นบรรจงและคณะ

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบจานรวมแสงพาราโบลิกของงานวิจัยที่ได้มีการศึกษา

งานวิจัย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(เมตร)	วัสดุสะท้อนแสง	อุณหภูมิเฉลี่ย ณ ตำแหน่งโฟกัส (°C)	ประเทศ
Y. Rafeeu, M.Z.A. Ab Kadir [12]	0.45	Stainless steel	113	มาเลเซีย
	0.46	Aluminum film	92	
	0.50	Aluminum film	97	
เพชร จั่นบรรจงและคณะ [13]	1.5	Aluminum	344.4	ไทย
A.R. El Ouederni และคณะ [14]	2.2	Stainless steel	380	ฝรั่งเศส
N.D. Kaushika, K.S. Reddy [7]	2.405	Aluminum frame	300	อินเดีย
I.Palavras, G.C. Bakos [15]	2.85	Polymer mirror film	300	กรีซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงการเปรียบเทียบเส้นผ่านศูนย์กลางและอุณหภูมิเฉลี่ยของงานวิจัยที่มีการศึกษา

[7] N.D. Kaushika, K.S. Reddy
 [12] Y. Rafeeu, M.Z.A. Ab Kadir
 [13] เพชร จันบรรจงและคณะ
 [14] A.R. El Ouederni และคณะ
 [15] I.Palavras, G.C. Bakos

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

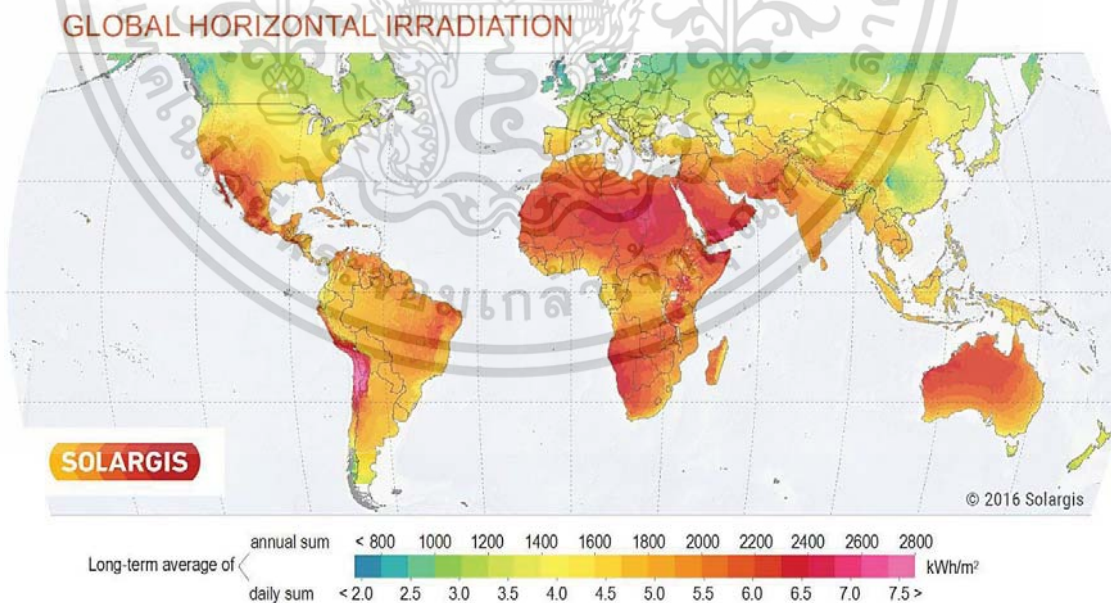
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy)

พลังงานจากแสงอาทิตย์จัดว่าเป็นพลังงานที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่ง เพราะเป็นต้นกำเนิดของสิ่งมีชีวิตต่างๆ บนโลกใบนี้เกือบทุกวัฏจักร และพลังงานแสงอาทิตย์ยังถือว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูงสามารถเกิดใหม่ได้อย่างไม่มีที่สิ้นสุด ในการใช้ประโยชน์พลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน, พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานทางกลได้ ในปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกได้นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นด้านการผลิตไฟฟ้า, ด้านการขนส่งหรือด้านการสื่อสาร เป็นต้น

3.1.1 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์บนโลก

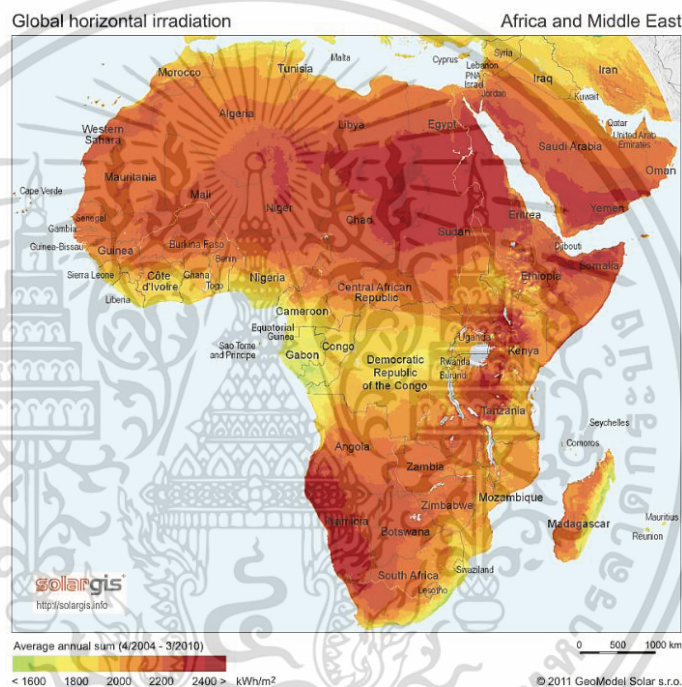
โลกมีหลากหลายภูมิภาคที่อุดมไปด้วยทรัพยากรพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งแผนที่ทรัพยากรพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงระดับสีที่ส่วนต่างๆ ของโลกที่มีศักยภาพในการได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะประเทศและภูมิภาคบริเวณรอบเส้นศูนย์สูตรจะแสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดีเหมาะสมสำหรับการพัฒนาโครงการพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วโลก [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนที่แสดงศักยภาพของพลังงานแสงอาทิตย์แถบที่มีความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์และเหมาะสมสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ คือ ทวีปแอฟริกาเหนือและตะวันออกกลาง มีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสี 1700-2700 kWh/m² per year ซึ่งซาอุดีอาระเบีย (Saudi Arabia) และทะเลทรายซาฮาราของตอนเหนือแอฟริกา (Sahara region of North Africa) เป็นบริเวณที่ได้รับความเข้มรังสีมากที่สุด และรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นถึงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในบริเวณทวีปของแอฟริกาว่าจะมีระดับการแผ่ความเข้มรังสีต่อปีมากกว่าสองเท่าของภูมิภาคประเทศอื่น ทวีปแอฟริกาจึงเป็นภูมิภาคที่มีทรัพยากรทางธรรมชาติที่เหมาะสมสำหรับการสนับสนุนและขับเคลื่อนเศรษฐกิจในโครงการพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก [2]



รูปที่ 3.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในทวีปแอฟริกา [2]

ไม่เพียงแต่ทวีปแอฟริกาเท่านั้นที่มีศักยภาพที่เหมาะสมสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีแสงอาทิตย์ สำหรับในภูมิภาคอื่นๆ ก็มีศักยภาพทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ในการพัฒนาเทคโนโลยีเช่นกัน อย่างทวีปเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (South East Asia & Pacific) มีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสี 900-2600 kWh/m² per year ซึ่ง Great Sandi Desert of Australia เป็นบริเวณที่ได้รับความเข้มรังสีมากที่สุดของทวีป

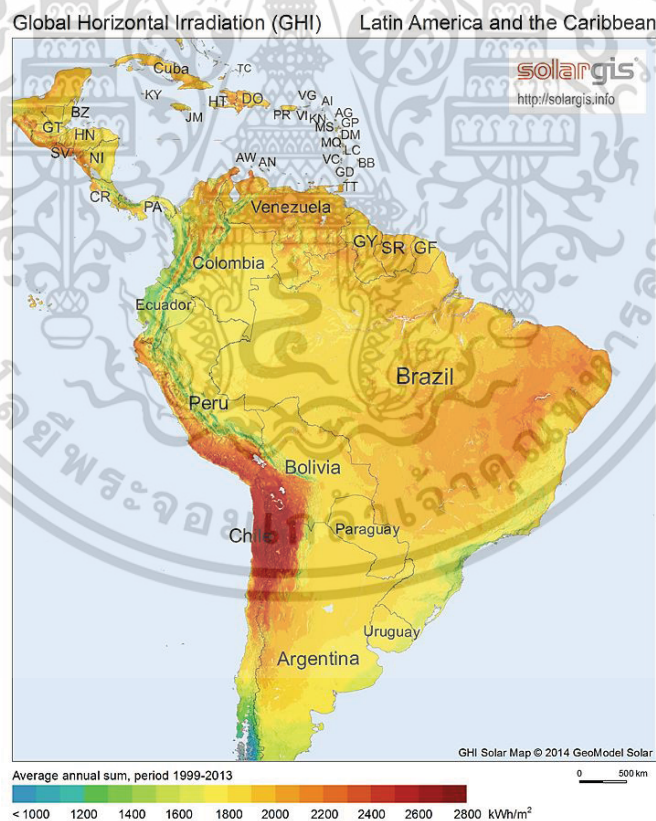
ทวีปละตินอเมริกาและแคริบเบียน (Latin America & Caribbean) มีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสี 1000 – 2700 kWh/m² per year ซึ่งทะเลทรายอาตากามาของประเทศชิลี (Atacama region of Chile) เป็นบริเวณที่ได้รับความเข้มรังสีมากที่สุดของทวีป รูปที่ 3.3 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของทวีปละตินอเมริกาและแคริบเบียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทวีปอเมริกาเหนือ (North America) มีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสี 700 – 2600 kWh/m² per year ซึ่ง (Sierra Madre region of Mexico) เป็นบริเวณที่ได้รับความเข้มรังสีมากที่สุดของทวีป รูปที่ 3.4 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของทวีปอเมริกาเหนือ

ทวีปยุโรป (Europe) มีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสี 700 – 2100 kWh/m² per year ซึ่งทางตอนใต้ของสเปน (Southern Spain) เป็นบริเวณที่ได้รับความเข้มรังสีมากที่สุดของทวีป รูปที่ 3.5 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของทวีปยุโรป

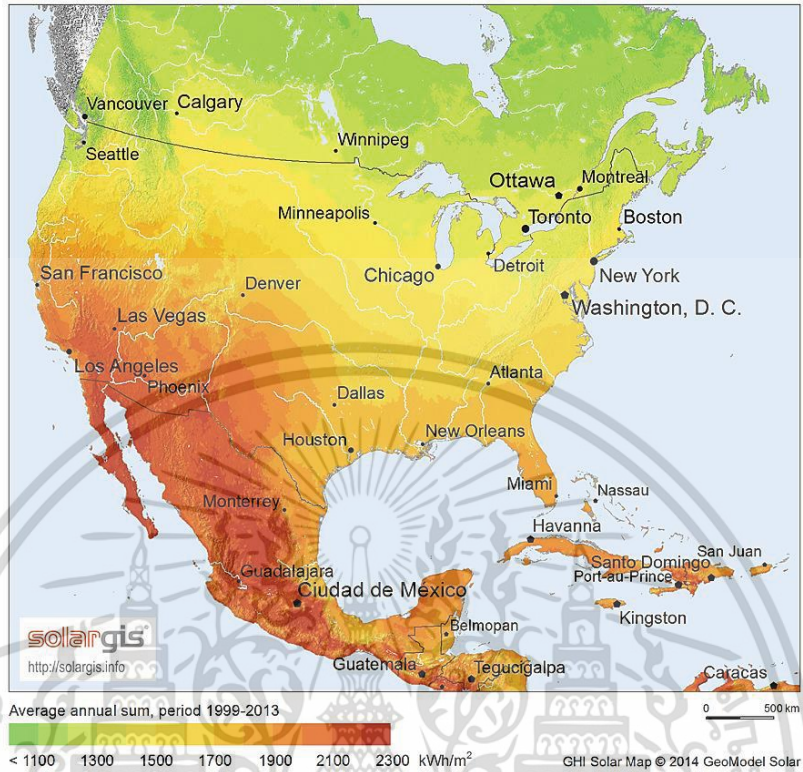
ทวีปเอเชียบริเวณทางใต้และกลาง (South & Central Asia)) มีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสี 1400 – 2400 kWh/m² per year ซึ่งอัฟกานิสถานและทางตอนใต้ของปากีสถาน (Afghanistan & Southern Pakistan) เป็นบริเวณที่ได้รับความเข้มรังสีมากที่สุดสำหรับทางบริเวณเอเชียใต้และกลาง ในส่วนของเอเชียทางตะวันออก (East Asia) มีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสี 1000 – 2300 kWh/m² per year ซึ่งที่ราบสูงทิเบตทางตะวันตกเฉียงใต้ของประเทศจีน (Tibetan Plateau of South-western China) เป็นบริเวณที่ได้รับความเข้มรังสีมากที่สุดสำหรับทางบริเวณเอเชียทางตะวันออก รูปที่ 3.6 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของทวีปเอเชีย [2]



รูปที่ 3.3 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในทวีปละตินอเมริกาและแคริบเบียน [2]

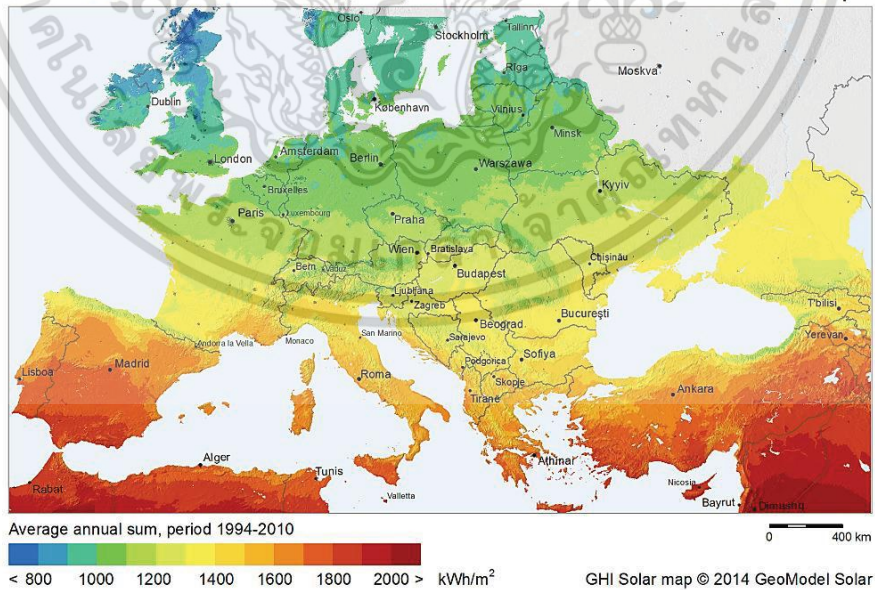
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Global Horizontal Irradiation (GHI) North America



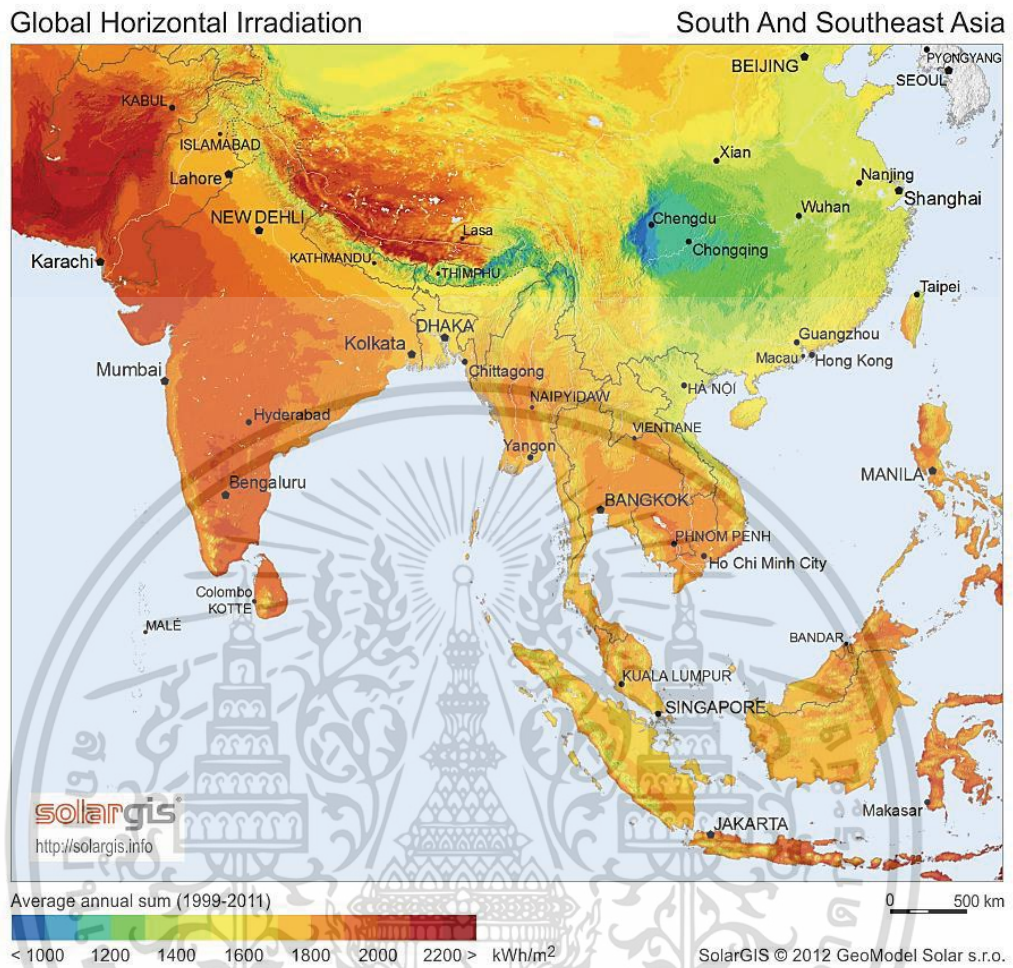
รูปที่ 3.4 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในทวีปอเมริกาเหนือ [2]

Global Horizontal Irradiation (GHI) Europe



รูปที่ 3.5 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในทวีปยุโรป [2]

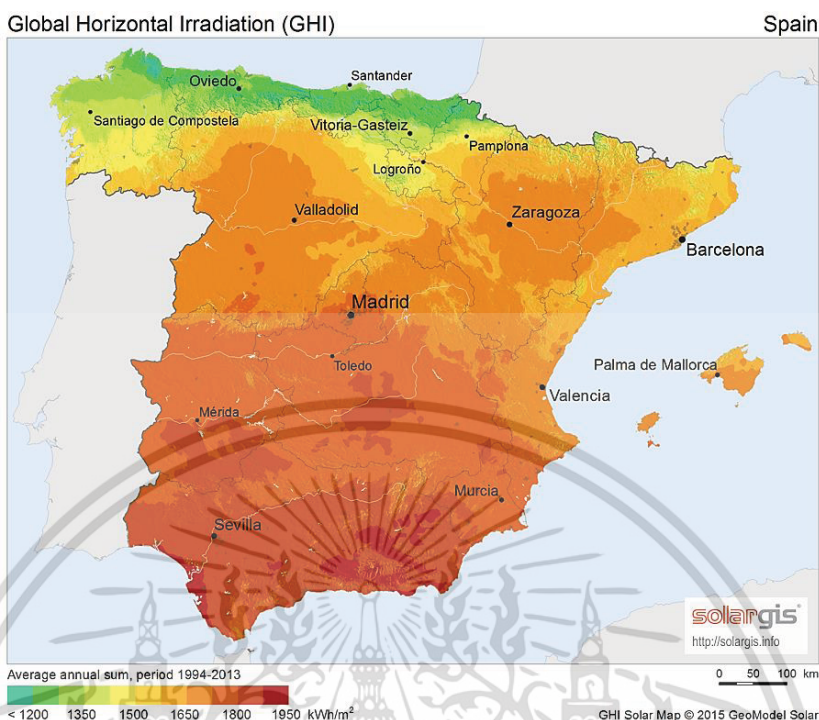
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในทวีปเอเชีย [2]

จากรายงาน REN21 Global Status Report ประจำปี 2017 [16] พบว่าประเทศที่มีการใช้เทคโนโลยีแสงอาทิตย์มากที่สุดในโลก คือ สเปน เมื่อปี 2016 ประเทศสเปนสามารถมีกำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ถึง 2,300 MWp และเมื่อศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศสเปนในรูปที่ 3.7 จะพบว่าประเทศสเปนมีความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งประเทศอยู่ที่ 1620 kWh/m² per year ทำให้ประเทศสเปนมีพื้นที่ที่เหมาะสมกับการสนับสนุนทางด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์อีกประเทศหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศสเปน [2]

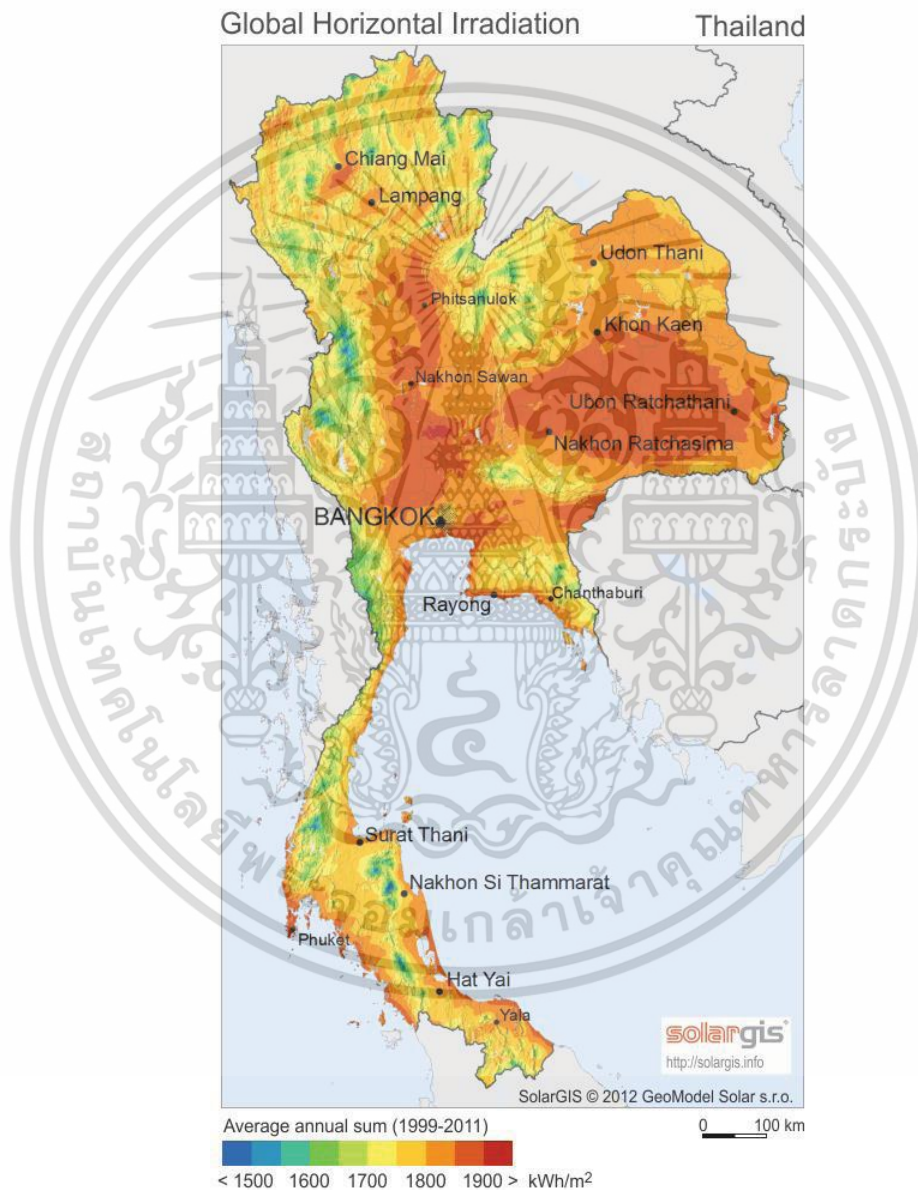
3.1.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทยถือว่าเป็นประเทศที่มีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ได้มากที่สุดประเทศหนึ่ง โดยกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พบว่าการกระจายความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศไทยได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้และความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ประเทศไทยได้รับจะมีค่าสูงสุดในช่วงเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ 20-23 MJ/m² per day และเมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทย ในรูปที่ 3.8 พบว่าบริเวณที่ได้รับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุดอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยมีค่าเฉลี่ย 19-20 MJ/m² per day และรูปที่ 3.9 แสดงแผนที่ความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนต่างๆ จะเห็นว่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่ทั่วประเทศมีการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่และตามฤดูกาลในรอบปี

จากแผนที่ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงและภายหลังมีการนำผลที่วิเคราะห์ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากภาพถ่ายดาวเทียมไปตรวจสอบกับสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของกรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานที่ได้จัดตั้งไว้ 38 แห่ง และสถานีวัดของมหาวิทยาลัยศิลปากร 4 แห่ง จากผลการเปรียบเทียบพบว่าค่าที่ได้จากแผนที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัด โดยมีความแตกต่างในรูปของ root mean square difference RMSD = 7.3% ซึ่งถือว่าความละเอียดถูกต้องของแผนที่ดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ดี ในปัจจุบันประเทศไทยประสบ

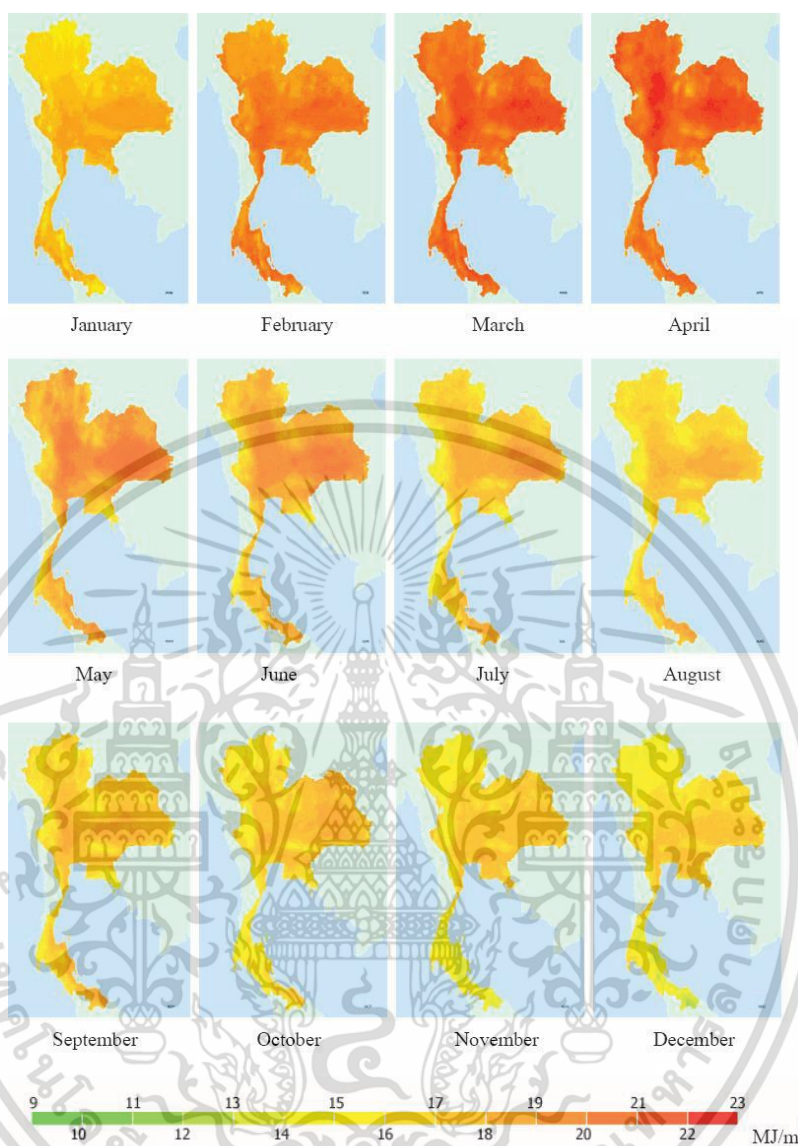
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสำเร็จในการนำความร้อนของแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี เช่น การใช้เครื่องผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับโรงพยาบาล โรงแรม การทำเครื่องต้มน้ำจากแสงอาทิตย์ การทำเตาแสงอาทิตย์ การทำเครื่องกลั่นน้ำแสงอาทิตย์ การทำเครื่องอบแห้งผลิตผลเกษตรกรรม และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งเป็นการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้โดยตรงที่ไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีสูงหรือสลับซับซ้อนนัก [17]



รูปที่ 3.8 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



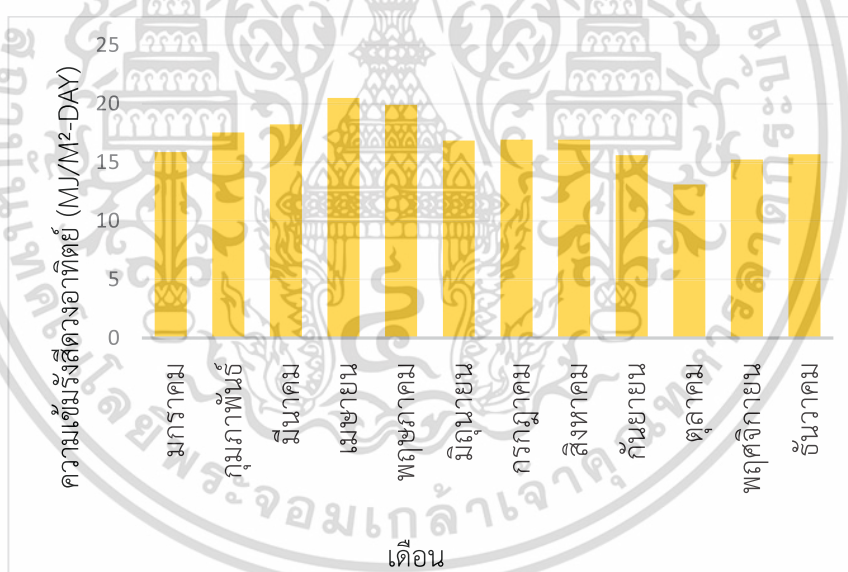
รูปที่ 3.9 แผนที่แสดงค่าความเข้มรังสีรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนของเดือนต่างๆ [17]

สำหรับศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในจังหวัดกรุงเทพมหานคร ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายเดือนในประเทศไทยประจำปี พ.ศ. 2554-2559 ที่ได้จากการวัดของสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ประจำจังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยตั้งอยู่ที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 17 ถนนพระราม 1 แขวงรองเมือง เขตปทุมวันกรุงเทพฯ โดยในตลอด 6 ปีที่ผ่านมาจากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่าพื้นที่ในจังหวัดกรุงเทพมหานครช่วงเดือนเมษายนจะมีค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มากที่สุด คือ $20.491 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$ และรูปที่ 3.10 แสดงกราฟข้อมูลความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ยในแต่ละเดือนของประเทศไทยช่วงปี พ.ศ. 2554-2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ข้อมูลค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์รายเดือนในประเทศไทยประจำปี พ.ศ. 2554-2559
(MJ/m²-day)

เดือน/ปี	2554	2555	2556	2557	2558	2559	เฉลี่ย
มกราคม	17.471	13.837	15.674	17.135	16.279	14.804	15.866
กุมภาพันธ์	17.978	16.598	16.481	17.978	18.943	17.347	17.554
มีนาคม	13.956	18.361	19.760	19.467	18.589	19.231	18.227
เมษายน	18.052	21.296	20.026	19.703	21.155	22.719	20.491
พฤษภาคม	18.276	18.895	20.469	20.367	20.388	21.105	19.916
มิถุนายน	15.380	16.912	16.409	16.793	19.413	16.189	16.849
กรกฎาคม	17.624	16.340	15.071	17.062	18.033	17.538	16.944
สิงหาคม	16.204	16.251	16.901	16.435	17.967	17.876	16.939
กันยายน	15.251	14.273	13.76	17.448	16.695	16.252	15.613
ตุลาคม	13.793	14.342	12.845	13.861	12.408	11.462	13.118
พฤศจิกายน	17.739	12.030	20.432	14.290	13.408	13.485	15.230
ธันวาคม	17.074	14.638	17.409	15.784	14.522	14.616	15.673



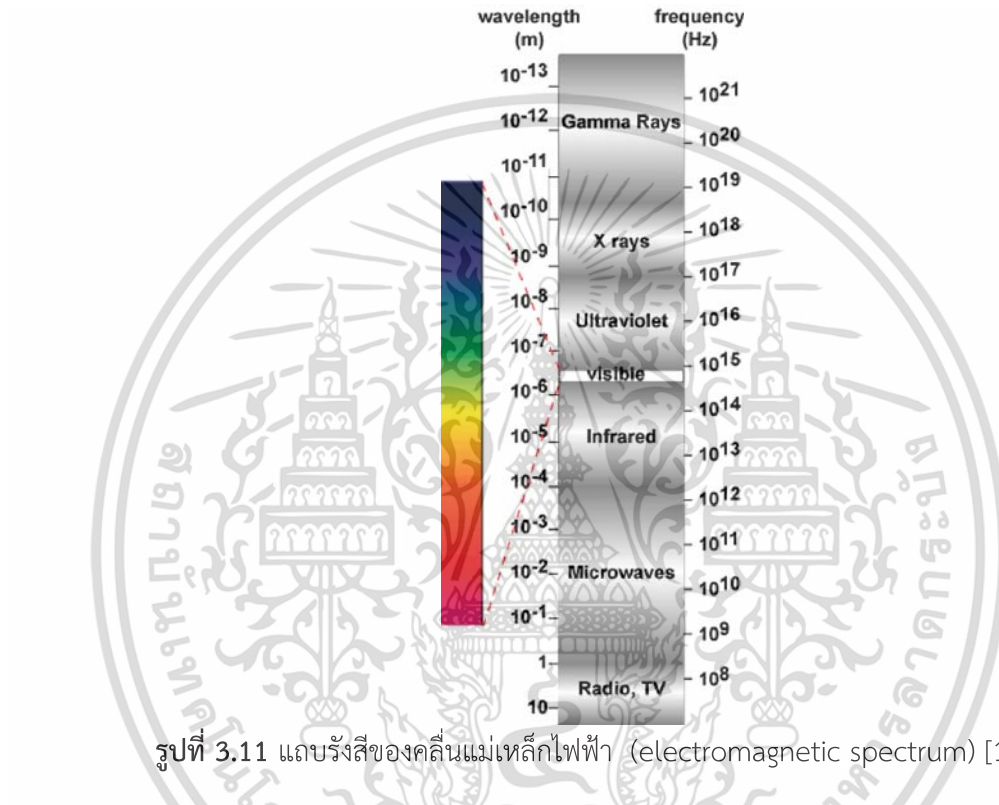
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงข้อมูลความเข้มรังสีในประเทศไทยโดยเฉลี่ยประจำปี พ.ศ. 2554-2559

จากแผนที่แสดงศักยภาพของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์สำหรับประเทศและภูมิภาคอื่น ๆ ทั่วโลก ถือว่าข้อมูลความเข้มรังสีรวมทั่วโลกเป็นตัวแปรสำคัญที่สุดในการประเมินศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของแต่ละประเทศภูมิภาคและเป็นค่าพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีแสงอาทิตย์ โดยความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์นอกจากจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งและทางเดินของดวงอาทิตย์ตามเวลาในรอบปีแล้ว ยังขึ้นอยู่กับภูมิประเทศอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ลักษณะของแสง

แสงที่เรามองเห็นในทุกวันนี้ เป็นเพียงแค่ส่วนเล็กน้อยของพลังงานทั้งหมดจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลก โดยแสงแดดเป็นรูปแบบของ “รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า” ซึ่งแสงที่เรามองเห็นได้คือส่วนย่อยเล็กๆ ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่านั้น ที่แสดงดังรูป ที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แถบรังสีของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic spectrum) [18]

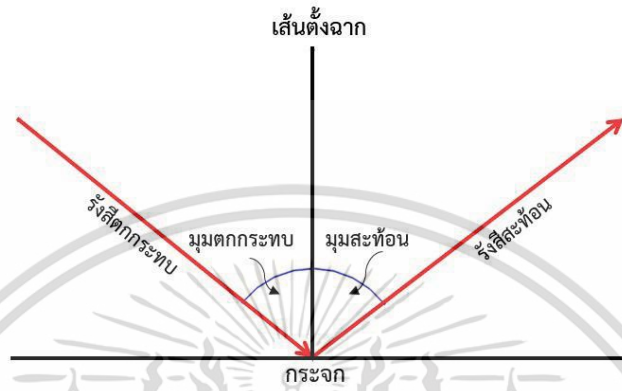
เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มควันหรือฝุ่นละออง ถ้าแสงที่เห็นจะเป็นลักษณะเส้นตรงและมีความสามารถทะลุผ่านวัตถุได้ โดยเรียกวัตถุนั้นว่า วัตถุโปร่งใส เช่น แก้ว อากาศ น้ำ เป็นต้น แต่ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านวัตถุบางชนิดแล้วเกิดการกระจายของแสงออกไปโดยรอบ ทำให้แสงเคลื่อนที่ไม่เป็นเส้นตรงจะเรียกวัตถุนั้นว่า วัตถุโปร่งแสง เช่น กระดาษฝ้า กระดาษไข พลาสติกฝ้า เป็นต้น ส่วนวัตถุที่ไม่ยอมให้แสงเคลื่อนที่ผ่านไปได้ จะเรียกว่า วัตถุทึบแสง เช่น ผืนคอนกรีต กระดาษแข็งหนาๆ เป็นต้น ซึ่งวัตถุทึบแสงจะสะท้อนแสงบางส่วนและดูดกลืนแสงบางส่วนไว้ทำให้เกิดเงาขึ้น

3.2.1 การสะท้อนของแสง (Reflection)

เป็นปรากฏการณ์ที่แสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นค่าหนึ่งมายังตัวกลางที่มีความหนาแน่นอีกตัวหนึ่ง ทำให้แสงตกกระทบกับตัวกลางใหม่ แล้วสะท้อนกลับสู่ตัวเดิม เมื่อแสงตกกระทบกับผิวหน้าของตัวกลางใดๆ ปริมาณและทิศทางของการสะท้อนของแสง จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับธรรมชาติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของพื้นผิวหน้าของตัวกลางที่ตกกระทบ การสะท้อนของแสงทำให้เกิดมุมตกกระทบ คือมุมที่แสงตกกระทบทำกับเส้นตั้งฉากกับกระจก และมุมสะท้อนคือมุมที่แสงสะท้อนทำกับเส้นตั้งฉากกับกระจก ดังรูปที่ 3.12



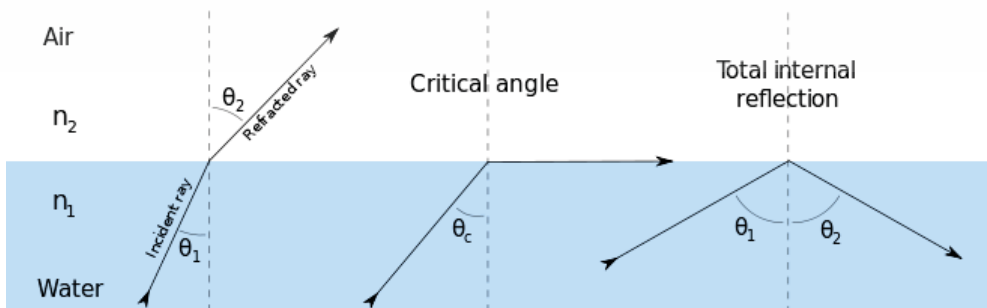
รูปที่ 3.12 ปรากฏการณ์การสะท้อนแสง

โดยกฎการสะท้อนของแสง (Law of Reflection) มี 2 ข้อ ดังนี้

1. รังสีตกกระทบ รังสีสะท้อน และเส้นปกติจะอยู่ในระนาบเดียวกัน
2. มุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อน

3.2.2 การสะท้อนกลับหมดของแสง (Total Internal Reflection)

การสะท้อนกลับหมด เกิดจากการเดินทางของแสงจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากกว่าไปยังตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า เมื่อแสงเคลื่อนที่ถึงรอยต่อระหว่างตัวกลางจะเกิดการสะท้อนกลับสู่ตรงกลางเดิม การสะท้อนกลับหมดจะเกิดขึ้นเมื่อมุมตกกระทบมีค่ามากกว่ามุมวิกฤต (มุมตกกระทบค่าหนึ่งทำให้เกิดมุมหักเหมีค่าเป็น 90 องศา) ทำให้ลำแสงไม่หักเหเข้าไปในตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า แต่เกิดการสะท้อนกลับหมดแทน รูปที่ 3.13 แสดงการสะท้อนกลับหมดของแสง

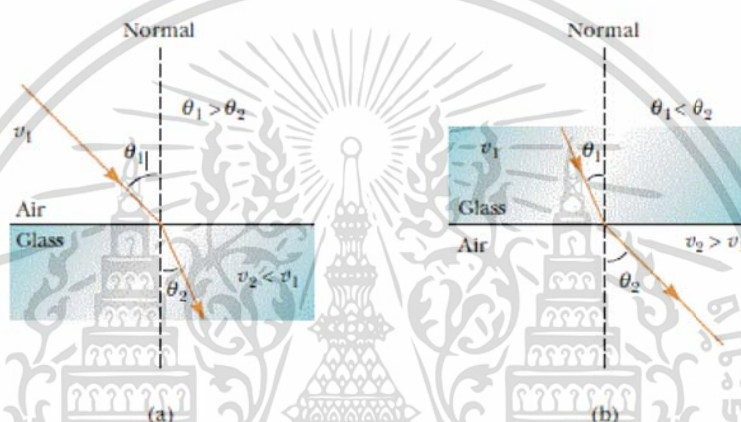


รูปที่ 3.13 การเกิดการสะท้อนกลับหมดของแสง [19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 การหักเหของแสง (Refraction)

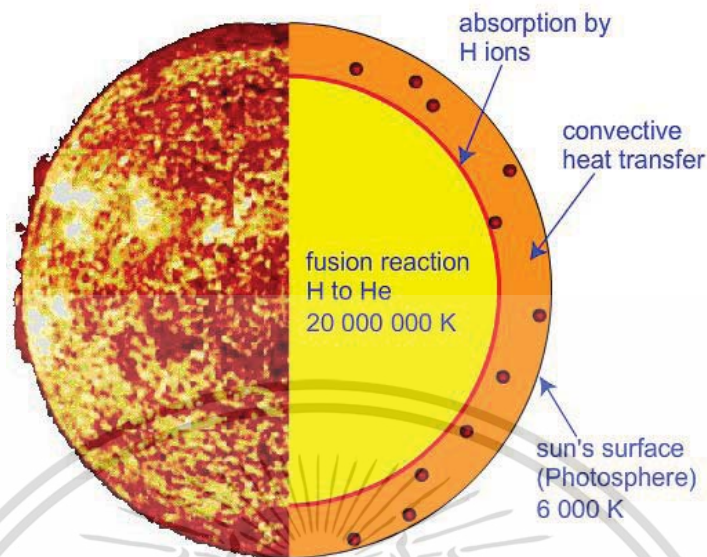
แสงเมื่อเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปยังตัวกลางอีกชนิดหนึ่งที่เป็นตัวกลางโปร่งใสและมีความหนาแน่นไม่เท่ากันจะทำให้ความเร็วในการเดินทางของแสงเปลี่ยนไป เมื่อแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปสู่ตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อย แสงจะมีการหักเหออกจากเส้นปกติ ถ้าแสงเดินทางจากตัวกลางที่มีความหนาแน่นมากไปหาตัวกลางที่มีความหนาแน่นน้อยแสงจะหักเหออกจากเส้นปกติ ดังนั้นแสงเมื่อเดินทางในตัวกลางที่มีความหนาแน่นมาก ความเร็วของแสงจะลดลง จึงทำให้ลำแสงเบนไปจากแนวเดิม รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะการหักเหของแสง



รูปที่ 3.14 ลักษณะการหักเหของแสง [19]

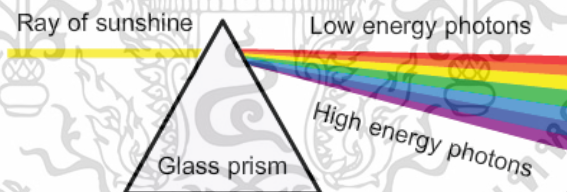
3.3 ลักษณะของดวงอาทิตย์ (Characteristics of the Sun) [20, 21]

ดวงอาทิตย์ถือว่าเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดในจักรวาล มีแก๊สอุณหภูมิที่อยู่ภายในศูนย์กลางถึง 20 ล้านองศาเคลวิน เนื่องจากถูกสันนิษฐานว่านิวเคลียสไฮโดรเจนจะรวมกันเพื่อสร้างนิวเคลียสของฮีเลียมในกระบวนการฟิวชั่นแบบเทอร์โมนิวเคลียร์ และที่พื้นผิวของดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิประมาณ 6000K โดยพลังงานทั้งหมดที่ถูกปล่อยออกมาจากดวงอาทิตย์ตามพื้นผิวนั้นมีอัตรา 3.83×10^{26} วัตต์ รูปที่ 3.15 แสดงส่วนประกอบของดวงอาทิตย์



รูปที่ 3.15 ลักษณะของดวงอาทิตย์ [18]

ดวงอาทิตย์แผ่พลังงานในรูปแบบของพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่ประกอบไปด้วยความยาวคลื่นเดี่ยวแต่ประกอบด้วยคลื่นหลายสี จึงปรากฏเป็นสีขาวหรือสีเหลืองในสายตามนุษย์ และความยาวคลื่นที่แตกต่างกันนั้นทำให้มนุษย์สามารถมองเห็นได้โดยการส่งผ่านแสงผ่านปริซึมหรือละอองน้ำในกรณีของรุ้ง โดยความยาวคลื่นที่ต่างกันแสดงเป็นสีที่ต่างกัน [18]

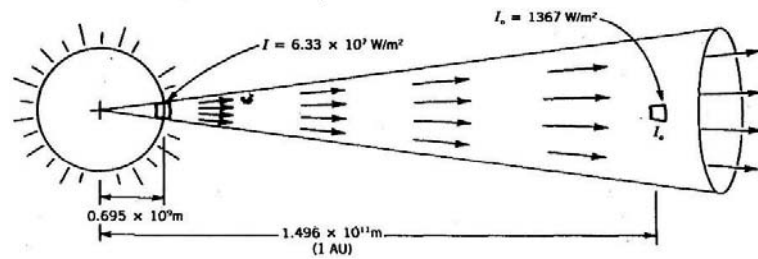


รูปที่ 3.16 สเปกตรัมของแสง [18]

3.3.1 ความเข้มรังสีอาทิตย์

ดวงอาทิตย์จะมีความเข้มของการแผ่รังสีบนพื้นผิวอยู่ที่ประมาณ $6.33 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ แต่เนื่องจากเวลาเดินทางของการแผ่รังสีมายังพื้นโลกนั้น จะมีระยะทางที่ห่างประมาณ $1.496 \times 10^{11} \text{ m}$ หรือ 1 AU ทำให้พื้นผิวโลกจะได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ลดลงเหลือ 1367 วัตต์ ดังภาพที่ 3.17 โดยที่ความเข้มของรังสีที่ออกจากดวงอาทิตย์จะมีค่าคงที่ ดังนั้นความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ระยะทาง 1 AU จะแทนสัญลักษณ์ค่าคงที่ของแสงอาทิตย์นี้คือ I_{sc} และมีค่า 1367 W/m^2

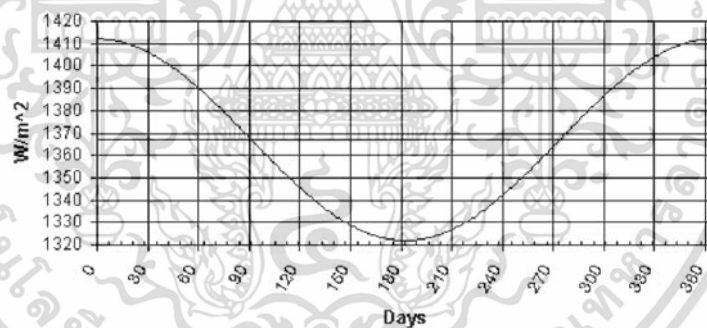
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 การเดินทางของรังสีดวงอาทิตย์มาพื้นผิวโลก [20]

3.3.2 พลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือชั้นบรรยากาศโลก [20]

เนื่องจากโลกทำมุมเอียงกับดวงอาทิตย์ 23.45 องศาและมีลักษณะวงโคจรที่หมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นรูปวงรี ทำให้ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ได้รับนอกชั้นบรรยากาศของโลกมีความแตกต่างกันไปตามระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์และโลก โดยการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะแตกต่างกันไป ± 3.4 เปอร์เซ็นต์ และความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์จะมีค่าสูงสุดเกิดขึ้นเมื่อโลกโคจรใกล้ดวงอาทิตย์ คือช่วงประมาณ 3-5 มกราคม และความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์จะมีค่าต่ำสุดเกิดขึ้น คือช่วงประมาณ 5 กรกฎาคม ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.18 การเปลี่ยนแปลงรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลกในวันต่างๆ ตลอดปี [21]

โดยความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในแต่ละวันสามารถหาได้จากสมการที่ 1

$$I = I_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \frac{360 \cdot n}{365} \right) \quad (1)$$

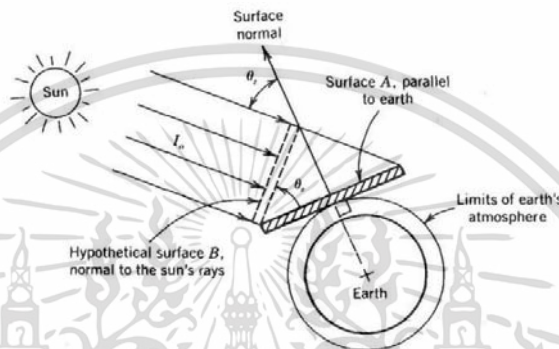
เมื่อ I คือ ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ (W/m^2)

I_{sc} คือ ค่าคงที่ของแสงอาทิตย์ ($1367 W/m^2$)

N คือ ลำดับของวัน (เริ่ม 1 มกราคม = 1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากโลกทำมุมเอียงกับดวงอาทิตย์ ลักษณะการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่เดินทางมายังพื้นผิวโลก จะถูกพิจารณา 2 กรณี คือ เมื่อรังสีของดวงอาทิตย์มีการเดินทางและตกกระทบบนพื้นผิวราบ และเมื่อ รังสีของดวงอาทิตย์มีการเดินทางและตกกระทบบนพื้นผิวเอียง (ขนานไปกับพื้นผิวโลก) แสดงดังรูปที่ 3.19 ซึ่งการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะมีค่าลดลงตามมุมระหว่างพื้นผิวปกติ (normal surface) กับรังสี ของดวงอาทิตย์



รูปที่ 3.19 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่เดินทางมายังพื้นผิวโลก

การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวเอียง (พื้นผิวที่มีการขนานไปกับโลก) สามารถ คำนวณได้จากสมการที่ 2

$$I_{o,h} = I \cos \theta_z \quad (2)$$

- เมื่อ
- I คือ ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ (W/m^2)
 - $I_{o,h}$ คือ รังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวเอียง
 - θ_z คือ มุมตกกระทบของรังสีอาทิตย์บนระนาบในแนวระดับ

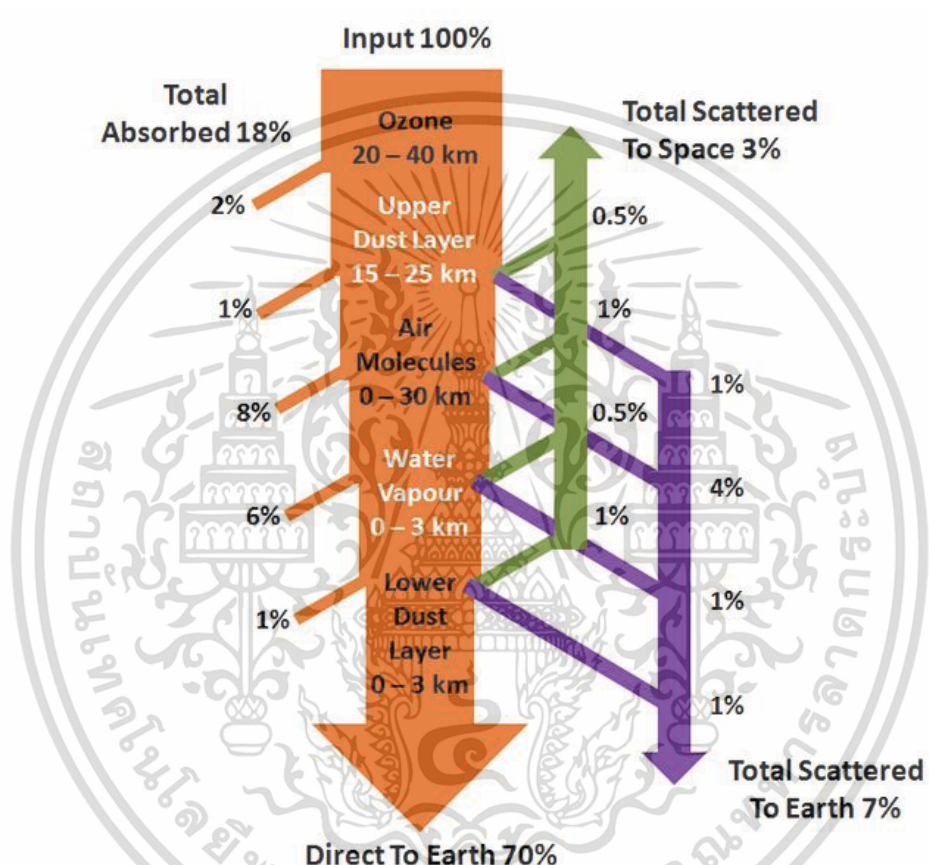
3.3.3 พลังงานรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลก

ในขณะที่รังสีของดวงอาทิตย์เดินทางมาพื้นผิวโลก รังสีของดวงอาทิตย์จะมีการผ่านชั้นบรรยากาศ ทำให้ระหว่างการเดินทาง รังสีของดวงอาทิตย์จะเกิดการถูกดูดกลืนเนื่องจากความร้อนในชั้นบรรยากาศ, เกิดการสะท้อนและเกิดการกระจายตัวของรังสีดวงอาทิตย์ รวมถึงรังสีที่ส่งผ่านโดยตรงมายังพื้นผิวโลก ซึ่งจากการที่รังสีของดวงอาทิตย์มีลักษณะต่างๆ ตามที่กล่าวมานั้น ทำให้ความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่ได้รับบริเวณพื้นผิวโลกจะมีค่าที่ลดลง ซึ่งเรียกว่าเป็นผลกระทบที่เกิดจากชั้นบรรยากาศ” (Atmosphere Effects)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.1 ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศ (Atmosphere Effects)

เนื่องจากผลกระทบของชั้นบรรยากาศจึงส่งผลทำให้รังสีของดวงอาทิตย์ที่ผิวโลกจะมีค่าความเข้มลดลงประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ในวันที่ที่อากาศปลอดโปร่ง และความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์จะลดลงถึง 90 เปอร์เซ็นต์ในวันที่มีเมฆมาก รูปที่ 3.20 จะแสดงให้เห็นถึงช่วงการดูดกลืนและการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์ที่เกิดจากชั้นบรรยากาศ



รูปที่ 3.20 การดูดกลืนและการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง [22]

3.3.4 ประเภทรังสีของดวงอาทิตย์ (Types of Solar Radiation)

โดยทั่วไปรังสีความร้อนของดวงอาทิตย์จะประกอบไปด้วย รังสีตรง (Direct radiation), รังสีการกระจาย (Diffuse Radiation) และรังสีการสะท้อน (reflected radiation) ซึ่งผลรวมของรังสีทั้งสามจะคือ รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ทั้งหมดและจะถูกเรียกว่า Global radiation ตามสมการที่ 3

$$I_G = I_D + I_d + I_R \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	I_G	คือ รังสีรวม
	I_D	คือ รังสีตรง
	I_d	คือ รังสีการกระจาย
	I_R	คือ รังสีการสะท้อน

3.3.4.1 รังสีตรง (Direct radiation)

รังสีตรงได้รับมาจากรังสีของดวงอาทิตย์ที่เดินทางเป็นเส้นตรงมายังพื้นผิวโลก ในบริเวณที่มีแสงแดดหรือท้องฟ้าปลอดโปร่ง รังสีตรงจะมีค่าเกือบ 70-80% ของรังสีทั้งหมด

3.3.4.2 รังสีการกระจาย (Diffuse Radiation)

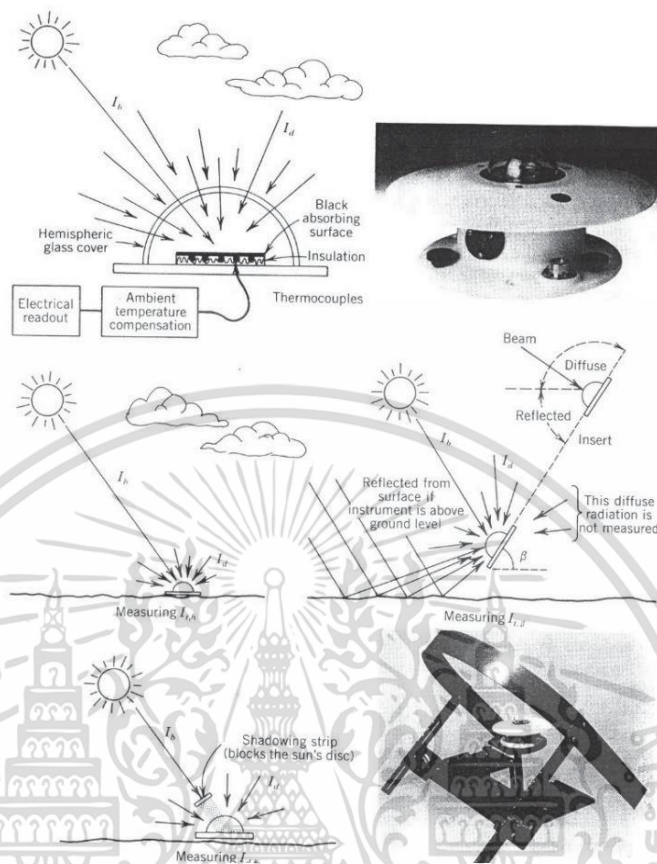
รังสีการกระจายเป็นรังสีของดวงอาทิตย์ที่ไม่มีทิศทางคงที่ ขณะเดินทางมายังพื้นโลกได้เกิดการชนกับอนุภาคหรือโมเลกุลในชั้นบรรยากาศทำให้รังสีมีการแพร่กระจายแบบไร้ทิศทาง เมื่อมลภาวะเพิ่มขึ้น ปริมาณรังสีการกระจายก็จะเพิ่มขึ้น

3.3.4.3 รังสีการสะท้อน (reflected radiation)

รังสีสะท้อนเป็นส่วนประกอบของรังสีที่สะท้อนจากพื้นผิวอื่นที่ไม่ใช่ในชั้นบรรยากาศ เช่น การสะท้อนของรังสีที่ตกกระทบบนพื้นดิน, ภูเขา, ต้นไม้หรือบ้าน โดยทั่วไปรังสีสะท้อนจะขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวที่มีการตกกระทบ

3.3.5 เครื่องมือวัดรังสีของดวงอาทิตย์

เครื่องมือหลักที่ใช้ในการวัดการแผ่รังสีแสงอาทิตย์โดยรวม (global solar irradiance) คือ ไพโรโนมิเตอร์ (Pyranometer) ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดพลังงานของดวงอาทิตย์ที่มาจากทุกทิศทางในซีกโลกในแนวระนาบ แสดงดังรูปที่ 3.21 การวัดที่ได้จะเป็นผลรวมของการแผ่รังสีแสงอาทิตย์โดยตรง (Direct solar irradiance) และการแผ่รังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย (Diffuse solar irradiance)



รูปที่ 3.21 เครื่องมือวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) [20]

สำหรับประเทศไทยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้ดำเนินโครงการพัฒนาเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ เมื่อปีพ.ศ. 2543 เพื่อให้ได้รับข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความละเอียดถูกต้องและสามารถตอบสนองความต้องการในด้านการวิจัยและประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด ได้แก่ เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่เรียกว่า ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) ซึ่งมี 2 ชนิด

1. ไพราโนมิเตอร์ ที่ใช้ Thermomechanical Sensor หรือแบบ Bimetallic ซึ่งมี sensor เป็นแถบโลหะ 2 แถบ โดยแถบหนึ่งเป็นสีขาว และอีกแถบหนึ่งเป็นสีดำ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบแถบสีดำจะดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ และขยายตัวได้มากกว่าแถบสีขาว แรงที่เกิดจากการขยายตัวดังกล่าวจะไปขับเคลื่อนหัวปากกาให้บันทึกข้อมูลเป็น ลายเส้นลงบนกระดาษกราฟ ซึ่งพันติครอบกระบอกลมที่มีการขับเคลื่อนด้วยระบบโซลาน หรือระบบนาฬิกาใช้แบตเตอรี่

2. ไพราโนมิเตอร์ ที่ใช้ Thermoelectric Sensor หรือแบบ Thermopile ซึ่งมี sensor ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด ซึ่งเชื่อมปลายทั้งสองติดกันโดยปลายข้างหนึ่งทำหน้าที่เป็น hot junction และอีกข้างหนึ่งเป็น cold junction เมื่อ hot junction ถูกรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิจunction ทั้งสอง และก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (electromotive force) ขึ้นในวงจรที่ประกอบด้วยโลหะทั้งสองจากแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้

และปัจจุบันกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานมีสถานีวิัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จำนวน 38 สถานี ดังนี้

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 17 ถนนพระราม 1 แขวงรองเมือง เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ
2. สถานีอุตุนิยมวิทยาทองผาภูมิ กรมอุตุนิยมวิทยา 38/1 หมู่ 1 ถนนหน้าท่าเรืออำเภอ ตำบลท่าขนุน อำเภอทองผาภูมิ จังหวัดกาญจนบุรี
3. สถานีอุตุนิยมวิทยากาญจนบุรี กรมอุตุนิยมวิทยา 2/60 ถนนอุโมงค์ ตำบลบ้านเหนือ อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี
4. สถานีอุตุนิยมวิทยาอุทกบัวชุม กรมอุตุนิยมวิทยา ตำบลบัวชุม อำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี
5. สถานีอุตุนิยมวิทยานครสวรรค์ กรมอุตุนิยมวิทยา 36/13 หมู่ 1 ตำบลนครสวรรค์ออก อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์
6. ศูนย์ทดลองวิชาการพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจังหวัดพิษณุโลก กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 80 หมู่ 3 ตำบลมะขามสูง อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก
7. สถานีตรวจอากาศดอยมูเซอ กรมอุตุนิยมวิทยา ถนนตาก-แม่สอด ตำบลแม่ท้อ อำเภอเมือง จังหวัดตาก
8. สถานีอุตุนิยมวิทยาเพชรบูรณ์ กรมอุตุนิยมวิทยา ถนนสามัคคีชัย ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์
9. ศูนย์บริการโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้าจังหวัดน่าน กรมชลประทาน หมู่ 2 ตำบลคูใต้ อำเภอเมือง จังหวัดน่าน
10. สถานีอุตุนิยมวิทยาแพร่ กรมอุตุนิยมวิทยา 73/1 หมู่ 2 ถนนช่อแฮ ตำบลนาจักร อำเภอเมือง จังหวัดแพร่
11. ศูนย์สำรวจอุทกวิทยาที่ 5 (เชียงราย) กรมทรัพยากรน้ำ 257 หมู่ 1 บ้านสันตาลเหลือง ตำบลเวียง อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย
12. ศูนย์ทดลองวิชาการพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจังหวัดเชียงใหม่ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 147 หมู่ 8 หลังมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่
13. ศูนย์บริการนักท่องเที่ยว (น้ำตกแม่กลาง) อุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ กม.9 ตำบลบ้านหลวง อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่ (ถึงปี 2557) สถานีหัวหิน อำเภอหัวหิน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ (เริ่มปี 2558)
14. ที่ทำการอุทยานแห่งชาติดอยอินทนนท์ หมู่ 7 ตำบลบ้านหลวง อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. ศูนย์ควบคุมและรายงานตอยอินทนนท์ ตำบลบ้านหลวง อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่
16. โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำแม่สะง่า กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน หมู่ 8 ตำบลหมอกจำแป่ อำเภอเมือง จังหวัดแม่ฮ่องสอน
17. สถานีอุตุนิยมวิทยาแม่สะเรียง กรมอุตุนิยมวิทยา ตำบลบ้านกาศ อำเภอแม่สะเรียง จังหวัดแม่ฮ่องสอน
18. สถานีอุตุนิยมวิทยาเกษตรลเลย กรมอุตุนิยมวิทยา 81 หมู่ 8 ตำบลนาโปลัง อำเภอเมือง จังหวัดเลย
19. ศูนย์สำรวจอุทกวิทยาหนองคาย กรมทรัพยากรน้ำ 174 หมู่ 1 ถนนแจ้งวรวิทย์ ตำบลมีชัย อำเภอเมือง จังหวัดหนองคาย
20. ศูนย์อุตุนิยมวิทยานครพนม กรมอุตุนิยมวิทยา 272 ถนนอภิบาลบัญชา ตำบลหนองแสง อำเภอเมือง จังหวัดนครพนม
21. สถานีอุตุนิยมวิทยานครราชสีมา กรมอุตุนิยมวิทยา 916 ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา
22. สถานีเรดาร์ตรวจอากาศขอนแก่น กรมอุตุนิยมวิทยา ใกล้ท่าอากาศยานขอนแก่น อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น
23. สถานีตรวจอากาศเกษตรร้อยเอ็ด กรมอุตุนิยมวิทยา ตำบลเหนือเมือง อำเภอเมือง จังหวัดร้อยเอ็ด
24. สถานีตรวจอากาศเกษตรสุรินทร์ กรมอุตุนิยมวิทยา หมู่ 4 ตำบลคอโค อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์
25. สถานีอุตุนิยมวิทยาตราด กรมอุตุนิยมวิทยา 565 หมู่ 2 ถนนราษฎร์บำรุง ตำบลคลองใหญ่ อำเภอคลองใหญ่ จังหวัดตราด
26. สถานีอุตุนิยมวิทยาชลบุรี กรมอุตุนิยมวิทยา 44 หมู่ 4 ถนนวชิรปราการ ตำบลบ้านสวน อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี
27. ศูนย์บริการโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้าจังหวัดปราจีนบุรี กรมชลประทาน 309/1 หมู่ 2 ตำบลกบินทร์บุรี อำเภอกบินทร์บุรี จังหวัดปราจีนบุรี
28. สถานีอุตุนิยมวิทยาประจวบคีรีขันธ์ กรมอุตุนิยมวิทยา 239 ถนนสวนสน ตำบลเกาะหลัก อำเภอเมือง จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
29. สถานีอุตุนิยมวิทยาระนอง กรมอุตุนิยมวิทยา 4/6 หมู่ 1 ถนนขัตสรพัฒนา ตำบลบางรี อำเภอเมือง จังหวัดระนอง
30. สถานีอุตุนิยมวิทยาชุมพร กรมอุตุนิยมวิทยา 148 ถนนกรมหลวงชุมพร ตำบลท่าตะเภา อำเภอเมือง จังหวัดชุมพร
31. สถานีอุตุนิยมวิทยาสุราษฎร์ธานี (พุนพิน) กรมอุตุนิยมวิทยา หมู่ 3 ทางเข้าสนามบินสุราษฎร์ธานี ตำบลหัวเตย อำเภอพุนพิน จังหวัดสุราษฎร์ธานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32. สถานีอุตุนิยมวิทยาเกาะสมุย กรมอุตุนิยมวิทยา 438 หมู่ 1 ตำบลมะเร็ด อำเภอเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี

33. ศูนย์ทดลองวิชาการพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานจังหวัดสงขลา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน 90 หมู่ 3 ตำบลคลองหลา อำเภอกลองหย่อง จังหวัดสงขลา

34. สถานีอุตุนิยมวิทยาตรัง กรมอุตุนิยมวิทยา 142 หมู่ 12 ตำบลโคกหล่อ อำเภอเมือง จังหวัดตรัง

35. ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันตก กรมอุตุนิยมวิทยา 221 หมู่ 6 ตำบลไม้ขาว อำเภอถลาง จังหวัดภูเก็ต

36. สถานีอุตุนิยมวิทยานราธิวาส กรมอุตุนิยมวิทยา ถนนนพภาคภูมิ ตำบลบางนาค อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส

37. สถานีอุตุนิยมวิทยาสระแก้ว กรมอุตุนิยมวิทยา 3 ตำบลรัฐประเทศ อำเภอรัฐประเทศ จังหวัดสระแก้ว

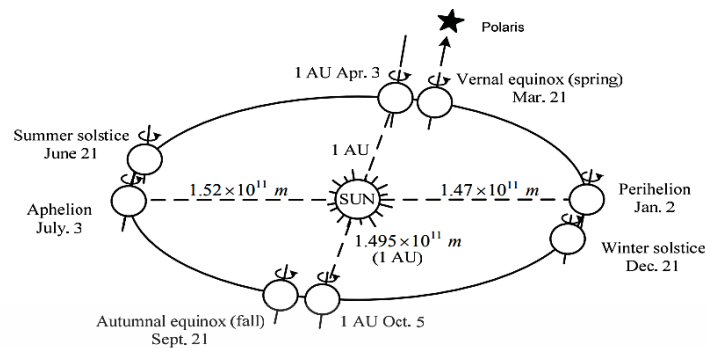
38. สถานีอุตุนิยมวิทยาอุบลราชธานี กรมอุตุนิยมวิทยา อำเภอสว่างวีรวงศ์ จังหวัดอุบลราชธานี

3.4. ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์เป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญในการที่จะได้รับปริมาณพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ให้มากที่สุด ซึ่งจำเป็นจะต้องทราบลักษณะหรือตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ไปในแต่ละวัน แต่ละเดือนหรือในแต่ละปี เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับเทคโนโลยีที่จะสะสมพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ได้อย่างเต็มที่ โดยมุมที่มีความสำคัญในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์คือ Azimuth Angle และ Altitude Angle ซึ่งการหามุมทั้งสองจำเป็นที่จะต้องทราบถึงตัวแปรของสมการที่เกี่ยวข้อง ดังที่จะกล่าวต่อไปนี้ [20]

3.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโลกและดวงอาทิตย์

โลกมีวงโคจรในการเคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์เป็นลักษณะรูปวงรีทุกๆ 365.25 วัน ซึ่งมีระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์เฉลี่ย 1.496×10^{11} เมตร หรือ 1 AU ในหน่วยทางดาราศาสตร์ โดยระยะของวงโคจรนี้เรียกว่าระยะนาบ “สุริยุปราคา” วงโคจรของโลกถึงระยะห่างที่มากที่สุดจากดวงอาทิตย์คือ 1.52×10^{11} เมตร ซึ่งอยู่ในวันที่ 3 ของเดือนกรกฎาคม และระยะห่างของโลกและดวงอาทิตย์ที่น้อยที่สุด คือวันที่ 2 มกราคม แสดงดังรูปที่ 3.22 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างเหล่านี้ในช่วงฤดูซีกโลกเหนือ โดยที่โลกจะหมุนรอบตัวเองและมีมุมที่เอียงกับดวงอาทิตย์คือ 23.45 องศา

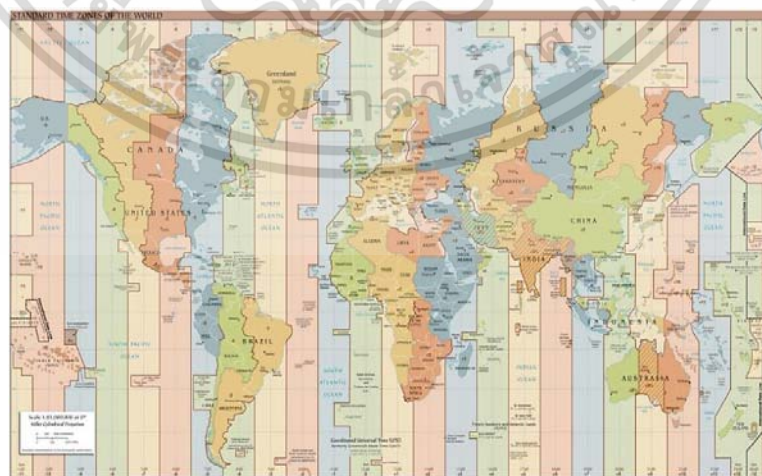


รูปที่ 3.22 ความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์และโลก [20]

3.4.2 เวลาสุริยะ

ในการคำนวณหาตัวแปรที่เกี่ยวข้องสำหรับการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จะใช้เวลาตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่แสดงให้เห็นแทน เรียกว่า เวลาสุริยะ (Local Solar Time-LST) ดังนั้นในขณะใดขณะหนึ่ง เวลาสุริยะในแต่ละตำแหน่งบนโลกจะมีค่าไม่ตรงกัน ยกเว้นกรณีที่ตำแหน่งอยู่บนเส้นแวงเดียวกันหรือ longitude ตรงกัน ในการหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จึงต้องแปลงเวลาที่ท้องถิ่นหรือเวลาที่แสดงบนนาฬิกาให้เป็นเวลาสุริยะเสียก่อน [25]

โซนเวลาเป็นการแบ่งพื้นที่ในโลกออกเป็นส่วน ๆ ตามภูมิศาสตร์และการปกครองโดยแต่ละส่วนจะมีเวลาที่ท้องถิ่นตรงกัน ซึ่งโซนเวลาจะต่างกันโซนละ 1 ชั่วโมงโดยโซนเวลาที่ใช้เป็นมาตรฐาน ได้แก่ โซนกรีนิช ซึ่งตั้งอยู่บริเวณเส้นแวงที่ 0 องศา ที่แต่ละโซนจะตั้งอยู่ทุกๆ 15 องศา ดังนั้นเวลาที่โซนนี้ เรียกว่าเวลามาตรฐานกรีนิช (Greenwich Mean Time - GMT) ซึ่งปัจจุบันถือว่าเป็นเวลาสากลของโลก ส่วนในซีกโลกด้านตะวันออก จะมีเวลาที่ท้องถิ่นเร็วกว่าเวลาที่กรีนิช และในส่วนของซีกโลกตะวันตกจะมีเวลาที่ท้องถิ่นช้ากว่าเวลาที่กรีนิช



รูปที่ 3.23 แผนภูมิโซนเวลา [25]

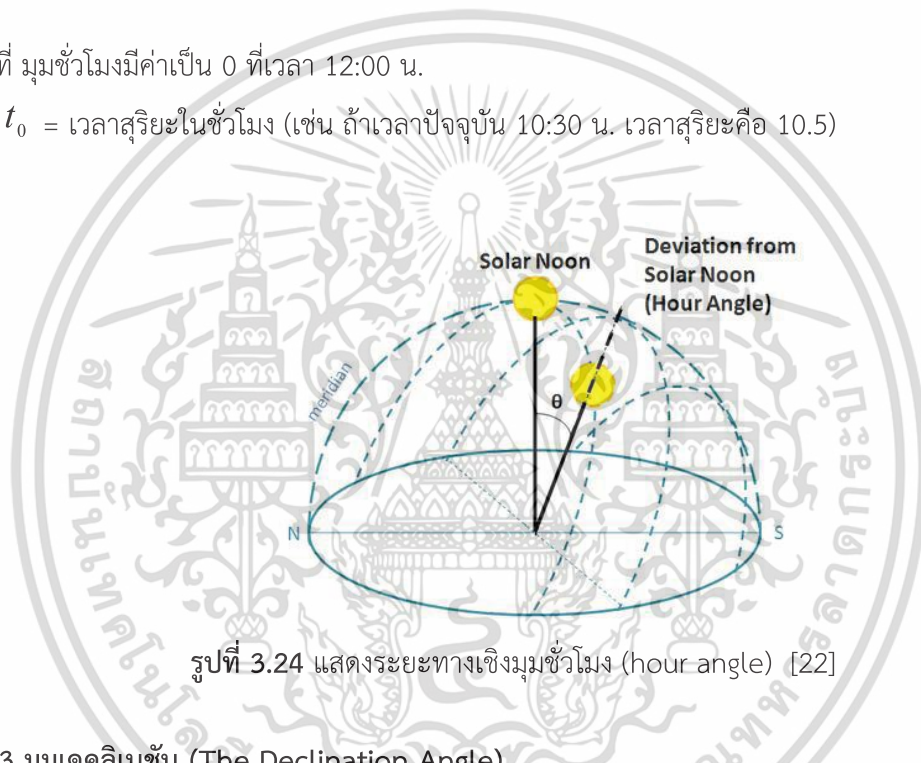
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กล่าวอีกในนัยหนึ่งนั้นหมายความว่า โลกจะมีการหมุนเพิ่ม 15 องศาทุก 1 ชั่วโมง ตามแสดงดังรูปที่ 3.24 ซึ่งเวลาสุริยจะขึ้นอยู่กับนาฬิกาแบบ 24 ชั่วโมงโดยที่ 12:00 คือเวลาที่พระอาทิตย์จะอยู่ตรงกลางแบบพอดี (เที่ยงคืนหรือเที่ยงวัน) ซึ่งเวลาสุริยจะสามารถใช้ในการประมาณระยะทางที่แสงอาทิตย์เดินทางมายังโลกได้ ดังนั้นค่ามุมชั่วโมงหรือ Solar Hour Angle (ω) ที่เป็นระยะทางเชิงมุมระหว่างเส้นเมริเดียนของผู้สังเกตกับเส้นเมริเดียนของดวงอาทิตย์ สามารถคำนวณหาได้จากเวลาสุริยดังสมการที่ 4

$$\omega = 15^\circ(t_0 - 12) \quad (4)$$

โดยที่ มุมชั่วโมงมีค่าเป็น 0 ที่เวลา 12:00 น.

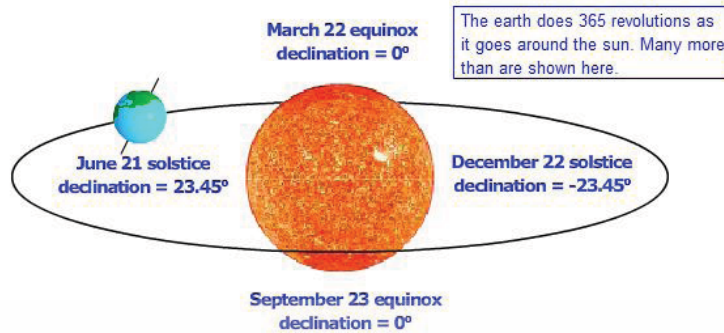
t_0 = เวลาสุริยในชั่วโมง (เช่น ถ้าเวลาปัจจุบัน 10:30 น. เวลาสุริยคือ 10.5)



รูปที่ 3.24 แสดงระยะทางเชิงมุมชั่วโมง (hour angle) [22]

3.4.3 มุมเดคลิเนชัน (The Declination Angle)

อย่างไรก็ตามโลกมีมุมเอียงกับดวงอาทิตย์เป็น 23.45 องศา ซึ่งมุมเดคลิเนชันจะมีค่าเป็นบวกหรือลบขึ้นอยู่กับฤดูกาลที่จะเป็นตัวบ่งบอก โดยประมาณวันที่ 21 มิถุนายน ซึ่งเป็นวันที่ขั้วโลกเหนือหันเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด จะมีค่ามุมเดคลิเนชันเท่ากับ +23.45 องศา ในวันที่ 22 มีนาคมและ 23 กันยายน จะมีค่ามุมเดคลิเนชันเท่ากับ 0 องศา และประมาณวันที่ 22 ธันวาคม เป็นวันที่โลกหันขั้วโลกเหนือออกจากดวงอาทิตย์มากที่สุด จะมีมุมเดคลิเนชันเท่ากับ -23.45 องศา [18] แสดงดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 มุมเอียงที่มีการเปลี่ยนแปลงจากช่วงฤดูร้อนในซีกโลกเหนือไปจนถึงช่วงฤดูหนาวในซีกโลกเหนือ [18]

โดยที่มุมดิคลิเนชันเป็นมุมที่เกิดจากการเอียงของแกนหมุนของโลก โดยหาได้จากระยะทางเชิงมุมระหว่างทิศเหนือหรือทิศใต้จากเส้นศูนย์สูตรบนท้องฟ้ากับเส้นแนวรังสีของดวงอาทิตย์ ดังแสดงรูปที่ 3.26 ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 5

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right] \tag{5}$$

เมื่อ n คือ ลำดับของวัน (เริ่ม 1 มกราคม = 1)



รูปที่ 3.26 แสดงระยะทางเชิงมุมดิคลิเนชัน

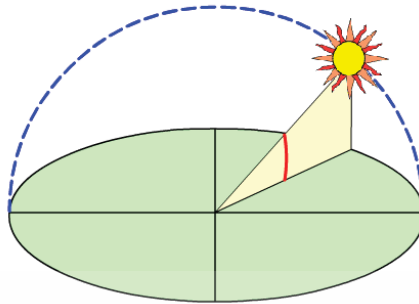
3.4.4 มุมอัลติจูดหรือมุมเอลิเวชัน (Elevation or Altitude angle, α)

มุมอัลติจูดหรือมุมเอลิเวชันเป็นระยะทางเชิงมุมที่ได้มาจากการวัดระหว่างแนวรังสีของดวงอาทิตย์กับพื้นราบ แสดงดังรูปที่ 3.27 ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการที่ 6 โดยที่มุมเอลิเวชันมีค่าเป็น 0 องศาที่เวลาพระอาทิตย์ขึ้นและมีค่าเป็น 90 องศา เมื่อพระอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ

$$\alpha = \sin^{-1} (\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega) \tag{6}$$

โดยที่ φ คือ ตำแหน่งละติจูดของผู้สังเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



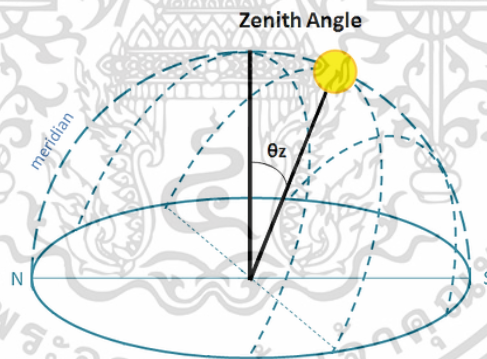
รูปที่ 3.27 แสดงระยะทางเชิงมุมอัลติจูดหรือมุมเอลิเวชัน [18]

3.4.5 มุมเซนนิธ (Zenith Angle, β) [18]

มุมเซนนิธเป็นมุมระหว่างแนวรังสีของดวงอาทิตย์และแนวตั้ง ซึ่งมุม Zenith มีลักษณะคล้ายคลึงกับมุมเอลิเวชัน แต่วัดจากแนวตั้งแทนแนวนอน แสดงดังรูป โดยที่มุม Zenith สามารถหาได้จากสมการ

$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad (7)$$

โดย α คือ มุมอัลติจูดหรือมุมเอลิเวชัน



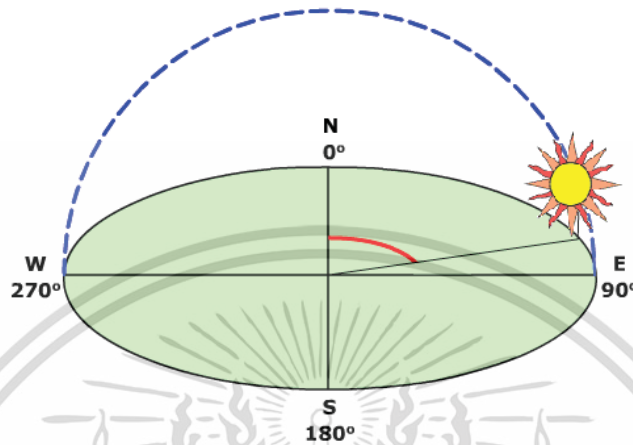
รูปที่ 3.28 แสดงระยะทางเชิงมุมเซนนิธ [22]

3.4.6 มุมอะซิมุม (Azimuth Angle, ϕ)

มุมอะซิมุมเป็นเหมือนเข็มทิศที่มีมุมเป็น 0 องศาที่ทิศเหนือ และ 180 องศาที่ทิศใต้ โดยค่ามุมอะซิมุมอยู่ระหว่างระยะทางเชิงมุมที่วัดจากจุดทิศเหนือในทิศทางตามเข็มนาฬิกาเท่ากับเงาของแนวรังสีดวงอาทิตย์ในแนวราบ ที่แสดงดังรูป 3.29 โดยทั่วไปแล้วมุมอะซิมุมจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามละติจูดของตำแหน่งผู้สังเกตและในช่วงเวลาของปี ซึ่งสามารถคำนวณหาตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ผ่านไปแต่ละวันได้จากสมการที่ 8 [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{\sin(\delta) \cos(\varphi) - \cos(\delta) \sin(\varphi) \cos(\omega)}{\cos(\alpha)} \right) \quad (8)$$



รูปที่ 3.29 แสดงระยะทางเชิงมุมอะซิมูท [18]

3.5 เทคโนโลยีแสงอาทิตย์ (Solar Energy Technology)

สำหรับแนวคิดในการนำเทคโนโลยีรวมแสงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy collector) มาใช้ประโยชน์ถูกบันทึกไว้เมื่อสมัยก่อนประวัติศาสตร์เวลา ปีก่อนคริสตกาล 212 ได้มีนักคณิตศาสตร์, นักดาราศาสตร์, นักปรัชญา, นักฟิสิกส์และวิศวกรชาวกรีก ชื่อว่า “อาร์คิมิดีส (Archimeds)” ได้ทำลายเรือฝ่ายศัตรูด้วยไฟซึ่งเป็นอาวุธของอาร์คิมิดีสโดยอุปกรณ์นี้เรียกว่า “รังสีความร้อนของอาร์คิมิดีส” โดยอาวุธที่กล่าวนั้นทำขึ้นจากโลหะขัดเงามีลักษณะคล้ายกระจั่วสะท้อนแสงให้มีจุดรวมความร้อนที่สามารถทำให้เรือของกองทัพ โรมันไฟไหม้ได้ แสดงรูปที่ 3.30 โดยเข้าศึกกองทัพโรมันใช้เวลานานถึง 3 ปี กว่าจะยึดเมืองซีราคิวส์ได้สำเร็จ [24] ซึ่งรังสีความร้อนของอาร์คิมิดีสเป็นเทคโนโลยีอย่างแรกๆ ที่ได้มีการนำรังสีความร้อนมาใช้ประโยชน์โดยการรวมแสงเพื่อนำมาเป็นพลังงานความร้อน



รูปที่ 3.30 รังสีความร้อนอาร์คิมิดีส [24]

ซึ่งมีแนวทางที่สำคัญหลายประการสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเทคโนโลยีที่หลากหลายจะช่วยให้สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นประโยชน์ที่สุด โดยในปัจจุบันมีธุรกิจและอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีเหล่านี้มากขึ้นเพื่อนำแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์มาเพิ่มประสิทธิภาพและเป็นการประหยัดอีกทางหนึ่ง นอกจากนี้ นักพัฒนาและสาธารณูปโภคยังใช้เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับเมืองใหญ่ๆ หรือเมืองเล็กๆ ตามชนบทอีกด้วย โดยทั่วไปการใช้เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ (photovoltaic) และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยความร้อนแสงอาทิตย์ (concentrating solar power) โดยในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเทคโนโลยีระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยการรวมความเข้มของแสงอาทิตย์เท่านั้น

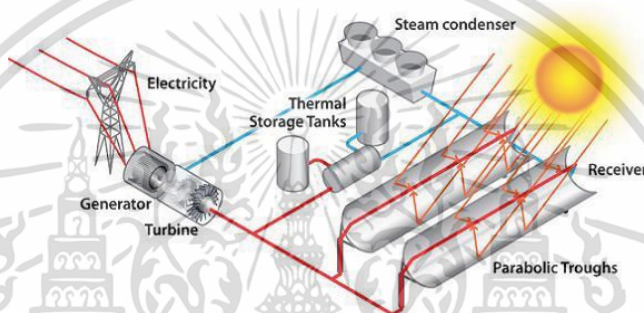
3.5.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยการรวมแสงอาทิตย์ (concentrating solar power)

เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าแบบรวมแสงอาทิตย์ (Concentrating solar power: CSP) เป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้กระจกเงาหรือวัสดุที่มีคุณสมบัติการสะท้อนแสง นำมาสะท้อนและสร้างรังสีของดวงอาทิตย์เข้าสู่ตัวรับที่บริเวณจุดๆ เดียว เพื่อทำหน้าที่เก็บรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์และแปลงเป็นพลังงานความร้อน โดยพลังงานความร้อนนี้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะถูกใช้ในการหมุนกังหันหรือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยตรงกับชุดเครื่องยนต์ (Cycle Heat Engine) ซึ่งติดตั้งอยู่บนตัวรับแสงทำให้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์สามารถนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีการใช้งานได้ [25] ระบบพลังงานรวมแสงอาทิตย์สามารถนำไปใช้งานได้ไม่ว่าในโครงการที่มีขนาดใหญ่และโครงการที่มีขนาดเล็ก โดยระบบพลังงานรวมแสงอาทิตย์จะมีอยู่หลากหลายประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Parabolic trough collector

ระบบรางพาราโบลิกสามารถสร้างด้วยการตัดแผ่นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงเป็นรูปร่างพาราโบลิกและหลอดแก้วจะถูกติดตั้งไว้ตามเส้นโฟกัสของตัวรับแสง โดยจะมีท่อโลหะสีดำปกคลุมเพื่อลดการสูญเสียความร้อน ซึ่งหลักการทำงานของระบบรางพาราโบลิกจะใช้หลักการรวมแสงจากการสะท้อนรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนรางพาราโบลิกเข้าสู่หลอดแก้วที่อยู่ตรงเส้นโฟกัส เมื่อของเหลวได้รับความร้อนจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอและมีแรงดันพุ่งเข้าสู่ Turbine ที่ถูกติดตั้งคู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) แรงดันไอน้ำจะสามารถหมุน Turbine ได้และกลายเป็นพลังงานไฟฟ้าในที่สุด [26] การทำงานของระบบรางพาราโบลิก แสดงดังรูป 3.31



รูปที่ 3.31 หลักการทำงานของระบบรวมแสงแบบรางพาราโบลิก [27]

เทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิกเริ่มมีการนำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าครั้งแรกในปี ค.ศ. 1984 โรงไฟฟ้าที่อยู่ภายใต้โครงการของบริษัท Solar Energy Generating Systems (SEGS) ตั้งอยู่บริเวณทะเลทรายโมฮาวี (Mojave Desert) ทางตะวันตกเฉียงใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา จัดว่าเป็นแหล่งผลิตพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ใหญ่ที่สุดในโลก โดยครอบคลุมพื้นที่ 20.5 ตารางกิโลเมตร มีกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด 364 เมกะวัตต์ (MW) โดยมีโรงไฟฟ้านรางพาราโบลิกจำนวน 9 แห่ง และมีการทำงานร่วมกับระบบเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ในการผลิตไฟฟ้าในเวลากลางคืนหรือช่วงที่ความเข้มของแสงอาทิตย์ต่ำ



รูปที่ 3.32 ระบบรางพาราโบลิกที่ทะเลทรายโมฮาวี รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้อีกหลายพื้นที่ของประเทศสหรัฐอเมริกา ก็มีการใช้เทคโนโลยีระบบรางพาราโบลาผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานดวงอาทิตย์ด้วยเช่นกัน โดยพื้นที่ที่มีการติดตั้งระบบรางพาราโบลา แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีระบบรางพาราโบลาของพื้นที่ประเทศสหรัฐอเมริกา [28]

Own	Plant	Power (MW)	Location	Land areas (hectares)
NextEra Energy	Beacon Solar Energy Project	250.00	California City, Kern County	815
Xcel Energy	Cameo	2.00	Palisade, Colorado	2
NextEra Energy	Genesis Solar	250.00	Blythe, California	790
Keahole Solar Power	Holaniku at Keahole Point	2.00	Kaitua-Kona, Hawaii	1
Iberdrola	Hyder Valley Solar Energy Project	325.00	Hyder, Arizona	-
Florida Power & Light	Martin Next Generation Solar Energy Center	75.00	Indiantown, Florida	202
Abengoa Solar	Mojave Solar	250.00	Harper Dry Lake, California	714
Acciona Energia	Nevada Solar One	64.00	Boulder City, Nevada	162
City of Palmdale	Palmdale Hybrid Power Plant	50.00	Palmdale, California	152
Arizona Public Service	Saguaro	1.00	Red Rock, Arizona	6
Cogentrix	SEGS I (December, 1984)	14.00	Dagget, California	-
Cogentrix	SEGS II (July, 1985)	30.00	Dagget, California	-
NextEra	SEGS III (December, 1985)	30.00	Kramer Junction, California	-
NextEra	SEGS IV (February, 1989)	30.00	Kramer Junction, California	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Own	Plant	Power (MW)	Location	Land areas (hectares)
NextEra	SEGS VI (February, 1989)	30.00	Kramer Junction, California	-
NextEra	SEGS VIII (December, 1989)	80.00	Harper Dry Lake, California	-
NextEra	SEGS IX (October, 1990)	80.00	Harper Dry Lake, California	-
Abengoa Solar	Solana	280.00	Phoenix, Arizona	1257
City of Victorville	Victorville 2 Hybrid Power Plant	50.00	Victorville, San Bernardino County, California	100

ไม่เพียงแต่ประเทศสหรัฐอเมริกาที่มีการนำเทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิกมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งอีกหลายประเทศทั่วโลกได้มีการนำเทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิกมาใช้ประโยชน์เช่นกัน โดยตัวอย่างประเทศที่มีการนำเทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิกมาใช้ แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3 ประเทศที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิก [28]

Country	Owner	Power (MW)	Location
Algeria	Abengoa, NEAL, Sonatrach	25.00	Hassi R'mel
Argentina	Harbine Turbine Company, Heilongjiang Zhongjing New Energy, SolarNoa	20.00	Salta
Brazil	Abantia Braxenergy	50.00	-
Canada	-	1.00	Medicine Hat
Chile	Ibereolica	360.00	Maria Elena, Antofagasta
China	China Power Investments Corporation	100.00	Golmud, Qinghai
China	China Guangdong Nuclear Power Group	50.00	Haixi, Qinghai
China	China Huadian	50.00	Jinta, Gansu

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Own	Plant	Power(MW)	Location
China	Huludao Ruixinda Industry	50.00	Huludao, Liaoning
China	Hanas New Energy Group	92.00	Yinchuan, Ningxia
China	China Datang Corporation	50.00	Ordos, Inner Mongolia
China	China Datang Group Tianwei New Energy Holding	1.50	Jiayuguan, Gansu
China	China Huaneng Group	50.00	Lasa, Tibet
China	Guodian Qingsong Turpan New Energy	0.18	Turpan, Xinjian
China	Tianwei New Energy Holding China Datang Group	10.00	Yumen, Gansu
Egypt	NREA	100.00	Kom Ombo
Egypt	NREA	20.00	Kuraymat
India	Corporate Ispat Alloys	50.00	Jaisalmer, Rajasthan
India	Lanco Infratech	100.00	Askandra, Rajasthan
India	Hira group	50.00	Nokh Village
India	Aurum Renewable Energy	20.00	-
India	Cargo Power & Infrastructure	25.00	Rapar, Jutch district, Gujarat
India	KVK Energy Lanco Solar Energy	100.00	Askandra, Rajasthan
India	Megha Engineering & Infrastructure	50.00	Andhra Pradesh
India	IIT-Bombay Ministry of New and Renewable Energy of India	1.00	Mumbai
India	Entegra Limited	10.00	Rajasthan
Iran	-	0.25	Shiraz
Iran	-	17.00	Yazd
Israel	Abengoa Shikun & Binui Renewable Energy	120.00	Ashalim, Ramat Negev
Israel	Shikun & Binui Renewable Energy	120.00	Ze'elim

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Own	Plant	Power(MW)	Location
Israel	Two Sigma	60.00	Mashabei Sadeh
Italy	ENEL	30.00	Passo Martino, Catania, Sicily
Italy	ENEL	5.00	Priolo Gargallo, Syracuse, Sicily
Italy	Archimede Solar Energy, Chiyoda Corporation	0.35	Massa Martana
Italy	Campu Giavesu	30.00	Cossoine, Sassari, Sardinia
Italy	Flumini Mannu	50.00	Villasor-Decimopuutzu, Cagliari, Sardinia
Italy	Sunwise Capital	50.00	Giave and Bonorva, Sassari, Sardinia
Italy	Gonnosfanadiga	50.00	Gonnosfanadiga, Medio Campidano, Sardinia
Italy	-	50.00	Lentini, Siracusa, Sicily
Kuwait	-	60.00	-
Kuwait	Kuwait Institute for Scientific Research	50.00	Kuwait
Lebanon	Zeenni Trading Agency	2.80	Bsarma, El Koura
Mexico	Comision Federal de Electricidad	14.00	Sonora
Morocco	Office Nationale de l'Electricite	20.00	Ain Beni Mathar
Morocco	Cimar Italcementi Group	3.00	Ait Baha
Morocco	ACWA Aries MASEN TSK	160.00	Ouarzazate
Morocco	MASEN	200.00	Ouarzazate
South Africa	ACWA Solafrica	50.00	Groblerstroom, North Cape
South Africa	Ilangaletu Solar Power	100.00	Uppington, Northern Cape
South Africa	Abengoa Industrial Development Corporation	100.00	Pofadder, North Cape
Spain	Acciona Energia Mitsubih Corp	50.00	Alvarado, Badajoz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Own	Plant	Power(MW)	Location
Spain	Antin Cobra RREEF	50.00	Aldeire, Granada
Spain	Ferrostaal RWE Rhein E SWM Solar Millenium	50.00	Aldeire, Granada
Spain	Torresol Energy	50.00	San Jose del Valle, Badajoz
Spain	OHL RREEF STEAG	50.00	Moron de la Frintera, Sevilla
Spain	Aries Eiser Elecnor	50.00	Alcazar de San Juan, Ciudad Real
Spain	Aries Eiser Elecnor	50.00	Alcazar de San Juan, Ciudad Real
Spain	Aries Eiser Elecnor	50.00	Olivenza, Badajoz, Extremadura
Spain	Torresol Energy	50.00	San Jose del Valle, Badajoz
Spain	OHL, RREEF, STEAG	50.00	Moron de la Frintera, Sevilla
Spain	Aries Eiser Elecnor	50.00	Alcazar de San Juan
Spain	Aries Eiser Elecnor	50.00	Olivenza, Badajoz, Extremadura
Spain	Cobra	50.00	Talarrubias, Caceres
Spain	FCC Energia	50.00	Villena, Valencia
Tunisia	STEG	50.00	Akarit
UAE	Abengoa Solar Masdar Tota	100.00	Medinat Zayed, Abu Dabi

เมื่อศึกษาการใช้เทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิคทั่วโลก จากตารางข้างต้นแล้วจะพบว่าประเทศที่มีการใช้เทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิคมากที่สุดคือ สหรัฐอเมริกา, สเปน, จีน, และอินเดีย โดยพื้นที่สำหรับการติดตั้งโรงงานไฟฟ้ามีทั้งหมด 19 แห่ง, 14 แห่ง, 10 แห่ง และ 9 แห่ง ตามลำดับ

สำหรับประเทศไทยการนำเทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิคมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ยังถือว่าค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเทคโนโลยีชนิดอื่นภายในประเทศ เพราะเทคโนโลยีระบบรางพาราโบลิคต้องการพื้นที่จำนวนมากในการติดตั้งระบบเพื่อผลิตไฟฟ้าให้คุ้มค่าสำหรับการลงทุน ซึ่งระบบรางพาราโบลิคที่ประเทศไทยมีการติดตั้งอยู่ที่ อำเภอห้วยกระเจา จังหวัดกาญจนบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีกำลังผลิต 5.00 เมกะวัตต์ อยู่ภายใต้การดูแลของบริษัท Thai Solar Energy เมื่อเดือนมกราคม ค.ศ. 2012



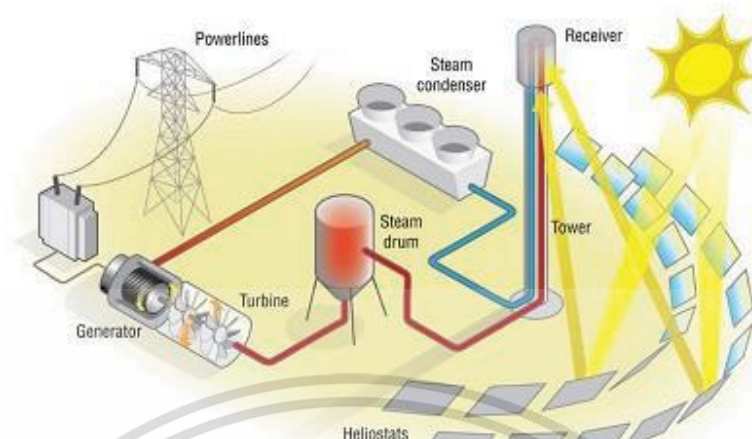
รูปที่ 3.33 ระบบรางพาราโบลิก อำเภอห้วยกระเจา จังหวัดกาญจนบุรี[34]

อย่างไรก็ตามการใช้เทคโนโลยีระบบรวมแสงแบบรางพาราโบลิกก็ยังมีข้อเสียเปรียบเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของราคาต้นทุนการผลิตและการใช้พื้นที่ขนาดใหญ่สำหรับการติดตั้งกระจกวางหลายๆ แถวเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำอุณหภูมิความร้อน หรือแม้กระทั่งปัญหาเกี่ยวกับการพาความร้อนและการสูญเสียรังสีความร้อนด้วยเช่นกัน

2. เทคโนโลยีระบบหอคอย (Central receiver)

ในการผลิตความร้อนที่มีปริมาณสูงมากๆ จะใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า “หอคอยพลังความร้อนจากดวงอาทิตย์” เป็นโรงผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนแสงอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นหอคอยสูง ซึ่งจะรับความร้อนจากกระจกเงาเรียงจำนวนมากที่อยู่ด้านล่าง ในบางครั้งจะถูกเรียกว่า “heliostat field” โดยเมื่อรังสีตกกระทบบนกระจกเงานั้น รังสีของดวงอาทิตย์ก็จะสะท้อนเข้าสู่หอคอยที่ทำหน้าที่สะสมความร้อนและเสเหมือนเตาความร้อนสูง ซึ่งพลังงานความร้อนจะไปเปลี่ยนสถานะของของเหลวให้สามารถผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิและมีแรงดันสูง ก่อนจะมุ่งเข้าสู่ Turbine ที่ถูกติดตั้งคู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แรงดันไอน้ำจะทำให้ Turbine มีการทำงานและสามารถผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ในที่สุด หลักการทำงานของเทคโนโลยีระบบหอคอย แสดงดังรูปที่ 3.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 หลักการทำงานเทคโนโลยีรวมแสงชนิดระบบหอคอย[27]

สำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีระบบหอคอยที่สามารถผลิตกำลังได้มากที่สุดของโลกคือ โรงไฟฟ้าที่ตั้งอยู่บริเวณทะเลทรายซาฮารา (Sahara Desert) ประเทศสาธารณรัฐตูนิเซีย (Tunisia) ในทวีปแอฟริกาเหนือ อยู่ภายใต้โครงการ TuNar ซึ่งถือว่าเป็นโครงการเชิงพาณิชย์แห่งแรกของโลกที่มีการร่วมมือกันระหว่างทวีปแอฟริกาเหนือและทวีปยุโรป เพื่อมุ่งเน้นการผลิตและส่งออกพลังงานสะอาดจากทะเลทรายของประเทศตูนิเซีย โดยโรงไฟฟ้าแห่งนี้มีพื้นที่มากถึง 10,000 เฮกตาร์ และ 1,000 กิโลเมตรสำหรับการขนส่ง สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ถึง 2,250 เมกะวัตต์ ในขณะที่พลังงานความร้อนสามารถผลิตได้ถึง 9,400 GWh



รูปที่ 3.35 ระบบหอคอยประเทศตูนิเซีย

นอกเหนือจากนี้ยังมีอีกหลายประเทศทั่วโลกที่มีการผลิตไฟฟ้าด้วยการใช้เทคโนโลยีระบบหอคอยเช่นกัน โดยข้อมูลประเทศต่างๆ ที่มีการใช้เทคโนโลยีระบบหอคอยแสดงดังตารางที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 ประเทศที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีระบบหอคอย [28]

Country	Owner	Power (MW)	Location
Algeria	DLR	7.00	Boughzoul, Medea
Australia	Lloyd Energy Systems	10.00	Cloncurry
Australia	Graphite Energy	3.50	Lake Cargelligo, New South Wales
Australia	Carbon Reduction Ventures Solastor	3.00	Morawa
Chile	Abengoa	110.00	Maria Elena, Antofagasta
Chile	Ibereolica	400.00	Maria Elena, Antofagasta
Chile	Safe Earth Energy Solastor	5.00	Mejillones
China	Zhejiang SUPCON Solar Energy Technology	50.00	Delingha, Qinghai
China	IEE-CAS	1.00	Yanqing, Beijing
Cyprus	Alfa Mediterranean Enterprises Vimentina	25.00	Alassa
Egypt	TAQA Arabia	250.00	-
Germany	DLR	1.50	Jülich
Greece	-	50.00	Crete
India	ACME	2.50	Bikaner, Rajasthan
Italy	-	50.00	-
Morocco	MASEN	100.00	Ouarzazate
South Africa	-	100.00	Uppington, Northern Cape
South Africa	Abengoa Industrial Development Corporation	50.00	Uppington, North Cape
South Africa	Abengoa, Industrial Development Corporation, KaXu Community Trust, Public Investment Corporation	100.00	-
South Korea	Daesung Energy	0.20	Daegu
Spain	AORA	0.10	Tabernas, Almeria
Spain	Torresol Energy	20.00	Fuentes de Andalucia, Seville
Spain	Abengoa Solar	11.00	Sanlucar La Mayor, Seville

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Country	Owner	Power (MW)	Location
Spain	Abengoa Solar	20.00	Sanlucar La Mayor, Seville
Spain	Acciona Energia	50.00	Alvarado, Badajoz
Spain	Abengoa Solar	4.60	Sanlucar la Mayor, Sevilla
Spain	Preneal SolarReserve	50.00	Alcazar de San Juan, Ciudad Real
UAE	Cosmo Oil Masdar Tokyo Institute of Technology	0.10	Masdar City, Abu Dhabi
US	Chevron	29.00	Coalinga, CA
US	SolarReserve	150.00	Gila Bend, AZ
US	SolarReserve	110.00	Tonopah, Nevada
US	eSolar	245.00	Lancaster, California
US	BrightSource Energy	500.00	Inyo County
US	BrightSource Energy Google NRG Energy	377.00	Primm, California
US	BrightSource Energy	500.00	Riverside County, California
US	SolarReserve	100.00	La Paz County, AZ
US	SolarReserve	150.00	California
US	BrightSource Energy	500.00	Riverside County
US	SolarReserve	200.00	Saguache County
US	eSolar	5.00	Lancaster, California
US	-	10.00	Dagget, California

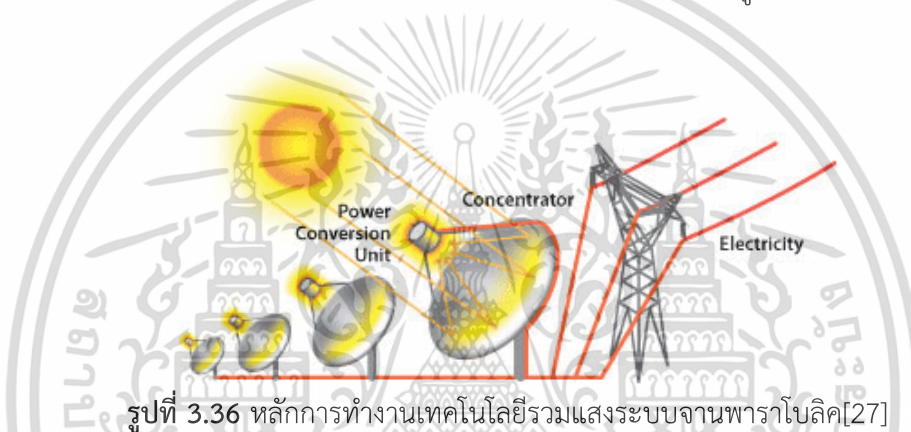
เมื่อศึกษาการใช้เทคโนโลยีรวมแสงชนิดระบบหอคอยทั่วโลก จากตารางข้างต้นจะพบว่าประเทศที่มีการใช้เทคโนโลยีระบบหอคอยมากที่สุดคือ ประเทศสหรัฐอเมริกาโดยมีพื้นที่การติดตั้งโรงงานไฟฟ้า 13 แห่งและรองลงมาคือ ประเทศสเปนซึ่งมีพื้นที่สำหรับการติดตั้งโรงงานไฟฟ้า 7 แห่ง

สำหรับประเทศไทยยังไม่มีการพัฒนาเกี่ยวกับเทคโนโลยีรวมแสงชนิดระบบหอคอย เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีชนิดนี้ จำเป็นที่จะต้องมียพื้นที่ในการติดตั้งกระจกสะท้อนแสงขนาดใหญ่หลายๆ และในเรื่องของราคาการผลิตที่จะต้องใช้ระบบติดตามแสงอาทิตย์กับสนามกระจกสะท้อนแสง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเก็บพลังงานความร้อน ทำให้ความเหมาะสมที่จะพัฒนาเทคโนโลยีรวมแสงชนิดระบบหอคอยในประเทศไทยยังไม่เป็นที่น่าสนใจมากนักสำหรับผู้ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระบบรวมแสงจานพาราโบลา (Parabolic dish)

ระบบจานรวมแสงแบบพาราโบลาเป็นลักษณะของแผ่นสะท้อนแบบโครงสร้างพาราโบล่า ที่มีตัวรับความร้อนติดตั้งอยู่บริเวณจุดโฟกัส โดยโครงสร้างของตัวจานมักจะมีการเคลื่อนที่หันเข้าหาดวงอาทิตย์ในลักษณะสองแกนเสมอ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ เมื่อรังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบบริเวณพื้นผิวของจานพาราโบลาที่มีการติดตั้งวัสดุสะท้อนแสง รังสีดวงอาทิตย์จะสะท้อนเข้าสู่เครื่องรับความร้อน ซึ่งระบบจานรวมแสงพาราโบลาชนิดนี้มีการติดตั้งการใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Stirling Engine) โดยระบบการผลิตไฟฟ้าลักษณะนี้จะเป็นการแปลงพลังงานความร้อนที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์เป็นพลังงานทางกล เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนต่อไป การทำงานของระบบจานรวมแสงพาราโบลาที่มีการใช้งานกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง แสดงดังรูป 3.36



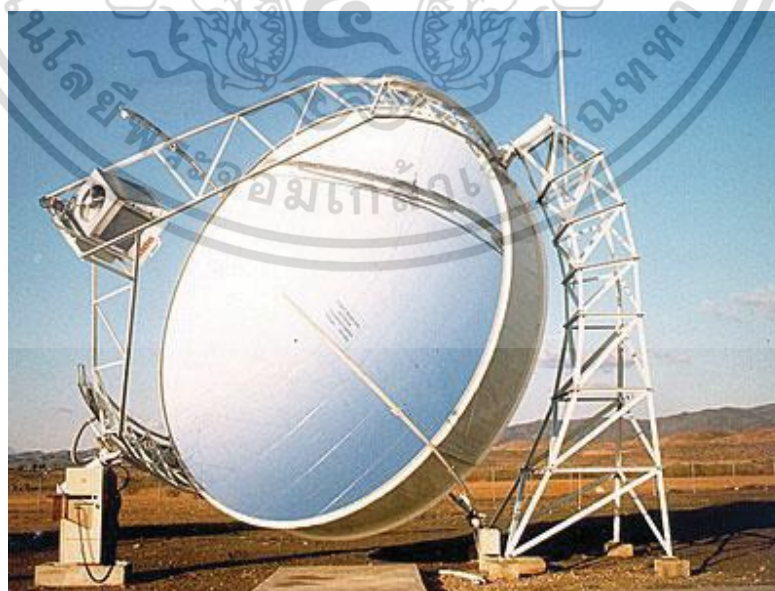
รูปที่ 3.36 หลักการทำงานเทคโนโลยีรวมแสงระบบจานพาราโบลา[27]

โดยทั่วไประบบจานพาราโบล่าที่มีการติดตั้งร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง 1 ชุด จะมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 25-40 kW ถ้าต้องการกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นก็สามารถติดตั้งได้จำนวนหลายๆชุด คล้ายกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยโซลาเซลล์ ด้านการพัฒนาเทคโนโลยีระบบรวมจานแสงพาราโบลาที่มีการใช้งานคู่กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงนั้น ได้มีโครงการ NER300 ของสหภาพยุโรปจัดสร้างและมีการลงทุน 2 โครงการ โดยในโครงการแรกเป็นโครงการโรงไฟฟ้า Stirling ขนาดใหญ่ที่มีกำลังการผลิตติดตั้งรวม 75.3 MWe ที่ตั้งอยู่ทางตะวันตกเฉียงเหนือของกรีซในเขต Florina ประกอบด้วยจานรวมแสงที่ติดตั้งเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่มีการทำงานแบบ free-piston ทั้งหมด 25,160 ชุด ซึ่งเครื่องยนต์แต่ละรุ่นจะสามารถผลิตกำลังไฟได้ 3 กิโลวัตต์ และอีกหนึ่งโครงการเป็นโครงการโรงไฟฟ้า Stirling ขนาดใหญ่ที่มีกำลังการผลิตติดตั้งรวมอยู่ที่ 50.76 MWe ตั้งอยู่ทางด้านตะวันออกของไซปรัสใกล้กับเมืองลาร์นาคา ประกอบด้วยจานรวมแสงที่ติดตั้งเครื่องยนต์สเตอร์ลิงทั้งหมด 16,920 ชุด จานรวมแสงพาราโบลาที่มีการใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงของโครงการ NER300 [28] แสดงดังรูปที่ 3.37



รูปที่ 3.37 จานรวมแรงพาราโบลาที่มีการใช้งานกับเครื่องยนต์สเตอลิงของโครงการ NER300 [28]

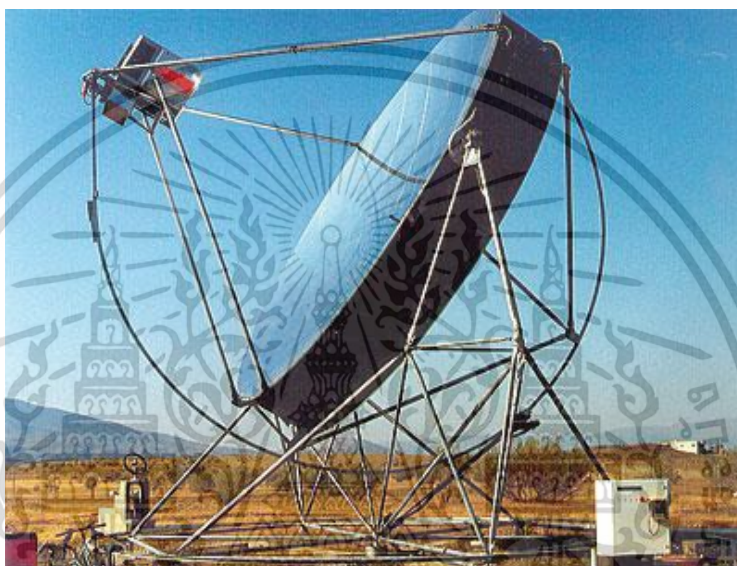
นอกจากนี้การใช้ระบบเทคโนโลยีจานรวมแสงได้มีนักลงทุนอีกหลายประเทศที่สนใจและผลิตขึ้น ในปี 1992 โครงการที่ถูกเรียกว่า DISTAL I ซึ่งทำการพัฒนาระบบจานรวมแสงโดยจานรวมแสงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เมตร, ระยะโฟกัส 4.5 เมตร และวัสดุสะท้อนมีความสามารถในการสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ได้ถึง 94 % ซึ่งจานรวมแสงพาราโบลาสามารถเก็บพลังงานความร้อนได้ 40 กิโลวัตต์และเครื่องยนต์สเตอลิง SOLO V160 สามารถผลิตกำลังได้ 9 กิโลวัตต์ รูปที่ 3.38 แสดงระบบจานรวมแสงของโครงการDISTAL I



รูปที่ 3.38 จานรวมแสงพาราโบลาที่ใช้ทำงานร่วมกับเครื่องยนต์สเตอลิงของโครงการ DISTAL I [29]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปีค.ศ. 1996 และ 1997 โครงการภายใต้ชื่อ DISTAL II ทำการพัฒนาาระบบจันรวมแสงให้มีประสิทธิภาพที่เพิ่มมากขึ้นเป็นครั้งแรก โดยจันรวมแสงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8.5 เมตร, ตำแหน่งโฟกัสที่ 4.1 เมตรและมีการทำงานแบบติดตามดวงอาทิตย์อัตโนมัติทั้งสองแกน ซึ่งพลังงานความร้อนที่จันรวมแสงเก็บได้มีค่า 50 กิโลวัตต์ ในส่วนของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีการพัฒนาและถูกเรียกว่า SOLO V161 สามารถผลิตกำลังได้ 10 กิโลวัตต์ โดยรูปที่ 3.39 แสดงระบบจันรวมแสงพาราโบลิกของโครงการ DISTAL II



รูปที่ 3.39 จันรวมแสงพาราโบลิกที่ใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงของโครงการ DISTAL II [29]

ต่อมาในปีค.ศ. 2000 โครงการ DISTAL ได้มีการเปลี่ยนชื่อโครงการเป็น EUROdish ซึ่งอยู่ภายใต้ความร่วมมือของประเทศสเปนและเยอรมัน สำหรับโครงการในครั้งนี้นำการออกแบบและมีการสร้างต้นแบบของระบบจันรวมพาราโบลิกและเครื่องยนต์สเตอร์ลิง เพื่อลดราคาของต้นทุนการผลิตแต่ยังคงใช้ชิ้นส่วนอุตสาหกรรมที่มีมาตรฐาน ในการพัฒนาครั้งนี้มีการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์สเตอร์ลิง SOLO V161 โดยเฉพาะส่วนประกอบภายในช่องรับแสงและสามารถควบคุมจันรวมแสงระยะไกลและมีการตรวจสอบค่าผ่านทางเว็บไซต์ได้ ซึ่งระบบจันรวมแสงเครื่องยนต์สเตอร์ลิงหลังจากมีการปรับปรุง แสดงดังรูปที่ 3.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 งานรวมแสงพาราโบลิกที่ใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงของโครงการ EUROdish [29]

ในปีค.ศ. 2011 ประเทศอินเดียมีการพัฒนาการออกแบบและติดตั้งเทคโนโลยีงานรวมแสงพาราโบลิกภายใต้โครงการที่มีชื่อว่า "India One" ซึ่งเป็นโรงงานไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์ 1 เมกะวัตต์ในเมืองอาบู ถนนราชสถาน สำหรับโครงการ India One มีการสร้างงานรวมแสงพาราโบลิกขนาด 60 ตารางเมตรจำนวน 770 ชุด ซึ่งความร้อนที่ได้จากการจัดเก็บอยู่ระหว่าง 250°C – 450°C โดยโครงการนี้สามารถผลิตพลังงานความร้อนให้กับครัวเรือนภายในพื้นที่จำนวน 25,000 คน ซึ่งนับว่าเป็นก้าวที่สำคัญสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานสะอาดในประเทศอินเดีย



รูปที่ 3.41 งานรวมแสงพาราโบลิกของโครงการ India One [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกเหนือจากโครงการที่กล่าวมาข้างต้นยังมีอีกหลายบริษัทที่พัฒนาและติดตั้งเทคโนโลยีระบบงานรวมแสงพาราโบลิค โดยตัวอย่างประเทศที่มีการพัฒนาและติดตั้งระบบงานรวมแสงพาราโบลิคแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ประเทศที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีรวมแสงชนิดระบบงานพาราโบลิค [28]

Country	Owner	Power (MW)	Location
Australia	NP Power Sustainable Power Partners Wizard Power	40.00	Whyalla, South Australia
China	TaiQing	60.00	-
China	E-Cube Energy	1.00	Sanya, Hainan
Israel	-	1.00	Ramat Hovav
Spain	Renovalia	1.00	Casas de los Pinos, Cuenca
US	Tessera Solar	1.50	Peoria, Arizona
US	-	1.50	Tooele, Utah

เมื่อวิเคราะห์การพัฒนาเทคโนโลยีระบบรวมแสงอาทิตย์ในพื้นที่ทั่วโลกนั้น ประเทศที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีรวมแสงมากที่สุด ทั้งในด้านการพัฒนาและในด้านเชิงพาณิชย์จะพบว่าประเทศสเปนกลายเป็นประเทศที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีรวมแสงอาทิตย์อย่างก้าวหน้า จนสามารถแซงหน้าประเทศสหรัฐอเมริกาที่เคยเป็นประเทศชั้นนำในด้านการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีรวมแสงได้

โดยในปี ค.ศ. 2010 ประเทศสเปนเพิ่มกำลังการผลิต 400 เมกะวัตต์ ทำให้การผลิตรวมทั้งสิ้นเป็น 632 เมกะวัตต์ ในขณะที่สหรัฐอเมริกาสิ้นสุดปีด้วยกำลังการผลิต 509 เมกะวัตต์ เพิ่มกำลังผลิต 78 เมกะวัตต์และในปี ค.ศ. 2014 ประเทศสเปนมีกำลังการผลิตรวมทั้งสิ้น 2,300 เมกะวัตต์ ในขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกามีกำลังการผลิต 1,740 เมกะวัตต์ ซึ่งในปีนี้เองส่งผลทำให้ประเทศสเปนกลายเป็นผู้นำโลกทางด้านการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีรวมแสงอาทิตย์ โดยพื้นที่ของประเทศสเปนมีโรงผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยเทคโนโลยีรวมแสงอาทิตย์ ทั้งหมด 61 แห่ง แสดงดังรูปที่ 3.42












เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.42 พื้นที่ติดตั้งโรงผลิตไฟฟ้าในประเทศสเปน [28]

สำหรับอีกหลายประเทศทั่วโลกก็มีการพัฒนาโรงงานไฟฟ้าที่ผลิตจากเทคโนโลยีรวมแสงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นแอฟริกาเหนือ, ตะวันออกกลาง, อินเดียหรือจีน เป็นต้น จากรายงาน REN21 Global Status Report ประจำปี 2017 [16] พบว่าประเทศที่มีกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเทคโนโลยีรวมแสงอาทิตย์มากที่สุด จะแสดงดังตารางที่ 3.6 และจากการสำรวจตลาดทั่วโลกการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเทคโนโลยีรวมแสงแบบระบบรางพาราโบลิกได้รับความนิยมจากผู้ผลิตมากที่สุด ซึ่งคิดเป็น 90% ของโรงงานเทคโนโลยีรวมแสงทั้งหมด

ตารางที่ 3.6 กำลังผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในปี ค.ศ. 2016

Country	Total (MWp)	Added (MWp)
 Spain	2,300	0
 United States	1,738	0
 India	225	0
 South Africa	200	100
 Morocco	180	0
 United Arab Emirates	100	0
 Algeria	25	0
 Egypt	20	0
 Australia	12	0
 China	10	10
 Thailand	5	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 เปรียบเทียบเทคโนโลยีระบบรวมแสง

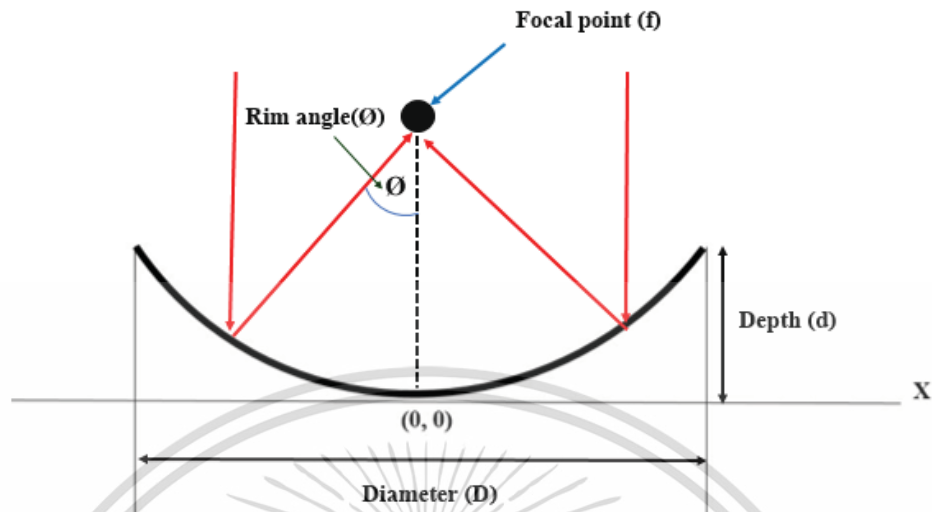
การใช้เทคโนโลยีระบบรวมแสงให้เกิดประสิทธิภาพมากที่สุด ควรเลือกใช้ตามความเหมาะสมในด้านการลงทุนและความเหมาะสมของพื้นที่การผลิต ซึ่งเทคโนโลยีรวมแสงอย่างระบบรางพาโบลิก, ระบบหอคอย และระบบจานพาราโบลิกจะมีความเหมาะสมสำหรับพื้นที่ที่แตกต่างกันออกไป โดยตารางที่ 3.7 แสดงข้อมูลเปรียบเทียบสำหรับเทคโนโลยีรวมแสงทั้ง 3 ชนิด

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบเทคโนโลยีรวมแสง [31]

Design	Parabolic Trough	Solar Power	Dish-Stirling Engine
Technology Maturity	Most Mature	Commercial deployments	Proposed installations
Preferred Scale	Large	Large	Small
Capital Cost	High	High	High (low per Unit)
Annual Solar-to-Net Electricity Conversion Efficiency	15%	17%	22%
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> • Significant construction and operational experience • High radiative and convective energy losses 	<ul style="list-style-type: none"> • High cost due to expensive heliostat field • High temperature HTF possible • High efficiency 	<ul style="list-style-type: none"> • High engine efficiency • High cost due to expensive engines (one for each dish)

3.6 ทฤษฎีพาราโบล่า (Parabolic Geometry)

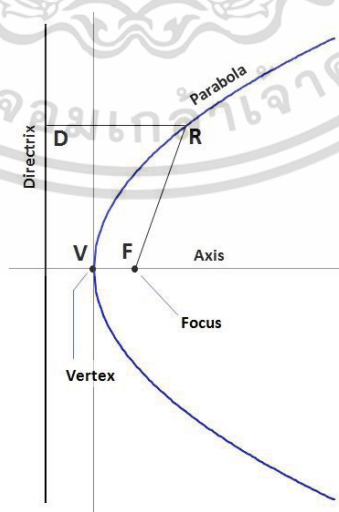
รูปทรงเรขาคณิตพาราโบล่าเป็นพื้นฐานสำคัญที่ถูกนำมาใช้สำหรับเทคโนโลยีรวมแสงอาทิตย์ ซึ่งรูปทรงพาราโบล่าจะเป็นพื้นผิวในการสะท้อนความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ ทำให้การออกแบบโครงสร้างจานรวมแสงสำหรับเทคโนโลยีรวมแสง ทฤษฎีพาราโบล่าจะถูกนำมาใช้ในการหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยทั่วไปค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญในการออกแบบโครงสร้างจานรวมแสงพาราโบลิก [32] จะแสดงดังรูปที่ 3.43



รูปที่ 3.43 พารามิเตอร์ของจานพาราโบลา

โดยทั่วไปหลักการของทฤษฎีพลาโบลาได้กล่าวไว้ว่า “เซตของจุดทุกจุดบนระนาบซึ่งอยู่ห่างจากเส้นตรงที่เส้นหนึ่งบนระนาบและจุดคงที่จุดหนึ่งบนระนาบนอกเส้นตรงคงที่นั้นเป็นระยะทางเท่ากับเสมอ” (เส้น $FR = RD$) พิจารณาในรูปที่ 3.44 โดยที่เส้นตรงคงที่นี้เรียกว่า “ไดเรกทริกซ์ของพาราโบลา” และจุดคงที่เรียกว่า “โฟกัสของพาราโบลา” ดังนั้นที่จุดกำเนิด V และแกนของพาราโบลา(แกน x) จะได้สมการความสัมพันธ์ของพาราโบลา คือ

$$y^2 = 4fx \quad (9)$$



รูปที่ 3.44 รูปทรงเรขาคณิตของพาราโบลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามคำนิยามของจุดโฟกัสพาราโบลา “เมื่อรังสีของดวงอาทิตย์ที่เป็นคู่ขนานไปกับแกนของพาราโบลาคตกกระทบบนพื้นผิว รังสีทั้งหมดจะสะท้อนผ่านตำแหน่งโฟกัสเสมอ” ซึ่งเป็นการใช้หลักการของกฎ Snell (มุมของการสะท้อนเท่ากับมุมของตกกระทบ) ทำให้สามารถกำหนดจุดโฟกัสให้เป็นตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ (รูปที่ 3.45) โดยหาได้จากสมการที่ 10

$$f = \frac{D^2}{16d} \quad (10)$$

เมื่อ Diameter (D) คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของพาราโบลา
Depth (d) คือ ความลึกหรือความสูงของพาราโบลา

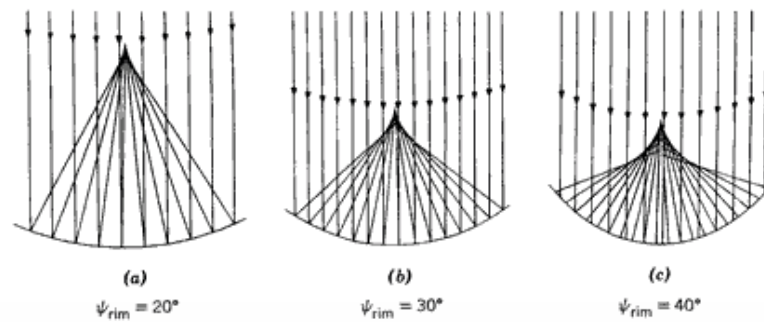


รูปที่ 3.45 รังสีของดวงอาทิตย์เป็นคู่ขนานไปกับแกนพาราโบลาคจะสะท้อนผ่านจุดโฟกัส

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความยาวโฟกัสและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบลา (อัตราส่วน F/D) จะถูกเรียกว่า ความสัมพันธ์ของรูรับแสง (Aperture) ซึ่งจะใช้ในการกำหนดรูปร่างของพาราโบลาและตำแหน่งของจุดโฟกัส โดยรูปร่างของพาราโบลาคสามารถกำหนดได้ด้วยมุมขอบพาราโบลา (ψ_{rim}) ซึ่งลักษณะของมุมขอบจะมีตั้งแต่ $10^\circ - 90^\circ$ เมื่อมุมขอบเพิ่มขึ้น พาราโบลาคจะมีความโค้งมากขึ้นและระยะทางโฟกัสจะสั้นลง แสดงดังรูปที่ 3.46 โดยทั่วไปการออกแบบรูปร่างพาราโบลาคอัตราส่วน F/D จะอยู่ระหว่าง $0.3 - 1.0$ โดยค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสามารถหาได้จากสมการที่ 11

$$\tan \psi_{rim} = \frac{1}{(d/8h) - (2h/d)} \quad (11)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.46 ความแปรผันระหว่างเส้นโค้งของพาราโบลาและระยะโฟกัส [20]

โดยทั่วไปการออกแบบรูปร่างพาราโบลาค่าอัตราส่วน f/D จะอยู่ระหว่าง 0.3 – 1.0 โดยค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องสามารถหาได้จากสมการที่ 12

$$\frac{f}{D} = \frac{1}{4 \tan\left(\frac{\psi_{\text{rim}}}{2}\right)} \quad (12)$$

สำหรับพื้นที่ของจานรวมแสงพาราโบลาคำนวณได้จากสมการที่ 13

$$A = \frac{8f^2}{3} \left\{ \left[\left(\frac{D}{4f} \right)^2 + 1 \right]^{3/2} - 1 \right\} \quad (13)$$

3.7 พลังงานความร้อน

พลังงานความร้อน เป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่ได้มาจากหลากหลายแห่งทั้งจากธรรมชาติและการสร้างขึ้น ตัวอย่างเช่น พลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ พลังงานการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง พลังงานของเหลวร้อนใต้พื้นพิภพ พลังงานไฟฟ้า พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานน้ำในหม้อต้มน้ำ และพลังงานเปลวไฟ เป็นต้น ซึ่งผลของพลังงานความร้อนจากแหล่งต่าง ๆ เหล่านี้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อสสารได้หลายชั้น เริ่มตั้งแต่การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสสาร หรือการเปลี่ยนสถานะของสสาร มากกว่านั้นพลังงานความร้อนยังสามารถทำให้กระบวนการทางเคมีเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อีกด้วย โดยในการวัดปริมาณความร้อน สามารถวัดได้ด้วยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า ‘แคลอรีมิเตอร์’ มีหน่วยของปริมาณความร้อน คือ แคลอรี หรือจูล โดยที่พลังงานกล 4.18 จูล มีค่าเท่ากับ 1 แคลอรี ในขณะที่ผลของความร้อนต่อสสารหรือวัตถุในชั้นนี้จะศึกษาเพียงสองด้าน [33] คือ

1. ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) หมายถึง พลังงานความร้อนที่ทำให้วัตถุมีอุณหภูมิสูงขึ้นหรือต่ำลงโดยสถานะยังคงรูปเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ความร้อนแฝง (Latent heat) หมายถึง พลังงานความร้อนที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนสถานะโดยอุณหภูมิคงที่

ความจุความร้อน (Heat capacity, C)

ความจุความร้อน คือ ความร้อนที่ทำให้สารทั้งหมดที่กำลังพิจารณามีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งหน่วย โดยสถานะไม่เปลี่ยน ถ้าให้ปริมาณความร้อน ΔQ แก่วัตถุ ทำให้อุณหภูมิของวัตถุเปลี่ยนไป ΔT ดังนั้น ถ้าอุณหภูมิของวัตถุเปลี่ยนไป 1 หน่วย จะใช้ความร้อน C คือ

$$C = \Delta Q / \Delta T \quad \text{มีหน่วยเป็น จูล/เคลวิน (J/K)}$$

ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat capacity , c) คือ ความร้อนที่ทำให้สาร(วัตถุ) มวลหนึ่งหน่วยมีอุณหภูมิเปลี่ยนไปหนึ่งเคลวิน คือ ความจุความร้อนจำเพาะของสาร (J/kg-K)

$$C = \Delta Q / m \Delta T$$

นั่นคือ เมื่อสารมวล m มีอุณหภูมิเพิ่มจาก T1 เป็น T2 และความจุความร้อนจำเพาะมีค่าคงตัว ดังนั้นสามารถคำนวณปริมาณความร้อนที่สารได้รับจากสมการที่ 14

$$\Delta Q = mc\Delta T \quad (14)$$

เมื่อ Q คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของสารนั้นๆ

m คือ มวลของสาร

c คือ ความจุความร้อนเฉพาะ

ΔT คือ อุณหภูมิของสารที่เปลี่ยนแปลงไป

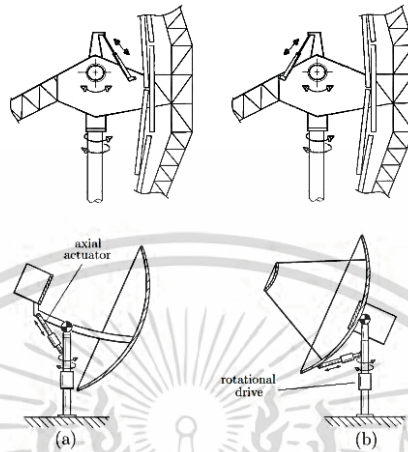
3.8 ประสิทธิภาพการรวมแสง (Collectors Efficiency)

ประสิทธิภาพการเก็บรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์คือ อัตราส่วนของอัตราการใช้พลังงานความร้อนที่มีประโยชน์จากตัวเก็บรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์และรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนจานรวมแสง โดยประสิทธิภาพการสะสมสามารถหาได้จากสมการที่ 15

$$\eta = \frac{Q_{\text{useful}}}{A_g I_a} \quad (15)$$

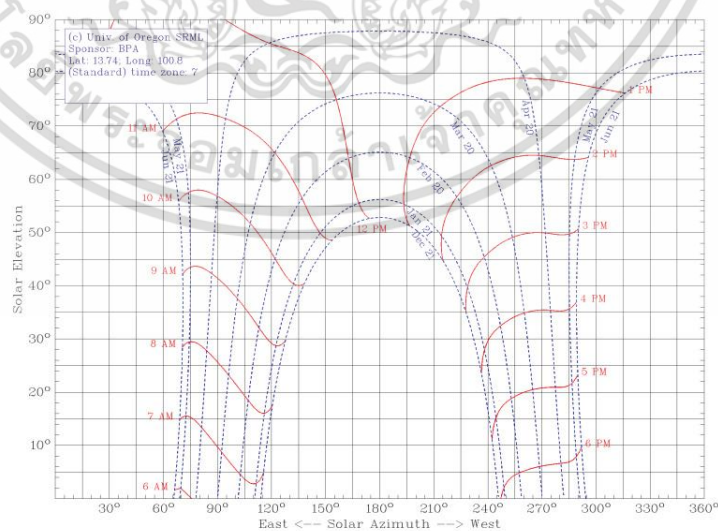
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกเหนือจากนี้ทำให้จานรวมแสงพาราโบลาสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางขึ้นและลงหรือเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวาได้ [34] การหมุนของจานพาราโบลาลักษณะสองแกนแสดงดังรูปที่ 3.48



รูปที่ 3.48 ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน [34]

โดยทั่วไประบบติดตามดวงอาทิตย์จะถูกควบคุมด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการออกแบบให้ขับเคลื่อนมอเตอร์ที่มีการติดตั้งตามตำแหน่งเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (โดยสามารถหาได้จากหัวข้อที่ 2.6) จากรูปที่ 3.49 เป็นตัวอย่างเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งที่ต้องการให้มีการติดตามแสงอาทิตย์ (สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, Latitude= 13.7376368, Longitude=100.8007193, Time zone=GMT+7)



รูปที่ 3.49 ตัวอย่างแสดงเส้นทางการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

หลักการออกแบบและสร้างจานรวมแสงต้นแบบ

4.1 การออกแบบจานรวมแสงต้นแบบ

จากการศึกษางานวิจัยการสร้างเทคโนโลยีแบบจานรวมแสงพาราโบลิก จะพบว่าส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการสร้างจานรวมแสงพาราโบลิกให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี จะประกอบไปด้วย อัตราส่วนการรวมแสงหรือพื้นที่จานรวมแสงต่อพื้นที่รับแสง, อัตราส่วนระยะโฟกัสต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง, วัสดุที่ใช้สำหรับการสะท้อนแสงและราคาของการผลิตที่ควรจะสามารถผลิตได้ในต้นทุนที่เหมาะสม สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกจานรับส่งสัญญาณดาวเทียมที่ไม่มีการใช้งานแล้วมาประยุกต์ใช้ในการสร้างระบบจานรวมแสงพาราโบลิก เพื่อให้การสร้างจานรวมแสงต้นแบบมีราคาต้นทุนที่มีความเหมาะสมสำหรับความสามารถในการรวมแสงอาทิตย์ โดยขั้นตอนการออกแบบและสร้างจานรวมแสงต้นแบบที่จะกล่าวถึงจะแสดงดังแผนภาพที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการออกแบบและสร้างจานรวมแสงต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ในเนื้อหา โดยผู้จัดทำเอกสารนี้ขอสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การตรวจสอบความเป็น Parabola ของจานรับสัญญาณดาวเทียม

ในเบื้องต้นจานรับสัญญาณดาวเทียมที่นำมาประยุกต์ มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เมตรและความลึก 0.67 เมตร ซึ่งสามารถหาตำแหน่งจุดโฟกัสของจานรับสัญญาณดาวเทียมได้จากสมการที่ 10 ในบทที่ 3

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

$$f = \frac{3.2^2}{16(0.67)}$$

ดังนั้นตำแหน่งโฟกัสของจาน;

$$f = 0.955 \text{ เมตร}$$

สำหรับพื้นที่ของจานรวมแสงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 13

$$A = \frac{8\pi(f)^2}{3} \left\{ \left[\left(\frac{D}{4(f)} \right)^2 + 1 \right]^{3/2} - 1 \right\}$$

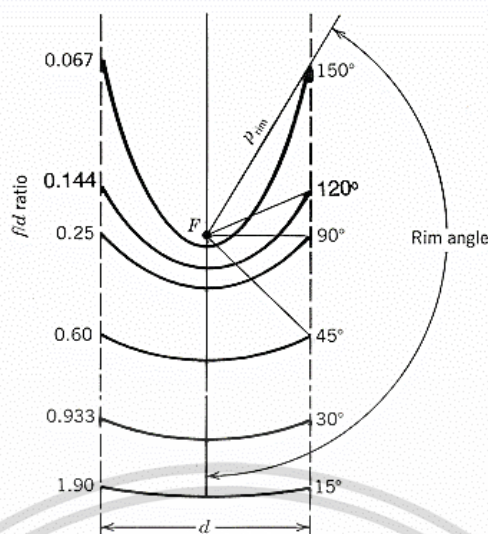
$$A = \frac{8\pi(0.955)^2}{3} \left\{ \left[\left(\frac{3.2}{4(0.955)} \right)^2 + 1 \right]^{3/2} - 1 \right\}$$

ดังนั้นพื้นที่จานรวมแสงพาราโบลาจะมีขนาด;

$$A = 9.32 \text{ ตารางเมตร}$$

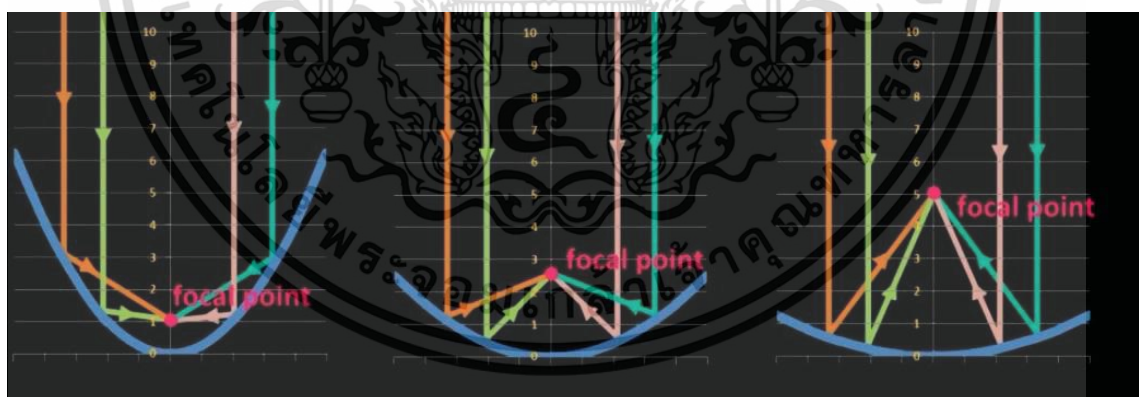
สำหรับสิ่งสำคัญของโครงงานรับสัญญาณดาวเทียมที่นำมาประยุกต์ใช้ จะต้องคำนึงถึงความเป็นพาราโบลาที่ดีของจานรับสัญญาณดาวเทียม โดย William B. Stine และ Michael Geyer [20] ได้อธิบายถึงความสัมพันธ์ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและตำแหน่งโฟกัสไว้ว่า “โดยทั่วไปเส้นโค้งของพาราโบล่าจะไม่มีขอบเขต ดังนั้นจึงสามารถกำหนดขอบเขตของพาราโบล่าได้จากอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางต่อตำแหน่งโฟกัสของจานหรือมุมขอบ” จากรูปที่ 4.2 แสดงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและตำแหน่งโฟกัสที่จุดเดียวกัน โดยมีอัตราส่วน f/D หรือมุมขอบ (rim angle) ที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจากภาพจะเห็นว่าพาราโบล่าที่มีมุมขอบขนาดเล็กค่อนข้างแบนเกือบจะเป็นเส้นตรงนั้น ความยาวของขนาดโฟกัสจะยาวกว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับแสง และพาราโบล่าที่มีมุมขอบขนาดใหญ่เส้นโค้งพาราโบล่าจะสูง จะทำให้มีตำแหน่งโฟกัสเกิดในมุมอับของจานรับแสง ในขณะที่พาราโบล่าที่มีมุมขอบขนาด 45 องศา จะมีเส้นทางการสะท้อนของรังสีที่ตกกระทบกับขนาดของความยาวโฟกัสอย่างเหมาะสม จึงทำให้รังสีที่ตกกระทบจะสามารถสะท้อนผ่านตำแหน่งโฟกัสได้มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 เส้นโค้งพาราโบลาที่มีจุดโฟกัสและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ตำแหน่งเดียวกัน[20]

สำหรับรูปที่ 4.3 จะแสดงให้เห็นถึงพาราโบลาที่มีมุมขอบมาก, พาราโบลาที่มีมุมขอบที่เหมาะสม และพาราโบลาที่มีมุมขอบน้อย โดยจากภาพจะเห็นว่าพาราโบลาที่มีมุมขอบมาก จะทำให้เกิดตำแหน่งโฟกัสในจุดที่เป็นมุมอับทำให้ส่งผลเกิด shading area ได้ ในขณะที่พาราโบลาที่มีมุมขอบน้อยเส้นโค้งของพาราโบลาเกือบจะเป็นเส้นตรง จะทำให้ตำแหน่งโฟกัสที่เกิดขึ้นอยู่ในจุดที่ไกลมาก ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสูญเสียความร้อนได้ เนื่องจากการเดินทางของรังสีดวงอาทิตย์มีระยะทางที่ไกล และสำหรับมุมขอบที่ 45 องศาจะเป็นมุมขอบที่ดีสำหรับการสะท้อนกับขนาดโฟกัส



(ก.) มุมขอบ 15 องศา

(ข.) มุมขอบ 45 องศา

(ค.) มุมขอบ 20 องศา

รูปที่ 4.3 แสดงพาราโบลาที่มีมุมขอบต่างๆ

จากการวัดจริงของมุมขอบจานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีการประยุกต์ใช้จะพบว่ามุมขอบที่วัดได้คือ 45 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจานรับสัญญาณดาวเทียมมีมุมขอบที่เหมาะสมในการที่รังสีของดวงอาทิตย์ตกกระทบและมีการสะท้อนไปยังตำแหน่งโฟกัส โดยสามารถคำนวณอัตราส่วน f/D ได้จากสมการที่ 12 ในบทที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{f}{D} = \frac{1}{4 \tan\left(\frac{\psi_{rim}}{2}\right)}$$

$$\frac{f}{D} = \frac{1}{4 \tan\left(\frac{45}{2}\right)} = 0.603$$

ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของระบบจานรวมแสงต้นแบบสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ จะแสดงดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างของจานรับสัญญาณดาวเทียมที่นำมาประยุกต์ใช้งาน

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์จานรวมแสงพาราโบลา

พารามิเตอร์	ค่า	หน่วย
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	3.20	เมตร
ความลึกของจาน	0.67	เมตร
ตำแหน่งโฟกัส	0.96	เมตร
พื้นที่จานรวมแสง	9.32	ตารางเมตร
มุมขอบ	45	องศา
น้ำหนักของโครงสร้างจาน	25	กิโลกรัม



รูปที่ 4.4 โครงสร้างจานรับสัญญาณดาวเทียมที่นำมาประยุกต์เป็นจานรวมแสงอาทิตย์

ในขณะที่สังกะสีจะถูกนำมาใช้ในการเตรียมพื้นที่สำหรับการติดตั้งชุดสะท้อนแสง เนื่องจากมีความแข็งแรงและความอ่อนตัวที่จะสามารถโค้งไปตามรูปพาราโบลาของจานรวมแสงได้ โดยจานรวมแสงต้นแบบที่มีการติดตั้งสังกะสี จะแสดงดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 โครงสร้างงานรับสัญญาณดาวเทียมก่อนการติดตั้งชุดสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การออกแบบระบบควบคุมจากรวมแสงต้นแบบ

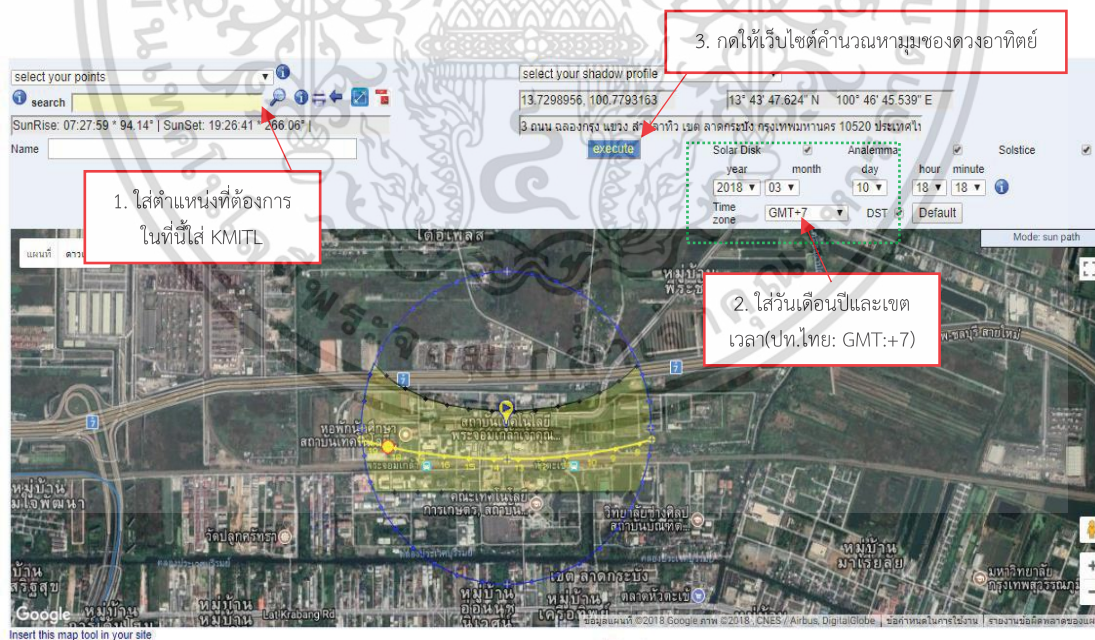
ในการออกแบบระบบควบคุมจากรวมแสงจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบที่สำคัญ ได้แก่ ระบบขับเคลื่อนและระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยมี 2 ปัจจัยที่จะต้องคำนึงถึงการออกแบบ

1. มุมที่ใช้ในการควบคุมจากรวมแสงจะต้องมีลักษณะ 2 ทิศทางเพื่อให้มีความสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ได้ตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งการเคลื่อนที่ของจากรวมแสงต้นแบบจะประกอบไปด้วยมุมที่มีทิศทางของมุม Azimuth และมุม Elevation

2. แรงขับเคลื่อนสามารถขับเคลื่อนจากรวมแสงต้นแบบที่มีน้ำหนักรวมทั้งระบบโดยประมาณ 300 กิโลกรัม ทั้งในลักษณะของมุม Azimuth และมุม Elevation ตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

4.3.1 การออกแบบชุดระบบขับเคลื่อน

สำหรับชุดระบบขับเคลื่อนจะต้องออกแบบให้สามารถขับเคลื่อนจากรวมแสงให้มีความสอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ในเบื้องต้นจึงได้ทำการศึกษากการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จากการศึกษามุม Azimuth และมุม Elevation ของดวงอาทิตย์ ในปัจจุบันได้มีเว็บไซต์เพื่อการคำนวณหาทิศทางของมุม โดยเฉพาะ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำข้อมูลจาก www.sunearthtools.com มาทำการศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ โดยจะเลือกเพียงวันหนึ่งมาเพื่อศึกษามุมที่ได้ในแต่ละช่วงเวลาของวันที่เลือก สำหรับขั้นตอนการใส่ข้อมูลบนเว็บไซต์จะแสดงดังรูปที่ 4.5 และตัวอย่างผลลัพธ์จากการคำนวณมุม Azimuth และมุม Elevation ที่ได้จากเว็บไซต์จะแสดงดังตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างการใช้งานหน้า www.sunearthtools.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

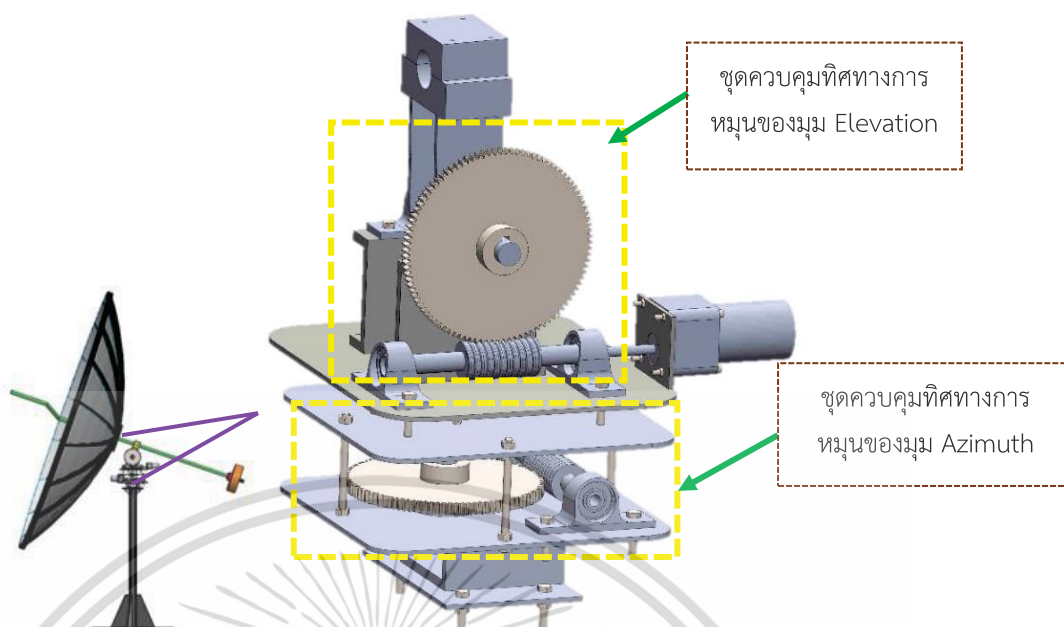
ตารางที่ 4.2 แสดงค่ามุม Azimuth และมุม Elevation ของดวงอาทิตย์

Date:	10/03/2018 GMT7	
coordinates:	13.7298956, 100.7793163	
location:	ถนน ฉลองกรุง แขวง ลำปลาทิว เขต ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 ประเทศไทย	
hour	Elevation	Azimuth
9:00:00	21.34°	100.15°
9:15:00	24.92°	101.33°
9:30:00	28.49°	102.59°
9:45:00	32.04°	103.97°
10:00:00	35.56°	105.47°
10:15:00	39.06°	107.14°
10:30:00	42.53°	109°
10:45:00	45.95°	111.1°
11:00:00	49.32°	113.5°
11:15:00	52.63°	116.28°
11:30:00	55.85°	119.54°
11:45:00	58.96°	123.4°
12:00:00	61.93°	128.03°

จากตัวอย่างข้อมูลแสดงค่ามุมการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ในตารางข้างต้นทำให้ทราบว่าทุก 1 ชั่วโมง ดวงอาทิตย์จะมีลักษณะการเคลื่อนที่ไปอย่างช้า ๆ ซึ่ง Gerro Prinsloo และ Robert Dobson ได้มีการอธิบายไว้ในหนังสือ Solar Tracking [34] เช่นกัน ว่าดวงอาทิตย์จะมีการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ยแล้ว 15 องศาต่อชั่วโมง หรือ 5 องศาดวงอาทิตย์ใช้เวลา 20 นาที ซึ่งความคลาดเคลื่อนของมุมจะเกิดขึ้นจากฤดูกาลในแต่ละปีที่จะมีการเปลี่ยนไป

ดังนั้นข้อมูลเบื้องต้นที่ได้จากการศึกษามุม Azimuth และมุม Elevation ของดวงอาทิตย์ ทำให้ทราบว่าดวงอาทิตย์จะมีการเคลื่อนที่ไปอย่างช้า ๆ ทำให้ระบบขับเคลื่อนที่ต้องการใช้ในจานรวมแสงต้นแบบนี้จะต้องมีอัตราทดของเกียร์สูง เพื่อที่จะให้รอบการหมุนต่ำลง แต่ยังคงต้องการแรงบิดที่สูง ซึ่งเฟืองหนอนจึงเหมาะสมต่อการออกแบบอีกทั้งการทำงานของชุดเฟืองตัวหนอนจะมีความเงียบและมีการสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อย โดยระบบขับเคลื่อนของจานรวมแสงต้นแบบจะประกอบไปด้วย 2 ชุด คือ ชุดที่ควบคุมทิศทางการหมุนของมุม Elevation และชุดควบคุมทิศทางการหมุนของมุม Azimuth โดยรูปที่ 4.7 แสดงชุดระบบขับเคลื่อนที่ใช้สำหรับขับเคลื่อนจานรวมแสงต้นแบบในงานวิจัยครั้งนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงชุดระบบขับเคลื่อนจากรวมแสงต้นแบบ

4.3.1.1 การเลือกใช้มอเตอร์

การเลือกใช้มอเตอร์เพื่อใช้กับชุดระบบขับเคลื่อนของจากรวมแสงต้นแบบ จำเป็นจะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องที่สำคัญต่างๆ ดังนี้

1. กำลังไฟ (Power) ที่จ่ายเข้ามอเตอร์
2. แรงบิด (Torque) ที่ได้จากมอเตอร์
3. น้ำหนักสูงสุดที่มอเตอร์สามารถส่งกำลังได้
4. ความเร็วรอบและอัตราทดของมอเตอร์

โดยลักษณะของมอเตอร์ที่เลือกใช้ในระบบขับเคลื่อนเป็นลักษณะของมอเตอร์เกียร์ (motor gear) ที่จะสามารถมีแรงส่งกำลังขับเคลื่อนจากรวมแสงต้นแบบที่มีน้ำหนักสูงสุด 300 กิโลกรัมได้ ซึ่งจากข้อมูลจำเพาะของมอเตอร์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาด จะสามารถนำข้อมูลนั้นมาคำนวณหาแรงบิด เพื่อหามอเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับจากรวมแสงต้นแบบได้ โดยสามารถหาได้จากสมการที่แสดงด้านล่าง ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัยสำหรับสร้างจากรวมแสงต้นแบบ จะแสดงดังตารางที่ 4.3

$$\text{Torque (N}\cdot\text{m)} = 9.5488 \times \text{Power (W)} / \text{Speed (RPM)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ค่าพารามิเตอร์ของมอเตอร์

ข้อมูล	ค่าพารามิเตอร์
Power input	36 W (DC 12 V)
Speed input	1000 rpm
Speed output	5 rpm
Torque	68.7 N·m



รูปที่ 4.8 มอเตอร์เกียร์ที่ใช้ในระบบขับเคลื่อน

4.3.1.2 การออกแบบชุดเฟือง

ระบบเฟืองตัวหนอนจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นแนวเพลาขับ (Worm Shaft) และส่วนที่เป็นแนวเพลาตาม (Worm Wheel Shaft) ซึ่งทั้งสองส่วนของเฟืองตัวหนอนจะทำมุมกันที่มุมฉาก 90 องศา แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ชุดเฟืองตัวหนอนของระบบขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้ชุดเฟืองมีความเร็วในการเคลื่อนที่อย่างเหมาะสมสำหรับการติดตามดวงอาทิตย์นั้น ในเบื้องต้นทราบว่าดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ทุก 15 องศาต่อชั่วโมงหรือ 0.25 องศาต่อนาที ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นความเร็วรอบได้ 0.000694 rpm จะเห็นได้ชัดว่าเฟืองที่จะต้องใช้ในการออกแบบจะต้องมีขนาดอัตราทดที่สูงซึ่งจะทำให้เฟืองมีขนาดใหญ่เกินไปและมีผลต่อน้ำหนักที่มากเกินไป เพราะสาเหตุนี้เอง จึงต้องใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เข้ามาช่วยควบคุมชุดระบบขับเคลื่อนเพื่อที่จะให้สามารถปรับอัตราทดของเฟืองให้น้อยลงและเหมาะสม

ดังนั้นในเบื้องต้นการออกแบบอัตราทดของชุดเฟืองตัวหนอนเพื่อให้สามารถมีกำลังขับเคลื่อนจากรวมแสงต้นแบบนั้น อัตราทดที่มีการเลือกให้มีความเหมาะสมสำหรับจากรวมแสงต้นแบบคือ 50:1 ดังนั้นจากความเร็วรอบขาออกที่ได้จากมอเตอร์ เมื่อมีการส่งผ่านมายังชุดเฟืองจะทำให้เฟืองตัวขับมีความเร็วรอบเท่ากับความเร็วรอบขาออกของมอเตอร์ คือ 5 รอบ/นาที ทำให้สามารถหาความเร็วรอบของชุดเฟืองได้จาก

$$\text{อัตราทด} = \frac{\text{ความเร็วตัวขับ}}{\text{ความเร็วตัวตาม}} = \frac{\text{จำนวนฟันตัวตาม}}{\text{จำนวนฟันตัวขับ}}$$

$$\frac{50}{1} = \frac{5}{\text{ความเร็วตัวตาม}}$$

$$\text{ดังนั้นความเร็วตัวตาม} = 0.1 \text{ รอบ/นาที}$$

ในขณะที่เฟืองหนอนจะมีจำนวนปากจำนวน 2 กลีบจะทำให้เฟืองตัวตามที่ได้รับการออกแบบมีจำนวนฟัน 100 ซี่ และจากการที่มอเตอร์ที่ใช้สำหรับชุดขับเคลื่อนนี้มีกำลัง 60 วัตต์ ทำให้สามารถหาแรงบิดของชุดเฟืองนี้ได้

จากสมการคำนวณหาลำโพงมอเตอร์

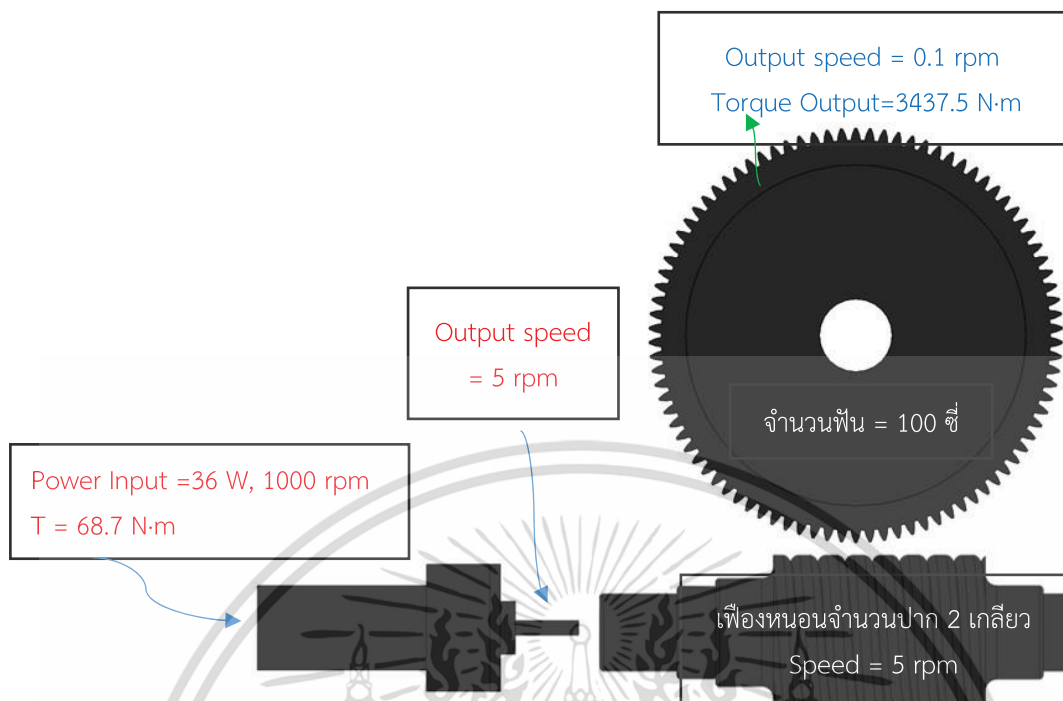
$$p = \frac{2\pi T n}{60}$$

$$T = \frac{p \times 60}{2\pi n}$$

ดังนั้นแรงบิดของชุดเฟืองนี้จะได้

$$T = \frac{36 \times 60}{2\pi(0.1)} = 3437.5 \text{ นิวตันเมตร}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดยค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ได้จากการออกแบบชุดระบบขับเคลื่อนจากรวมแสงต้นแบบจะแสดงดังตารางที่ 4.4

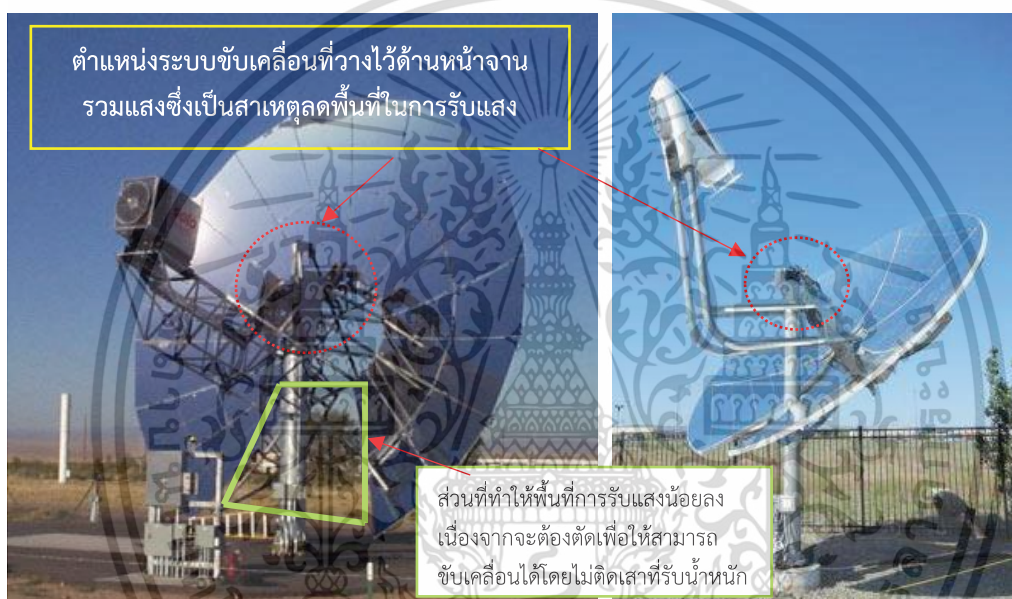
ตารางที่ 4.4 ค่าพารามิเตอร์ของชุดระบบขับเคลื่อน

ข้อมูล	ค่าพารามิเตอร์
กำลังมอเตอร์ (Power input)	36 วัตต์
ความเร็วรอบขาเข้า (speed input)	1000 รอบ/นาที
ความเร็วรอบขาออก (speed output)	รอบ/นาที
แรงบิดที่ได้จากมอเตอร์ (Torque)	68.7 นิวตันเมตร
อัตราทดของชุดเฟือง (gear ratio)	50:1
ความเร็วตัวขับ (speed of worm)	5 รอบ/นาที
ความเร็วตัวตาม (speed of gear)	0.1 รอบ/นาที
จำนวนฟันตัวขับ (number)	2 เกลียว
จำนวนฟันตัวตาม	100 ซี่
แรงบิดที่ได้จากการทดเฟือง (Maximum Torque Output)	3437.5 นิวตันเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การออกแบบส่วนประกอบโครงสร้างของจานรวมแสงต้นแบบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบจานรวมแสงต้นแบบที่จะใช้ในการสร้าง จากการศึกษา รูปแบบของจานรวมแสงเบื้องต้น จะพบว่าจานรวมแสงส่วนใหญ่ได้มีการออกแบบด้วยการนำระบบ ขับเคลื่อนจานไว้ในตำแหน่งด้านหน้าของจานรวมแสง แสดงดังรูปที่ 4.10 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงรูปแบบ ดังกล่าวจะพบว่า ระบบขับเคลื่อนจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ลดพื้นที่การรับแสงของจานได้ เนื่องจากระบบ ขับเคลื่อนจะทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนที่เกิดจากเงาได้และการสูญเสียพื้นที่การรับแสงอีกรูปแบบ หนึ่งคือ การที่จะต้องตัดพื้นที่ของจานรวมแสงออกไปส่วนหนึ่งเพราะการหมุนของจานจะต้องสอดคล้อง กับเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ พื้นที่จึงจำเป็นจะต้องถูกตัดออกเพื่อไม่ให้ชนกับเสารับน้ำหนักของจานรวม แสง



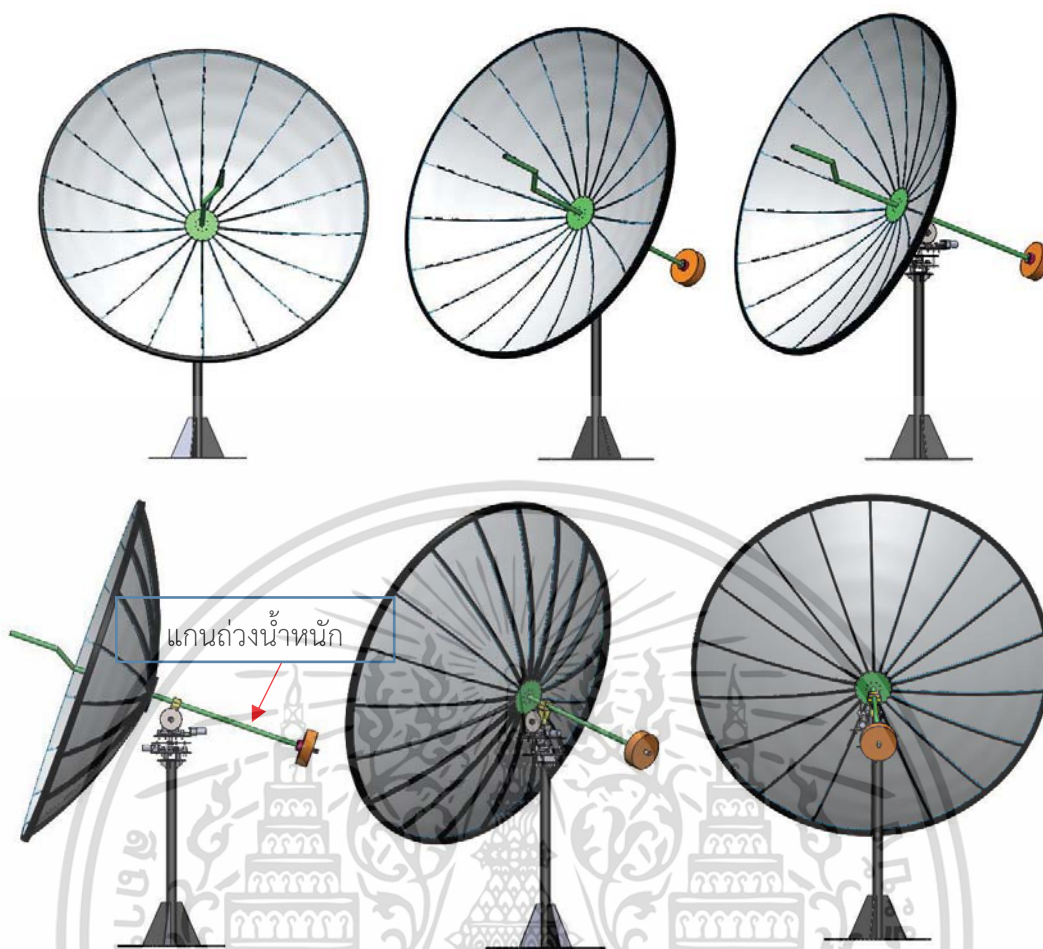
solar powered Stirling engine โดย Roelf J. Meijer

solar powered Stirling engine โดย Roelf J. Meijer

รูปที่ 4.10 ตัวอย่างของระบบจานรวมแสงที่มีตัวขับเคลื่อนอยู่ด้านหน้าของจานรวมแสง

ดังนั้นจากสองสาเหตุที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะออกแบบให้ระบบขับเคลื่อนของ จานรวมแสงต้นแบบอยู่ในตำแหน่งด้านหลังของจาน เพื่อให้จานรวมแสงต้นแบบมีพื้นที่ในการรับความเข้ม แสงของดวงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่ และสำหรับการออกแบบเพื่อที่จะรองรับการทำงานของเครื่องยนต์ สเตอริงในอนาคตที่จะมีการประยุกต์ใช้งานโดยให้จานรวมแสงต้นแบบเป็นแหล่งความร้อนแก่เครื่องยนต์ จานรวมแสงต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบจะสามารถเปลี่ยนแปลงน้ำหนักถ่วงระบบสมดุลของจานรวมแสง ได้ เพื่อที่จะให้จานรวมแสงต้นแบบสามารถรองรับน้ำหนักเครื่องยนต์สเตอริงได้ทุกรูปแบบ รูปที่ 4.11 แสดงลักษณะของจานรวมแสงที่มีการออกแบบในเบื้องต้น โดยสามารถเปลี่ยนน้ำหนักสำหรับถ่วงที่แกน ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

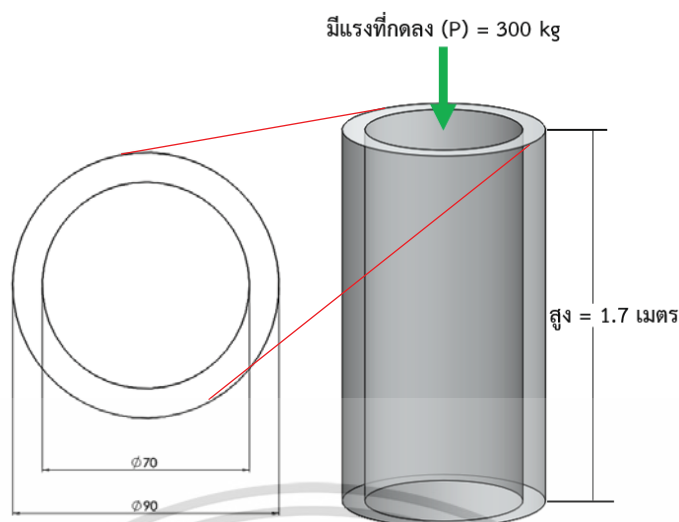


รูปที่ 4.11 จานรวมแสงต้นแบบที่ได้รับการออกแบบสำหรับงานวิจัย

4.5 การออกแบบเสาที่ใช้รับน้ำหนักจานรวมแสง

สำหรับการเลือกเสาที่จะนำมาใช้ในการรับน้ำหนักของจานรวมแสงต้นแบบ จะต้องเลือกวัสดุที่มีความแข็งแรงเป็นอย่างมาก, มีความทนทานและสามารถรับน้ำหนักของจานรวมแสงต้นแบบได้ ในเบื้องต้นจากการออกแบบทั้งหมดจานรวมแสงรวมถึงระบบขับเคลื่อนจะมีน้ำหนักโดยประมาณ 300 กิโลกรัม นั้นหมายความว่าเสาที่ใช้ในครั้งนี้จะต้องมีความสามารถในการรับน้ำหนักทั้งหมดได้ โดยในขั้นต้นเงื่อนไขที่ถูกลำมาพิจารณายังคงมีเรื่องของราคาเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นเพื่อที่จะเป็นการลดต้นทุนของการผลิต จึงมีการนำเสาที่มีอยู่แล้วมาพิจารณาในการหาความแข็งแรงของการรับน้ำหนักจานรวมแสงนี้ ซึ่งเสาที่ถูกลำมาพิจารณาเป็นลักษณะของทรงกระบอกกลวง มีเส้นผ่านศูนย์กลางขอบนอก 90 มิลลิเมตร, ขอบใน 70 มิลลิเมตรและสูง 1700 มิลลิเมตร รูปที่ 4.12 แสดงพื้นที่หน้าตัดของเสาที่จะใช้มาพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 พื้นที่หน้าตัดของเสาที่ใช้รับน้ำหนักงานรวมแสงต้นแบบ

ในการคำนวณจะเริ่มจากการหา Critical load เพื่อดูว่าเสาจะสามารถรับน้ำหนักสูงสุดได้เท่าไร ก่อนที่เสาจะเกิดการโก่งหรือแรงที่กดลงโดยที่เสายังคงตั้งตรง โดยที่การติดตั้งเสาจะมีการยึดกับพื้น ซึ่งทฤษฎีที่มีการนำมาช่วยคำนวณคือ Euler's (Euler buckling load) จากสูตรของ Euler's load

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

และเมื่อเขียนในเทอมหน่วยแรงอัดจะได้

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 EI}{AL^2} = \frac{\pi^2 E}{(L/r)^2}$$

ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะพิจารณาการโก่งของเสาในแบบของการยึดที่ปลาย โดยอาศัยความยาวประสิทธิผล (Effective Length) และในงานวิจัยครั้งนี้เป็นกรณีของการยึดแบบ Fixed-Free ดังนั้น หน่วยแรงวิกฤตที่ทำให้เกิดการโก่งเดาะ (Critical Buckling Stress) จะได้

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

โดยที่ P_{cr} = Euler's critical load (longitudinal compression load on column) (กก.)

E = modulus of elasticity of column material (เหล็ก = 200 GPa)

I = moment of inertia

L = length of column

K = The effective length factor (Fixed-Free)

r = Radius of gyration ของพื้นที่หน้าตัดเสา ($r^2 = IA$)

A = พื้นที่หน้าตัดของเสา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนหาค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องทั้งหมด

พื้นที่หน้าตัดทรงกระบอกกลวง

$$A = \pi(D^2 - d^2)$$

$$A = \pi(0.09^2 - 0.07^2)$$

$$A = 0.01 \text{ m}^2$$

Moment of inertia ของวงแหวน

$$I = \frac{\pi}{4} (D^4 - d^4)$$

$$I = \frac{\pi}{4} (0.09^4 - 0.07^4)$$

$$I = 3.267 \times 10^{-5} \text{ m}^4$$

Radius of gyration ของพื้นที่หน้าตัดเสา $r^2 = I/A$

$$r = \sqrt{\frac{3.267 \times 10^{-5}}{0.01}}$$

$$r = 0.571 \text{ m}$$

ค่า K จะแสดงดังรูปที่ 4.13 โดยค่าที่แนะนำคือ 2.1

รูปการโก่งตัวของเสาที่มีจุดรองรับแบบต่างๆ	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
ค่า k ตามทฤษฎี	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
ค่า k ที่แนะนำ	0.65	0.8	1.2	1.0	2.1	2.0
สภาวะการค้ำของจตุรรองรับ		ด้านทวน		ด้านเคลื่อนที่		
		ทวนอิสระ		ด้านเคลื่อนที่		
		ด้านทวน		เคลื่อนที่ได้		
		ทวนอิสระ		เคลื่อนที่ได้		

รูปที่ 4.13 แสดงค่า K ของเสา โดยกรณีของงานวิจัยนี้เป็นแบบ Fixed-Free

ดังนั้นจะได้

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \times 200 \times 10^9}{(2.1 \times 1.7 / 0.571)^2}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 \times 200 \times 10^9}{39.089}$$

$$\sigma_{cr} = 5.04 \times 10^{10} \text{ Pa}$$

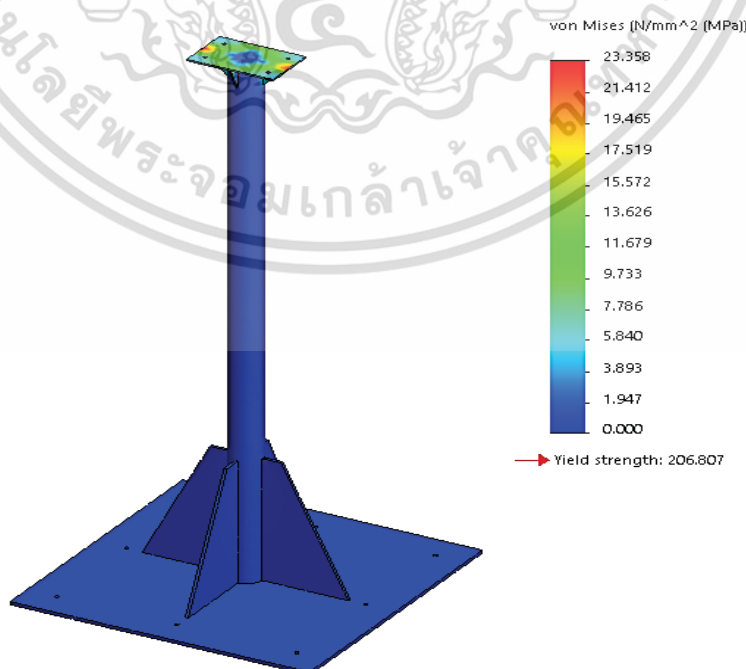
และ

$$P_{cr} = \sigma_{cr} A = 5.04 \times 10^{10} \times 0.01$$

$$P_{cr} = 504 \times 10^6 \text{ N}$$

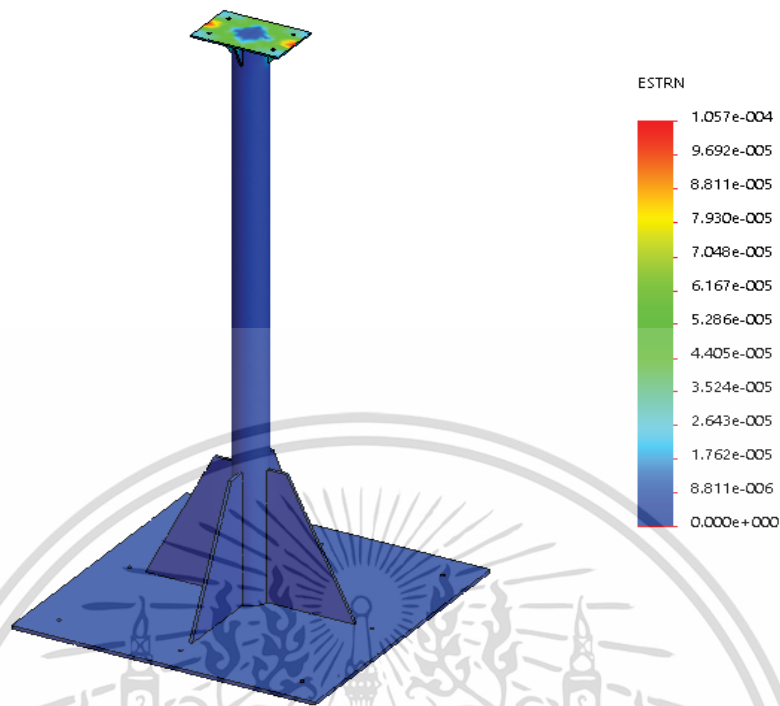
จากการคำนวณข้างต้นจะเห็นว่าเสาที่ได้รับการพิจารณาจะสามารถรับน้ำหนักสูงได้ 504×10^5 กิโลกรัม ซึ่งน้ำหนักที่จะต้องกดลงมีเพียงสามร้อยกิโลกรัม ดังนั้นจึงสามารถนำเสาที่มีอยู่แล้วมาเป็นโครงสร้างสำหรับการรับน้ำหนักจากรวมแสงต้นแบบในครั้งนี้ได้

สำหรับผลการวิเคราะห์เสาคอนกรีตต้นแบบด้วยการนำเสนอผ่านการจำลองโปรแกรม Solid work ในเบื้องต้น จะศึกษาความแข็งแรงของเสาในการรับภาระที่ใช้รับน้ำหนักทั้งหมด ในการวิเคราะห์ครั้งนี้จะแสดงผลของความเค้น (Stress), ความเครียด (Stain), การบิดงอไปจากตำแหน่งเดิม (Displacement) ที่เกิดขึ้นในจุดต่าง ๆ ของเสาเมื่อมีการรับน้ำหนักขนาด 300 กิโลกรัมซึ่งจะนำเสนอไว้เพียงรูปเท่านั้น ตามแสดงดังรูปที่ 4.14, 4.15 และ 4.16 ในขณะความโค้งงอของเสาที่ได้จากการจำลองจะแสดงไว้ในรูปที่ 4.17

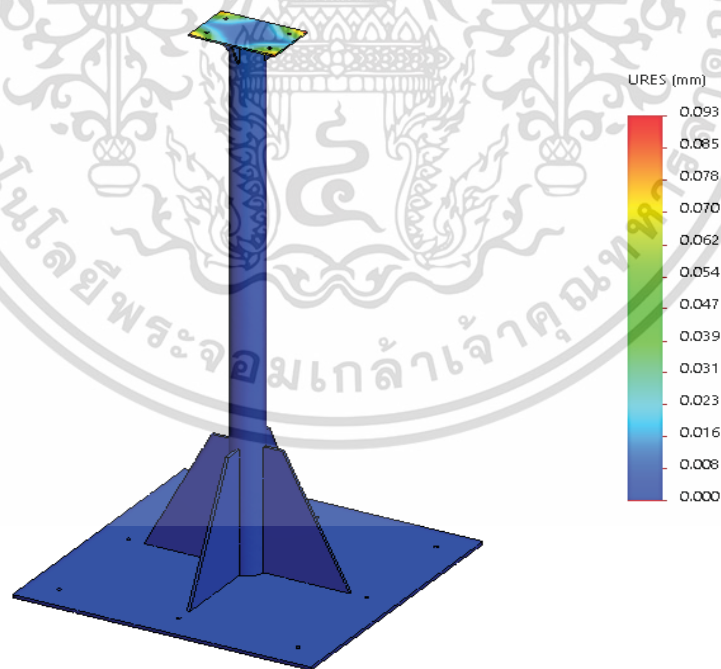


รูปที่ 4.14 ความเค้นที่เกิดขึ้นเมื่อเสามีการรับน้ำหนัก 300 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นชอบใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

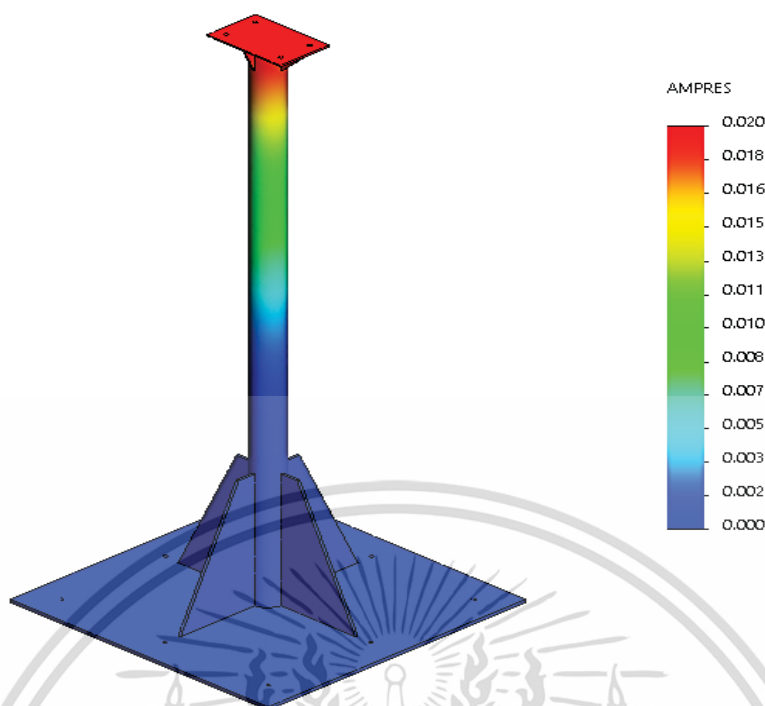


รูปที่ 4.15 ความเครียดที่เกิดขึ้นเมื่อเสามีการรับน้ำหนัก 300 กิโลกรัม



รูปที่ 4.16 การบิดงอไปจากตำแหน่งเดิมที่เกิดขึ้นเมื่อเสามีการรับน้ำหนัก 300 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ความโค้งงอของเสาที่เกิดขึ้นเมื่อมีการรับน้ำหนัก 300 กิโลกรัม

4.6 การเลือกวัสดุสำหรับการสะท้อนรังสีของดวงอาทิตย์

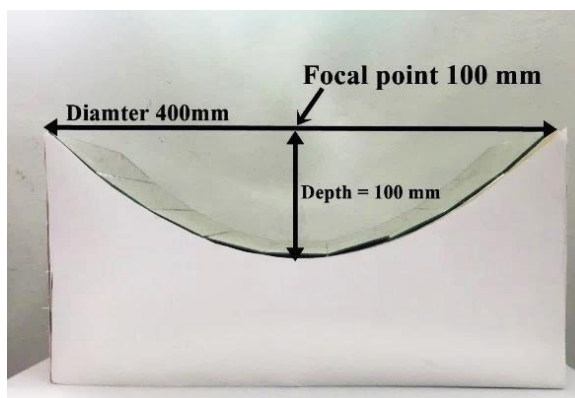
การเลือกวัสดุสะท้อนแสงสำหรับงานรวมแสงควรจะต้องเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติสะท้อนแสงได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามนอกจากจะเลือกวัสดุที่มีความสามารถในการสะท้อนแสงแล้วจำเป็นจะต้องคำนึงถึงราคาในการผลิต, การติดตั้ง, น้ำหนักของวัสดุและวัสดุนั้นควรสามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด โดยก่อนการผลิตงานรวมแสงพาราโบลิคเพื่อเป็นต้นแบบทางการศึกษา แบบจำลองโครงสร้างพาราโบลิคจะถูกสร้างขึ้นเพื่อทำการทดสอบคัดเลือกวัสดุสะท้อนแสงสำหรับงานรวมแสง ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองจะแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 ส่วนแบบจำลองโครงสร้างพาราโบลิคจะแสดงไว้ดังรูปที่ 4.18

การทดสอบครั้งนี้วัสดุที่มีคุณสมบัติสะท้อนแสงและสามารถเลือกซื้อได้อย่างสะดวกในท้องตลาด ซึ่งได้แก่ Aluminum foil, PET Aluminum และ กระจกเงา(Mirror) จะถูกนำมาตรวจสอบเบื้องต้น และเพื่อทำการทดสอบความสามารถในการสะท้อนแสงของวัสดุ วัสดุทั้งสามชนิดจะถูกตัดเป็นขนาด 50x150 มิลลิเมตรและจะติดอยู่บนส่วนโค้งของพาราโบลา

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์แบบจำลองโครงสร้างพาราโบลิค

พารามิเตอร์	ค่า (มิลลิเมตร)
เส้นผ่านศูนย์กลาง	400
ความลึก	100
จุดโฟกัส	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 แบบจำลองโครงสร้างพาราโบลิกที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพวัสดุสะท้อนแสง

สถานที่ทดสอบในครั้งนี้จะทำการทดสอบ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์สาขาเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยที่อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสจะทำการวัดด้วยเครื่องมือวัด Thermocouple ซึ่งผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุสะท้อนแสงทั้งสามชนิดจะแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบความสามารถการสะท้อนแสงของวัสดุ

วัสดุ	อุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัส
Mirror	60 °C
PET Aluminum	54 °C
Aluminum foil	48 °C



(ก) กระจก

(ข) PET อลูมิเนียม

(ค) อลูมิเนียมฟอยล์

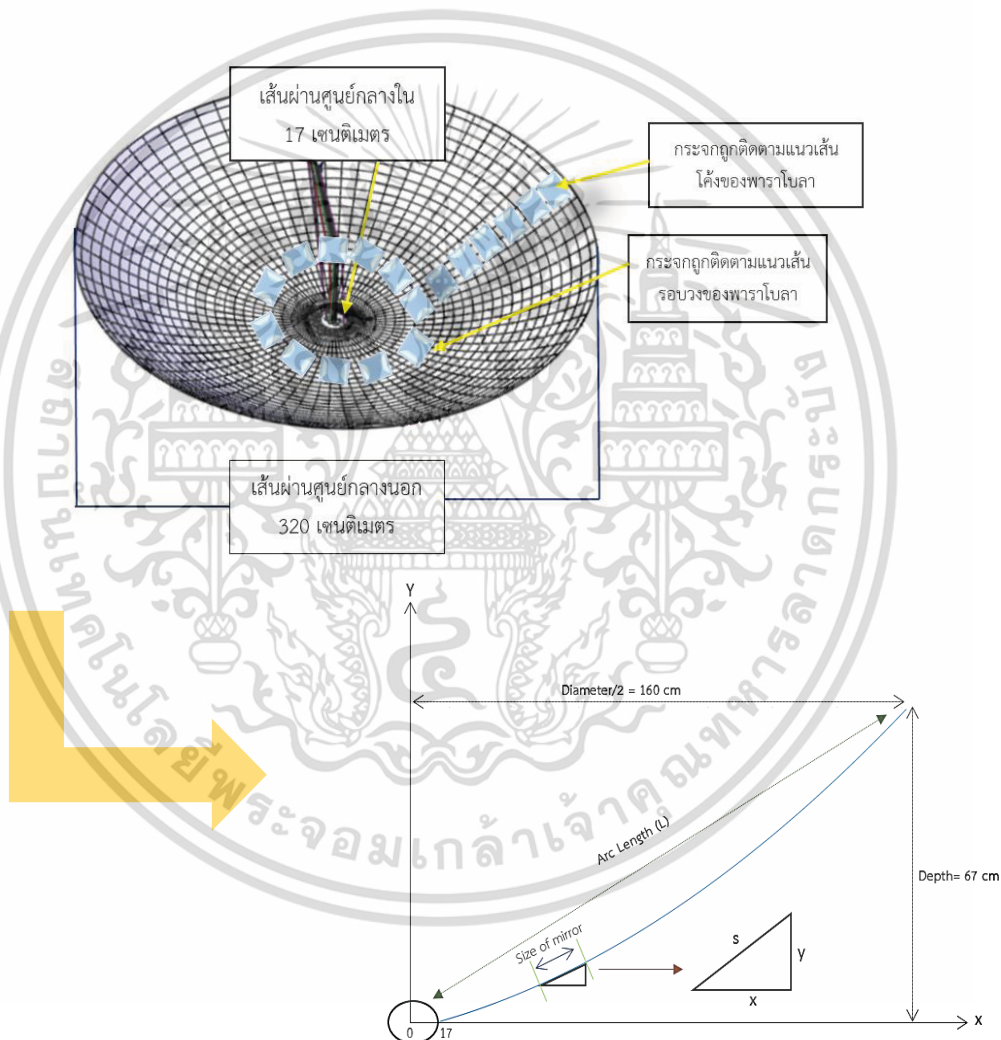
รูป 4.19 ลักษณะของแสงที่เกิดขึ้นของวัสดุสะท้อนแสงแต่ละชนิด

จากการทดสอบเบื้องต้นอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสของกระจกมีค่าเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถทำอุณหภูมิได้สูงสุดเมื่อเทียบกับวัสดุอีกสองชนิดอย่าง Aluminum foil และ PET Aluminum สำหรับลักษณะของการสะท้อนแสงจะแสดงดังที่ 4.19 โดยแสงที่สะท้อนบนกระจกจะมีลักษณะเป็นเส้นสม่ำเสมอบริเวณที่ตำแหน่งโฟกัสโดยมีจุดสีขาวชัดเจนตามที่แสดงในรูปที่ 4.19ก ในขณะที่แสงสะท้อนบน PET Aluminum มีลักษณะผิดปกติและมีการหักเหของแสงออกจากตำแหน่งโฟกัสสามารถสังเกตได้ว่าจะเป็นจุดสีขาวระดับปานกลางในรูปที่ 4.19ข อย่างไรก็ตามรูปที่ 4.19ค แสดงให้เห็นว่าแสงสะท้อนของอลูมิเนียมฟอยล์จะมีลักษณะที่แตกต่างและมีการกระจายของแสงซึ่งทำให้เกิดความฟุ้งและมีความเบลอของแสง ดังนั้นจากการทดสอบเบื้องต้นในครั้งนี้ กระจกจึงถูกนำมาใช้ในการติดตั้งบนจานรวมแสง

ต้นแบบสำหรับการศึกษาวิทยานิพนธ์ในขั้นต่อไป
เอกสารฉบับนี้เผยแพร่ทางเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 การศึกษาประสิทธิภาพในการติดตั้งดวงอาทิตย์ (Optimum mirror)

หลังจากการศึกษาความสามารถในการสะท้อนแสงของวัสดุทั้งสามชนิดในหัวข้อข้างต้นจะพบว่ากระจกมีคุณสมบัติของการสะท้อนแสงได้ดีที่สุด อย่างไรก็ตามในการสร้างจานรวมแสงต้นแบบสิ่งสำคัญที่จะต้องศึกษาอีกอย่างหนึ่งคือ การศึกษาประสิทธิภาพของการติดตั้งกระจก เพื่อที่จะลดพื้นที่การสูญเสียความร้อนให้น้อยที่สุด เนื่องจากลักษณะของกระจกจะเป็นผิวเรียบในขณะที่จานรวมแสงพาราโบลาจะมีส่วนที่โค้งทำให้การติดตั้งกระจกจะเกิดพื้นที่สูญเสียความร้อนได้จากเนื่องจากเส้นขอบของกระจก ฉะนั้นขนาดของกระจกจึงถูกวิเคราะห์ โดยคำนึงถึงพื้นที่การสูญเสียความร้อนและต้นทุนการติดตั้งกระจก ซึ่งจานรวมแสงต้นแบบมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เมตร, ความลึก 0.67 เมตร, ตำแหน่งไฟกัส 0.95 เมตร, เส้นโค้งจานรวมแสงยาว 1.56 เมตร และพื้นที่จานรวมแสงทั้งหมด 9.32 ตารางเมตร



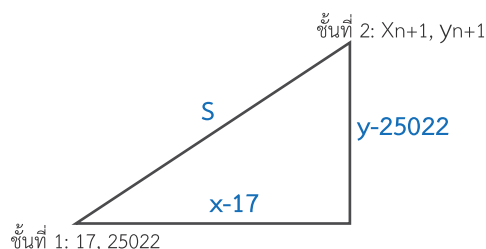
รูปที่ 4.20 การหาตำแหน่งของชั้นกระจก

ในการติดตั้งกระจกจะต้องติดตั้งตามแนวเส้นโค้งและแนวเส้นรอบวงของพาราโบลา โดยสมการของพาราโบลาสำหรับจานรับแสงต้นแบบนี้ แสดงดังสมการที่ 4.1

$$y = 0.0018x^2 + 0.1328x - 0.2756 \quad (4.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบื้องต้นตำแหน่ง x ที่จุดแรก จะมีค่าเท่ากับ 17 เนื่องจากงานรับสัญญาณจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางวงในเท่ากับ 34 เซนติเมตร ดังนั้นจึงสามารถหาตำแหน่งค่า x และ y ที่กระจกชั้นที่หนึ่งได้



$$y = 0.0018(17)^2 + 0.1328(17) - 0.2756$$

$$y = 2.5022$$

สำหรับกระจกชั้นที่สองหาได้จาก “ทฤษฎีบทพีทาโกรัส” ดังนั้นจึงสามารถเขียนเป็นสมการได้

$$s^2 = (x-17)^2 + (y-2.5022)^2 \quad (4.2)$$

แทนสมการที่ 4.1 ลงในสมการที่ 4.2

$$s^2 = (x-17)^2 + [(0.0018x^2 + 0.1328x - 0.2756) - 2.5022]^2$$

ดังนั้นจะได้สมการต้นแบบสำหรับการติดตามกระจกตามแนวเส้นโค้ง คือ

$$s^2 = 3.24 \times 10^{-6} x^4 + 4.7808 \times 10^{-4} x^3 + 1.00762 x^2 - 34.7376 x + 296.7716$$

การศึกษาหาความเหมาะสมของขนาดกระจก จะใช้วิธีการเปลี่ยนแปลงขนาดกระจกตั้งแต่ 30x30 – 80x80 มิลลิเมตร ในการวิเคราะห์เบื้องต้นสำหรับการหาจำนวนชั้นของกระจกที่จะติดตั้งบนพื้นที่จนวนรวมแสงขนาด 9.32 ตารางเมตร จะนำสมการต้นแบบที่ได้จากการคำนวณข้างต้นวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Matlab (รายละเอียดโปรแกรมสามารถดูได้จากภาคผนวก) ซึ่งจำนวนชั้นกระจกและพื้นที่ของกระจกทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 4.7

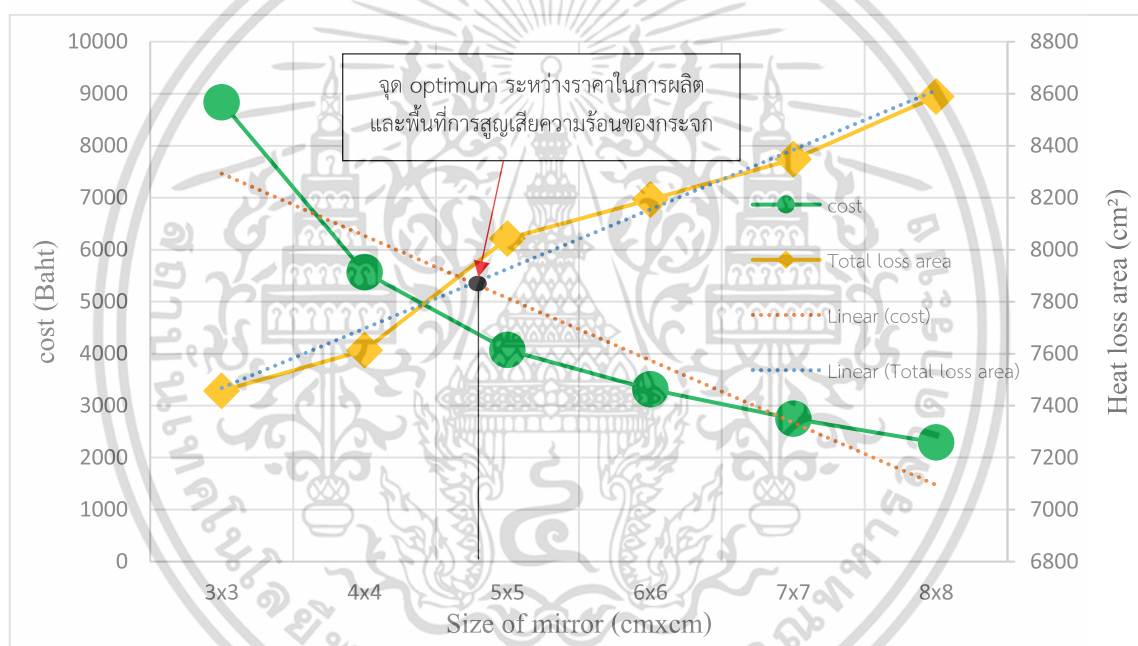
สำหรับกระจกที่ใช้ในการศึกษาเป็นของผู้ประกอบการบริษัท สยามแท็คจำกัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดยมีราคาการจำหน่ายกระจกที่ขนาดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 4.7 เช่นกัน

$$\text{พื้นที่การสูญเสียความร้อน} = \text{พื้นที่จนวนรวมแสงทั้งหมด} - \text{พื้นที่กระจก}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลที่สำคัญของกระจกที่ขนาดต่าง ๆ

ขนาดกระจก (มม.×มม.)	จำนวนกระจก (ชิ้น)	พื้นที่กระจก (ตร.ม.)	พื้นที่การสูญเสีย ความร้อน (ตร.ม.)	ราคา (บาท) (ความหนา 1.1 มม.)
30×30	9705	8.8984	0.7457	8831.55
40×40	5406	8.6496	0.7613	5568.18
50×50	3390	8.7408	0.8043	4068.00
60×60	2368	8.8309	0.8193	3315.20
70×70	1685	8.6259	0.8348	2746.55
80×80	1251	8.4256	0.8589	2289.33

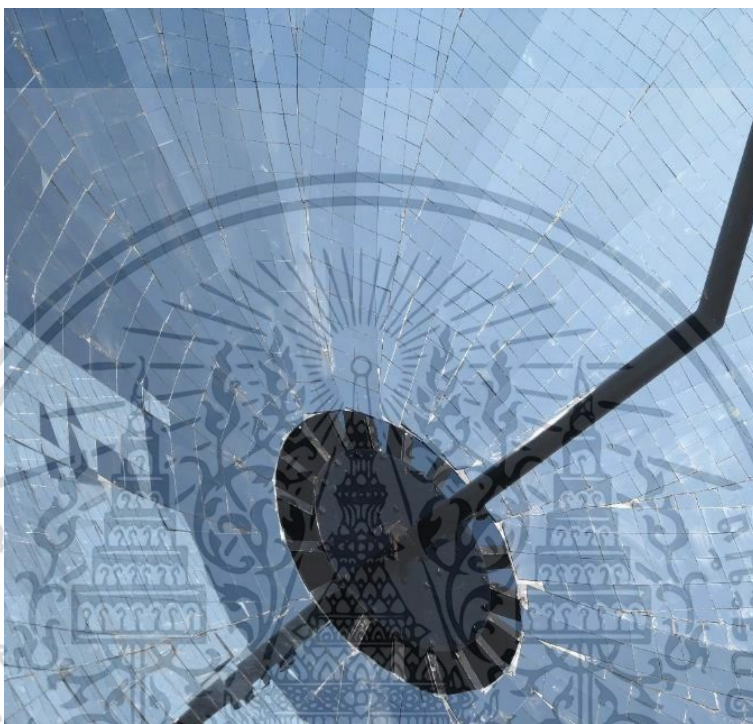


รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดกระจกกับราคาและพื้นที่การสูญเสียความร้อน

จากกราฟรูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นว่ากระจกที่มีขนาดเล็กที่สุดคือ 30×30 มิลลิเมตร จะมีพื้นที่การสูญเสียความร้อนที่น้อยที่สุด ในขณะที่กระจกที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือ 80×80 มิลลิเมตร จะมีพื้นที่การสูญเสียความร้อนที่มากที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับราคาการผลิตของกระจกแล้ว จะพบว่ากระจกที่มีขนาดเล็กจะมีราคาในการผลิตที่สูงกว่ากระจกที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้จะแสดงให้เห็นว่าพื้นที่การสูญเสียความร้อนจะมีค่าแปรผกผันกับราคาการผลิตของกระจก กล่าวคือ ถ้าขนาดกระจกที่ให้พื้นที่การสูญเสียความร้อนน้อยราคาการผลิตจะสูง แต่ถ้าขนาดกระจกที่ให้พื้นที่การสูญเสียความร้อนมากราคาการผลิตจะต่ำ

ดังนั้นในการสร้างงานรวมแสงต้นแบบจะคำนึงถึงพื้นที่การสูญเสียความร้อนและต้นทุนการผลิตกระจกในขนาดที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาจากกราฟดังกล่าวจะเห็นจุดตัดของเส้นอ้างอิง ซึ่งเป็นเส้นเฉลี่ยของราคาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตและพื้นที่การสูญเสียความร้อน ที่อยู่ระหว่างขนาดกระจก 40x40 มิลลิเมตรและ 50x50 มิลลิเมตร จากการพิจารณาจึงทำการเลือกกระจกที่ขนาด 50x50 มิลลิเมตร ให้เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่าเหมาะสมที่ใกล้เคียงจุดที่ดีที่สุด สำหรับการสร้างงานรวมแสงต้นแบบครั้งนี้จะมีพื้นที่การสูญเสียความร้อน 0.8043 ตารางเมตร

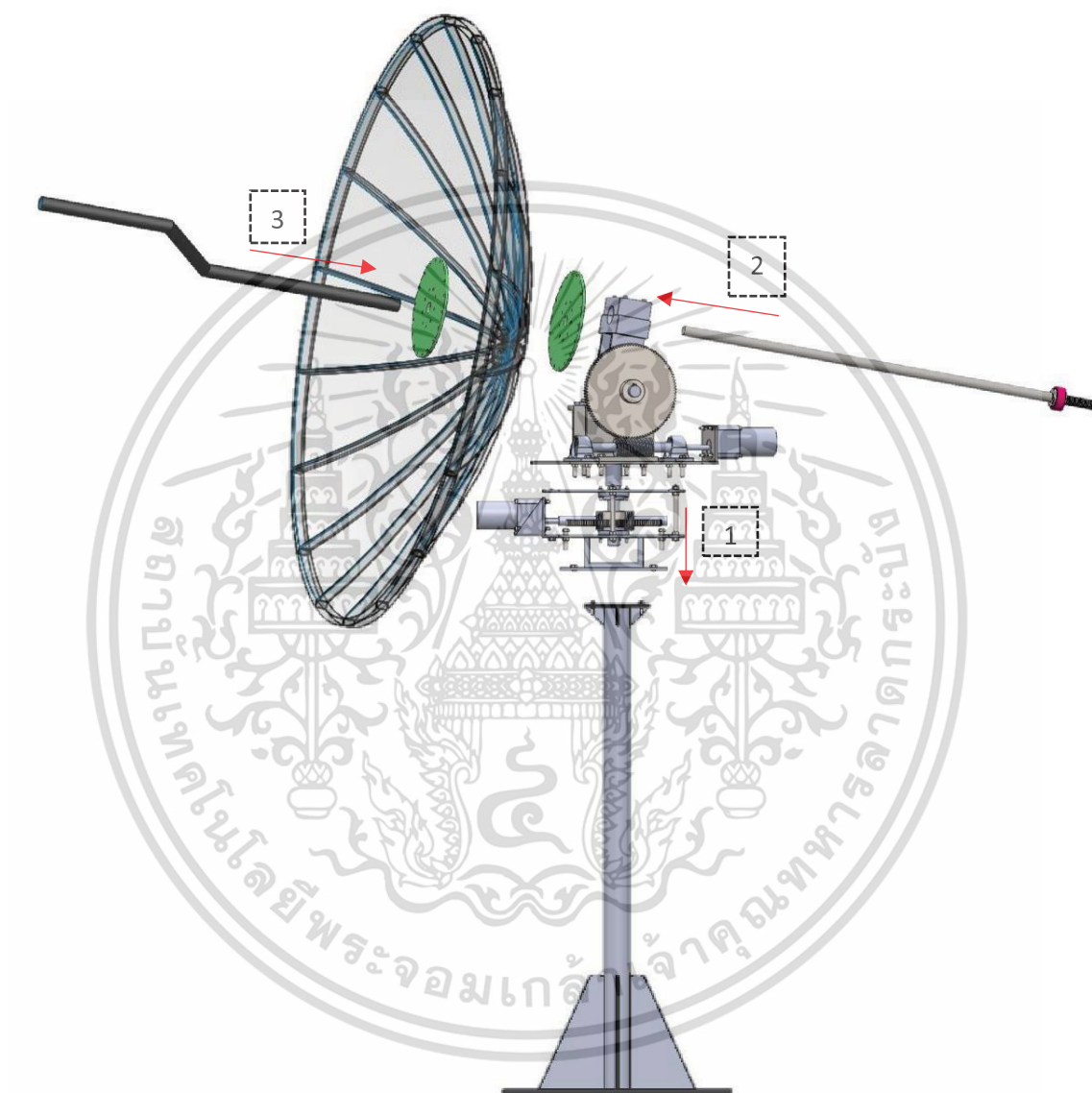


รูปที่ 4.22 กระจกขนาด 5x5 เซนติเมตร ถูกนำมาติดตั้งเป็นวัสดุสำหรับการสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 การประกอบจานรวมแสงต้นแบบ

จากการออกแบบที่ได้กล่าวมาข้างต้น รูปที่ 4.23 จะแสดงการประกอบโครงสร้างของจานรวมแสงต้นแบบ และรูปที่ 4.24 แสดงจานรวมแสงต้นแบบที่ได้รับการออกแบบและสร้างอย่างสมบูรณ์พร้อมทำการทดสอบ



รูปที่ 4.23 แสดงขั้นตอนการประกอบจานรวมแสงต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 4.24 จานรวมแสงต้นแบบที่ได้รับการออกแบบและสร้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดสอบและอภิปรายผลการทดลอง

5.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการสะท้อนแสงของวัสดุ

ในการทดสอบความสามารถการสะท้อนแสงของวัสดุทั้งสามชนิด ได้แก่ Mirror, PET Aluminum และ Aluminum foil โดยมีการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสด้วย Thermocouple ผลการทดสอบได้ดำเนินการ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยอุณหภูมิของวัสดุสะท้อนแสงทั้งสามชนิดจะแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบความสามารถการสะท้อนแสงของวัสดุ

วัสดุ	อุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัส
Mirror	60 องศาเซลเซียส
PET Aluminum	54 องศาเซลเซียส
Aluminum foil	48 องศาเซลเซียส



(ก) กระจก

(ข) PET อลูมิเนียม

(ค) อลูมิเนียมฟอยล์

รูป 5.1 ลักษณะของแสงที่เกิดขึ้นของวัสดุสะท้อนแสง

จากการทดสอบนั้นจะเห็นได้ว่า Mirror, PET Aluminum และ Aluminum foil จะสามารถทำอุณหภูมิได้ 60 องศาเซลเซียส, 54 องศาเซลเซียสและ 48 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสของวัสดุทั้งสามชนิดจะมีความสอดคล้องกับค่าคุณสมบัติการสะท้อนที่ได้ระบุไว้ในตารางที่ 5.2 โดยที่กระจกมีประสิทธิภาพการสะท้อนที่แสงดีที่สุดถึง 98-99% ในขณะที่ Aluminum foil ให้ประสิทธิภาพการสะท้อนต่ำที่สุดอยู่ที่ 88-90% สำหรับรูปที่ 5.1 จะแสดงลักษณะการสะท้อนแสงของวัสดุทั้งสามชนิด จะเห็นว่าแสงที่สะท้อนบนกระจกจะมีลักษณะเป็นเส้นสม่ำเสมอที่บริเวณตำแหน่งโฟกัสโดยมีจุดสีขาวชัดเจน ส่วนแสงสะท้อนบน PET Aluminum มีลักษณะผิดปกติและมีการหักเหของแสงออกจากตำแหน่งโฟกัสสามารถสังเกตได้ว่าจะเป็นจุดสีขาวระดับปานกลาง และแสงสะท้อนของ Aluminum foil จะมีลักษณะที่แตกต่างและมีการกระจายของแสงซึ่งทำให้เกิดความฟุ้งและมีความเบลอของแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงคุณสมบัติวัสดุสะท้อนแสง

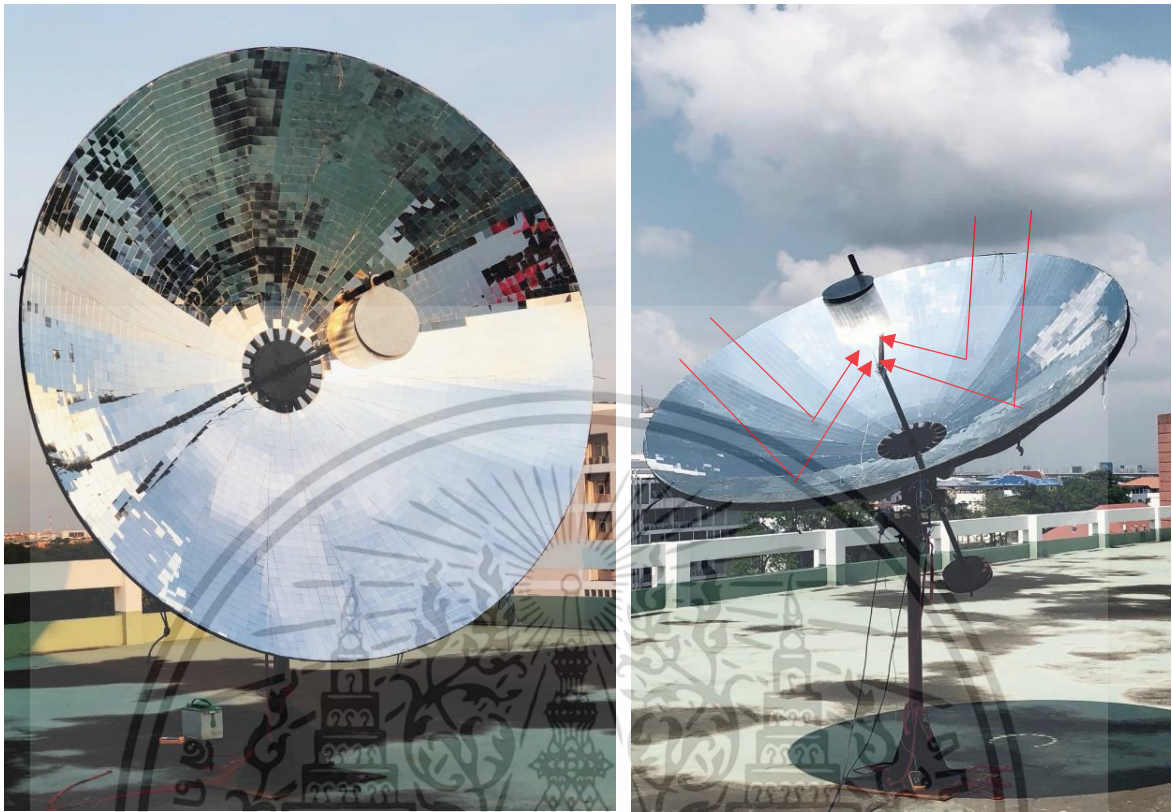
Materials/ Properties	Mirror	PET Aluminum	Aluminum foil
Reflectance (%)	98-99	95-97	88-90
Tensile strength (MPa)	76.04	79.289	≥50
Thickness(mm)	1.00- 20.00	0.15 - 0.20	0.009 -0.04
Cost/Area(m ²)	560	495	35

ดังนั้นจากผลการทดสอบประสิทธิภาพการสะท้อนแสงของวัสดุเพื่อศึกษาคุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัสดุทั้งสามชนิด จะพบว่ากระจกมีคุณสมบัติในการสะท้อนความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ได้ดีที่สุด ทำให้กระจกถูกเลือกเป็นวัสดุสำหรับการสะท้อนแสงของจานรวมแสงต้นแบบอีกทั้งยังมีข้อดีคือเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องตลาด

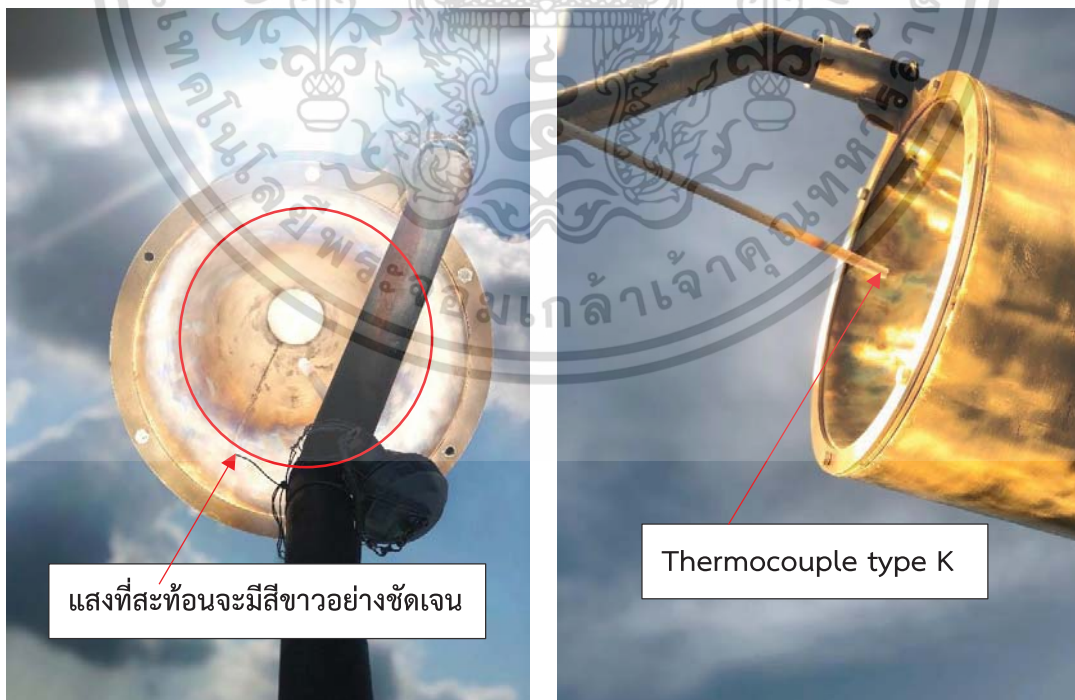
5.2 การทดสอบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งจุดโฟกัสของจานรวมแสง

การทดสอบความสามารถการรวมแสงของจานรวมแสงพาราโบลิกต้นแบบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เมตร, ตำแหน่งโฟกัส 0.95 เมตร, พื้นที่ของจานรวมแสง 9.32 เมตร และมีกระจกขนาด 5x5 เซนติเมตร เป็นวัสดุในการสะท้อนรังสีของดวงอาทิตย์ โดยการดำเนินการครั้งนี้จะเลือกวันทำการทดลองในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ดีท้องฟ้าสดใสเพื่อให้จานรวมแสงสามารถรวมแสงที่ตกกระทบลงมาให้ได้มากที่สุด ซึ่งสถานที่ติดตั้งระบบจานรวมแสง คือ ดาดฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร โดย Thermocouple type K จะเป็นเครื่องมือวัดอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสที่มีการรวมแสงของจานต้นแบบและจะมีการปรับจานต้นแบบให้ติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตลอดเวลาในลักษณะ 2 ทิศทาง ซึ่งรูปที่ 5.2 จะแสดงระบบจานรวมแสงต้นแบบพาราโบลิกที่พร้อมทำการทดสอบ และรูปที่ 5.3 แสดงการเกิดลักษณะของแสงจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่จานรวมแสงต้นแบบและมีการสะท้อนเข้าไป ณ ตำแหน่งโฟกัสของจาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ระบบจานรวมแสงต้นพาราโบลิกแบบที่พร้อมใช้ในทำการทดสอบ



แสงที่สะท้อนจะมีสีขาวอย่างชัดเจน

Thermocouple type K

รูปที่ 5.3 แสดงรังสีดวงอาทิตย์ที่สะท้อนเข้า ณ ตำแหน่งไฟกัสของจานรวมแสงต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบอุณหภูมิ ณ จุดไฟกัสของจานรวมแสงต้นแบบได้ดำเนินการทดสอบเก็บผลการทดลองเป็นเวลา 4 วัน และทำการทดลองในช่วงเวลา 8:30 – 16:30 นาที โดยมีการบันทึกอุณหภูมิทุก ๆ 15 นาที ซึ่งผลการทดสอบอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งไฟกัสดังกล่าว จะแสดงดังตารางที่ 5.3 ในขณะที่ค่าความเข้มรังสีรายชั่วโมงได้ทำการขอความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน โดยเป็นค่าเข้มรังสีของพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครและกราฟผลการทดลองรูปที่ 5.4

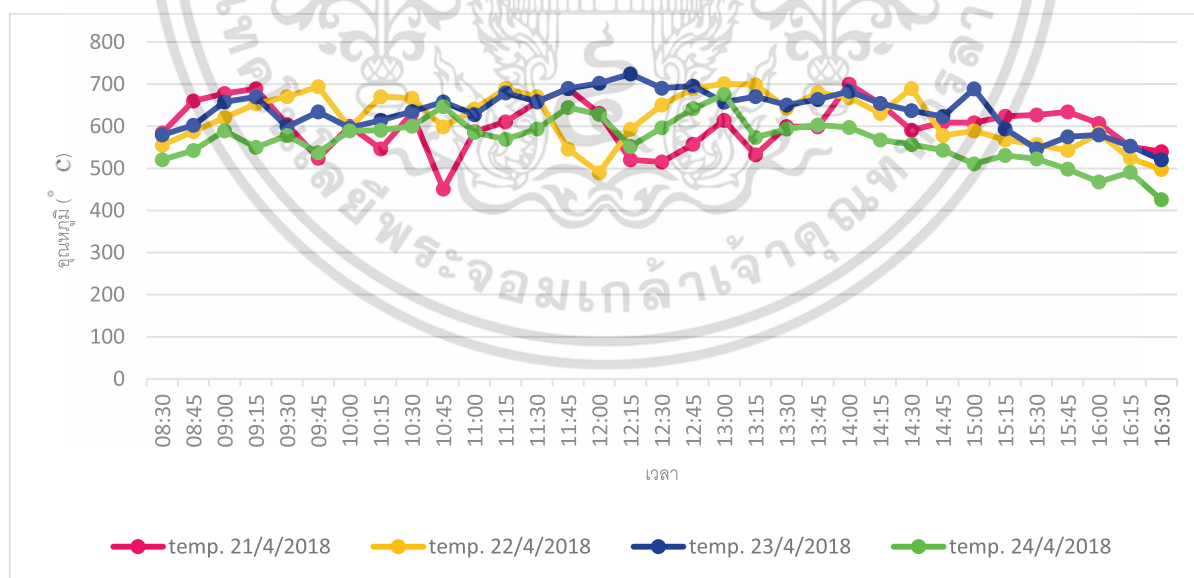
ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบอุณหภูมิที่จุดไฟกัสของจานรวมแสงต้นแบบขนาด 3.2 เมตร

เวลา	21/04/2561		22/04/2561		23/04/2561		24/04/2561	
	อุณหภูมิ (°C)	รังสี (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)	รังสี (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)	รังสี (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)	รังสี (W/m ²)
08:30	583.7		554.8		579.9		520.3	
08:45	660.4	423.80	587.6	419.25	602.4	441.69	542.4	446.83
09:00	677.9		620.5		657.8		589.4	
09:15	689.3		653.4		669.4		550.3	
09:30	604.3	666.38	670.4	644.69	598.7	704.19	578.4	644.69
09:45	524.1		694.5		634.5		537.1	
10:00	600.5		595.5		596.4		589.3	
10:15	446.5		670.4		614.5		590.4	
10:30	350.7	836.19	666.8	780.19	634.7	869.61	600.3	823.52
10:45	450.8		598.7		657.8		647.1	
11:00	587.2		640.8		627.9		585.7	
11:15	610.8		689.6		679.6		568.9	
11:30	657.8	931.75	670.8	891.13	658.6	946.22	593.8	934.61
11:45	689.7		545.3		689.4		644.3	
12:00	630.4		489.6		702.4		628.6	
12:15	520.1		592.7		724.3		552.4	
12:30	515.3	955.55	650.3	915.66	690.5	927.61	596.5	948.38
12:45	557.5		689.5		695.4		641.8	
13:00	614.5		701.3		657.4		675.5	
13:15	532.4		698.3		670.5		573.8	
13:30	599.3	903.22	642.9	878.41	650.3	894.86	593.5	907.83
13:45	598.5		680.3		663.7		603.1	
14:00	700.4		668.3		683.1		597	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) ผลการทดสอบอุณหภูมิที่จุดโฟกัสของจานรวมแสงต้นแบบขนาด 3.2 เมตร

เวลา	21/04/2561		22/04/2561		23/04/2561		24/04/2561	
	อุณหภูมิ (°C)	รังสี (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)	รังสี (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)	รังสี (W/m ²)	อุณหภูมิ (°C)	รังสี (W/m ²)
14:15	653.4	769.05	630.4	767.22	654.3	763.80	567.4	716.5
14:30	590.4		689.4		637.2		556.9	
14:45	609.3		578.4		623.4		543.2	
15:00	608.4		589.4		689.3		510.8	
15:15	623.6	577.5	567.4	591.36	593.4	576.72	530.6	581.58
15:30	626.7		556.4		546.6		522.8	
15:45	633.9		542.5		575.2		498.4	
16:00	606.7		583.4		579.4		467.8	
16:15	551.8	367	523.8	374.75	553.1	358.05	490.7	375.97
16:30	539.3		497.4		520.1		425.6	
16:45	-		-		-		-	
17:00	-		-		-		-	
เฉลี่ย	600.78	714.49	619.12	694.93	638.48	720.30	567.09	708.88



รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสและเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบความสามารถในการรวมแสงของจานรวมแสงต้นแบบ โดยทำการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่ง โฟกัสของจานในช่วงวันที่มีแสงแดดดี ท้องฟ้าโปร่ง เป็นเวลา 4 วัน จะพบว่าวันที่ 1 อุณหภูมิสูงสุดที่จานรวมแสงสามารถทำได้คือ 700.4 องศาเซลเซียส ณ เวลา 14:00 นาฬิกา โดยทั้งวันอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 600.78 องศาเซลเซียส สำหรับสภาพอากาศของวันที่ทำการทดลองจะเป็นดังนี้ มีความเร็วลมสูงสุด 22 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีอุณหภูมิโดยรอบเฉลี่ย 31-35 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 66% และค่าความรังสีเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 714.49 W/m^2

วันที่ 2 อุณหภูมิสูงสุดที่จานรวมแสงสามารถทำได้คือ 701.3 องศาเซลเซียส ณ เวลา 13:00 นาฬิกา โดยทั้งวันอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 619.12 องศาเซลเซียส สำหรับสภาพอากาศของวันที่ทำการทดลองจะเป็นดังนี้ ความเร็วลมสูงสุด 21 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีอุณหภูมิโดยรอบเฉลี่ย 33-35 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 66% และค่าความรังสีเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 714.49 W/m^2

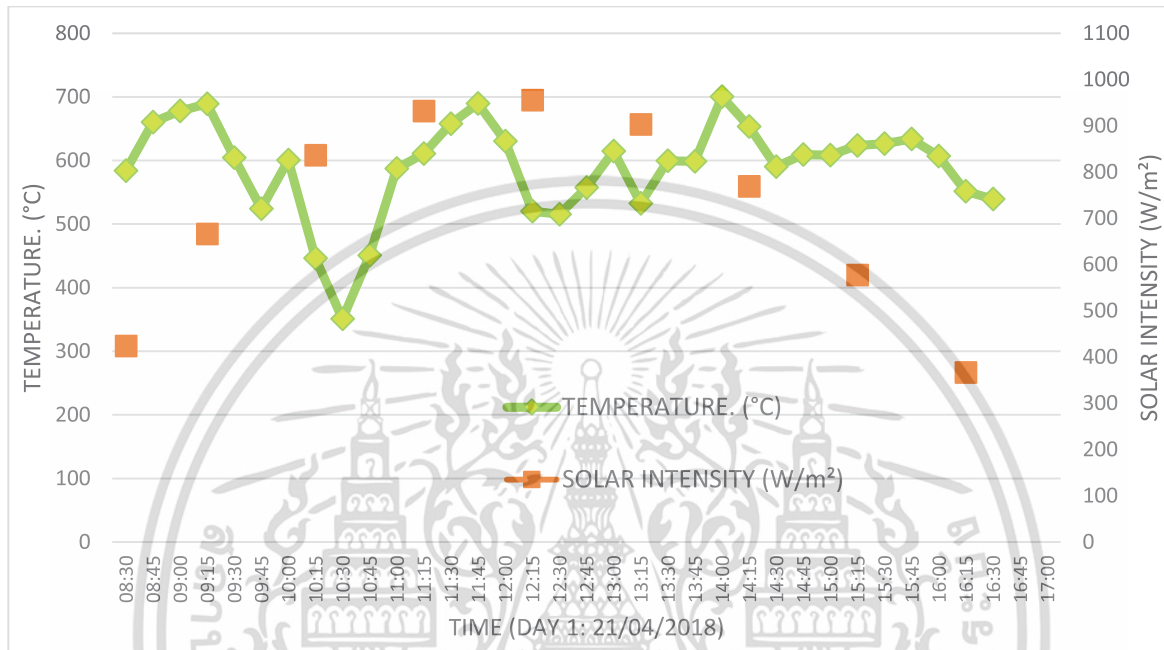
วันที่ 3 อุณหภูมิสูงสุดที่จานรวมแสงสามารถทำได้คือ 724.3 องศาเซลเซียส ณ เวลา 13:00 นาฬิกา โดยทั้งวันอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 638.48 องศาเซลเซียส สำหรับสภาพอากาศของวันที่ทำการทดลองจะเป็นดังนี้ ความเร็วลมสูงสุด 22 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีอุณหภูมิโดยรอบเฉลี่ย 33-35 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 66% ค่าความรังสีเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 694.93 W/m^2

วันที่ 4 อุณหภูมิสูงสุดที่จานรวมแสงสามารถทำได้คือ 675.5 องศาเซลเซียส ณ เวลา 12:15 นาฬิกา โดยทั้งวันอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 567.09 องศาเซลเซียส สำหรับสภาพอากาศของวันที่ทำการทดลองจะเป็นดังนี้ ความเร็วลมสูงสุด 21 กิโลเมตรต่อชั่วโมง มีอุณหภูมิโดยรอบเฉลี่ย 28-33 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ที่ 72% และค่าความรังสีเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาที่ทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 708.88 W/m^2

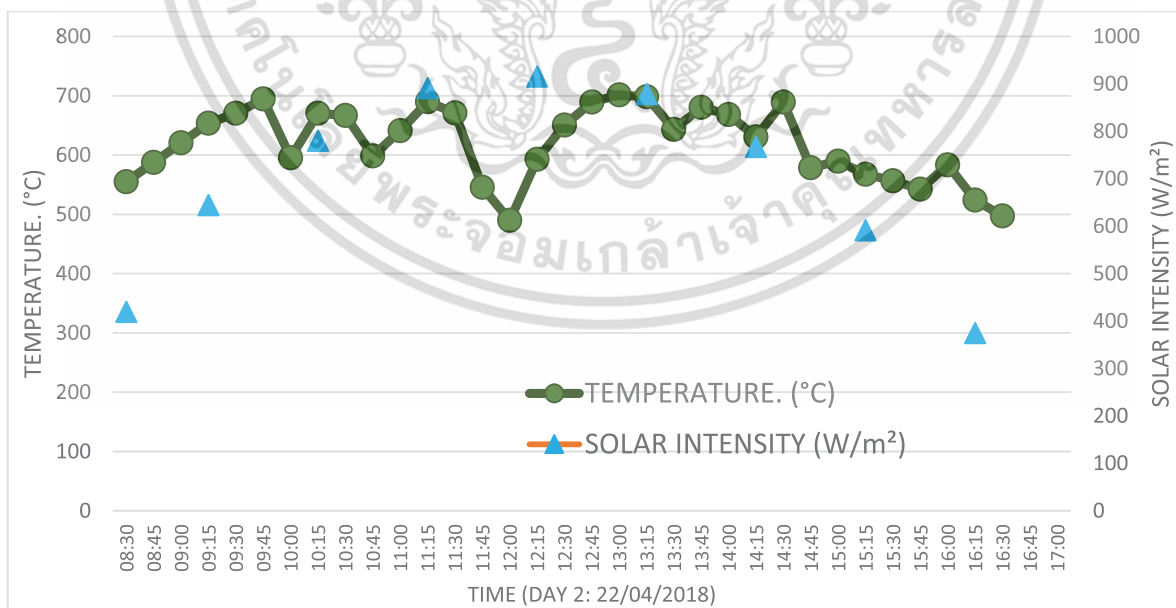
ในการเก็บบันทึกผลการทดลองทั้ง 4 วันจะแสดงให้เห็นว่าจานรวมแสงที่ได้รับการออกแบบและสร้างนี้จะสามารถทำอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสได้ในช่วง 600-650 องศาเซลเซียสโดยประมาณ ซึ่งช่วงที่จานรวมแสงรับความเข้มของดวงอาทิตย์อย่างเต็มที่จะสามารถทำอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสได้สูงถึง 724.3 องศาเซลเซียสและจากการพิจารณาร่างบันทึกผลการทดสอบของอุณหภูมิจะสังเกตได้ว่า อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสมีค่าไม่คงที่ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งสาเหตุเกิดได้หลายปัจจัยไม่ว่าจะเป็น ปัจจัยของก้อนเมฆขนาดใหญ่ที่มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา แม้ว่าช่วงที่โลกจะได้รับความเข้มแสงอาทิตย์มากที่สุดอย่างเวลาเที่ยงวันถึงบ่ายโมง แต่ถ้าหากเมฆมีการเคลื่อนที่บดบังดวงอาทิตย์ อุณหภูมิที่จานรวมแสงจะสามารถเก็บผลได้ก็อาจจะมีการลดลงเพราะพื้นที่ของจานรับแสงต้นแบบไม่ได้รับความเข้มของดวงอาทิตย์ ณ ช่วงที่บันทึกผล หรือแม้กระทั่งปัจจัยที่เกิดจากความเร็วลมที่เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิของจานรวมแสงไม่คงที่ เพราะความเร็วลมที่มีการวิ่งผ่านไปมา สามารถทำให้เกิดการพัดพาความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่จะต้องตกกระทบบนพื้นที่จานรวมแสงออกไปได้ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้เป็นปัจจัยที่ได้รับผลกระทบจากธรรมชาติที่ยังคงไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ แต่ทั้งนี้ในการทดสอบจานรวมแสงต้นแบบควรเลือกวันที่อากาศดี, ท้องฟ้าแจ่มใส และมีเปอร์เซ็นต์ของเมฆในอัตราที่น้อยที่สุดที่ควรเป็นไปเพื่อให้จานรวมแสงจะสามารถรวมอุณหภูมิได้อย่างเต็มที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.5 – รูปที่ 5.8 จะแสดงกราฟการเก็บบันทึกผลอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโปกส์ในทุก ๆ 15 นาทีและความเข้มรังสีรายชั่วโมงที่ได้ทำการทดลองตลอดทั้ง 4 วัน คือ ตั้งแต่วันที่ 21 เมษายน – 24 เมษายน พ.ศ. 2561 ในช่วงเวลา 8:30 – 16:30 นาที

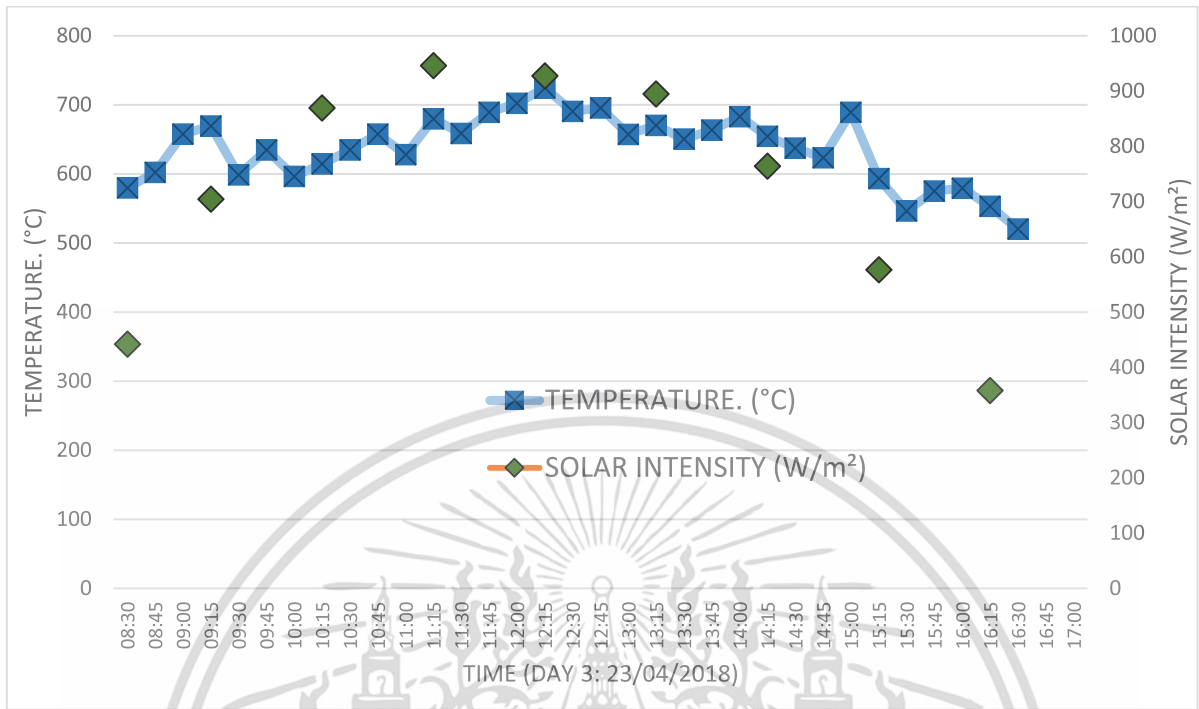


รูปที่ 5.5 กราฟอุณหภูมิ ณ จุดโปกส์และความเข้มรังสีรายชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลาทำการทดลอง

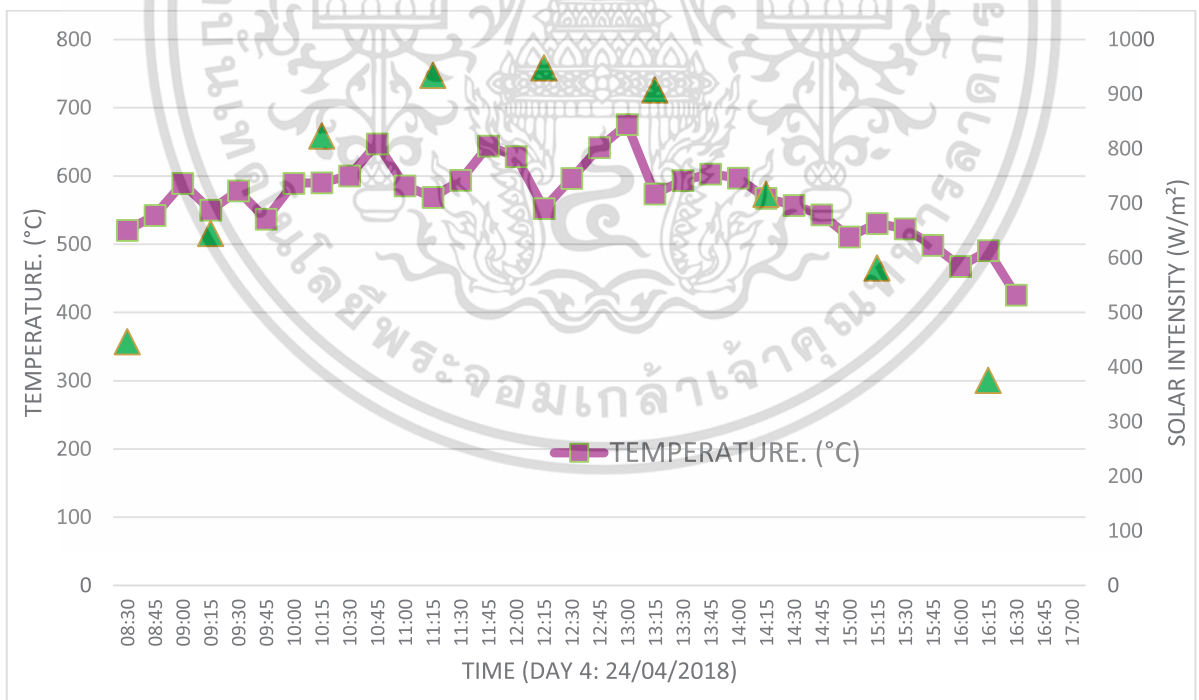


รูปที่ 5.6 กราฟอุณหภูมิ ณ จุดโปกส์และความเข้มรังสีรายชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลาทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 กราฟอุณหภูมิ ณ จุดไฟกัสและความเข้มรังสีรายชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลาที่ทำกรทดลอง



รูปที่ 5.8 กราฟอุณหภูมิ ณ จุดไฟกัสและความเข้มรังสีรายชั่วโมงในแต่ละช่วงเวลาที่ทำกรทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดสอบความสามารถในการรวมพลังงานแสงอาทิตย์ของจานรวมแสง

การทดสอบหาพลังงานการรวมแสง (useful energy) และกำลัง (power output) ของระบบจานรวมแสง ต้นแบบที่ผลิตได้ จะดำเนินการทดสอบวันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2561 ในช่วงเวลา 12:00 นาฬิกา ซึ่งมีค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ ณ ขณะทำการทดลองเท่ากับ 765 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยวิธีการคือ จะใช้พลังงานร้อนที่จานรวมแสงสามารถรวมได้ในการต้มน้ำให้เดือด

ในการทดสอบครั้งนี้ หม้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร พื้นที่รับความร้อน 314 ตารางเซนติเมตร (หรือ 0.0314 ตารางเมตร) จะบรรจุน้ำปริมาตร 5 กิโลกรัมและถูกติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งโฟกัสของจานรวมแสง เมื่อน้ำที่บรรจุอยู่ภายในหม้อได้รับความร้อนจากการสะท้อนความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์จะทำให้อุณหภูมิของน้ำมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ จากการที่น้ำดูดซับพลังงานความร้อนไว้ ซึ่งจะทำให้การสังเกตและบันทึกเวลาที่เปลี่ยนไปจนกระทั่งน้ำในหม้อถึงอุณหภูมิ ณ จุดเดือด โดยรูปที่ 5.9 แสดงการทดสอบในการหาพลังงานการรวมแสงและกำลังที่สามารถผลิตได้ของจานรวมแสงต้นแบบ



รูปที่ 5.9 การทดสอบหาพลังงานที่ใช้ได้ของจานรวมแสงต้นแบบ

จากผลการทดสอบพบว่า น้ำปริมาตร 5 กิโลกรัมที่บรรจุอยู่ในหม้อ โดยมีอุณหภูมิเริ่มต้น 30.2 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาจนกระทั่งถึงอุณหภูมิ ณ จุดเดือดคือ 98.8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7.45 นาทีหรือ 447 วินาที ซึ่งพลังงานการรวมแสงที่ได้จากการทดสอบในกระบวนการนี้ จะสามารถคำนวณได้จากช่วงที่เป็น ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat) กล่าวคือ ก่อนที่น้ำจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ โดยสามารถคำนวณได้ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความร้อนสัมผัส (Sensible Heat)

จากสูตร $Q = m \cdot c \cdot \frac{\Delta T}{\Delta t}$

จะได้ $Q = 5\text{kg} \times 4.187\text{kJ/kg}\cdot\text{K} (98.8 - 30.2)$

$$Q = 1436.14\text{kJ}$$

โดยที่ค่าความจุเฉพาะของน้ำ (c) มีค่า 4.187 kJ/kg·K

จากทฤษฎีการหาค่ากำลัง (Power Output) จะสามารถหาได้จากสมการ

$$P = \frac{Q_{\text{useful}}}{\text{time}}$$

ดังนั้นกำลังที่งานรวมแสงต้นแบบสามารถทำได้จากกระบวนการนี้ คือ

Power Output; $P = 1436.14 \text{ kJ}/447 \text{ s}$

$$P = 3212.84 \text{ วัตต์}$$

จากผลการทดสอบและการคำนวณข้างต้นทำให้ทราบว่างานรวมแสงต้นแบบที่มีการออกแบบและสร้างสามารถผลิตกำลังได้ 3212.84 วัตต์และมีความสามารถรวมพลังงานแสงอาทิตย์ได้ 1436.14 กิโลจูล สำหรับการศึกษานววิจัยครั้งนี้ ประสิทธิภาพของงานรวมแสงต้นแบบที่ได้จะนำข้อมูลค่าความเข้มแสงมาจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) เพื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพของงานรวมแสงต้นแบบ โดยค่าความเข้มรังสี ณ ช่วงเวลาที่ทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 765 วัตต์ต่อตารางเมตร

ดังนั้นงานรวมแสงต้นแบบที่มีพื้นที่ในการรับรังสีของดวงอาทิตย์ 9.32 ตารางเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เมตร จะทำให้สามารถคำนวณหาประสิทธิภาพที่งานรวมแสงต้นแบบสามารถทำได้คือ 45.06 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นการคิดแบบไม่สูญเสียพื้นที่ในการรับความร้อนที่เกิดจากการติดวัสดุสะท้อนแสงหรือปัจจัยทางธรรมชาติ โดยวิธีการคำนวณอย่างละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

$$\eta_{\text{เฉลี่ย}} = \frac{Q_{\text{useful}}}{Q_{\text{available}}} = \frac{Q_{\text{useful}}}{I A_{\text{collector}}}$$

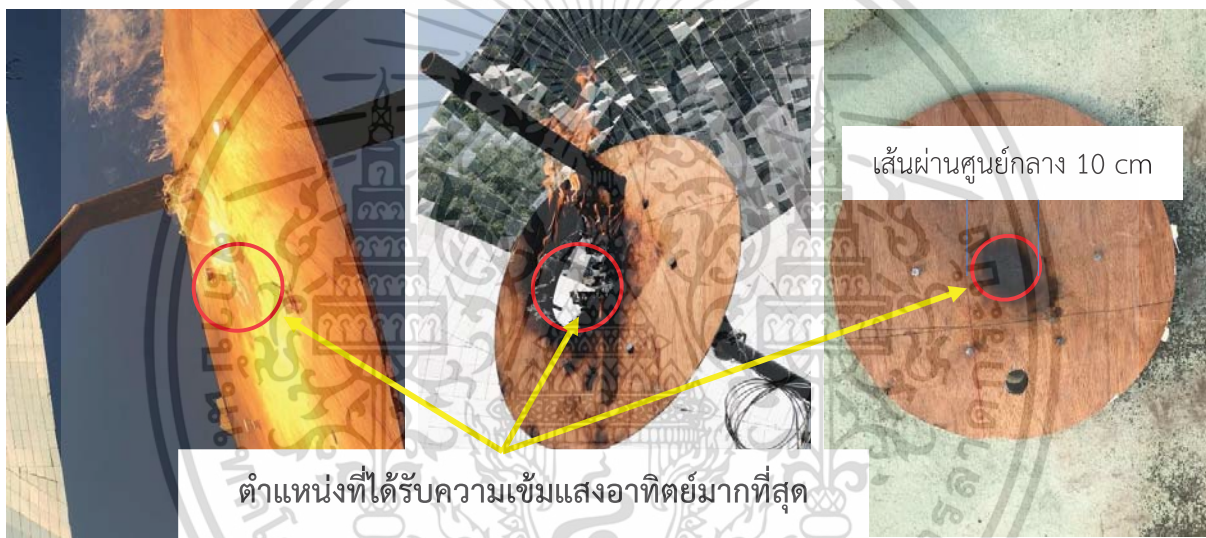
$$\eta_{\text{เฉลี่ย}} = \frac{3212.84 \text{ w}}{765 \text{ W/m}^2 \times 9.32 \text{ m}^2} \times 100$$

$$\eta_{\text{เฉลี่ย}} = 45.06 \%$$

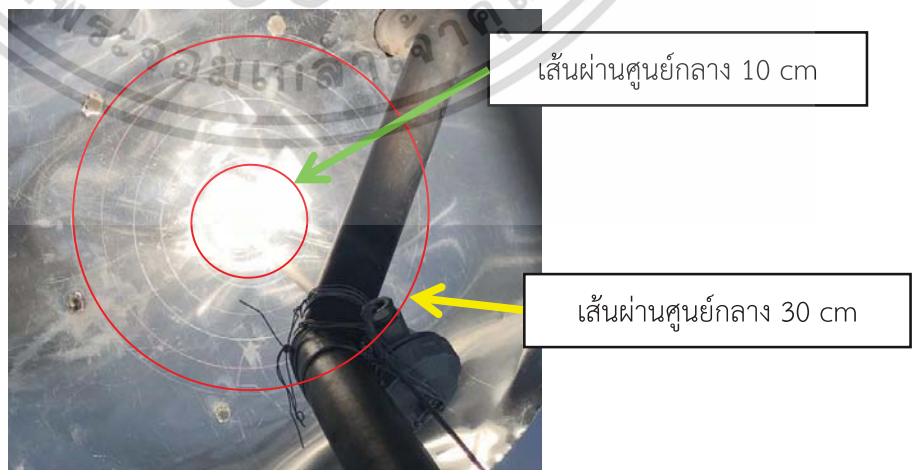
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดสอบความสามารถในการรวมแสงของจานรวมแสง (Concentration Ratio)

การทดสอบเพื่อศึกษาความสามารถในการรวมแสงของจานรวมแสงต้นแบบ จะทำการทดสอบโดยนำแผ่นไม้อัดที่วาดรูปทรงเรขาคณิตวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่าง ๆ ติดตั้งไว้ ณ ตำแหน่งโฟกัสของจานรวมแสง และทำการสังเกตพื้นที่ในการรวมแสงของจานต้นแบบ จากผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5.10 และรูปที่ 5.11 ซึ่งแสดงตำแหน่งพื้นที่ที่ได้รับความเข้มแสงอาทิตย์ ณ จุดโฟกัสของจาน โดยพื้นที่ที่ได้รับความเข้มแสงมากที่สุดมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร พื้นที่ในการรวมแสงคิดเป็น 0.0078 ตารางเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเป็นตำแหน่งที่เส้นรังสีของดวงอาทิตย์มีการสะท้อนจากการตกกระทบบนจานรับแสงผ่านกันมากที่สุด แต่ในทางกลับกันพื้นที่การรวมแสง ณ จุดโฟกัสที่เกิดจากการกระจายของเส้นรังสีดวงอาทิตย์จนเป็นวงกว้างจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร พื้นที่ในการรวมแสงคิดเป็น 0.07 ตารางเมตร



รูปที่ 5.10 ตำแหน่งที่เส้นรังสีของดวงอาทิตย์มีการสะท้อนผ่านกันมากที่สุด



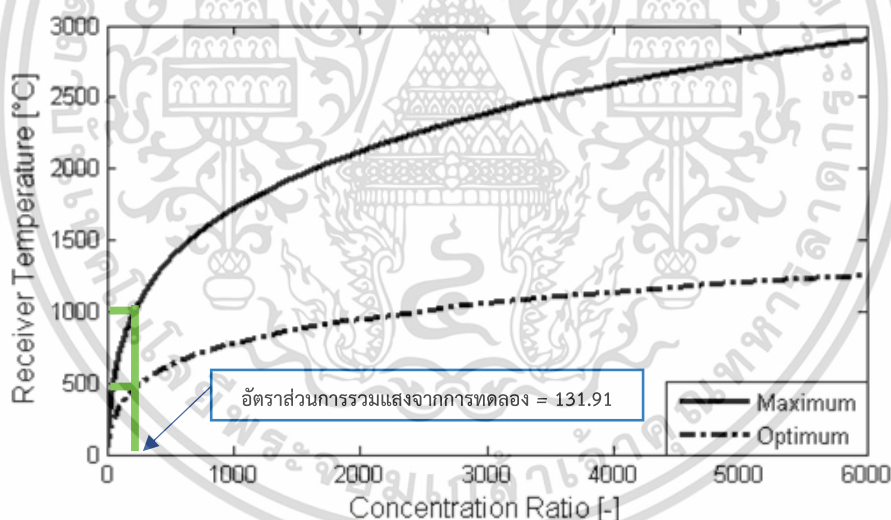
รูปที่ 5.11 พื้นที่การรวมรังสีของดวงอาทิตย์ที่มีการสะท้อน ณ จุดโฟกัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบข้างต้นจะสามารถอธิบายถึงอัตราส่วนการรวมแสงได้ โดยที่นิยามของอัตราส่วนการรวมแสง (Concentration ratio) จะใช้ในการอธิบายการรวมแสงของพลังงานที่ได้รับโดยตัวรับแสง สามารถหาได้จากพื้นที่ของจานรับแสงต่อพื้นที่ของตัวรับแสง ดังสมการที่ 5.1

$$CR = \frac{\text{area of the apture}}{\text{area of the receiver}} = \frac{A_a}{A_r} \quad (5.1)$$

นอกจากนี้ Duffie และ Beckman's ได้อธิบายถึงอัตราส่วนการรวมแสง (Concentration ratio) ไว้ในหนังสือ Solar Engineering of Thermal Processes [35] ว่าโดยทั่วไปอัตราส่วนการรวมแสง จะแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ ช่วงที่มีการรวมแสงต่ำ (Low Concentration Range) อัตราส่วนการรวมแสง จะอยู่ในช่วง $CR < 10$, ช่วงที่มีการรวมแสงปานกลาง (Medium Concentration Range) อัตราส่วนการรวมแสง จะอยู่ในช่วง $10 > CR < 100$ และช่วงที่มีการรวมแสงสูง (High Concentration Range) อัตราส่วนการรวมแสง จะอยู่ในช่วง $CR > 100$ และจากรูปที่ 5.12 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของตัวรับแสงกับอัตราส่วนการรวมแสง โดยการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนการรวมแสงหรือพื้นที่จานรวมแสงต่อพื้นที่รับแสงจะทำให้อุณหภูมิของตัวรับแสงเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตัวรับแสงกับอัตราส่วนการรวมแสง[35]

จากการทดสอบความสามารถในการรวมแสงของจานรวมแสงต้นแบบ พบว่าตำแหน่งที่มีการรวมแสงของตัวรับแสงจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 30 เซนติเมตร พื้นที่ในการรวมแสงคิดเป็น 0.07 ตารางเมตร ทำให้หาสามารถคำนวณหาอัตราส่วนการรวมแสงของจานรวมแสงต้นแบบ ได้จากสมการที่ 5.1

$$CR = \frac{\text{area of the apture}}{\text{area of the receiver}} = \frac{A_a}{A_r}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

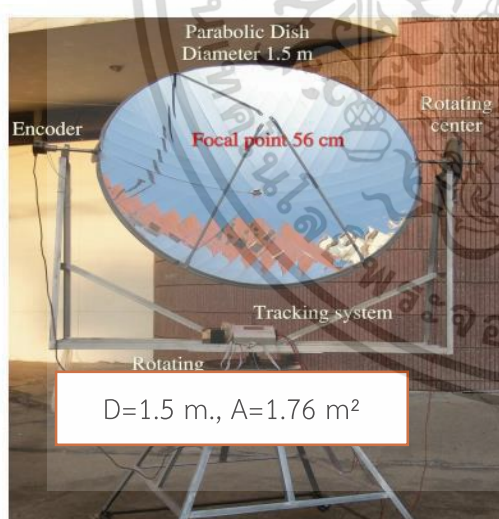
$$CR = \frac{9.32 \text{ m}^2}{0.07065 \text{ m}^2}$$

ดังนั้นอัตราส่วนการรวมแสง: $CR = 131.91$

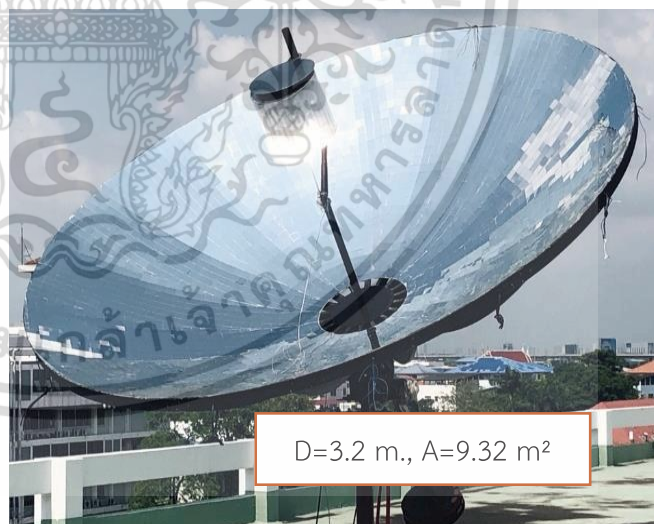
จากการคำนวณข้างต้นจะเห็นว่าค่าอัตราส่วนการรวมแสงหรือพื้นที่จานรวมแสงต่อพื้นที่รับแสงของจานรวมแสงต้นแบบมีค่าเท่ากับ 131.91 และจากคำอธิบายของ Duffie และ Beckman's จะพบว่าอัตราส่วนการรวมแสงอยู่ในช่วงที่มีค่าอัตราส่วนการรวมแสงสูง แสดงให้เห็นว่าจานรวมแสงที่มีการออกแบบและสร้างมีประสิทธิภาพของการทำงานที่ดี

5.5 การวิเคราะห์ผลการทดสอบจานรวมแสงต้นแบบ

เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของผลการทดลองในการหาพลังงานความร้อนที่ใช้ได้ (useful energy) เบื้องต้น จะทำการวิเคราะห์ผลการทดสอบกับงานวิจัยของนายเพชร จันบรรจง และคณะ[13] ซึ่งได้ทำการทดสอบจานรวมแสงพาราโบลิกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 เมตรและมีพื้นที่รับแสง 1.76 ตารางเมตร โดยผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสสามารถทำได้สูงสุด 500 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเฉลี่ย 344.4 องศาเซลเซียส และเมื่อทำการทดลองการต้มน้ำเพื่อหาพลังงานความร้อนที่นำไปใช้ได้ จะพบว่าในช่วงที่น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและยังเป็นช่วงความร้อนสัมผัส (sensible heat) จะได้ $Q = 12.14$ กิโลจูลและได้กำลังของจานรวมแสงที่ทำได้ 35 วัตต์



(ก) จานรวมแสงนายเพชร จันบรรจงและคณะ



(ข) จานรวมแสงในงานวิจัย

รูปที่ 5.13 จานรวมแสงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.4 เปรียบเทียบงานรวมแสงทั้ง 2 งาน

พารามิเตอร์	งานวิจัยครั้งนี้	เพชร จันบรรจง
เส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)	3.2	1.5
พื้นที่ (ตร.ม.)	9.32	1.76
วัสดุสะท้อนแสง	กระจก	อลูมิเนียม
อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)	623.25	344.4
ความร้อนสัมผัส (กิโลจูล)	1436.14	12.14
กำลัง (วัตต์)	3212.84	35
ประสิทธิภาพ (เปอร์เซ็นต์)	45.06	2.75

จากผลการทดสอบงานวิจัยของนายเพชร จันบรรจง และคณะที่ได้กล่าวไปนั้น แสดงให้เห็นว่างานรวมแสงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กจะมีความสามารถในการผลิตความร้อนที่ได้น้อย เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของงานรวมแสงจะส่งผลต่ออัตราส่วนการรวมแสง ดังสมการที่ 16 จึงสามารถอธิบายได้ว่าระบบงานรวมแสงพาราโบลิกที่มีอัตราส่วนการรวมแสงสูงจะทำให้งานรวมแสงพาราโบลิกมีความสามารถในการผลิตพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ผลการทดสอบของงานวิจัยในต่างประเทศที่ได้มีการทดสอบและสร้างงานรวมแสงพาราโบลิกเช่นเดียวกัน ก็แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสที่งานพาราโบลิกสามารถผลิตได้ก็จะมีค่าแตกต่างกันไปตามอัตราส่วนการรวมแสง ดังแสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบผลงานวิจัยที่ได้ศึกษาของการทดสอบอุณหภูมิงานรวมแสง

งานวิจัย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(เมตร)	วัสดุสะท้อนแสง	อุณหภูมิเฉลี่ย ณ ตำแหน่งโฟกัส (°C)	ประเทศ
Y. Rafeeu, M.Z.A. Ab Kadir [12]	0.45	Stainless steel	113	มาเลเซีย
	0.46	Aluminum film	92	
	0.50	Aluminum film	97	
เพชร จันบรรจงและคณะ [13]	1.5	Aluminum	344.4	ไทย
A.R. El Ouederni และคณะ [14]	2.2	Stainless steel	380	ฝรั่งเศส
N.D. Kaushika, K.S. Reddy [7]	2.405	Aluminum frame	300	อินเดีย
I.Palavras, G.C. Bakos [15]	2.85	Polymer mirror film	300	กรีซ
งานวิจัยนี้	3.2	mirror	623.5	ไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษางานวิจัยที่ได้มีการนำเสนอและการวิเคราะห์ผลกระทบถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการทำงานของระบบจนวนรวมแสงพาราโบลิค จะพบว่าอัตราส่วนการรวมแสงหรือพื้นที่จนวนรวมแสงต่อพื้นที่รับแสงจะมีอิทธิพลต่ออุณหภูมิที่ได้จากจนวนรวมแสง โดยอัตราส่วนการรวมแสงที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่ได้สูงขึ้นด้วย ดังนั้นการออกแบบอัตราส่วนการรวมแสงจะมีความสำคัญเป็นอย่างมาก นอกเหนือจากนี้ค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นวัสดุที่ใช้ในการสะท้อนแสง ศักยภาพความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่ที่ได้มีการติดตั้งทดสอบจนวนรวมแสง ก็จะส่งผลถึงความสามารถของจนวนรวมแสงพาราโบลิคด้วยเช่นกัน หรือแม้กระทั่งการเลือกมุมขอบหรืออัตราส่วนความยาวโฟกัสต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางก็จะมีผลสำคัญเป็นอย่างยิ่ง โดยถ้ามุมขอบของจนวนรวมแสงพาราโบลิคมากเกินไปจะทำให้ตำแหน่งโฟกัสอยู่ในมุมอับเกือบจะติดจุดที่ต่ำสุดของจนวนพาราโบลิค ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิด Shading Area ได้ หรือมุมขอบที่น้อยเกินไปตำแหน่งโฟกัสที่เกิดขึ้นของจนวนรวมแสงจะอยู่ในจุดที่ไกลมากทำให้เกิดการสูญเสียความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ที่มีการสะท้อน เนื่องจากการพัดพาความร้อนจากอากาศระหว่างที่รังสีเดินทาง



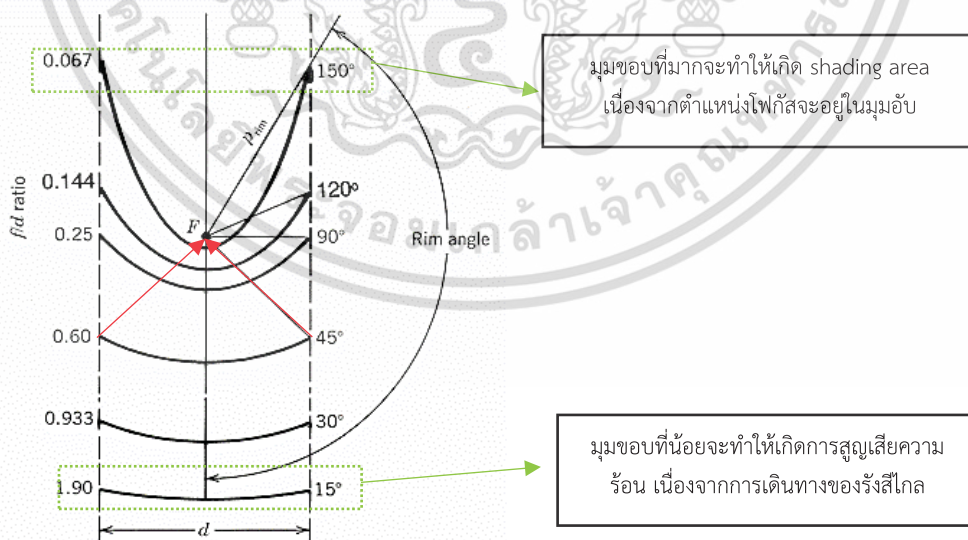
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในการออกแบบและสร้างจานรวมแสงพาราโบลาเพื่อเป็นต้นแบบในการศึกษาสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ จะประยุกต์ใช้จานดาวเทียมรับสัญญาณที่ไม่มีการใช้แล้วเป็นจานรวมแสงพาราโบลา เพื่อเป็นการลดต้นทุนของการผลิตและทำการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของจานรวมแสงต้นแบบนี้ ซึ่งจานรับสัญญาณดาวเทียมที่มีการประยุกต์ใช้ดังกล่าว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เมตร ความลึก 0.67 เมตร ตำแหน่งโฟกัส 0.955 เมตร พื้นที่การรับแสงของจาน 9.32 ตารางเมตร อัตราส่วนการรวมแสง 132 และจานรวมแสงต้นแบบมีการขับเคลื่อนลักษณะ 2 ทิศทางเพื่อให้สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ได้แก่ ทิศทางของมุม Azimuth และทิศทางของมุม Elevation

เมื่อนำจานรับสัญญาณดาวเทียมที่นำมาประยุกต์ใช้มาตรวจสอบความเหมาะสมของความเป็นพาราโบลาที่ดี โดยทำการศึกษาจากมุมขอบของพาราโบลาหรืออัตราส่วนขนาดความยาวโฟกัสและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับแสง จะพบว่ามุมขอบที่เหมาะสมสำหรับเส้นทางการสะท้อนแสงของรังสีดวงอาทิตย์นั้น มุมขอบดังกล่าวจะต้องไม่มีขนาดของมุมที่มากเกินไปหรือน้อยจนเกินไป ซึ่งมุมขอบที่ 45 องศาเป็นมุมขอบที่เป็นหนึ่งในตัวเลือกที่ดี ดังแสดงดังรูปที่ 6.1 เนื่องจากจะมีเส้นทางการสะท้อนของรังสีอย่างเหมาะสม และจานรับสัญญาณดาวเทียมที่นำมาประยุกต์ใช้จะมีมุมขอบที่ 45 องศา ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจานรับสัญญาณดาวเทียมมีความเป็นพาราโบลาที่ดี



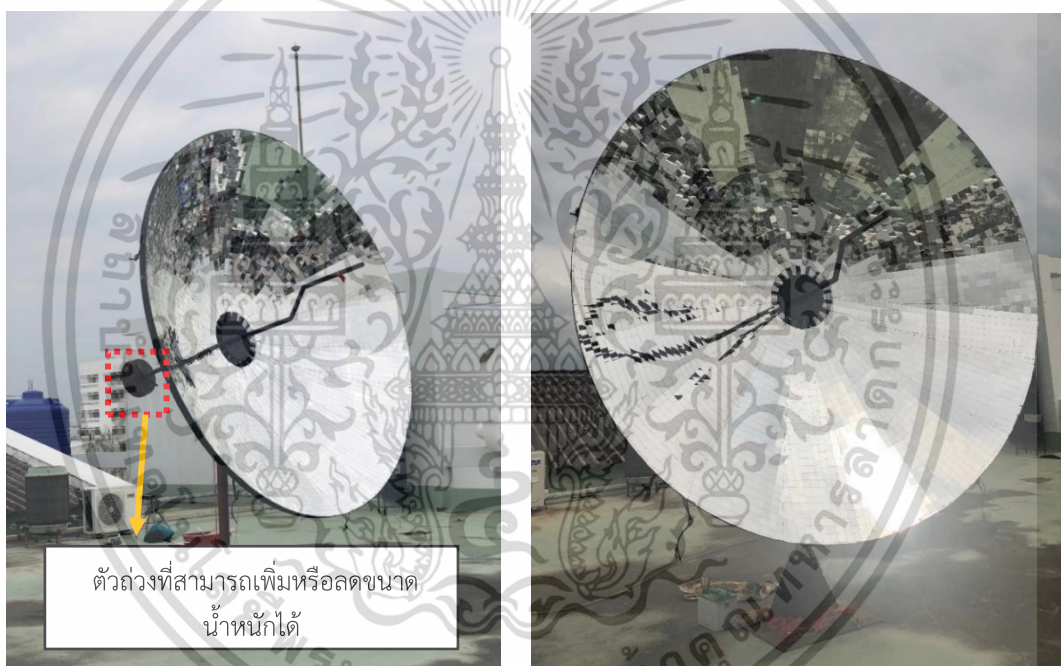
รูปที่ 6.1 พาราโบลาที่มีจุดโฟกัสและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรับแสงตำแหน่งเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในขณะที่เดียวกันเมื่อมีการศึกษาถึงรูปแบบโครงสร้างของจานรวมแสงในแบบต่าง ๆ จะทำให้ได้ข้อสรุปสำหรับการออกแบบและสร้างจานรวมแสงต้นแบบที่ใช้สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ คือ

1. เพื่อเป็นการลดพื้นที่ของการสูญเสียความร้อนที่อาจจะเกิดจากพื้นที่เงาของระบบขับเคลื่อนที่ใช้ควบคุมทิศทางการหมุน หากมีการนำมาไว้ในตำแหน่งด้านหน้าจานรวมแสงแล้ว ระบบขับเคลื่อนที่ใช้สำหรับในงานวิจัยครั้งนี้จึงออกแบบให้มีการควบคุมทิศทางการหมุนอยู่ในตำแหน่งด้านหลังของจานรวมแสงต้นแบบ

2. เพื่อเป็นการรองรับการทำงานของจานรวมแสงกับเครื่องยนต์สแตลิงที่อาจจะมีการนำมาประยุกต์ใช้งานในอนาคต จานรวมแสงต้นแบบนี้สามารถเปลี่ยนมวลของน้ำหนักถ่วง เพื่อสามารถรักษาสมดุลของระบบได้ โดยจานรวมแสงต้นแบบที่ออกแบบและสร้างสำหรับงานวิจัยครั้งนี้ จะแสดงดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 จานรวมแสงต้นแบบที่ได้รับการออกแบบ, สร้างและทดสอบสำหรับงานวิจัย

นอกจากนี้สิ่งสำคัญสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของจานรวมแสงต้นแบบ ยังมีส่วนประกอบที่สำคัญอีกอย่างเช่น วัสดุที่ใช้ในการสะท้อนรังสีของดวงอาทิตย์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุสะท้อนแสง เพื่อทำการเลือกวัสดุสะท้อนแสงสำหรับการติดตั้งลงบนจานรวมแสงต้นแบบ

6.1 การศึกษาประสิทธิภาพวัสดุของการสะท้อนแสง

จากการศึกษาประสิทธิภาพความสามารถในการสะท้อนแสงของวัสดุ เพื่อที่จะเลือกใช้สำหรับการติดตั้งลงบนจานรวมแสงต้นแบบ วัสดุสะท้อนแสงทั้งสามชนิดจะถูกนำมาทดสอบเบื้องต้นผ่านเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้สำหรับให้เรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นแบบใช้ประโยชน์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองของโครงสร้างพาราโบลา โดยวัสดุที่นำมาทดสอบได้แก่ Mirror, PET aluminum และ Aluminum foil จากผลการทดสอบเบื้องต้นจะพบว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสของแต่ละวัสดุจะมีอุณหภูมิต่างกันดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ผลการทดสอบความสามารถการสะท้อนแสงของวัสดุ

วัสดุ	อุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัส
Mirror	60 °C
PET Aluminum	54 °C
Aluminum foil	48 °C

ซึ่งจากผลการทดสอบเห็นได้ชัดว่าอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสของวัสดุทั้งสามชนิด วัสดุชนิดกระจกจะสามารถทำอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสได้ดีที่สุด ซึ่งจะมีความสอดคล้องกับค่าคุณสมบัติการสะท้อนที่ได้ โดยกระจกมีประสิทธิภาพการสะท้อนแสงที่ดีที่สุดถึง 98-99% ในขณะที่อลูมิเนียมพอยล์จะให้ประสิทธิภาพการสะท้อนต่ำที่สุดคือ 88-90% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวัสดุสะท้อนแสงชนิดกระจกจะมีความเหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในการสะท้อนความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ของจานรวมแสงต้นแบบครั้งนี้

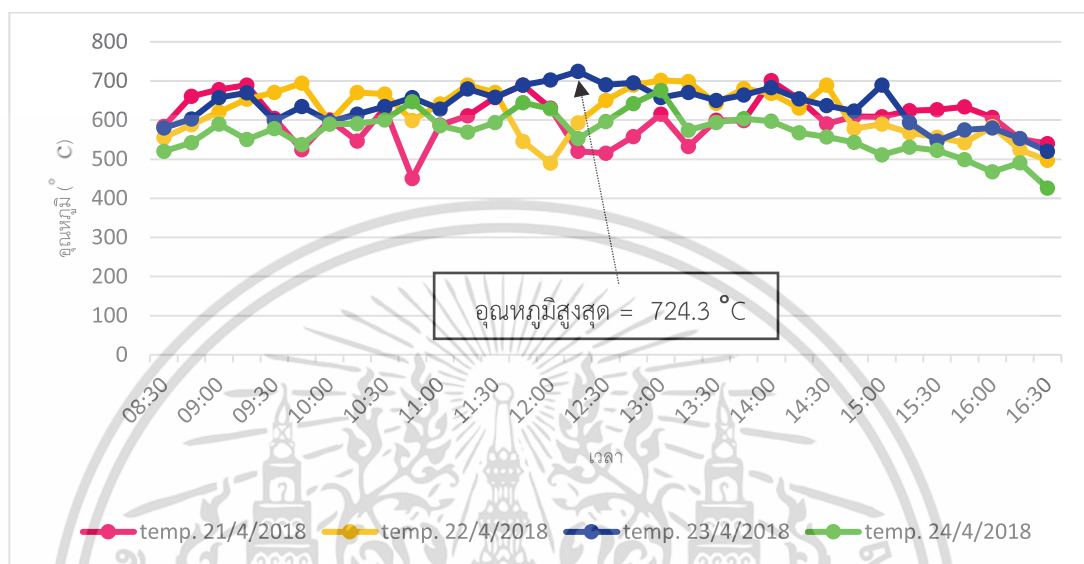
เมื่อวิเคราะห์ขนาดของกระจกที่ขนาดแตกต่างกัน โดยคำนึงถึงพื้นที่การสูญเสียความร้อนและต้นทุนการติดตั้งกระจกบนจานรวมแสงขนาด 3.2 เมตร ความลึก 0.67 เมตรและพื้นที่รับแสง 9.32 ตารางเมตร จะพบว่าราคาการผลิตของกระจกจะแปรผกผันกับพื้นที่การสูญเสียความร้อน ดังนั้นกระจกที่ขนาด 5x5 เซนติเมตร จะถูกเลือกให้มีความเหมาะสมที่สุดทั้งในเรื่องของราคาการผลิตและพื้นที่การสูญเสียความร้อนที่จะเกิดขึ้นจากช่องว่างของการติดตั้ง

6.2 การทดสอบอุณหภูมิที่จุดโฟกัสและกำลังที่จานรวมแสงสามารถทำได้

สำหรับการทดสอบความสามารถในการรวมแสงของจานรวมแสงต้นแบบนั้น ได้ดำเนินการทำการทดลองทั้งหมด 4 วัน ตั้งแต่เวลา 8:30 – 16:30 นาฬิกา โดยเลือกวันที่มีแสงแดดดี ท้องฟ้าแจ่มใส จากผลการทดสอบอุณหภูมิสูงสุด ณ ตำแหน่งโฟกัสของจานรวมแสงที่สามารถทำได้ คือ 724.3 องศาเซลเซียส โดยเฉลี่ยตลอดทั้งวันจานรวมแสงจะสามารถรวมอุณหภูมิได้อยู่ในช่วง 600-650 องศาเซลเซียสโดยประมาณ สาเหตุที่มีผลกระทบต่ออุณหภูมิการรวมแสงของจานพาราโบลา นอกจากจะเกิดจากพื้นที่ของการสูญเสียในการติดตั้งแล้ว ยังมีสาเหตุที่เกิดจากปัจจัยธรรมชาติอีกด้วย ไม่ว่าจะเป็นก้อนเมฆเคลื่อนที่ผ่านดวงอาทิตย์หรือความเร็วลมที่ไม่อาจควบคุมได้ จะทำให้ผลของอุณหภูมิที่ได้มีค่าน้อยลงหรือแม้กระทั่งการที่อุณหภูมิมีช่วงที่ไม่คงที่ ขาดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิที่จะเป็นไปได้

การทดสอบหาพลังงานการรวมแสงของจานต้นแบบ จะใช้หลักการถ่ายเทความร้อนจากการต้มน้ำด้วยหม้อที่มีพื้นที่รับความร้อน 0.03 ตารางเมตรและบรรจุน้ำปริมาตร 5 กิโลกรัมวางไว้ ณ จุดโฟกัสของจานรวมแสง โดยทดสอบเวลา 12:00 นาฬิกา จากการทดสอบพบว่าน้ำที่อุณหภูมิเริ่มต้น 30.2 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการถึงจุดเดือดคือ 98.8 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7.45 นาทีหรือเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

447 วินาที ทำให้สามารถคำนวณกำลัง (Power output) ของจานรวมแสงที่สามารถผลิตได้จากสมการพลังงานความร้อน และกำลังที่จานรวมแสงต้นแบบขนาด 3.2 เมตรสามารถผลิตได้คือ 3212.84 วัตต์ ในขณะที่พลังงานในการรวมแสงของจานต้นแบบมีค่าเท่ากับ 1436.14 กิโลจูล และประสิทธิภาพของจานรวมแสงต้นแบบคิดเป็น 45.06 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งใช้ข้อมูลความเข้มรังสี ณ ช่วงเวลาที่ทำการทดลองของพื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครที่มีค่าเท่ากับ 765 วัตต์ต่อตารางเมตร

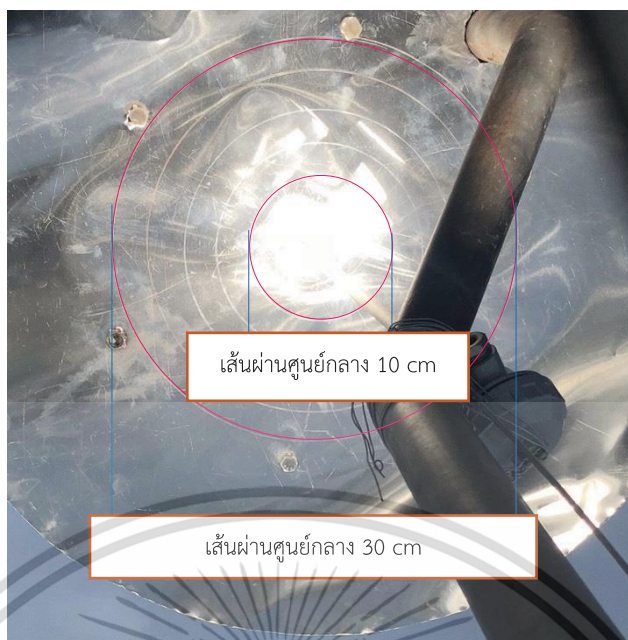


รูปที่ 6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ตำแหน่งโฟกัสและเวลา

นอกจากนี้สิ่งสำคัญที่สุดสำหรับการออกแบบจานรวมแสงต้นแบบคือ อัตราส่วนการรวมแสง (Concentration ratio) หรือพื้นที่จานรวมแสงต่อพื้นที่รับแสง โดยอัตราส่วนการรวมแสงจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพการทำงานของจานรวมแสงต้นแบบ โดยอุณหภูมิของจานรวมแสงสามารถผลิตได้สูงขึ้นเมื่ออัตราส่วนการรวมแสงเพิ่มขึ้น และ Duffie และ Beckman's ได้มีการแบ่งอัตราส่วนการรวมแสงไว้อยู่ 3 ช่วง ได้แก่

- ช่วงที่มีการรวมแสงต่ำ (Low Concentration Range): $CR < 10$
- ช่วงที่มีการรวมแสงกลาง (Medium Concentration Range): $10 > CR < 100$
- ช่วงที่มีการรวมแสงสูง (High Concentration Range): $CR > 100$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.4 พื้นที่รับแสงจากจานรวมแสงต้นแบบ

จากการทดสอบจะพบว่าจานรวมแสงต้นแบบมีพื้นที่การรวมแสง 0.07 ตารางเมตรและอัตราส่วนการรวมแสง 132 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอยู่ในช่วงที่มีอัตราส่วนการรวมแสงที่สูง ดังนั้นจานรวมแสงพาราโบลาที่มีการประยุกต์ใช้จากจานรับสัญญาณดาวเทียมสามารถให้ประสิทธิภาพในการทำงานที่เหมาะสม

6.3 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของจานรวมแสงพาราโบลา

จากการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อจานรวมแสงพาราโบลาจะพบว่า จานรวมแสงพาราโบลาจะสามารถผลิตอุณหภูมิได้สูง จะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำคัญซึ่งประกอบไปด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรวมแสง, ค่าคุณสมบัติการสะท้อนแสงของวัสดุ, มุมขอบของพาราโบลา และความเข้มรังสีของแสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนจะส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิของจานรวมแสงพาราโบลาทั้งหมด ในขณะที่การวิเคราะห์เบื้องต้นจะพบว่าอัตราส่วนการรวมแสงจะเป็นตัวกำหนดถึงอุณหภูมิที่ได้จากจานรวมแสง โดยอัตราส่วนการรวมแสงที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้อุณหภูมิที่ได้นั้นสูงขึ้น ซึ่งพื้นที่ของจานรับแสงและพื้นที่ของตัวรับแสงจะส่งผลกระทบต่ออัตราส่วนการรวมแสงนี้ ดังนั้นการเลือกอัตราส่วนการรวมแสงจะมีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อการได้ประสิทธิภาพการทำงานของจานรวมพาราโบลาที่ดี

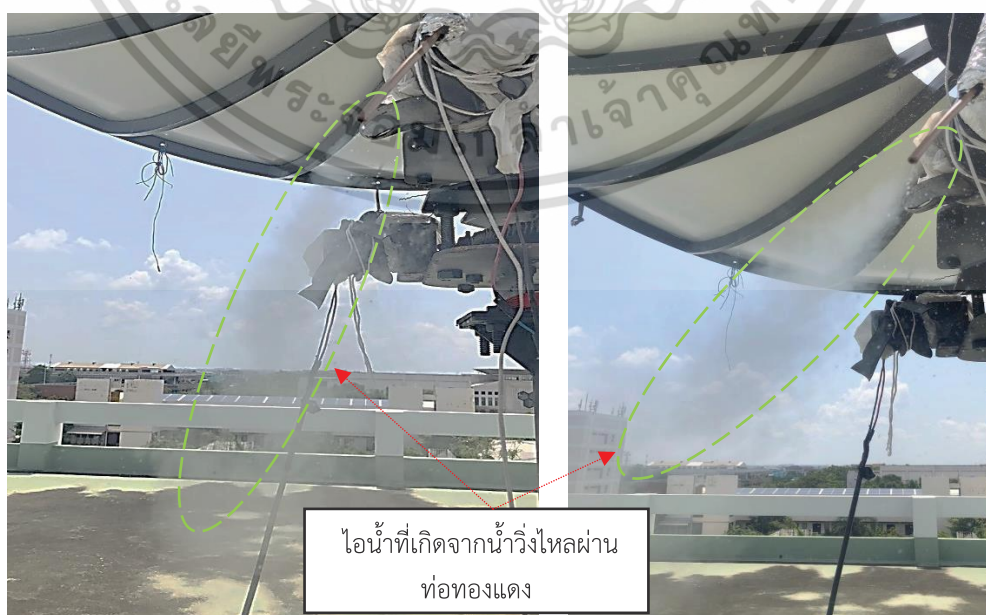
สำหรับการศึกษางานวิจัยครั้งนี้ จานรวมแสงต้นแบบขนาด 3.2 เมตรที่ได้รับการออกแบบและสร้างขึ้น สามารถผลิตกำลังและมีอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งโฟกัสได้ผลตามที่คาดหวัง ซึ่งในอนาคตสามารถนำจานรวมแสงต้นแบบนี้ไปพัฒนาให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นได้อีก ในลักษณะของการประยุกต์ใช้งานกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมาผลิตพลังงานทางกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.5 จานรวมแสงที่มีการใช้งานร่วมกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในห้องปฏิบัติการ

โดยในห้องปฏิบัติการได้มีการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จากรูปที่ 6.5 แสดงตัวอย่างจานรวมแสงพาราโบลิกที่มีการใช้งานกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ซึ่งเครื่องยนต์สเตอร์ลิงดังกล่าวมีหลักการทำงานด้วยการให้ความร้อนเป็นแหล่งกำเนิด โดยเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในห้องปฏิบัติการใช้อุณหภูมิในการทำงานอยู่ในช่วง 300 - 400 องศา ซึ่งจานรวมแสงต้นแบบสามารถผลิตอุณหภูมิได้สูงสุด 734 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจานรวมแสงที่มีการสร้างขึ้นสามารถใช้งานร่วมกันได้และไม่เพียงแต่การนำไปใช้งานกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิง จานรวมแสงต้นแบบในงานวิจัยครั้งนี้ยังสามารถนำไปใช้งานได้สำหรับการทำงานเข้ากับระบบอื่น ๆ อย่างเช่น steam generator จากการทดสอบเบื้องต้นจานรวมแสงสามารถผลิตความร้อนได้ถึงจุดที่เป็น super heat ซึ่งจะเห็นได้จากการทดลองเมื่อให้การไหลของน้ำวิ่งผ่านท่อทองแดงอุณหภูมิของน้ำที่ได้จะสูงขึ้นเป็นอย่างมาก จนกระทั่งกลายเป็นไอน้ำที่ทางออก โดยรูปที่ 6.6 แสดงไอน้ำที่ออกมาจากระบบ



รูปที่ 6.6 ไอน้ำที่ทางออกจากการที่น้ำวิ่งไหลผ่านท่อทองแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลทั้งหมดที่ได้รับยิ่งแสดงให้เห็นว่าเทคโนโลยีระบบรวมแสงแบบจาวรวมแสงพาราโบลิค เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่สามารถผลิตพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถสร้างได้ในราคาที่เหมาะสม โดยค่าใช้จ่ายสำหรับการสร้างจะมีค่าใช้จ่ายตารางเมตรละ 3794.84 บาท (ดูรายละเอียดทั้งหมดได้จากภาคผนวก) สำหรับพื้นที่จาวรับแสงทั้งหมด 9.32 เมตร

หากเราเน้นการพัฒนาาระบบจาวรวมแสงพาราโบลิคอย่างจริงจังและได้รับการสนับสนุนจากทุกภาคฝ่าย จะทำให้เป็นส่วนหนึ่งในการลดการนำเข้าการใช้พลังงานจากต่างประเทศได้และยังเป็นส่วนหนึ่งของการสนับสนุนรัฐบาลไทย ที่ในปัจจุบันได้มีการเน้นการพัฒนาพลังงานทดแทนให้เติบโตและมีการใช้ประโยชน์ได้เพิ่มมากขึ้น และหากนำไปพัฒนาในพื้นที่ที่มีลักษณะภูมิประเทศทั้งทางด้านสภาพแวดล้อม สภาพอากาศที่มีความเหมาะสมและเป็นพื้นที่ที่มีความสามารถในการรับศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูง ก็ยิ่งทำให้จาวรวมแสงพาราโบลิคมีประสิทธิภาพในการทำงานที่เพิ่มมากยิ่งขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นหนึ่งในงานวิจัยที่น่าสนใจและควรได้รับการสนับสนุนเพื่อพัฒนาให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

6.4 ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบที่สมบูรณ์ของจาวรวมแสงต้นแบบนี้ การสร้างระบบควบคุมการขับเคลื่อนของจาวรวมแสงต้นแบบให้มีการติดตามดวงอาทิตย์จะยิ่งทำให้จาวรวมแสงต้นแบบมีประสิทธิภาพในการทำงานที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น สำหรับการพัฒนาต่อไปในอนาคตควรเพิ่มการทำงานของระบบติดตามของดวงอาทิตย์เข้ามาช่วยเหลือ

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2560. **สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย เดือนมกราคม - พฤศจิกายน 2560**
- [2] “iMaps.” [Online]. Available : <http://solargis.com>. 2016.
- [3] คมสัน สุคันธวิช และ ทวีวัฒน์ สุภารส. 2553. หน้า 442-449 “การวิเคราะห์สมรรถนะเครื่องรับรังสีอาทิตย์รวมแสงแบบดิสก์.” ใน **การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยวิทยาศาสตร์เกษตร วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 7**. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [4] G.Muthu et el. “Solar parabolic dish thermoelectric generator with acrylic cover.” **ICAER**. Vol. 54. 2014. Pp2-10
- [5] Bily Anak Sup et el. “Effect of rim angle to the flux distribution diameter in solar parabolic dish collector.” **ICSEEA**. Vol. 68. 2015. Pp45-42
- [6] José M. Arenas. “Design, development and testing of a portable parabolic solar kitchen.” **Renewable Energy**. Vol. 32. March. 2006. Pp257-266
- [7] N.D. Kaushika and K.S. Reddy. “Performance of a low cost solar paraboloidal dish steam generating system.” **Energy Conversion & Management**. Vol. 41. August. 2000. Pp713-726
- [8] Krissadang Sookramoon et el. “Experimental study of a 2-stage Parabolic Dish-Stirling Engine in Thailand.” **Walailak J Sci&Tech**. Vol. 13(8). June. 2015. Pp579-594
- [9] Ali A. Badran et el. “Portable solar cooker and water heater” **Energy Conversion and Management**. Vol.51. April. 2010. Pp1605-1609
- [10] Gustavo Otero Prado et el. “Solar dish concentrator for desalting water.” **Solar Energy**. Vol. 136. July. 2016. Pp659-667
- [11] Lifang Li และ Steven Dubowsky. “A new design approach for solar concentrating parabolic dish based on optimized flexible petals.” **Mechanism and Machine Theory**. Vol. 46. May. 2011. Pp1536-1548
- [12] Y. Rafeeu และ M.Z.A. Ab Kadir. “Thermal performance of parabolic concentrators under Malaysian environment.” **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Vol. 16. April. 2012. Pp.3826-3835
- [13] นายเพชร จั่นบรรจงและคณะ. “การออกแบบอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์โดยมีระบบติดตาม.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [14] A.R. El Ouederni et al. “Experimental study of a parabolic solar concentrator.” **Revue des Energies Renouvelables**. Vol. 12, September. 2009. Pp395-404
- [15] I.Palavras, G.C. Bakos. “Development of a low-cost dish solar concentrator and its application in zeolite desorption.” **Renewable Energy**. Vol. 31. January. 2006. Pp.2422-2431
- [16] REN21. **Renewables 2017 Global Status Report**. 2017.
- [17] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. **คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน**.
- [18] Christiana Honsberg and Stuart Bowden. “**Properties of Sunlight**” [Online]. Available : <http://pveducation.org/>. 2017
- [19] “**ภาพที่เกิดจากการสะท้อนของแสง และการหักเหของแสง ผ่านกระจก หรือ เลนส์**.” [Online]. Available : <http://www.physic2u.com/Topic55/Optics/ReflectionVSRefraction.html>. 2017
- [20] William B. Stine and Michael Geyer. “**Power From The Sun**.” 2001. [Online]. Available : <http://www.powerfromthesun.net/book.html>. 2017
- [21] “**Heliostat Design Concepts**.” 2017. [Online]. Available : <http://www.redrok.com/concept.htm>. 2017
- [22] Phil colbourn, Joshua M. Pearce, Philip Schleichauf and Chriswaterguy's bot. 2016. “**The solar resource**.” [Online]. Available : http://www.appropedia.org/The_solar_resource. 2017
- [23] MR.WATCHARA CHAWEEWAT. “**SOLAR TIME**.” 2017
- [24] พรชัย สัจเวียงวงศ์. “**อาวุธลับของอาร์คิมิดีส**.” [Online]. Available : <https://board.postjung.com/6573.83html>. 2017
- [25] “**Concentrating Solar Power Basics**.” 2013 [Online]. Available : <https://www.energy.gov/eere/solar/articles/concentrating-solar-power-basics>. 2016
- [26] Soteris A. Kalogirou “Solar Thermal Collectors and Applications.” **Progress in Energy and Combustion Science**. Vol. 30. February. 2004. Pp.231-295
- [27] “**รู้หรือไม่? โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มีกี่รูปแบบ?**.” 2015 [Online]. Available : <https://ienergyguru.com>. 2017
- [28] [Online]. Available : <http://cspworld.org/>. 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- [29] “DISH STIRLING SYSTEMS.” [Online]. Available : <http://www.psa.es/en/instalaciones/discos/distal1.php>. 2016
- [30] “India One Solar Thermal Power Project.” 2015. [Online]. Available : <http://www.india-one.net/>. 2016
- [31] MIT STUDY ON THE FUTURE OF SOLAR ENERGY. “Chapter 3 – Concentrated Solar Power Technology.” 2016
- [32] “พาราโบล่า (parabola).” [Online]. Available : <http://www.atom.rmutphysics.com/charud/oldnews/0/286/15/22/conic/para.htm>. 2016
- [33] Poon Suk. “ความร้อน (Thermal).” 2556 [Online]. Available : http://pukpik690.blogspot.com/2013/01/blog-post_25.html. 2016
- [34] Gerro Prinsloo and Robert Dobson. “Solar Tracking.” First Edition. November. 2015
- [35] John A. Duffie and William A. Beckman. “Solar Engineering of Thermal Processes.” Fourth Edition. May. 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก


ก. งบประมาณสำหรับงานวิจัย

ข. การคำนวณพื้นที่การสูญเสียและต้นทุนการผลิตของขนาดกระจก

ค. ตารางค่าความเข้มรังสีเฉลี่ยปี 2561

ง. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The seal of the Ministry of Education, Culture and Sport of Thailand is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The emblem is flanked by two smaller three-tiered umbrellas. The entire design is set against a background of stylized floral and flame-like patterns. The Thai text "กระทรวงศึกษาธิการ" (Ministry of Education, Culture and Sport) is written around the perimeter of the seal.

ภาคผนวก ก. รายงานค่าใช้จ่ายงบประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางแสดง งบประมาณสำหรับการสร้างงานรวมแสงพาราโบลิค

ลำดับ	รายการ	หน่วยละ (บาท)	จำนวน	ราคารวม* (บาท)
1	กระจก	2.10	3,620 ชิ้น	8,134.14
2	สังกะสีแผ่นเรียบ	95.00	13.20 ม.	1,341.00
3	มอเตอร์ 60 w	2,600.00	1 ตัว	2,782.00
4	มอเตอร์ 36 w	1,800.00	1 ตัว	1,962.00
5	ตลับลูกปืน	110.28	2 ตลับ	235.99
6	ลูกปืนตุ๊กตา	282.24	6 ชุด	1,811.98
7	เฟืองเกลียวตัวหนอน M5	1,900.00	2 ชุด	4,066.00
8	เฟืองเฉียง M5, 100T	1,150.00	2 ชุด	2,461.00
9	เหล็กกลม	32.00	63 กก.	2,157.12
10	เพลลา 40 mm	55.00	5.70 กก.	335.46
11	ท่อสเตย์	25.00	14.80 กก.	395.90
12	เหล็กกลม (สำหรับถ่วง)	30.00	25 กก.	802.50
13	เหล็กแผ่นเหล็ยม	26.00	70.69 กก.	1,966.82
14	กาวสำหรับติดกระจก	120.00	6 อัน	720.00
15	ค่าช่างในการติดตั้ง	600.00	2 วัน	1,200.00
16	ค่าช่างสำหรับโครงสร้างงานรวมแสง (เหมาจ่าย)			5,000.00
รวม				35,368.00

* ราคารวมคือ ราคาที่รวมภาษี ณ วันที่จ่าย

ดังนั้นงานรวมแสงพาราโบลิคที่มีการประยุกต์ใช้จากงานรับสัญญาณดาวเทียมมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 3.2 เมตรและพื้นที่งานรวมแสงทั้งหมด 9.32 ตารางเมตรจะมีต้นทุนในการผลิตคิดเป็นตารางเมตรละ 3794.84 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

%-----
%
%               THESIS PAVEENA MEKSUKSAI
% PERFORMANCE INVESTIGATION ON MODIFIED OF SATELLITE DISH AS SOLAR
%               PARABOLIC DISH CONCENTRATOR
%-----

```

```
clear all
```

```

s=3;           %%Size of mirror(cm)
level=floor(156/s); %%number of level
x(1)=17; %
y(1)=2.5022; %
mirror(1)=floor(2*pi*x(1)/s);
total_mirror=mirror(1);
total_loss=0;
area_loss=0;
dela(1)=0;
boundloss(1)=0.1*s*(mirror(1)+1);
totalboundloss=boundloss(1);
circle_boundloss(1)=0.1*2*pi*x(1);
totalcircle_boundloss=0
for n=1:level
    mirror
    p=[3.24*10^-6 4.7808*10^-4 (1.0166-3.6*10^-3*y(n))-2*x(n)-0.07318-0.2656*y(n)
x(n)^2+0.07595+0.5512*y(n)+y(n)^2-s^2];
    r=roots(p);
    for i=1:4
        if real(r(i))>x(n) && imag(r(i))<0.001
            x(n+1)=r(i)
        end
    end
    end
    y(n+1)=0.0018.*x(n+1).^2+0.1328.*x(n+1)-0.2756;

    a(n)=s^2*mirror(n)
    C1=a(n);
    a(n+1)=pi*(x(n+1)+x(n))*s
    C2=a(n+1);
    ans=C2-C1
    dela(n+1)=(s)*pi*(x(n+1)+x(n))-((s^2)*mirror(n))
    mirror(n+1)=floor(2*x(n+1)*pi/s);
    boundloss(n+1)=0.1*s*(mirror(n+1)+1);
    circle_boundloss(n+1)=0.1*2*pi*x(n+1);
    total_mirror=total_mirror+mirror(n+1);
    area_loss=area_loss+dela(n+1);
    totalboundloss=totalboundloss+boundloss(n+1)
    totalcircle_boundloss=totalcircle_boundloss+circle_boundloss(n+1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาเซเซบระเอนด้านกรค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end

total_mirror_last=total_mirror-mirror(n+1);
totalboundloss_last=totalboundloss-boundloss(n+1);
total_mirror_area=total_mirror_last*s^2
totalcircle_boundloss_last=totalcircle_boundloss-
circle_boundloss(n+1)

total_loss=area_loss+totalboundloss_last+totalcircle_boundloss_last
total_mirror_area
total_mirror_last
totalmirror=total_mirror_last+(area_loss/(s^2))
%loss_of_boundary=s^2*0.1*total_mirror_last
total_mirror_area_final=total_mirror_area+area_loss-
totalcircle_boundloss_last+totalboundloss_last
total_dish_area=total_mirror_area+total_loss

%-----
%                               Plot Results
%-----
%figure
%plot(x,y)
%title('Half Dish parabolic profile');
%xlabel('x(cm)');
%ylabel('y(cm)');
%figure
%plot(x,mirror)
%title('Number of mirrors each level');
%xlabel('x');
%ylabel('Amount of mirrors(piece)');
%figure
%plot(x,dela)
%title('area loss each level');
%xlabel('x');
%ylabel('Area loss (cm^2)');
%figure
%plot(x,boundloss)
%title('radial bound loss level');
%xlabel('x');
%ylabel('radial bound loss area (cm^2)');
%figure
%plot(x,circle_boundloss)
%title('circle bound loss level');
%xlabel('x');
%ylabel('circle bound loss area (cm^2)');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค. ตารางค่าความเข้มรังสีเฉลี่ยปี 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hourly and daily Radiation (MJ/m²)

January 2018

BANGKOK

Latitude 13.75° N

Longitude 100.5° E

Date	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	Total
1	0.000	0.000	0.216	0.465	1.632	1.377	2.445	2.734	2.573	2.210	1.653	0.917	0.184	0.000	16.405
2	0.000	0.000	0.246	0.902	1.609	2.185	2.571	2.670	1.450	1.534	1.104	0.818	0.172	0.000	15.261
3	0.000	0.000	0.213	0.868	1.506	2.043	2.446	2.457	2.245	1.876	1.298	0.699	0.239	0.000	15.890
4	0.000	0.000	0.232	0.868	1.577	2.142	2.538	2.605	2.352	1.928	1.416	0.814	0.184	0.000	16.655
5	0.000	0.000	0.238	0.916	1.609	2.175	2.559	2.736	2.556	2.164	1.605	0.881	0.190	0.000	17.629
6	0.000	0.000	0.139	0.815	1.412	2.059	1.589	1.855	0.684	0.421	0.283	0.341	0.232	0.001	9.832
7	0.000	0.000	0.176	0.793	1.422	1.862	1.547	1.190	0.908	0.380	0.761	0.585	0.196	0.000	9.820
8	0.000	0.000	0.012	0.339	0.895	0.859	0.475	0.527	0.345	0.451	0.982	0.937	0.179	0.000	6.001
9	0.000	0.000	0.073	0.639	1.092	1.703	2.231	2.939	2.853	2.356	1.821	0.986	0.227	0.006	16.927
10	0.000	0.000	0.277	0.842	1.418	2.287	2.526	2.676	2.194	1.745	1.625	0.976	0.249	0.001	16.816
11	0.000	0.000	0.157	0.582	1.062	1.851	2.548	2.513	1.656	1.927	1.554	0.990	0.229	0.006	15.074
12	0.000	0.000	0.141	0.719	0.742	0.939	0.454	2.206	2.139	2.153	0.964	0.938	0.263	0.001	11.658
13	0.000	0.000	0.175	0.749	0.804	1.652	1.887	1.368	2.043	2.304	1.786	0.951	0.264	0.006	13.991
14	0.000	0.000	0.060	0.369	0.657	1.429	2.724	2.391	2.170	2.374	1.787	1.008	0.280	0.009	15.259
15	0.000	0.000	0.220	0.900	1.321	2.213	2.903	2.443	2.757	2.383	1.677	0.964	0.271	0.010	18.061
16	0.000	0.000	0.083	0.736	0.752	0.677	1.262	1.723	2.015	1.866	1.007	0.599	0.208	0.007	10.936
17	0.000	0.000	0.214	0.702	1.331	2.099	2.550	2.558	2.797	2.328	1.667	0.837	0.310	0.009	17.401
18	0.000	0.000	0.134	0.424	0.849	1.215	2.696	3.188	2.385	2.515	1.795	0.977	0.331	0.007	16.516
19	0.000	0.000	0.138	0.412	0.855	1.175	2.424	0.702	1.805	2.432	1.526	0.895	0.179	0.001	12.542
20	0.000	0.000	0.143	0.639	1.720	1.380	1.882	2.363	2.416	2.174	1.497	0.903	0.357	0.013	15.487
21	0.000	0.000	0.288	0.686	0.732	1.342	1.012	2.576	2.703	2.196	1.752	0.921	0.377	0.019	14.603
22	0.000	0.000	0.210	0.932	1.673	2.065	2.332	2.832	2.240	2.384	1.749	0.919	0.364	0.012	17.712
23	0.000	0.000	0.126	0.379	1.246	1.712	2.068	2.611	1.676	2.298	1.709	0.879	0.356	0.014	15.074
24	0.000	0.000	0.120	0.538	0.962	1.249	0.119	0.101	0.337	0.430	0.643	0.641	0.173	0.015	5.326
25	0.000	0.000	0.123	0.262	0.503	0.561	0.643	0.680	1.938	1.585	1.422	0.741	0.318	0.026	8.803
26	0.000	0.000	0.182	0.817	1.556	2.218	2.633	2.814	2.553	2.364	1.772	0.891	0.358	0.016	18.173
27	0.000	0.000	0.211	0.883	1.624	2.261	2.659	2.785	2.659	2.264	1.693	0.837	0.356	0.016	18.249
28	0.000	0.000	0.202	0.850	1.608	2.247	2.683	2.865	2.750	2.347	1.735	0.828	0.367	0.015	18.496
29	0.000	0.000	0.145	0.671	1.677	2.159	2.584	2.798	2.887	2.505	1.866	0.869	0.427	0.015	18.604
30	0.000	0.000	0.161	0.674	1.529	1.524	2.317	2.893	2.775	2.382	1.810	0.863	0.417	0.021	17.366
31	0.000	0.000	0.101	0.791	1.672	2.347	2.069	2.845	2.829	2.474	1.882	0.871	0.461	0.023	18.365
Average	0.000	0.000	0.166	0.683	1.260	1.710	2.044	2.247	2.119	1.960	1.479	0.848	0.281	0.009	14.804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hourly and daily Radiation (MJ/m²)

February 2018

BANGKOK

Latitude 13.75° N

Longitude 100.5° E

Date	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	Total
1	0.000	0.000	0.188	0.774	1.685	2.499	2.424	1.666	2.387	2.071	1.306	0.744	0.331	0.011	16.088
2	0.000	0.000	0.096	0.683	1.108	1.130	0.900	2.103	2.078	2.130	1.719	0.717	0.295	0.022	12.980
3	0.000	0.000	0.206	0.827	1.533	1.634	2.261	2.806	2.736	2.305	1.762	0.842	0.400	0.014	17.326
4	0.000	0.000	0.172	0.733	1.417	2.006	2.537	2.564	2.638	2.024	1.801	0.820	0.383	0.017	17.112
5	0.000	0.000	0.203	0.725	1.588	2.251	2.654	2.868	2.759	2.396	1.833	0.888	0.427	0.023	18.615
6	0.000	0.000	0.212	0.854	1.564	2.202	2.305	2.521	2.799	2.431	1.847	0.897	0.387	0.023	18.042
7	0.000	0.000	0.230	0.930	1.662	2.424	2.838	2.775	2.668	2.238	1.780	0.859	0.374	0.026	18.803
8	0.000	0.000	0.180	0.647	1.632	2.626	2.898	2.986	2.851	2.500	1.845	0.938	0.442	0.015	19.559
9	0.000	0.000	0.225	0.902	1.645	2.329	2.762	2.958	2.857	2.425	1.537	0.912	0.472	0.027	19.051
10	0.000	0.000	0.220	0.893	1.674	2.262	2.596	2.849	2.764	2.574	1.991	1.028	0.514	0.031	19.397
11	0.000	0.000	0.214	0.681	1.763	2.151	2.041	2.815	2.289	1.809	1.885	1.093	0.526	0.056	17.324
12	0.000	0.000	0.225	0.916	1.604	2.015	2.741	3.059	2.984	2.624	1.921	1.142	0.514	0.033	19.777
13	0.000	0.000	0.255	0.811	1.259	1.960	2.511	3.002	2.994	2.611	1.834	1.187	0.531	0.038	18.993
14	0.000	0.000	0.185	0.780	1.004	1.687	2.142	2.845	2.923	2.564	1.783	1.200	0.505	0.040	17.658
15	0.000	0.000	0.243	0.922	1.335	1.438	1.524	2.903	2.938	2.546	1.756	1.206	0.511	0.042	17.364
16	0.000	0.000	0.091	0.408	1.093	1.947	1.610	1.833	1.717	2.231	1.572	1.070	0.491	0.046	14.109
17	0.000	0.000	0.105	0.397	0.952	1.345	1.800	2.202	2.587	2.311	1.688	1.105	0.439	0.032	14.962
18	0.000	0.000	0.239	0.864	1.338	1.971	2.406	2.901	2.755	2.178	1.600	1.028	0.413	0.034	17.727
19	0.000	0.000	0.222	0.832	1.452	1.809	2.253	2.945	2.816	2.409	1.674	1.119	0.445	0.038	18.013
20	0.000	0.000	0.183	0.646	1.583	2.167	2.475	2.672	2.703	2.344	1.620	1.042	0.410	0.038	17.883
21	0.000	0.000	0.211	0.739	1.011	0.903	0.342	1.431	2.103	2.230	1.800	1.163	0.465	0.043	12.442
22	0.000	0.000	0.153	0.859	1.179	1.417	2.309	2.336	2.648	2.496	1.640	1.092	0.450	0.043	16.623
23	0.000	0.000	0.193	0.452	0.796	1.547	1.620	2.675	2.868	2.445	1.679	1.054	0.438	0.040	15.806
24	0.000	0.000	0.225	0.727	1.111	1.495	0.710	1.601	1.604	1.846	1.018	0.643	0.390	0.009	11.378
25	0.000	0.000	0.214	1.006	1.569	2.385	2.825	2.997	2.912	2.538	1.735	1.115	0.390	0.065	19.751
26	0.000	0.000	0.296	1.004	1.758	2.444	2.925	3.157	3.025	2.728	1.840	1.198	0.511	0.038	20.923
27	0.000	0.000	0.224	0.679	1.364	2.309	2.757	3.001	2.879	2.459	1.728	1.148	0.493	0.042	19.084
28	0.000	0.000	0.295	0.989	1.745	2.450	2.887	3.050	2.899	2.237	1.709	1.105	0.406	0.032	19.801
29	0.000	0.000	0.306	0.955	1.491	1.975	2.455	2.335	2.490	1.906	1.301	0.968	0.268	0.030	16.480
Average	0.000	0.000	0.207	0.780	1.411	1.958	2.224	2.616	2.644	2.331	1.697	1.011	0.435	0.033	17.347

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hourly and daily Radiation (MJ/m²)

March 2018

BANGKOK

Latitude 13.75° N

Longitude 100.5° E

Date	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	Total
1	0.000	0.000	0.322	1.070	1.854	2.558	3.005	3.189	3.063	2.671	1.786	1.222	0.477	0.038	21.256
2	0.000	0.000	0.307	1.069	1.860	2.484	2.936	3.033	2.867	2.486	1.715	1.067	0.438	0.036	20.298
3	0.000	0.000	0.307	1.033	1.819	2.434	2.856	2.986	2.815	2.498	1.595	1.006	0.450	0.040	19.840
4	0.000	0.001	0.212	0.730	1.818	2.188	2.357	2.620	2.986	2.490	1.835	1.241	0.534	0.050	19.062
5	0.000	0.008	0.306	0.987	1.484	1.794	2.151	2.831	2.917	2.363	1.883	1.194	0.511	0.056	18.484
6	0.000	0.005	0.300	0.950	1.447	1.938	2.129	2.382	2.855	2.327	1.926	1.232	0.530	0.053	18.074
7	0.000	0.004	0.309	1.025	1.805	2.460	2.864	3.037	2.960	2.404	2.042	1.252	0.532	0.050	20.745
8	0.000	0.007	0.314	0.786	1.718	2.284	2.493	2.974	2.858	2.281	1.931	1.141	0.492	0.067	19.347
9	0.000	0.005	0.188	0.944	1.956	2.484	2.956	2.814	2.638	2.412	2.075	1.285	0.548	0.055	20.359
10	0.000	0.000	0.258	0.697	1.368	1.288	1.525	1.646	2.280	1.976	1.558	0.876	0.440	0.061	13.973
11	0.000	0.001	0.299	0.988	2.057	2.613	2.958	3.140	2.983	2.454	2.061	1.314	0.555	0.060	21.483
12	0.000	0.009	0.253	0.934	1.278	2.215	2.687	2.554	2.481	2.411	2.038	1.280	0.501	0.056	18.698
13	0.000	0.011	0.277	1.051	1.796	2.577	3.035	3.209	3.131	2.525	2.142	1.353	0.564	0.057	21.729
14	0.000	0.012	0.308	0.967	1.941	2.525	2.999	3.171	3.056	2.455	2.067	1.317	0.575	0.066	21.460
15	0.000	0.022	0.343	1.205	2.069	2.625	3.055	3.171	3.120	2.515	2.130	1.332	0.562	0.047	22.197
16	0.000	0.013	0.352	0.909	1.657	2.294	2.584	2.697	3.001	2.477	2.004	1.225	0.477	0.038	19.728
17	0.000	0.015	0.380	1.190	1.966	2.639	3.040	3.318	3.287	2.672	2.259	1.436	0.615	0.048	22.866
18	0.000	0.013	0.326	0.791	1.756	2.488	3.023	3.270	3.130	2.531	2.044	1.298	0.501	0.049	21.219
19	0.000	0.017	0.333	0.838	1.569	2.029	2.274	2.769	2.754	2.394	1.752	1.068	0.467	0.067	18.331
20	0.000	0.019	0.339	1.119	1.521	2.503	3.133	3.321	3.155	2.556	2.121	1.383	0.543	0.040	21.752
21	0.000	0.021	0.387	0.951	1.835	2.342	2.977	3.121	3.214	2.529	2.159	1.357	0.528	0.061	21.481
22	0.000	0.022	0.358	1.071	1.722	2.512	2.856	3.002	3.153	2.488	1.996	1.246	0.402	0.037	20.864
23	0.000	0.039	0.404	0.967	1.624	2.290	2.730	2.931	2.926	2.407	1.849	0.946	0.420	0.055	19.588
24	0.000	0.023	0.309	1.131	2.060	2.641	3.085	3.095	3.036	2.547	2.091	1.272	0.546	0.055	21.891
25	0.000	0.024	0.469	1.056	1.476	2.146	2.949	3.043	3.161	2.736	2.047	1.244	0.264	0.039	20.654
26	0.000	0.034	0.246	1.160	1.897	1.994	2.382	2.612	2.779	2.029	1.742	1.249	0.552	0.054	18.729
27	0.000	0.024	0.112	0.274	0.653	1.604	0.655	1.641	1.713	0.550	0.470	0.268	0.248	0.089	8.300
28	0.000	0.018	0.263	0.319	0.660	1.770	2.809	2.561	1.560	1.421	1.367	0.655	0.231	0.011	13.642
29	0.000	0.032	0.276	0.597	1.066	1.499	1.914	2.636	2.423	1.916	1.622	0.899	0.241	0.036	15.157
30	0.000	0.035	0.527	0.982	1.251	2.243	1.589	1.775	2.209	2.104	1.482	0.995	0.507	0.020	15.722
31															
Average	0.000	0.014	0.313	0.926	1.633	2.249	2.600	2.818	2.817	2.321	1.860	1.155	0.475	0.050	19.231

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hourly and daily Radiation (MJ/m²)

April 2018

BANGKOK

Latitude 13.75° N

Longitude 100.5° E

Date	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	Total
1															
2															
3															
4										2.665	2.305	1.511	0.616	0.073	
5	0.000	0.126	0.736	1.584	2.331	3.037	3.348	3.467	3.243	2.902	2.246	1.482	0.614	0.070	25.184
6	0.000	0.098	0.762	1.466	2.394	3.070	3.513	3.603	3.403	2.939	2.296	1.523	0.589	0.070	25.726
7	0.000	0.097	0.517	1.225	1.571	2.969	2.238	2.724	3.132	2.792	2.180	1.385	0.549	0.064	21.442
8	0.000	0.136	0.816	1.350	1.586	1.980	2.982	2.640	2.960	2.920	2.241	1.452	0.481	0.057	21.601
9	0.000	0.144	0.806	1.581	2.463	3.052	3.388	3.459	3.331	2.873	2.227	1.455	0.601	0.035	25.413
10	0.000	0.109	0.692	1.616	2.245	3.000	3.416	3.517	3.338	2.888	2.201	1.383	0.536	0.067	25.006
11	0.000	0.142	0.779	1.540	2.423	3.016	3.381	3.487	3.305	2.884	2.187	1.391	0.538	0.062	25.136
12	0.000	0.144	0.785	1.604	2.335	2.936	3.317	3.370	3.139	2.688	2.035	1.257	0.482	0.063	24.154
13	0.000	0.156	0.784	1.624	2.364	2.959	3.282	3.360	3.179	2.700	2.049	1.089	0.458	0.059	24.064
14	0.000	0.131	0.750	1.624	2.403	2.967	3.319	3.380	3.236	2.563	1.960	1.062	0.573	0.082	24.050
15	0.004	0.106	0.666	1.511	2.445	2.465	3.266	3.417	3.206	2.765	2.077	1.302	0.436	0.021	23.686
16	0.004	0.145	0.697	1.456	2.180	2.427	2.482	2.983	3.372	2.872	2.226	1.390	0.488	0.022	22.746
17	0.000	0.157	0.670	1.124	1.431	2.339	2.676	3.346	2.968	2.675	2.102	1.369	0.560	0.062	21.477
18	0.002	0.087	0.517	1.236	1.466	2.343	2.382	2.956	2.985	2.776	2.096	1.221	0.312	0.041	20.420
19	0.003	0.188	0.827	1.717	2.394	2.898	3.269	3.312	2.947	2.674	2.058	1.312	0.461	0.043	24.101
20	0.002	0.153	0.760	1.550	2.131	2.913	3.227	3.415	3.200	2.751	2.071	1.300	0.488	0.034	23.994
21	0.006	0.183	0.760	1.526	2.399	3.010	3.354	3.440	3.252	2.769	2.079	1.321	0.514	0.039	24.651
22	0.003	0.146	0.738	1.509	2.291	2.809	3.208	3.296	3.162	2.762	2.129	1.349	0.525	0.047	23.974
23	0.003	0.183	0.826	1.590	2.535	3.131	3.406	3.339	3.222	2.750	2.076	1.289	0.499	0.061	24.910
24	0.004	0.107	0.683	1.609	2.321	2.965	3.365	3.414	3.268	2.579	2.094	1.354	0.539	0.072	24.372
25	0.004	0.154	0.727	1.603	2.193	2.747	2.922	3.258	3.090	2.695	2.099	1.291	0.508	0.065	23.354
26	0.006	0.163	0.649	1.391	1.582	2.188	2.232	3.281	3.095	2.677	2.013	1.255	0.366	0.028	20.925
27	0.004	0.148	0.650	1.387	2.267	2.844	3.139	3.281	3.120	2.687	2.022	1.259	0.497	0.065	23.369
28	0.005	0.153	0.517	0.916	1.748	2.069	3.020	3.114	2.918	2.559	2.021	1.282	0.494	0.028	20.844
29	0.002	0.095	0.313	0.758	1.291	2.010	1.657	2.454	2.458	2.539	1.910	1.210	0.473	0.033	17.201
30	0.002	0.103	0.417	1.330	1.495	1.836	2.339	0.541	0.272	0.170	0.230	0.115	0.051	0.008	8.907
Average	0.002	0.137	0.686	1.439	2.088	2.691	3.005	3.148	3.031	2.649	2.045	1.282	0.491	0.051	22.719

วันที่ทำการทดลองเก็บอุณหภูมิ ณ จุดโฟกัส

วันที่ทำการทดลองหาพลังงานในการรวมแสงของจานต้นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิธีสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hourly and daily Radiation (MJ/m²)

May

2018

BANGKOK

Latitude 13.75° N

Longitude 100.5° E

Date	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	Total
1	0.012	0.222	0.641	1.054	2.026	2.479	3.267	3.232	3.260	2.762	2.111	1.355	0.568	0.043	23.032
2	0.007	0.236	0.872	1.481	2.285	2.740	2.798	3.116	3.138	2.822	2.164	1.370	0.389	0.082	23.499
3	0.005	0.205	0.867	1.745	2.454	2.873	3.034	3.177	3.226	2.857	2.208	1.438	0.607	0.049	24.746
4	0.007	0.244	0.795	1.461	2.478	2.770	3.222	3.605	3.382	3.089	1.579	0.969	0.315	0.051	23.966
5	0.008	0.259	1.117	1.306	2.295	2.473	3.233	3.337	3.389	2.966	2.296	1.531	0.695	0.100	25.005
6	0.010	0.265	1.002	1.808	2.145	2.497	3.357	3.445	3.293	2.828	2.173	1.446	0.649	0.091	25.010
7	0.011	0.274	0.982	1.835	2.522	3.147	3.465	3.378	3.257	2.870	2.374	1.505	0.660	0.079	26.359
8	0.007	0.235	0.951	1.470	2.273	2.748	3.174	2.822	2.307	2.926	2.393	1.411	0.501	0.092	23.310
9	0.008	0.235	0.999	1.767	2.497	2.926	3.235	2.907	2.325	2.833	2.140	1.331	0.540	0.075	23.816
10	0.012	0.206	0.906	1.801	2.360	3.120	3.406	3.438	3.309	2.812	2.221	1.446	0.617	0.051	25.703
11	0.017	0.303	0.982	1.676	2.333	2.652	2.877	3.220	3.122	2.709	2.049	1.316	0.540	0.068	23.863
12	0.013	0.277	0.827	1.593	2.123	2.613	3.118	3.235	3.124	2.736	2.075	1.310	0.563	0.071	23.678
13	0.007	0.126	0.682	1.657	2.156	2.852	3.224	3.329	3.149	2.701	2.082	1.413	0.647	0.079	24.103
14	0.002	0.048	0.204	0.736	1.552	2.502	1.609	1.948	2.116	1.334	1.338	1.124	0.518	0.053	15.083
15	0.010	0.240	0.907	1.494	2.089	2.915	3.334	3.401	3.112	2.834	2.268	1.469	0.575	0.084	24.732
16	0.004	0.215	0.514	1.189	2.365	1.750	0.960	1.649	0.266	0.519	0.384	0.368	0.356	0.049	10.588
17	0.007	0.188	0.723	1.973	2.573	2.464	2.107	2.642	1.068	0.480	0.789	1.385	0.486	0.039	16.925
18	0.006	0.085	0.194	0.801	1.574	3.207	2.800	2.556	3.191	2.848	2.223	1.331	0.609	0.087	21.509
19	0.010	0.223	0.843	1.420	1.487	2.497	2.172	2.925	1.694	2.066	2.099	1.341	0.565	0.060	19.400
20	0.010	0.200	0.831	1.488	2.200	2.989	3.092	3.594	2.219	0.796	0.460	0.292	0.304	0.061	18.535
21	0.004	0.088	0.387	1.289	2.665	2.031	2.176	1.818	1.644	2.715	1.408	1.215	0.607	0.101	18.148
22	0.011	0.241	0.854	1.472	2.133	1.911	2.046	1.690	2.358	2.086	1.164	0.575	0.194	0.038	16.773
23	0.005	0.147	0.577	1.763	2.317	2.093	1.645	2.595	2.915	2.885	2.202	1.482	0.460	0.046	21.131
24	0.011	0.298	0.886	1.257	1.836	2.831	3.085	2.490	1.665	2.453	2.207	1.268	0.355	0.042	20.685
25	0.007	0.166	0.704	1.309	1.956	2.167	2.628	3.168	2.413	2.248	2.006	1.168	0.435	0.057	20.431
26	0.018	0.338	0.724	1.625	2.221	2.402	2.955	2.500	3.254	2.283	1.753	1.036	0.529	0.084	21.721
27	0.012	0.149	0.426	0.991	1.709	2.311	2.902	2.328	1.607	1.841	2.017	1.096	0.301	0.078	17.766
28	0.017	0.267	0.702	1.667	2.354	2.363	2.428	3.024	2.769	2.027	1.814	1.122	0.497	0.069	21.121
29	0.009	0.170	0.568	1.538	2.006	1.721	2.482	2.735	2.312	2.307	1.641	1.326	0.344	0.059	19.219
30	0.004	0.098	0.496	1.003	1.417	1.707	1.698	1.900	1.595	1.514	1.068	0.639	0.360	0.068	13.565
31	0.002	0.069	0.444	1.641	2.395	2.853	3.130	3.412	2.961	2.163	1.055	0.479	0.213	0.026	20.844
Average	0.009	0.204	0.729	1.462	2.155	2.536	2.731	2.859	2.562	2.333	1.799	1.179	0.484	0.066	21.105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Hourly and daily Radiation (MJ/m²)

June

2018

BANGKOK

Latitude 13.75° N

Longitude 100.5° E

Date	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	Total
1	0.014	0.194	0.338	0.161	0.377	0.861	1.126	0.926	0.536	0.332	0.426	0.581	0.333	0.055	6.260
2	0.011	0.152	0.414	0.803	1.279	1.804	2.103	2.925	1.817	1.467	1.264	1.144	0.769	0.116	16.066
3	0.014	0.135	0.538	1.336	2.281	1.726	2.434	2.584	1.774	2.378	2.241	1.722	0.636	0.080	19.878
4	0.009	0.196	0.584	1.265	1.401	0.572	1.011	1.731	1.938	1.514	1.302	1.071	0.494	0.156	13.243
5	0.011	0.195	0.423	0.991	1.721	1.814	3.432	2.740	2.208	2.926	1.825	0.704	0.029	0.005	19.023
6	0.014	0.209	0.634	1.169	1.628	2.396	2.741	2.488	2.458	2.719	1.145	1.079	0.657	0.067	19.404
7	0.010	0.244	0.856	1.858	2.526	2.836	2.645	3.041	3.155	2.823	2.065	1.417	0.588	0.085	24.147
8	0.009	0.219	0.916	1.394	2.218	2.720	2.815	2.451	2.150	2.778	2.398	1.531	0.775	0.144	22.518
9	0.014	0.174	0.643	1.472	2.504	2.794	3.396	3.100	3.135	2.916	2.206	1.409	0.787	0.067	24.616
10	0.012	0.276	0.915	1.439	2.488	2.368	2.518	3.192	3.547	2.217	0.900	0.926	0.326	0.010	21.134
11	0.014	0.276	0.717	1.816	2.454	2.724	2.756	1.965	1.974	2.194	0.689	0.557	0.223	0.026	18.384
12	0.010	0.216	0.564	1.026	1.667	1.788	2.319	2.227	1.830	1.557	1.304	0.622	0.320	0.064	15.513
13	0.009	0.280	1.168	1.696	2.473										
14															
15							3.492	3.055	2.560	2.249	1.209	0.420	0.134	0.034	
16	0.006	0.136	0.407	0.777	1.270	0.678	0.518	0.533	0.876	0.849	0.407	0.463	0.252	0.052	7.221
17	0.002	0.121	0.443	0.931	1.851	0.351	0.206	0.287	0.513	0.880	0.969	1.425	0.787	0.081	8.846
18	0.002	0.102	0.515	0.828	1.206	1.559	1.736	1.059	1.157	0.851	0.684	0.377	0.266	0.037	10.380
19	0.011	0.188	0.846	1.411	1.976	2.241	2.916	1.936	2.054	2.559	1.995	1.409	0.441	0.117	20.101
20	0.008	0.222	0.862	1.539	2.236	2.284	2.309	1.488	0.054	0.287	0.627	0.252	0.151	0.073	12.392
21															
22															
23															
24															
25															
26															
27															
28	0.002	0.098	0.461	1.074	1.525	1.869	1.683	1.020	1.048	2.090	2.198	1.237	0.605	0.110	15.019
29	0.005	0.137	0.653	1.524	2.115	2.709	2.099	1.842	2.523	1.393	0.579	0.161	0.173	0.056	15.968
30	0.006	0.106	0.496	1.218	1.840	1.881	2.038	1.987	1.563	1.276	0.688	0.307	0.215	0.056	13.675
Average	0.009	0.185	0.638	1.225	1.859	1.899	2.204	2.027	1.851	1.822	1.291	0.896	0.427	0.071	16.189

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CONFERENCE PROCEEDING

TSME-ICoME 2016



The 7th TSME-International Conference on Mechanical Engineering

13-16 December 2016

Duangtawan Hotel, Chiang Mai, Thailand

Hosted by CHULA ENGINEERING

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AEC: Alternative Energy and Combustion

Page

AEC0001	Comparison of Synthetic Biogas Combustion affected to Cellular Premixed Flames on Flat burner	39
AEC0002	Effects of CH ₄ and CO ₂ on Intrinsic Instability of Synthetic Thai Natural Gas Flames	40
AEC0003	Effects of Diesel Injection Timing on Dual Fuel Diesel Engine with DME Port-Injection	41
AEC0004	Performance Characteristics of Diesel Engine using Blend of Irvingia Malayana Biodiesel and Cassava Ethanol	42
AEC0005	Self-aspirating Annular Porous Medium Burner (SAPMB) with Adjustable Flame Stabilizer	43
AEC0006	Reliability Improvement and Optimization of Condensing Porous Heat Exchanger (CPHE) integrated with Porous Medium Burner (PMB)	44
AEC0007	Preparation of Biocoke from Rubberwood Sawdust by Using Used Coffee Ground as a Binder	45
AEC0008	Investigation of Reflective Effect on a Solar Power Collector	46
AEC0009	Effect of Primary to Secondary Air Ratio on Combustion Performance for Pulverized Biomass Burner in Industrial Boiler	47
AEC0010	Design of a Small Boiler for Hothouse by Utilization of Wasted Bamboo	48
AEC0011	Upgrading of Bio-oil obtained from Fast Pyrolysis of Biomass Using a Vacuum Distillation Method	49
AEC0012	Effect of Porous Materials on Unconfined Porous Burner Performance	50
AEC0013	Study on Co-Combustion of Pelletized and Moisturized Rice Husks in a Cone-Shaped Fluidized-Bed Combustor Using Fuel Staging for Reducing NO _x Emissions: Optimization of Operating Variables	51
AEC0014	Performance and Exhaust Emissions of a Diesel Engine using Partially Hydrogenated Fatty Acid Methyl Ester (H-FAME)	52
AEC0015	A Comparison of Combustion and Emissions of a Diesel Engine using Jatropha and Palm H-FAME Fuels	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AEC0008

Investigation of Reflective Effect on a Solar Power Collector

Paveena Meksuksai¹, Pongnarin Savangvong¹, Sutapat Kwankaomeng^{1*}

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

* Corresponding Author: Tel: +66-2329-8351, fax: +66-2329-8352, E-mail address: sutapat.kw@kmitl.ac.th

Abstract

This paper presents design and investigation on reflective surfaces of a solar concentrated dish. The parabolic dish is controlled by tracking system to move and adjust the dish precisely for optimal solar power concentration. The parabolic dish surface should be an excellent reflector directing sun beam to concentrate as a spot of power aggregation at the focal point when the dish is perpendicular to the sun. The proposed solar collector has rim diameter, focal point, and surface area of 1.5 m, 0.57 m and 1.95 m², respectively. In order to evaluate reflective effect on solar collective performance, the analysis and experiment were conducted by using the reflective materials including acrylic mirror, PET aluminum and aluminum foil were attached neatly on the satellite dish. The temperature variation on the focal point were instrumented and recorded during sun shine period. The maximum temperature at the focal point of the acrylic mirror dish was obtained in the range of 700-800 °C.

Keywords: solar, collector, reflective

1. Introduction

Fossil fuels in various phrases such as oil, gas, and coal are increasingly utilized and continuously decreased resulting insufficient use and depletion in the near future according to the limitation of such natural resources. However, the utilization of fossil fuels are mostly burned for energy conversion which emits carbon dioxide and toxic gases causing global warming and pollution. Solar energy is a renewable and free energy that can be converted to heat or electricity. Since Thailand is located in the tropical areas having good solar potential. The solar potential area is 14.3% of overall area and 19-20 MJ/m² of solar intensity. The solar direct radiation in Thailand is approximately 1350-1400 kWh/ m² covering 4.3% of the country's area [1]. The solar thermal systems are emerging to produce electricity from many technologies [2].

Parabolic dish has the highest efficiency in convert of solar energy to electricity with an efficiency of 29.4% [3]. Kaushika and Reddy [4] proposed the development and performance of a low cost solar steam generating system by modified receivers and, thermally optimized. The experimental results showed that a solar to steam conversion efficiency of 70-80% at 450 °C and cost estimates is 8000-9000 Rs/ m² (US\$1 = 400 Rs). Lovegrove et al [5] had built a parabolic dish solar concentrator of an area 400 m² in 1994. They also, developed the design of a 500 m² parabolic dish solar concentrator later in 2010. The design process is, although, successful, but it is costly and area consuming. Gwani et al. [6] presented design and fabrication of solar parabolic dish concentrator that can be used for cooking and drying in rural areas. The

satellite dish was adapted to be the solar parabolic dish attached by mirror plates as the reflective materials. From their experiment, the focal solar concentrator can be heated of 100 °C and 180 °C for boiling water and frying oil, respectively. Hijazi et al. [3] presented design a low cost of a parabolic solar dish concentrator by structural simulation with computer program in order to calculate the size of the solar dish concentrator. In the analysis, the focal point to dish diameter ratio is 0.3 and three diameters of the dish of 5, 10 and 20 m are investigated. Autodesk inventor is used for stress analysis of the dish structure frame. From the study, the 10 m of diameter is robust and durable for sustaining wind force and weight.

In Thailand, Sookaramoon et al. [7] presented the two-stage parabolic dish Stirling engine. It is characterized by 2-stage heat source. The first stage, solar is concentrated on the focal point by a solar collector made from the satellite dish as a frame covered by aluminum foil as a reflector. The second stage, mini satellite dish attached on the focal point of the first stage is used to reflect solar energy on such focal point to the Stirling engine. The maximum concentrator efficiency of their concentrator is 26.29%.

The most important of solar collector is reflective surface and position tuning. The excellent reflective material on dish is the key factor. Therefore, this research aims to investigation of reflective the materials on solar dish collector. Mechanical and electrical systems for control and adjust the dish are also described. The aperture area, focal temperature and dish efficiency will be observed

AEC0008

2. Design Methodology

2.1 Solar Power Investigation

Thailand is located in the tropical area and excellent solar power. The direct radiation in Thailand is approximately 1,350 - 1,400 kWh/m² per year. [1] Fig. 1 show the average solar radiation, Bangkok. The global average, diffuse average and direct average were 14.76 MJ/m², 6.14 MJ/m² and 10.25 MJ/m², respectively [8].

The solar radiation a surface generally can be classified in three components, the direct (beam) solar radiation (I_D), the diffuse solar radiation (I_d), and the reflected solar radiation (I_R). The total solar flux is derived from Eq. (1), [9].

$$I = I_D + I_d + I_R \quad (1)$$

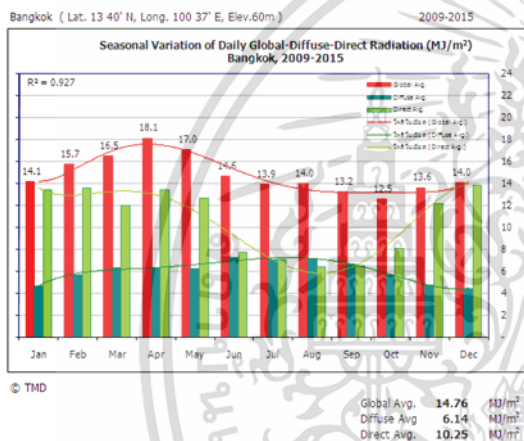
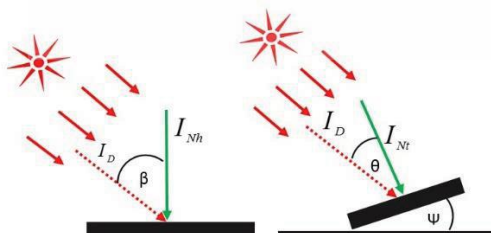


Fig. 1 Diurnal variation of solar radiation in Bangkok during 2009-2015 [8]

2.1.1 Solar beam radiation, I_D

The direct incidence of solar radiation, I_D , is an extraterrestrial solar ray which reaches the earth's surface as depicted in Fig. 2. The angle of direct beam and normal beam radiation on horizontal or tilted surface of β and θ is shown in Fig. 2(a) and (b), respectively.



(a) Horizontal surface (b) tilted surface

Fig. 2 radiations on horizontal and tilted surfaces

Hence, the normal beam irradiation on either horizontal (I_{Nh}) or tilted surface (I_{Nt}), therefore, can be evaluated in Eq. (2) and Eq. (3), consecutively.

$$I_{Nh} = I_D \cos \beta \quad (2)$$

$$I_{Nt} = I_D \cos \theta \quad (3)$$

The ratio of normal beam irradiation on horizontal surface to that on the tilted surface is calculated by Eq. (4).

$$R_B = \frac{I_{Nh}}{I_{Nt}} = \frac{\cos \theta}{\cos \beta} \quad (4)$$

The beam radiation for any surface (I_B) can be defined as in Eq. (5).

$$I_B = I_{Nt} = I_{Nh} R_B \quad (5)$$

2.1.2 Diffuse solar radiation, I_d

Sun ray that has been scattered in the atmosphere but still touched the earth surface is called diffuse solar radiation. The diffuse solar radiation on the tilted surface, I_{dt} can be derived in form of that on the horizontal surface, I_{dh} as in Eq. (6).

$$I_d = I_{dt} = I_{dh} \left(\frac{1 + \cos \psi}{2} \right) \quad (6)$$

when ψ is the angle of tilted surface.

2.1.3 Reflected solar radiation, I_R

The reflected ray of solar radiation from surrounding surfaces that then strikes a surface is called the reflected solar radiation. The reflected solar radiation can be approximated by Eq. (7) [10] if the surface is horizontal and the reflection is also diffuse when ρ_g is a solar reflectance of the ground (varies with the type ground) and I_H is the total solar flux striking the horizontal surface.

$$I_R = \rho_g I_H \frac{1 - \cos \psi}{2} \quad (7)$$

2.2 Design of the solar parabolic dish concentrator

A parabolic dish is one of the most efficient solar collectors function as both reflector and concentrator. When the solar beam impinges on the parabolic surface, such solar ray will be reflected and concentrated on the focal point [11]. Design of the solar dish collector must consider dish dimension, reflective surface, tracking system and mechanical adjustment.

2.2.1 Dish dimension

Dish feature can be determined from desired solar power which can be achieved by the solar collector depending on solar incident power and area of reflective surface. Dish geometry and a focal point are shown in Fig. 3.

AEC0008

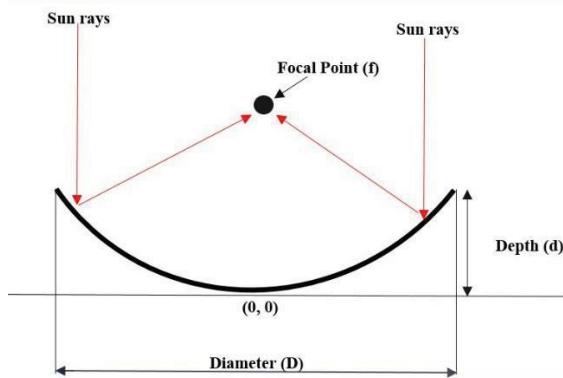


Fig. 3 shows the parabolic dish concentrator parameters

The focal point (f) of the concentrator can be calculated by equation:

$$f = \frac{D^2}{16d} \quad (8)$$

The full surface area (A) of the parabolic dish concentrator can be calculated by equation [12]:

$$A = \frac{8\pi f^2}{3} \left\{ \left[\left(\frac{D}{4f} \right)^2 + 1 \right]^{\frac{3}{2}} - 1 \right\} \quad (9)$$

where D is diameter of the parabolic dish concentrator, d is depth of the parabolic dish concentrator and A is full surface area of the parabolic dish concentrator.

2.2.2 Material Selection

The used satellite dish frame, however, is an excellent and preferred choice converting to a solar parabolic dish according to accessibility, standard shape and economic reason.

The reflective material should be an excellent reflector. However, the material considered use should be accessible, cheap and proper. The Table 1 shows the characteristic of some typically materials.

Table 1. The characteristic of materials

Materials/ Properties	Acrylic mirror [13]	PET Aluminum [14]	Aluminum foil [15], [16]
Reflectance (%)	98-99	95-97	88-90
Tensile strength (MPa)	76.04	79.289	□50
Thickness(mm)	1.00-20.00	0.15 -0.20	0.009 -0.04
Cost\$/Area(m ²)	17.36	14.40	0.64

*1U.S.dollar =35.02 Baht (online: 28/10/2016)

Before manufacturing the prototype dish, the preliminary observations were conducted in order to select reflective material for the collector. Therefore

the parabolic models are made equally with the dimension shown in Table 2.

Table 2. Parameter of simulation structure of parabolic

Parameter	Values
Diameter	400 mm
Depth	100 mm
Focal point	100 mm

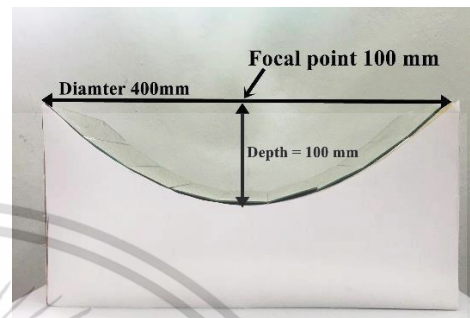


Fig. 4 Parabolic model

In order to investigate reflection of materials, three types of common reflective materials were cut into identical size of 50x150 mm attached on parabolic curve model. The experiments were performed at department of mechanical engineering of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok. Temperature at focal point of each model was measured by thermocouple and recorded as in Table 3.

Table 3 Temperature of materials

Materials	Temperature
Acrylic mirror	60 °C
PET Aluminum	54 °C
Aluminum foil	48 °C



Fig. 5 Acrylic mirror

AEC0008

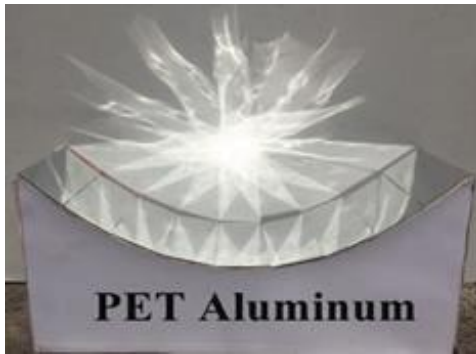


Fig. 6 PET Aluminum

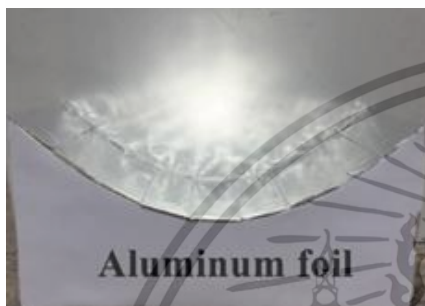


Fig. 7 Aluminum foil

From the preliminary tests, temperature at the focal point of acrylic mirror, aluminum foil, and PET aluminum was 60°C, 54 °C and 48 °C, respectively. It is obvious that the temperatures at the focal point of three materials were corresponding to the reflective performance as listed in Table 1. The acrylic mirror provides the best reflectance of 98-99% while aluminum foil gives the lowest performance of 88-90% reflectance.

Characteristics of light reflection were also taken as in Figs. 5-7. Lights that reflected on acrylic mirror are uniform stripes concentrated at the focal point with clearly white spot as illustrated in Fig. 5. While reflected lights on PET aluminum are fairly deformed and refracted stripes, the focal point can be observed as the moderate white sport in Fig. 6. However Fig. 7 shows that the reflected lights characterized differently on aluminum foil and diffused resulting in the big and blur spot of light concentration.

2.2.3 Thermal efficiency of the solar parabolic dish concentrated

Heat gain of the dish collector can be calculated and considered losses of conduction, convection and radiation in Eq. (10) [17].

$$q_u = IA_{app}\eta_0 - A_{rec} \left[h(T_H - T_A) + \varepsilon\sigma(T_H^4 - T_A^4) \right] \quad (10)$$

where I is the direct solar flux intensity, A_{app} is the aperture area, and A_{rec} is the absorber area at the focal point, respectively, η_0 is the collector optical efficiency, h is the conduction/convection coefficient, T_H and T_A are the absorber, the ambient temperature,

respectively, ε is the emissivity factor of the collector, and σ is the Stefan-Boltzmann constant.

Thermal efficiency η_s of the solar collector dish is:

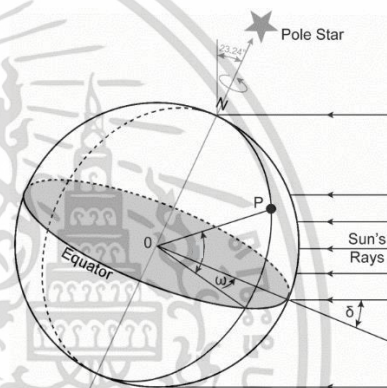
$$\eta_s = \frac{q_u}{IA_{app}} = \eta_0 - \frac{1}{c} \left[h(T_H - T_A) + \varepsilon\sigma(T_H^4 - T_A^4) \right] \quad (11)$$

where c is the collector concentrating ratio.

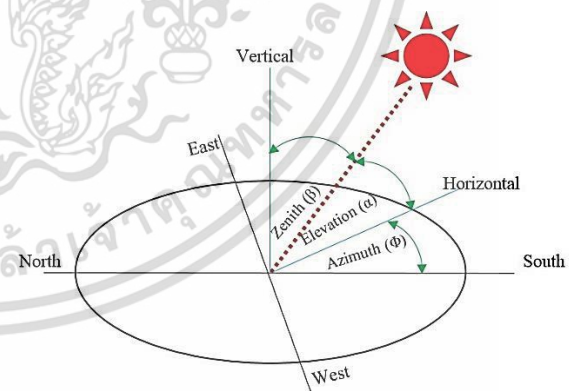
2.3 Sun position and tracking system design

2.3.1 Sun position

In order to achieve efficient solar concentration, solar tracking system, therefore, is necessary component to perceive exact position of the sun. However, sun position can be evaluated as a function of both the time during the day and the time of year. Solar angle and hour angle are characterized by Fig. 8.



(a) Declination angle & Hour angle [18]



(b) Motion of the sun

Fig. 8 Solar angle

2.3.1.1 Solar hour angle

The angle motion of the sun from local meridian to east (or west), which is 0° at solar noon. Since the Earth rotates 15° per hour. The hour angle, (ω) is calculated as the following equation.

$$\omega = 15^\circ(t_0 - 12) \quad (12)$$

2.3.1.2 Declination Angle

ใช้ประโยชน์ด้านการค้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AEC0008

The declination angle (δ) is the angle of a sun's ray in north (or south) measured from the equator as shown in Fig 7(a). The declination angle is calculated as follows: [19]

$$\delta = 23.45 \sin \left[360 \left(\frac{284 + n}{365} \right) \right] \quad (13)$$

where n is date i.e. the number of days since 1 January

2.3.1.3 Elevation angle

The elevation angle, (α) is the angle measured from horizontal plane to the position of the sun which can be found from Eq. (14) [19]:

$$\alpha = \sin^{-1} (\sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos \omega) \quad (14)$$

If φ is latitude of the interested location.

2.3.1.4 Zenith Angle

The zenith angle is the angle between the sun and the vertical direction that can be determined from Eq. (15).

$$\beta = 90^\circ - \alpha \quad (15)$$

2.3.1.5 Azimuth Angle

The azimuth angle (ϕ) is the angle between due south and the observed position, which varies with the latitude and time of year [19] and verified in Eq. (16).

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{\sin(\delta) \cos(\varphi) - \cos(\delta) \sin(\varphi) \cos(\omega)}{\cos(\alpha)} \right) \quad (16)$$

Table. 4 Parameter of sun position.

Experiment Date: May 24 th 2016 at 10:00 am	
Day number (n)*	144 Days
Latitude	13.844 degree
Longitude	100.508 degree
Hour angle	-30.00 degree
Declination angle	20.730 degree
Elevation angle	60.550 degree
Azimuth angle	108.240 degree
Zenith angle	29.45 degree

*n is date i.e. the number of days since 1 January

2.3.2 Dish controlling systems

The systems used to control the solar collector are cooperated by solar tracking system and mechanical system.

2.3.2.1 Solar tracking system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรณีไปใช้

In order to adjust solar dish collector correctly, electronic circuit including microcontroller was programmed to control motor powering the mechanical system precisely. Date, time of the day and the year and location must be firstly input to the microcontroller for evaluation of sun position and angles and then switching motor relay. Figure 9 shows schematic electronics circuits of the tracking system.

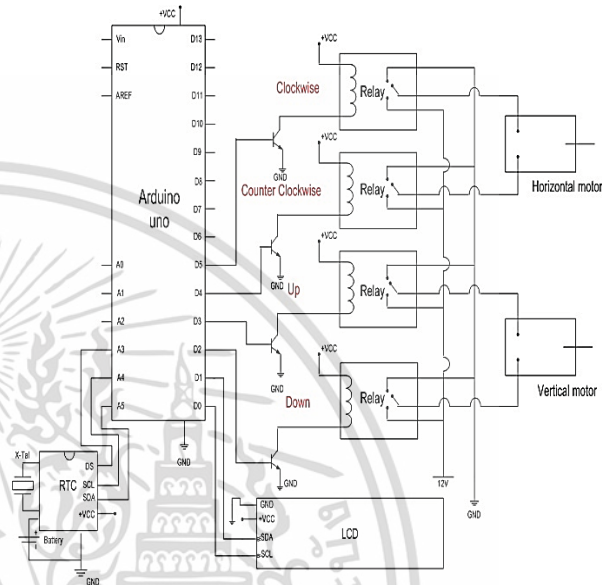
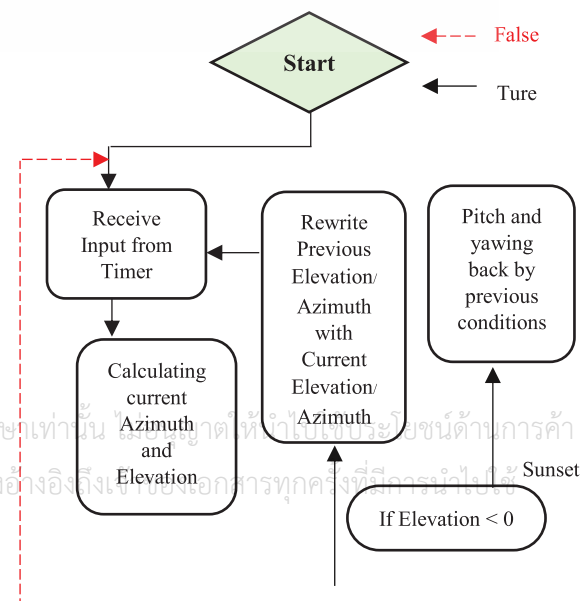


Fig. 9 Electronic circuits schematic sun tracking system

2.3.2.2 Mechanical system

The driving mechanism of solar dish is used to adjust dish position as demonstrated in Fig. 11. Two sets of worm gear reduction are designed for driving dual axis, vertical axis and horizontal axis depending on azimuth angle and elevation angle of the sun, respectively. Driving motor is selected regarding power input, gear ratios, load, torque and speed. Power supply and mechanical system are described in Table 5.



AEC0008

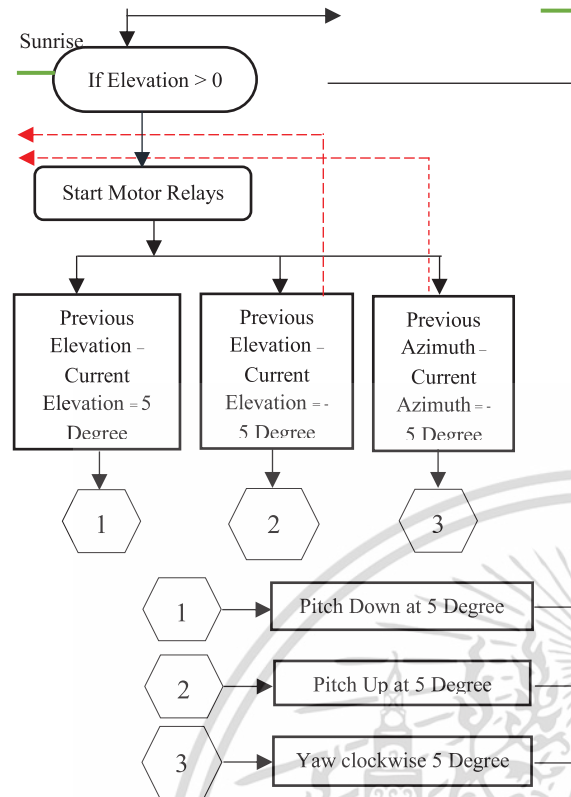


Fig. 10 The diagram a processing of tracking system.

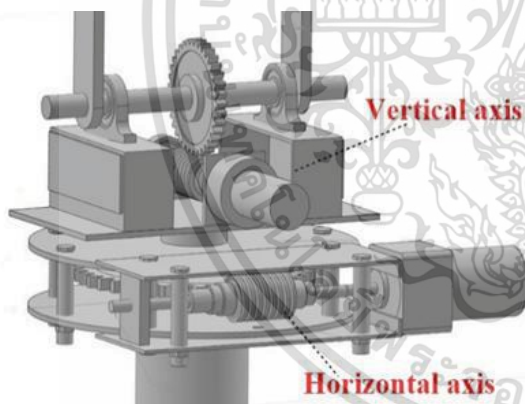


Fig. 11 Schematic diagram the driver mechanism of dish

Table. 5 Description of the transmission system

Description	Value
Power input of motor	12V ,3 A
Power output of motor	6.87 N·m at 5 RPM
Gear ratio of vertical axis	12 : 1
Gear ratio of horizontal axis	15 : 1
Maximum Torque Output of vertical axis	83 N·m
Maximum Torque Output of horizontal axis	103 N·m
Vertical Gear Diameter	150 mm
Horizontal Gear Diameter	200 mm

The gear ratio is defined as the input speed of a driving worm to the output speed of the driven gear as in Eq. (17) [20] where m_{GW} is the gear ratio, ω_W is angular speed of worm pinion, ω_G is angular speed of worm gear, N_G is number of teeth of a worm gear and N_W number of teeth of a worm pinion.

$$m_{GW} = \frac{\omega_W}{\omega_G} = \frac{N_G}{N_W} \quad (17)$$

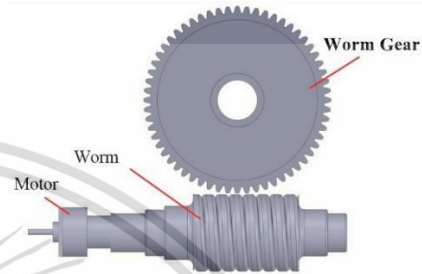


Fig. 12 Worm gear set

3. Experimental Setup

The schematic of the experimental setup is represented in Fig. 13. Thermocouple is installed to measure temperature of the focal point. Battery is used as a power supply for electronic circuit and motor in the remote testing site.

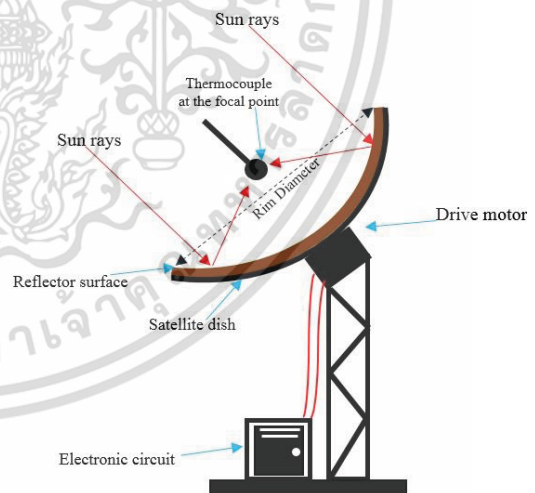


Fig.13 The experimental setup

4. Results and Discuss

The results for testing efficiency a reflective of materials at Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok.

Table. 6 Data of location at date experimental.

Location: Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Thailand

AEC0008

The local longitude	100.772
The local latitude	13.728
Date	24 th may 2016
Time	10:00 AM - 15:30 PM

From the preliminary investigation, three samples of reflective materials were tested and found that the acrylic mirror and PET aluminum provided the focal temperature of 60 °C and 54 °C, respectively. Therefore acrylic mirror and PET aluminum were used and laminated on dish surface as shown in Fig. 14 and 16, respectively. The prototype dimension of solar dish is presented in Table 7.

Table 7. The dimension of solar collector

Parameter	The material was acrylic mirror	The material was PET aluminum
Diameter	1.50 m	2.00 m
Depth	0.25 m	0.20 m
Focal point	0.57 m	1.25 m
Surface area	1.95 m ²	3.26 m ²
Frame of dish	Satellite dish	Satellite dish

The experiments were conducted during the sunny day in May 2016. The variation of temperature at the focal point versus diurnal time of the acrylic mirror dish is plotted in Fig. 15 while that of the PET aluminum dish is presented in Fig.17.

The acrylic mirror dish gave significantly higher maximum temperature at the focal point of 938 °C than that of 69°C at the focal point on the PET aluminum dish collector. The average temperature of the focal point on the acrylic mirror and PET aluminum dish was 804.5 °C and 52°C, consecutively.



Fig. 14 the material on solar collector was acrylic mirror

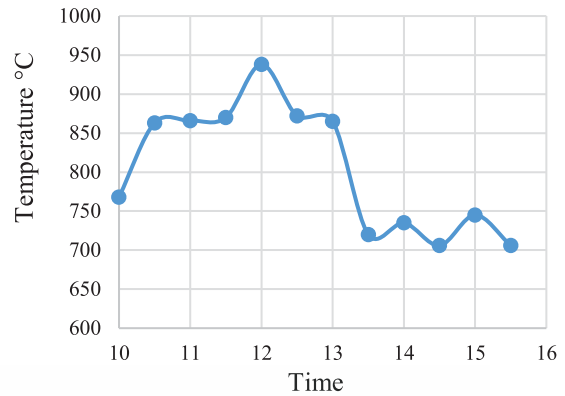


Fig.15 The temperature at the focal point of the materials was acrylic mirror.



Fig. 16 the material on solar collector was PET aluminum

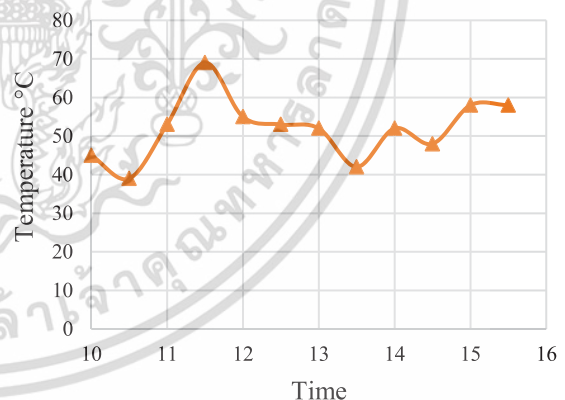


Fig. 17 The temperature at the focal point of the materials was PET aluminum.

5. Conclusion

The reflective materials on solar collectors were investigated experimentally. The test site was located at KMITL in Bangkok, Thailand. From the preliminary observation of reflective materials including acrylic mirror, PET aluminum and aluminum foil on the same parabolic curve profile was found that acrylic mirror surface gave the highest value of the maximum temperature at the focal point while that of PET aluminum surface was comparatively lower. Each

AEC0008

prototype dish, therefore, was neatly attached by acrylic mirror and laminated PET aluminum sheets. Temperature at the focal point on each dish was measured. The acrylic mirror dish is the best reflective material compared to PET aluminum and aluminum foil.

6. Acknowledgement

The financial support of this research from the Office of the Higher Education Commission of Thailand (OHEC) is gratefully acknowledged.

7. Reference

- [1] Department of Alternative Energy and Efficiency, Ministry, Thailand (2013), *Areas with solar power potential*, URL: <http://weben.dede.go.th>, accessed on 28/07/2016
- [2] EGCO GROUP, Thailand (2008), *Energy knowledge*, URL: <http://www.egco.com>, accessed on 28/07/2016
- [3] Hamza Hijazi, Ossama Mokhiamar and Osama Elsamni (2016), Mechanical design of a low cost parabolic solar dish concentrator, *Alexandria Engineering journal*, Vol.55 (1), March 2016, pp.1-11
- [4] N.D. Kaushika and K.S. Reedy (2000), Performance of a low cost paraboloidal dish steam generation system, *Energy conversion & Management*, Vol 41 (7), May 2000, pp.713-126.
- [5] K. Lovegrove, G. Burgess and J.Pye (2011), A new 500 m² paraboloidal dish solar concentrator, *Solar Energy*, Vol. 85(4), April 2011, pp. 620-626.
- [6] M.Gwani, G.A. Abubkar, M.Abbas, M. Na Allah and J. Danyaro (2015), *Design, Fabrication and Experimental Study of Solar Parabolic Dish Concentrator for Remote Area Application*, ISSN 2307-4531, International Journal of sciences Basic and Applied Research, URL:<http://gssrr.org/index.php?journal=JournalOfBasicAndApplied> , accessed on 27/5/2016
- [7] Sookramoon, Bunyawanuchakul and Kongtragool (2015), Experimental study of a 2-stage Parabolic Dish-Stirling Engine in Thailand, *Engineering and Physical Sciences*, Vol. 13(8), June 2015, pp.579-597
- [8] *Solar radiation, Thailand* URL: <http://ozone.tmd.go.th/SolarChart2.html>, accessed on 28/10/2016
- [9] J.H. Shazly, A.Z. Hafez, E.T. Shenaway and M.B. Eteiba (2014), Simulation, design and thermal analysis of a solar Stirling engine using MATLAB, *Energy Conversion and Management*, Vol. 79, March 2014, pp. 626-639
- [10] T.H. Kuehn and J.W. Ramsey (2009), *Thermal Environmental Engineering Laboratory*, University of Minnesota, Minneapolis, USA, URL: <http://www.me.umn.edu>, accessed on 20/08/2016
- [11] Lertritmahachai (2014), Thailand, parabola, URL: <http://phumnatrong.blogspot.com>, accessed on 24/08/2016
- [12] William Stine and Michael Geyer (2011), Power from the Sun, Mechanical Engineering Department California State Polytechnic University Pomona, California, USA, URL: <http://www.powerfromthesun.Net>, accessed on 14/08/2016.
- [13] *Mirror acrylic sheet properties*, URL: <http://www.theplasticshop.co.uk>, accessed on 09/09/2016
- [14] *Polyester film properties* URL: <http://www.ampef.com/Chineseprintfeature.html>, accessed on 09/09/2016
- [15] *Polyethylene terephthalate* URL: <http://www.plastic-products.com/part12.htm>, accessed on 09/09/2016
- [16] *Aluminum foil* URL: <https://www.aluminmchina.com/novadocuments/219334?v=63591969342047000>, accessed on 09/09/2016
- [17] Li Yaqi, He Yaling and Wang Weiwei (2011), Optimization of solar-powered Stirling heat engine with finite-time thermodynamics, *Renewable Energy*, Vol.36 (1), January 2011, pp. 421-427.
- [18] *The Earth And Its Orbit Around The Sun*, URL: <http://www.ita.canet.org/the-sun-as-a-source-of-energy/part-1-solar-astronomy/>, accessed on 14/08/2016
- [19] Christiana Honsberg and Stuart Bowden (2014), *photovoltaic educator*, Arizona State University, USA, URL: <http://www.pveducation.org>, accessed on 13/08/2016
- [20] V. Ryan (2002), *A design and technology site*, URL: <http://www.technologystudent.com/index.htm>, accessed on 14/08/2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

