

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบรูปทรงและขนาดของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อ
ประสิทธิภาพการรับแสงในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก
GEOMETRIC SHAPE ANALYSIS AND COMPARISON OF SOLAR RECEIVING
EFFICIENCY IN SOLAR CONCENTRATOR PARABOLIC DISH SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2561

KMITL-2018-EN-M-030-047

การวิเคราะห์และเปรียบเทียบรูปทรงและขนาดของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อ
ประสิทธิภาพการรับแสงในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก
GEOMETRIC SHAPE ANALYSIS AND COMPARISON OF SOLAR RECEIVING
EFFICIENCY IN SOLAR CONCENTRATOR PARABOLIC DISH SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2561
KMITL-2018-EN-M-030-047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GEOMETRIC SHAPE ANALYSIS AND COMPARISON OF SOLAR RECEIVING
EFFICIENCY IN SOLAR CONCENTRATOR PARABOLIC DISH SYSTEM



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-030-047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์และเปรียบเทียบรูปร่างและขนาดของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการรับแสงในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก

Thesis Title Geometric Shape Analysis and Comparison of Solar Receiving Efficiency in Solar Concentrator Parabolic Dish System

นักศึกษา นางสาวนันทมน เชี่ยวอ่อน

รหัสประจำตัว 58601128

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.สุตาภรณ์ แคว้นเขาเม็ง

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-030-047

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.บัญชา	คังตระกูล	
รศ.ดร.จารุวัตร	เจริญสุข	
ผศ.ดร.ปัญญา	ชินธ์สุวรรณ	
รศ.ดร.พงษ์เจต	พรหมวงศ์	
ผศ.ดร.สุตาภรณ์	แคว้นเขาเม็ง	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2561 เวลา 15.00-17.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้อง HM-303 อาคารเฉลิมพระเกียรติ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 9 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์และเปรียบเทียบรูปทรงและขนาดของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการรับแสงในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก
นักศึกษา	นางสาวนัทธมน เขียวอ่อน
รหัสประจำตัว	58601128
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมเครื่องกล
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร. สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบตัวรับแสงอาทิตย์ เพื่อหารูปทรงและขนาดของตัวรับแสงที่มีประสิทธิภาพ และเหมาะสมกับระบบจานรวมแสงแบบพาราโบลิก พร้อมทั้งเปรียบเทียบลักษณะการรับแสงของรูปทรงแบบต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดและรูปทรงของตัวรับแสงอาทิตย์แต่ละรูปทรงต่อประสิทธิภาพการรับแสง ในการวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์หารูปทรงของตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพการรับแสงสูงที่สุด โดยคำนึงถึงลักษณะการรับแสงและการกระจายฟลักซ์ความร้อนของตัวรับแสงอาทิตย์ ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ ตัวรับแสงมีทั้งหมด 5 รูปทรง คือ รูปทรงกรวย, รูปทรงกลม, รูปทรงกระบอก, รูปทรงโดม และรูปทรงผลสมระหว่างทรงกระบอกและทรงกรวย โดยมีการกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงและพื้นที่ผิวภายในเท่ากัน โดยในการศึกษานี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรวมแสงเท่ากับ 3.20 เมตร, ความลึก 0.67 เมตร และมีพื้นที่ในการสะท้อนแสง 9.32 ตารางเมตรและอัตราส่วนการรวมแสงเท่ากับ 132 โดยกำหนดให้เส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงมีขนาด 0.32 เมตร ซึ่งคิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของขนาดจานรวมแสง ในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Comsol multiphysics ในการจำลอง โดยอาศัยหลักการ Finite element analysis (FEA) เพื่อวิเคราะห์การรับแสงและตำแหน่งการรับแสงของตัวรับแสงรูปทรงต่างๆ จะกำหนดให้ความเข้มรังสีเป็น 700 วัตต์ต่อตารางเมตร (คือค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีที่กรุงเทพมหานคร) ซึ่งพบว่า ตัวรับแสงรูปทรงกรวยมีการกระจายฟลักซ์ความร้อนอย่างสม่ำเสมอ โดยมีขนาดรูรับแสงเท่ากับ 30 เซนติเมตร และมีอัตราส่วนของตำแหน่งตัวรับแสงต่อระยะจุดโฟกัสในช่วง 0.940-0.953 ให้ประสิทธิภาพการรับแสงสูงสุดเท่ากับ 90.9 เปอร์เซ็นต์ และให้พลังงานสูงสุดอยู่ที่ 5,887 วัตต์ จากการทดสอบเพื่อหาพลังงานที่ตัวรับแสงได้รับโดยนำหลักการถ่ายเทความร้อนมาใช้ ซึ่งใช้ท่อทองแดงขดเป็นตัวรับแสงรูปทรงกรวยที่มีพื้นที่รับแสง 0.42 ตารางเมตร จากนั้นวัดอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าและทางออกจากท่อทองแดง ในขณะที่ทำการทดสอบพบว่าการเกิดเป็นไอร้อนยิ่งยวด จึงใช้สมการเทอโมไดนามิกส์ในการคำนวณหาพลังงาน และตัวรับแสงอาทิตย์นี้ได้รับพลังงานเท่ากับ 14.6 กิโลวัตต์ โดยมีประสิทธิภาพการรับแสงเท่ากับ 81.7 เปอร์เซ็นต์

Thesis	Geometric shape analysis and comparison of solar receiving efficiency in solar concentrator parabolic dish system
Student	Miss Nattamon Khiew-orn
Student ID.	58601128
Degree	Master of Engineering
Program	Mechanical Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sutapat Kwankaomeng

ABSTRACT

The purpose of this thesis is to analyze various shapes of solar receiver in order to compare effects of solar receiving geometries on optical characteristic and efficiency. This study focuses on five geometric solar receivers including 1.conical 2.spherical 3.cylindrical 4.dome and 5.combined between cylindrical and conical shape. The best shape providing the highest optical efficiency is evaluated by consideration of solar ray characteristic and heat flux distribution. The controlled parameters of the receivers are identical of receiving diameter and surface area. In the numerical investigation, the receiving diameter is 10% of solar concentrator's diameter. The solar concentrator has rim diameter and depth of 3.20 m and 0.67 m, respectively, and reflecting area is 9.32 m². The parabolic dish prototype gave concentration ratio of 132. Comsol multiphysics program is used to simulate the ray trajectories and receiving area optimization based on the principle of finite element analysis (FEA). The solar intensity for simulation is 700 W/m² (Intensity average per year in Bangkok, Thailand). The results showed that the conical shape provided the maximum heat flux and optical efficiency while the focal point should be located inside the receiver at the ratio of 0.940-0.953 (receiving position per focal point location). The conical receiver with solar receiving diameter of 30 cm gives maximum power received and efficiency of 90.9% and 5887 W, consecutively. In the experimental test hold to heat transfer's principles, copper tube was coiled as spiral cone with the receiving area of 0.42 m². In the experiment has super heat occurs when that vapor is heated above its boiling point. The highest power received is 14.6 kW and receiving efficiency is 81.7%.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ก็ด้วยความช่วยเหลือ การให้คำแนะนำและคาปรึกษาจาก ผศ.ดร.สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลทุกท่าน ที่คอยช่วยประสานงานเรื่องเอกสารต่างๆ ให้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้ค ณะน ต่างๆ และคอยให้ก สักใจเสมอมา

ขอขอบคุณ นายจิรานุวัฒน์ สุกุลแก้ว และนายไพรัตน์ แสนบุญญ ที่ให้คำแนะนำและคาปรึกษา ท ้าให้วิทยานิพนธ์ส ้าเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณบิดา มารดา และนายมงคล แหยมทองคา ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก เรื่องๆ ท ้าให้ข้าพเจ้าสามารถท ้าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ส ้าเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้หากมีข้อบกพร่องหรือข้อผิดพลาดในส่วนใดเกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอ น้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียวและจะขอแก้ไขปรับปรุงในโอกาสต่อไป

นัทธมน เขียวอ่อน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทน วน.....	1
1.1 ความเป็นมาและความส ัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	4
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	6
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	15
3.1 พลังงานแสงอาทิตย์.....	15
3.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย.....	16
3.3 การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์.....	19
3.3.1 ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์.....	19
3.3.2 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์.....	23
3.4 การสูญเสียความร้อนของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจาก แสงอาทิตย์.....	26
3.5 ความร้อนและพลังงานความร้อน.....	27
3.6 ความจุความร้อนและความร้อนจ าพา.....	28
3.7 ความร้อนแฝง.....	29
3.8 การถ่ายโอนความร้อน.....	29
3.8.1 การน าความร้อน.....	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และที่ยังอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.8.2 การพาความร้อน.....	30
3.8.3 การแผ่รังสีความร้อน.....	31
3.9 เซนทรอยด์ หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุ.....	31
3.10 คุณสมบัติของวัสดุ.....	32
3.10.1 อลูมิเนียม.....	32
3.10.2 เหล็กกล้าไร้สนิมหรือสแตนเลส.....	34
3.10.3 ทองแดง.....	36
บทที่ 4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	38
4.1 การหารูปทรงที่ดีที่สุดของตัวรับแสง.....	38
4.1.1 การออกแบบระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลาในการจ าลอง..	38
4.1.2 การจ าลองเชิงตัวเลขของแบบจ าลอง.....	39
4.2 การตรวจสอบความถูกต้องจากการจ าลอง.....	43
4.2.1 การออกแบบระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลารุ่นขนาดเล็ก.....	43
4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง.....	45
4.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์ในระบบจานรวม แสงอาทิตย์.....	46
4.3.1 การจ าลองการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่ เหมาะสมกับขนาดของจานรวมแสงอาทิตย์ในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พารา โบลิด.....	48
4.3.2 การออกแบบตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย และการเลือกใช้วัสดุ ที่จะน ามาสร้างตัวรับแสงอาทิตย์เพื่อนำไปทดลองในระบบจานรวมแสง อาทิตย์พาราโบลิด.....	48
4.3.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย.....	50
4.3.4 การทดลองหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย.....	50
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	53
5.1 ผลการหารูปทรงที่ดีที่สุดของตัวรับแสงอาทิตย์.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และหึ่งอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.1.1 ผลกระทบที่เกิดจากต าแหน่งของตัวรับแสง.....	53
5.1.2 ผลกระทบจากรูปทรงของตัวรับแสง.....	55
5.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องจากการจ าลอง.....	56
5.3 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์ ร่วมกับระบบจานรวมแสงอาทิตย์.....	57
5.3.1 ผลการจ าลองการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสม.....	57
5.3.2 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพการรวมแสงอาทิตย์ของตัวรับแสงอาทิตย์.....	60
5.3.3 ผลการทดลองหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์.....	63
บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง.....	66
6.1 การหารูปทรงที่ดีที่สุดของตัวรับแสง.....	66
6.2 การตรวจสอบความถูกต้องจากการจ าลอง.....	67
6.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์ ร่วมกับระบบจานรวมแสงอาทิตย์ต้นแบบ.....	67
6.3.1 ผลการจ าลองการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสม.....	67
6.3.2 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพการรวมแสงอาทิตย์ของตัวรับแสงอาทิตย์.....	69
6.3.3 ผลการทดลองหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์.....	70
เอกสารอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก.....	73
ภาคผนวก ก.....	74
ภาคผนวก ข.....	80

สารบัญ(ต่อ)

ประวัติส่วนตัว.....	หน้า 95
---------------------	------------



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และขอร้องถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ขนาดของจานรวมแสงพาราโบลาสำหรับการจลาง.....	39
4.2 ขนาดของตัวรับแสงสำหรับการจลาง.....	39
4.3 เงื่อนไขขอบเขตของการจลาง.....	41
4.4 จานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลาขนาดเล็ก.....	44
4.5 ขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์สำหรับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก.....	44
4.6 ข้อมูลของวัสดุที่นำมาพิจารณาเพื่อนำมาทำตัวรับแสงอาทิตย์.....	49
5.1 ผลการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องจากการจลาง.....	56
5.2 ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์.....	61
5.3 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิของน้ำเพื่อหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์.....	63
5.4 ค่าพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์จากการทดลอง 3 ครั้ง.....	64

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1.1 โรงไฟฟ้าแบบงานพาราโบลิก.....	2
1.2 ระบบงานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก กับตัวรับแสงอาทิตย์.....	3
2.1 ตัวรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการจ ลอของ Ye Wang et.al [1] ก.ตัวรับแสงอาทิตย์ ออกแบบใหม่ และ ข.ตัวรับแสงอาทิตย์ประเภท DIAPR.....	6
2.2 การตั้งระบบการทดลองของ Abbasi-Shavazia et.al [2].....	7
2.3 การจ ลอผ่านโปรแกรม Optisworks ของ Ahmed M. Daabo et.al [3].....	8
2.4 การกระจายฟลักซ์ความร้อนของตัวรับแสงรูปทรงกรวยผ่านโปรแกรม Optisworks ของ Ahmed M. Daabo et.al [3].....	9
2.5 งานรวมแสง และตัวรับแสงที่ใช้ในการจ ลอของ Saša R. Pavlovic et.al [4].....	10
2.6 รูปทรงของตัวรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองของ Rebecca Dunn et.al [5].....	10
2.7 ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกระบอกที่พันด้วยท่อทองแดงของ Djelloul Azzouzi et.al [6].....	11
2.8 แบบจ ลอที่ใช้ในการวิเคราะห์ของ R. Loni et.al [7].....	12
2.9 แบบการจ ลอเชิงตัวเลขของ M. Prakash [8].....	13
2.10 ผลการจ ลอเชิงตัวเลขของ M. Prakash [8].....	13
3.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในเดือนต่างๆ ของประเทศไทย.....	18
3.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีของประเทศไทย.....	18
3.3 การรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ของเฮลิโอสเตท.....	20
3.4 การรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ของรางพาราโบลา.....	21
3.5 การรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ของงานพาราโบลา.....	22
3.6 โรงไฟฟ้าแบบหอคอยพลังงาน ที่เมืองบาร์สโทว์ ในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา.....	24
3.7 ลักษณะการท งานของโรงไฟฟ้าแบบหอคอยพลังงาน.....	24
3.8 โรงไฟฟ้าแบบรางพาราโบลา ที่ทะเลทรายโมจาวิ ในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา....	25
3.9 ลักษณะของโรงไฟฟ้าแบบงานพาราโบลา.....	26
3.10 การทดลองความสมมูลระหว่างพลังงานกลและพลังงานความร้อน.....	28
3.11 ตัวอย่างลักษณะของอลูมิเนียม.....	33
3.12 ตัวอย่างลักษณะของเหล็กกล้าไร้สนิมหรือสแตนเลส.....	34

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13 ตัวอย่างลักษณะของทองแดง.....	37
4.1 งานรวมแสงพาราโบลา ที่วาดด้วยโปรแกรม Comsol multiphysics.....	38
4.2 ตัวรับแสงทรงเรขาคณิต 5 รูปแบบ ในมุมมองสามมิติและสองมิติ.....	40
4.3 แผนผังรูปแบบกระบวนการท งานของระบบงานรวมแสงพาราโบลาในโปรแกรม Comsol multiphysics.....	42
4.4 ระบบงานรวมแสงพาราโบลาจากโปรแกรม Comsol multiphysics.....	42
4.5 งานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร.....	43
4.6 ตัวรับแสงอาทิตย์ส สำหรับงานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่ใช้มี 3 รูปทรง.....	44
4.7 การทดลองตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย ร่วมกับงานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก.....	45
4.8 การทดลองตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกระบอก ร่วมกับงานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก...	45
4.9 การทดลองตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงโดม ร่วมกับงานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก.....	46
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวรับแสงกับพลังงานที่ได้รับ.....	47
4.11 งานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เมตร.....	47
4.12 การจ าลองการวิเคราะห์หาขนาดรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย.....	48
4.13 ตัวรับแสงอาทิตย์ที่ท มาจากเหล็กกล้าไร้สนิม เบอร์ 304.....	49
4.14 ครอบตัวรับแสงที่สามารถปรับระยะการรับแสงบนแกนของงานรวมแสงได้.....	49
4.15 การติดตั้งตัวรับแสงอาทิตย์กับงานรวมแสงอาทิตย์.....	50
4.16 ก) แสดงตัวรับแสงอาทิตย์ที่ท จากท่อทองแดง ข) ตัวรับแสงอาทิตย์ที่ท จากท่อทองแดงหุ้มด้วยฉนวนและพอยด์กันความร้อน.....	51
4.17 แสดงระบบการทดลองหาพลังงานที่ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยได้รับในระบบงานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก.....	51
5.1 ต าแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกรวย.....	53
5.2 ต าแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกลม.....	54
5.3 ต าแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกระบอก.....	54
5.4 ต าแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงโดม.....	54
5.5 ต าแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงผสม.....	54
5.6 ค่าเฉลี่ยของฟลักซ์ความร้อนส าหรับตัวรับแสงทั้งห้าที่ต าแหน่งตัวรับแสงที่ต่างกัน.....	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และเพียงอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.7 ประสิทธิภาพแสงส าหรั้ตัวรับแสงทั้งห้าที่ต าแหน่งตัวรับแสงที่ต่างกัน.....	56
5.8 ผลการทดลองตัวรับแสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปทรง ร่วมกับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 เมตร.....	57
5.9 ก). การกระจายฟลักซ์ความร้อนเพื่อหาขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์ ระยะ 20-70 ซม. (ปรับระยะทีละ 5 ซม.) ข). การกระจายฟลักซ์ความร้อนเพื่อหาขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์ ระยะ 25-40 ซม. (ปรับระยะทีละ 1 ซม.).....	58
5.10 กราฟการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสมที่ขอบเขต 20 – 70 เซนติเมตร.....	58
5.11 กราฟการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสมที่ขอบเขต 25 – 40 เซนติเมตร.....	59
5.12 พื้นที่ที่มีความความเข้มแสงมากที่สุด จากการทดลองวัดการรวมแสงของจานรวมแสงพาราโบลิค.....	60
5.13 กราฟประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์.....	62
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวรับแสงกับระยะต าแหน่งของตัวรับแสงอาทิตย์จากการทดลองและการจ าสงผ่านโปรแกรม Comsol Multiphysics.....	62
5.15 กราฟพลังงานที่ได้รับจากตัวรับแสงอาทิตย์.....	65
6.1 ประสิทธิภาพแสงส าหรั้ตัวรับทั้งห้าที่ต าแหน่งตัวรับแสงที่ต่างกัน.....	66
6.2 ผลการทดลองตัวรับแสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปทรง ร่วมกับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก..	67
6.3 กราฟการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสมที่ขอบเขต 25 – 40 เซนติเมตร.....	68
6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ความร้อน กับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ต่อพื้นที่รับแสงของจานรวมแสงอาทิตย์.....	68
6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวรับแสงกับระยะต าแหน่งของตัวรับแสงอาทิตย์จากการทดลองและการจ าสงผ่านโปรแกรม Comsol Multiphysics.....	69
6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวรับแสง กับอัตราส่วนของระยะของต าแหน่งของตัวรับแสงอาทิตย์ต่อระยะจจุดโฟกัสของจานรวมแสงอาทิตย์.....	70

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานที่ใช้ในโลกส่วนมากมาจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ) ซึ่งจัดเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถหามาทดแทนได้ (nonrenewable energy sources) กระบวนการทางธรณีวิทยาที่ทำให้เกิดเชื้อเพลิงฟอสซิลนั้นใช้เวลานานนับล้านปี แต่นับตั้งแต่การปฏิวัติอุตสาหกรรมในศตวรรษที่ 18 มนุษย์ทำการขุดและนำเชื้อเพลิงฟอสซิลมาใช้มากขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นไม่ช้าก็เร็วแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ก็ต้องหมดไปจากโลกของเรา ซึ่งสภาวะวิกฤตพลังงานในปัจจุบันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จะเห็นได้จาก ราคาไฟฟ้าต่อหน่วยที่เพิ่มมากขึ้น ราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการประกอบอาหาร และรวมไปถึงราคาน้ำมันที่มีการปรับราคาเพิ่มสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้หลายประเทศจึงเริ่มที่จะเปลี่ยนหันมาพึ่งพาพลังงานทางเลือก หรือพลังงานจากแหล่งที่ทดแทนได้ (renewable energy sources) โดยพลังงานทางเลือกที่ใช้กันอย่างแพร่หลายทั่วโลก ที่พบเห็นใช้กันมากได้แก่ พลังงานลม พลังงานน้ำและพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าทดแทนการใช้น้ำมันและก๊าซ

ดังนั้นพลังงานทางเลือกจึงเป็นพลังงานที่ไม่อาจจมองข้ามได้อีกแล้ว ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศเมืองร้อน ที่มีพื้นที่ที่มีศักยภาพรับพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในเกณฑ์ที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่นๆ เนื่องจากตั้งอยู่ในเขตศูนย์สูตรทำให้มีช่วงเวลาในการรับแสงอาทิตย์ตลอดทั้งปี และพลังงานจากแสงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เหมาะกับพื้นที่ที่สายส่งไฟฟ้าเข้าไม่ถึง สามารถใช้ได้อย่างไม่มีวันหมด อีกทั้งง่ายต่อการดูแลรักษา ด้วยเหตุนี้จึงน่าข้อดีนี้มาเป็นประโยชน์และพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแสงอาทิตย์ เพื่อที่นำเอาพลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์มาทำคุณประโยชน์ต่อไป

การใช้พลังงานความร้อนที่ได้จากแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้านั้นได้มีขึ้นมานานกว่า 100 ปีมาแล้ว จึงทำให้ในอดีตการพัฒนาการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มีความก้าวหน้าไม่มากนัก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันประสบปัญหาสภาวะวิกฤตพลังงานทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มากขึ้น จนกระทั่งเกิดเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่มีกำลังการผลิตขนาดใหญ่ในหลายแห่งทั่วโลก ซึ่งรูปแบบของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มีอยู่ 3 แบบด้วยกัน และหนึ่งในรูปแบบของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์คือ โรงไฟฟ้าแบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก ที่นิยมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้ร่วมกับเครื่องยนต์สันดาปภายนอก (External combustion engine) ซึ่งสามารถทำอุณหภูมิให้สูงได้ถึง 1,000 องศาเซลเซียสขึ้นไป และมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานถึงร้อยละ 30

ส่วนประกอบสำคัญของโรงไฟฟ้าแบบจานพาราโบลิกนี้คือ จานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก ซึ่งมีทำหน้าที่รวมแสงและสะท้อนแสงให้ในระบบ โดยมีอุปกรณ์ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งที่เรียกว่า “ตัวรับแสงอาทิตย์” ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแสงและพลังงานที่ได้รับในระบบ



รูปที่ 1.1 โรงไฟฟ้าแบบจานพาราโบลิก

ตัวรับแสงอาทิตย์มีหน้าที่ดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ให้มากที่สุด และแปลงไปเป็นพลังงานที่สามารถใช้งานได้ (พลังงานความร้อน) เมื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน พลังงานความร้อนนี้จะถูกถ่ายโอนไปในของไหลชนิดใดชนิดหนึ่ง (ของเหลวหรือแก๊ส) ซึ่งจะนำความร้อนออกจากตัวรับแสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้ ด้วยวิธีการประยุกต์แตกต่างกันไป ปัจจัยที่ทำให้ตัวรับแสงอาทิตย์สามารถดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดีมีหลายปัจจัย เช่น รูปทรงของตัวรับแสงอาทิตย์, พื้นที่ผิวภายในของตัวรับแสงอาทิตย์ และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ เป็นต้น



รูปที่ 1.2 แสดงระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิค กับตัวรับแสงอาทิตย์

สำหรับการวิจัย และพัฒนาระบบตัวรับแสงอาทิตย์นั้น ส่วนใหญ่ผู้วิจัยจะทำการจำลองประสิทธิภาพทางแสง (Optical performance) ของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ บนพื้นฐานการติดตามรังสี (Ray tracing) ผ่านโปรแกรมสำเร็จรูปโดยใช้หลักการ Monte-carlo Simulation ในการวิเคราะห์ ซึ่งวิธีการที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายสำหรับการจำลองที่แม่นยำ เช่น OptisWork, Autocad Maya, TracePro, VirtualLab, Comsol multiphysics เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยอื่นๆ ผู้วิจัยส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์การสูญเสียความร้อนและความสัมพันธ์ของรูปทรงตัวรับแสง โดยมักจะละเลยในเรื่องของการถ่ายเทความร้อนจากตัวรับแสงในรูปทรงที่แตกต่างกัน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนนั้นมีความสำคัญในการช่วยให้ของไหลในระบบทำงานดีขึ้นและส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิค

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพของแสงและการกระจายฟลักซ์ความร้อนของตัวรับแสงรูปทรงต่างๆ และตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีขนาดที่แตกต่างกัน โดยทำการจำลองด้วยโปรแกรม Comsol mutiphysics เพื่อหารูปทรงและขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์ ที่มีประสิทธิภาพการรับแสงอาทิตย์ดีที่สุด ให้เหมาะสมกับขนาดของจานรวมแสงในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิค และทำการสร้างขึ้นมาเพื่อทดสอบประสิทธิภาพกับจานรวมแสงอาทิตย์ต้นแบบ ณ ติ๊กภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับแสงอาทิตย์ของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงต่างๆ ที่แตกต่างกัน
- 1.2.2 เพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดและรูปร่างของตัวรับแสงอาทิตย์แต่ละรูปทรง ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการรับแสง
- 1.2.3 ออกแบบและสร้างตัวรับแสงอาทิตย์ ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.2.4 ทดสอบประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์ร่วมกับจนวนรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

- 1.3.1 ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยสามารถเก็บความร้อนและให้ประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงอื่นๆ
- 1.3.2 ตัวรับแสงอาทิตย์สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เมื่อมีขนาดตัวรับแสงอาทิตย์เหมาะสมกับขนาดของจนวนรวมแสงอาทิตย์
- 1.3.3 พลังงานที่ได้รับจากตัวรับแสงอาทิตย์ จะขึ้นอยู่กับตำแหน่ง รูปทรง และขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์

1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 สร้างตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสง 0.30 เมตร
- 1.4.2 ออกแบบตัวรับแสงอาทิตย์ให้สามารถปรับระยะในการรับแสงได้
- 1.4.3 ทำการทดสอบตัวรับแสงอาทิตย์ร่วมกับจนวนรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิกภายใต้ความเข้มแสงอาทิตย์ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.5.1 กำหนดวัตถุประสงค์ และขอบเขตการวิจัย
- 1.5.2 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง, ศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ
- 1.5.3 ศึกษาการใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics เพื่อใช้ในการจำลอง
- 1.5.4 ทำการจำลองหารูปทรงที่ดีที่สุดของตัวรับแสงด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics
- 1.5.5 ทำการตรวจสอบรูปทรงที่ดีที่สุดของตัวรับแสงที่ได้จากโปรแกรม Comsol Multiphysics

- 1.5.6 ทำการจำลองหาขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม Comsol Multiphysics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.5.7 ออกแบบตัวรับแสงอาทิตย์, หาวัสดุอุปกรณ์
- 1.5.8 สร้างตัวรับแสงอาทิตย์
- 1.5.9 ทำการทดลองหาประสิทธิภาพและพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์
- 1.5.10 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล
- 1.5.11 นำเสนองานวิจัย



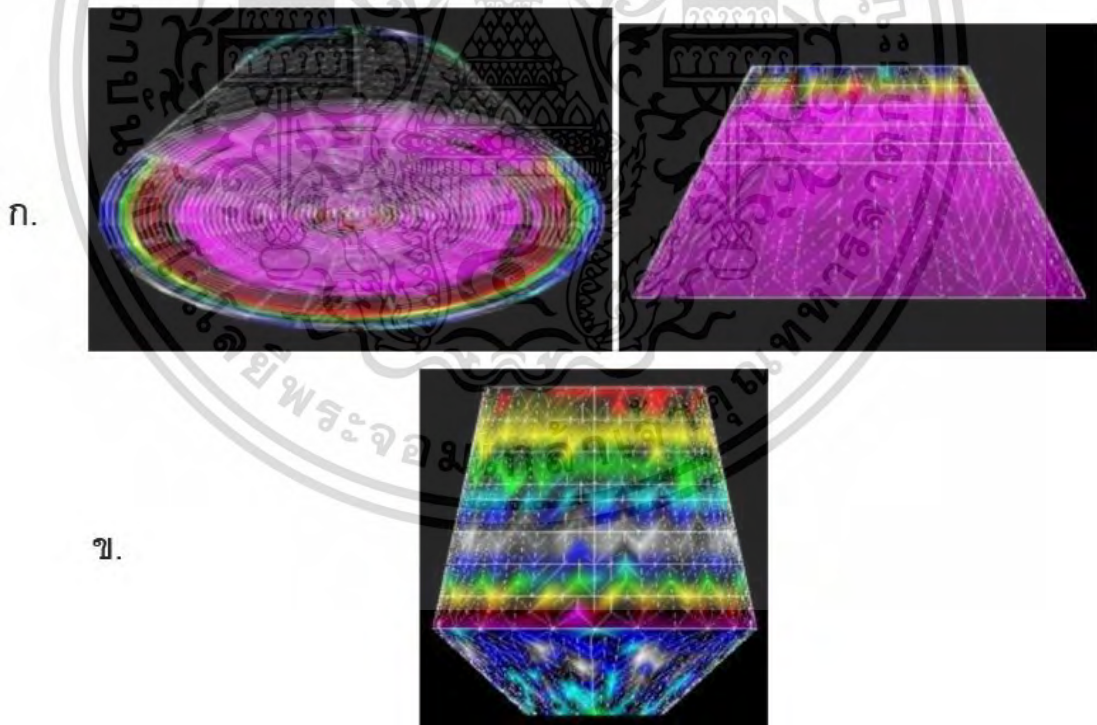
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

วรรณกรรมปริทรรศน์

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

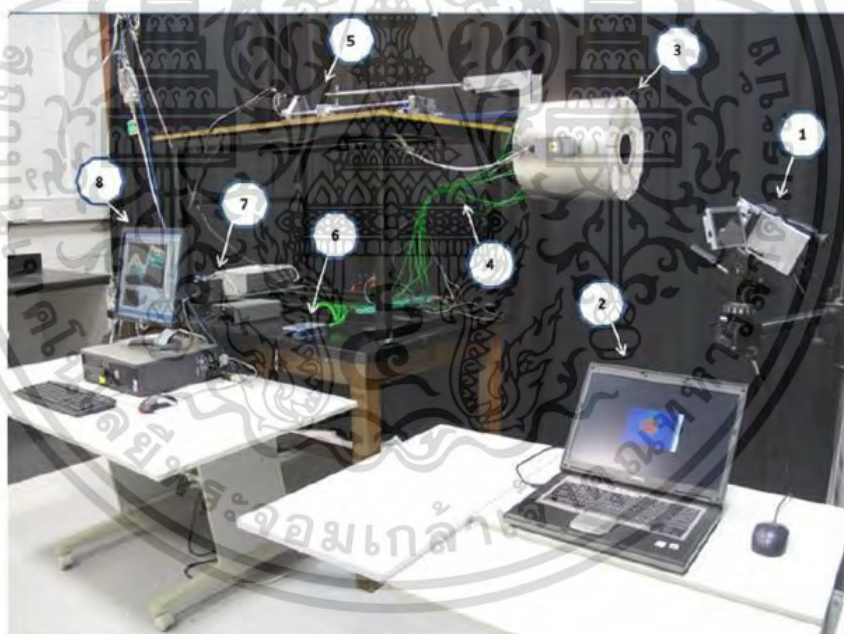
Ye Wang et.al [1] ได้ออกแบบโครงสร้างของตัวรับแสงอาทิตย์โดยใช้หลักของการวิเคราะห์จากหลักการทางแสงของระบบจานรวมแสงอาทิตย์ และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรูปทรงของจานรวมแสงอาทิตย์นั้นทำขึ้นเพื่อทำนายการกระจายฟลักซ์รังสีความร้อนของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกระบอก ผลการวิเคราะห์จากการใช้โปรแกรม Tracepro ในการจำลองการติดตามรังสีนั้น จะเห็นได้ว่าการกระจายฟลักซ์รังสีความร้อนของตัวรับแสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบใหม่เหมือนกันกับตัวรับแสงอาทิตย์ประเภท Directly-irradiated annular pressurized receiver (DIAPR) ที่ถูกสร้างโดยสถาบันวิทยาศาสตร์แห่งประเทศอิสราเอล ดังรูปที่ 2.1 ในขณะเดียวกันการกระจายฟลักซ์รังสีความร้อนของตัวรับแสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบมาใหม่จะมีการรับพลังงานความร้อนที่สม่ำเสมอทั้งในโพรงของตัวรับแสงอาทิตย์ และบริเวณผนังที่ดูดกลืนความร้อน



รูปที่ 2.1 แสดงตัวรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการจำลองของ Ye Wang et.al [1] ก.ตัวรับแสงอาทิตย์ออกแบบใหม่ และ ข.ตัวรับแสงอาทิตย์ประเภท Directly-irradiated annular pressurized receiver (DIAPR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

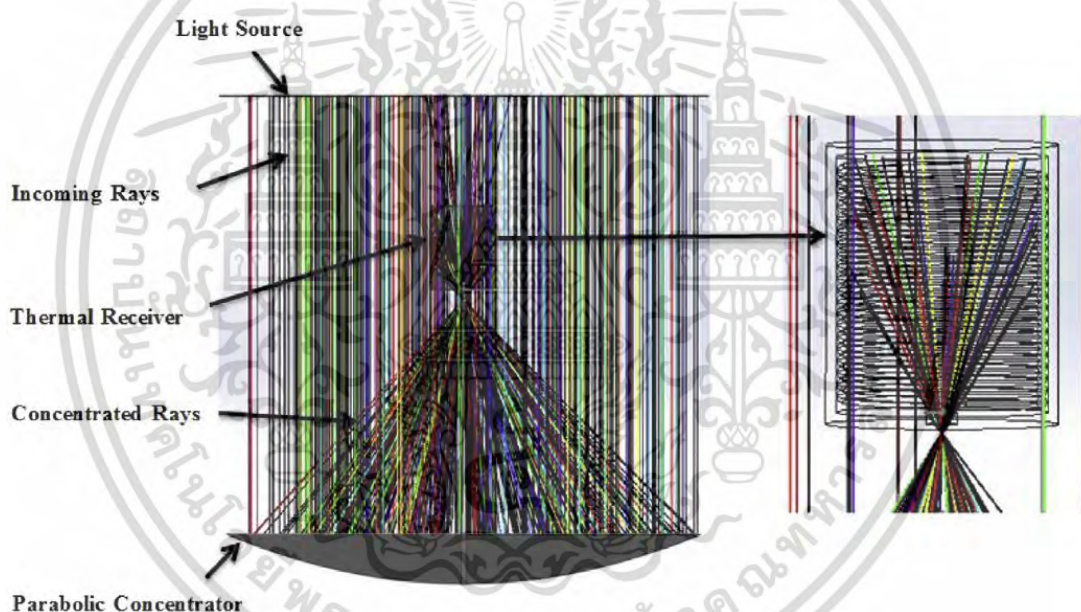
Abbasi-Shavazia et.al [2] ได้วิเคราะห์การทดลองการสูญเสียความร้อนจากตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกระบอก โดยอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 1 และ 2 และอัตราส่วนของรูรับแสง (เส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางตัวรับแสง) เท่ากับ 0.5 และ 1 ซึ่งตัวรับแสงอาทิตย์ถูกให้ความร้อนอย่างคงที่โดยใช้สายเคเบิลในการให้ความร้อน และมีการปรับความโน้มเอียงของตัวรับแสงอาทิตย์ขึ้นลงตั้งแต่ 0 องศา ถึง 90 องศา จากการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีความสอดคล้องกันระหว่างการไหลเวียนของการพาความร้อนและการโน้มเอียงของตัวรับแสงอาทิตย์ โดยในการวัดอุณหภูมิของบริเวณผิวของตัวรับแสงอาทิตย์ จะเห็นว่าอุณหภูมิที่บริเวณผิวของตัวรับแสงอาทิตย์นั้นมีผลต่อการสูญเสียของการแผ่รังสี ซึ่งจากการทดลองนี้สามารถประเมินการสูญเสียจากการแผ่รังสี ที่พิจารณาจากอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวรับแสงอาทิตย์ ได้ถึง 20 % เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ใช้ในการทดลอง ส่วนการสูญเสียของการพาความร้อนภายในตัวรับแสงอาทิตย์นั้นได้ถูกทำการเปรียบเทียบกับผลการทดลองจากการทดลองอื่นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของพื้นที่ผิวของตัวรับแสงอาทิตย์ กับการสูญเสียของการพาความร้อน มีความสอดคล้องกัน



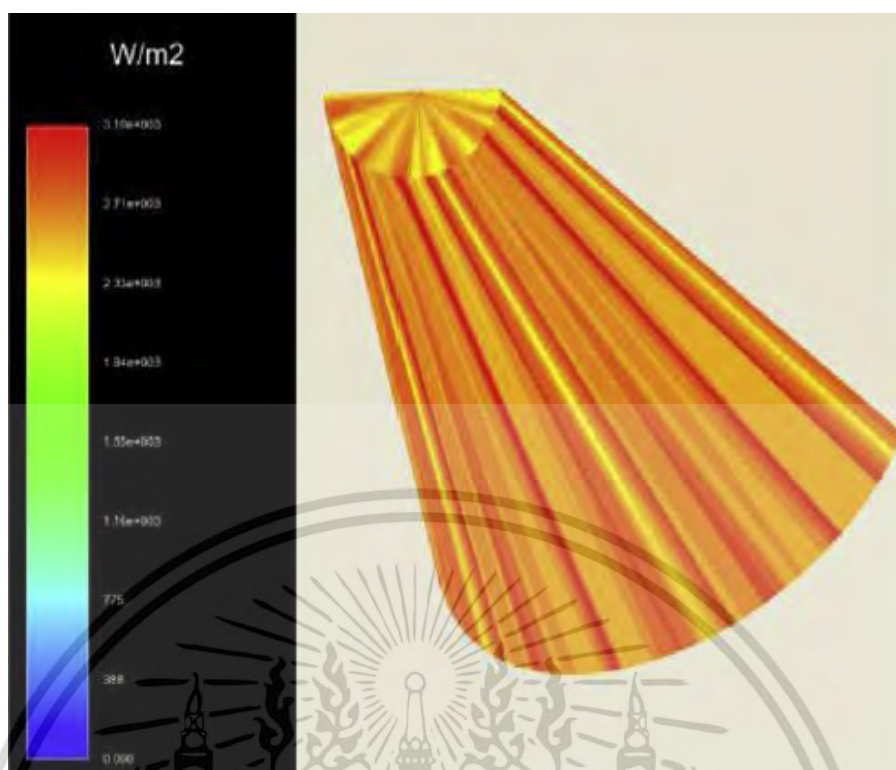
รูปที่ 2.2 แสดงการตั้งระบบการทดลองของ Abbasi-Shavazia et.al [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ahmed M. Daabo et.al [3] ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงต่างๆ ได้แก่ รูปทรงกรวย รูปทรงกระบอก และรูปทรงกลม ในระบบงานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลา โดยใช้วิธีการ ray-tracing simulation ด้วยโปรแกรม Optiswork ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งมีการปรับค่าความดุดกิ้นของตัวรับแสงอาทิตย์ และปรับระยะของตำแหน่งตัวรับแสงอาทิตย์โดยอ้างอิงจากตำแหน่งจุดโฟกัสของงานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลา ผลจากการจำลอง สามารถสรุปได้ว่า ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยมีประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์และการกระจายพลังค์ความร้อนดีที่สุดในรูปที่ 2.4 โดยที่ประสิทธิภาพการดุดกิ้นของผนังตัวรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 75% ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยมีประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 75.3% และที่ประสิทธิภาพการดุดกิ้นของผนังตัวรับแสงอาทิตย์เท่ากับ 85% ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยมีประสิทธิภาพในการรับแสงอาทิตย์ 72.4% และตำแหน่งที่ทำให้ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยมีประสิทธิภาพในรับแสงมากที่สุดคือ จุดโฟกัสของงานรวมแสงอาทิตย์อยู่ภายในตัวรับแสงอาทิตย์



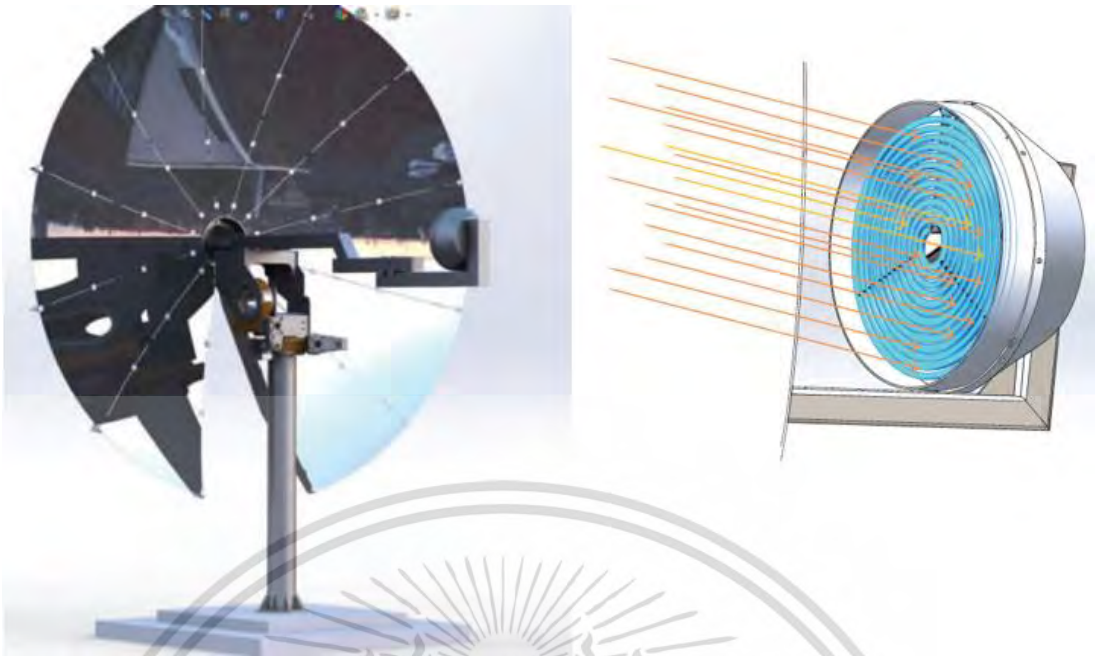
รูปที่ 2.3 แสดงการจำลองผ่านโปรแกรม Optisworks ของ Ahmed M. Daabo et.al [3]



รูปที่ 2.4 แสดงการกระจายฟลักซ์ความร้อนของตัวรับแสงรูปทรงกรวยผ่านโปรแกรม Optisworks ของ Ahmed M. Daabo et.al [3]

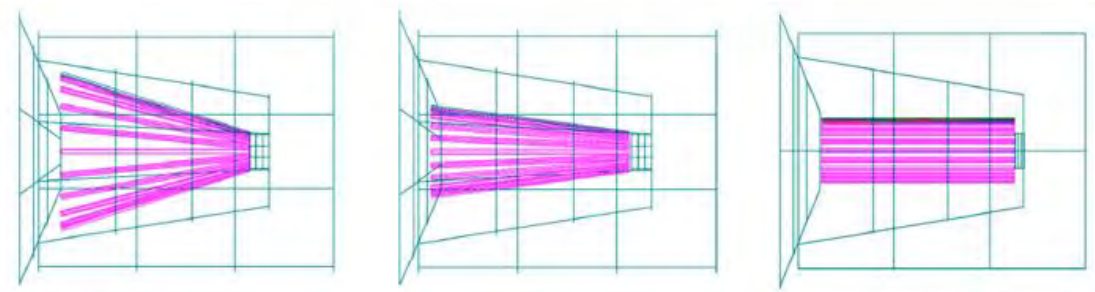
Saša R. Pavlovic et.al [4] ได้วิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงแสงของจานรวมแสงอาทิตย์ โดยใช้วิธีการ ray-tracing simulation ผ่านโปรแกรม TracePro เพื่อหาพารามิเตอร์ที่สามารถกำหนดรูปแบบที่เหมาะสมระหว่างจานรวมแสงอาทิตย์กับตัวรับแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นต้นแบบในการพัฒนาจานรวมแสงอาทิตย์ ซึ่งออกแบบจานรวมแสงอาทิตย์มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3800 มิลลิเมตร และระยะจุดโฟกัสที่ 2260 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพการสะท้อนที่ 95% และตัวรับแสงมีลักษณะเป็นขดแนวระนาบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพการดูดกลืน 100% ดังรูปที่ 2.5 โดยได้ทำการจำลองและวิเคราะห์การดูดกลืนของตัวรับแสง ซึ่งเมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบบที่ตัวรับแสง พลังงานที่ตัวรับแสงได้รับ สามารถเกิดขึ้นได้จาก 3 เงื่อนไขดังนี้ 1.ได้รับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง 2.ได้รับพลังงานจากการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์ หลังจากสะท้อนที่ผิวของตัวรับแสง 3.ได้รับพลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ จากการสะท้อนจากผิวของตัวรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงจานรวมแสง และตัวรับแสงที่ใช้ในการจำลองของ Saša R. Pavlovic et.al [4]

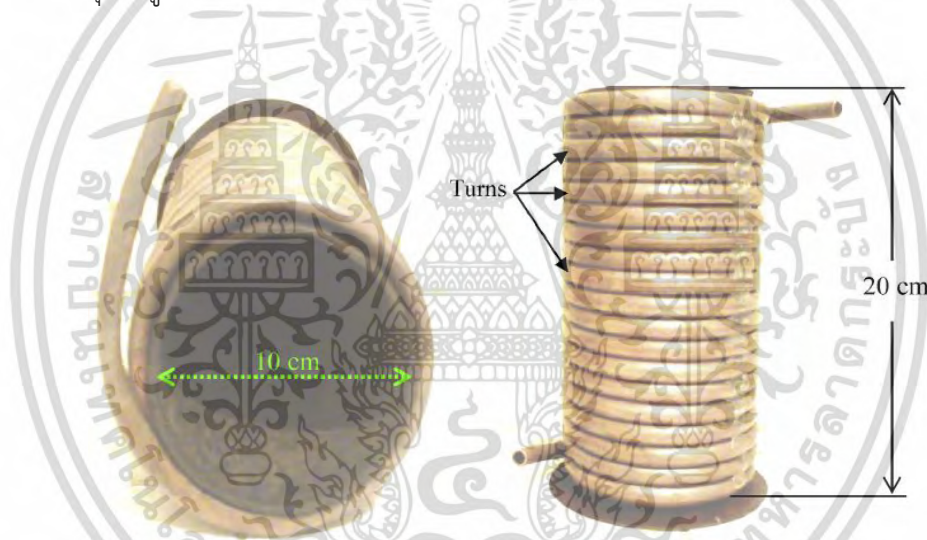
Rebecca Dunn et.al [5] ได้ทำการทดลองศึกษาตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงต่างๆ โดยใช้แอมโมเนียเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยทดลองใช้กับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาด 9 ตารางเมตร และตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงต่างๆ ได้แก่ รูปทรงกรวยที่ทามุม 7.5 และ 17.5 องศา และรูปทรงกระบอกที่มีรัศมี 77 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 2.6 ซึ่งจากการทดลองพบว่า ตัวรับแสงอาทิตย์แต่ละรูปทรงมีค่าอัตราการไหลของแอมโมเนียที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดที่แตกต่างกัน โดยตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่ทามุม 7.5 และ 17.5 องศา มีอัตราการไหลของแอมโมเนียที่ทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 1.25 g/s และ 1.00 g/s ตามลำดับ ส่วนตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกระบอกที่มีอัตราการไหลของแอมโมเนียเท่ากับ 1.00 g/s และ 1.25 g/s มีประสิทธิภาพแตกต่างกันเล็กน้อย และตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่ทามุม 7.5 องศา มีผลต่อประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังของไหลได้ดีที่สุด



รูปที่ 2.6 แสดงรูปทรงของตัวรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองของ Rebecca Dunn et.al [5]

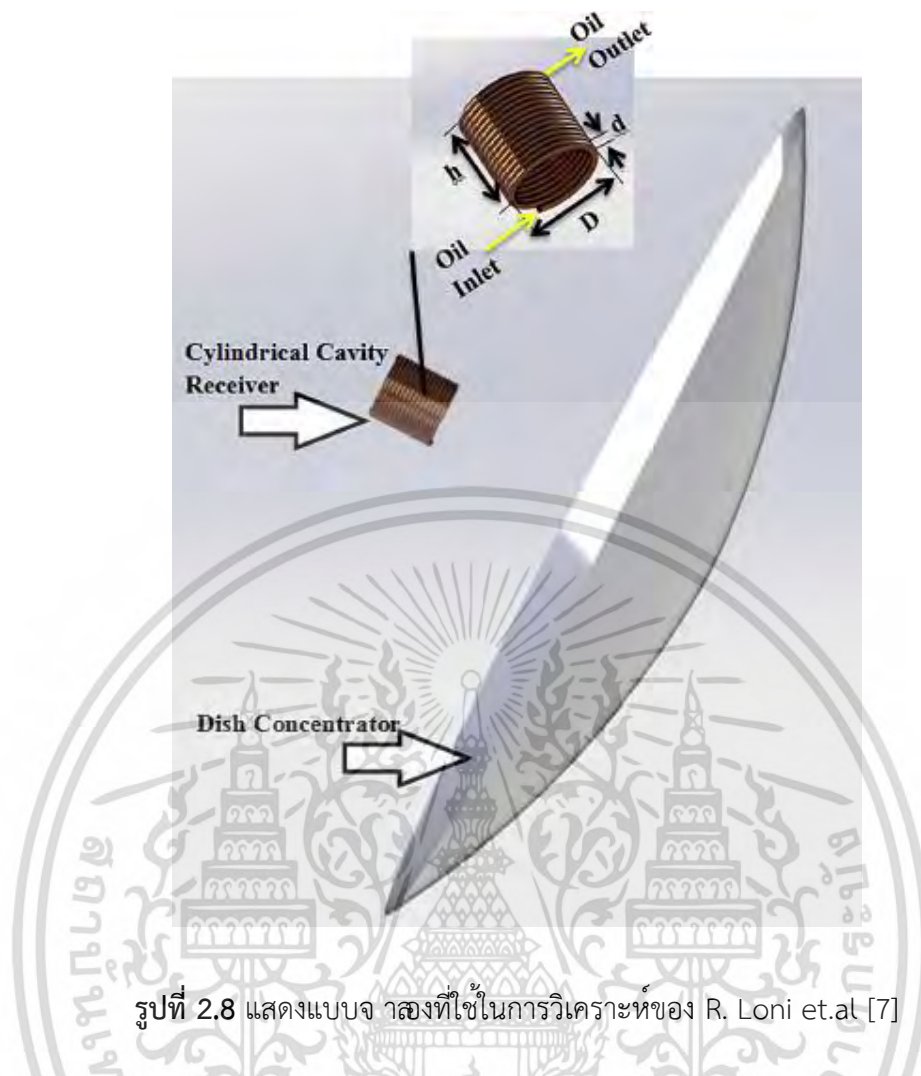
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดลองหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์ งานวิจัยส่วนใหญ่ใช้ท่อทองแดงขดรอบตัวรับแสงอาทิตย์เพื่อให้ของไหลไหลผ่านแล้ววัดอุณหภูมิ เพื่อหาค่าพลังงานที่ได้รับจากการถ่ายเทความร้อน Djelloul Azzouzi et.al [6] ได้ทำการวิเคราะห์ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกระบอกที่พันด้วยท่อทองแดง กับจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลาที่มีขนาดของพื้นที่รับแสงเท่ากับ 1.67 ตารางเมตร มีระยะจุดโฟกัสอยู่ที่ 52.65 เซนติเมตร ซึ่งได้กำหนดตำแหน่งของตัวรับแสงอาทิตย์ให้มีระยะห่างก่อนถึงจุดโฟกัสประมาณ 4-5 เซนติเมตร ในการทดลองประกอบด้วยปั๊ม ขนาด 0.736 วัตต์ ซึ่งใช้น้ำเป็นตัวกลางที่เป็นของไหล โดยมีถังน้ำที่มีการควบคุมอัตราการไหลของน้ำเข้าสู่ตัวรับแสงอาทิตย์โดยใช้วาล์ว และวัดอัตราการไหลโดยใช้ flow meter และมี Thermocouple วัดอุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าของตัวรับแสงอาทิตย์และทางออกของตัวรับแสงอาทิตย์ จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์จะลดลง เมื่ออัตราส่วนของความสูงของตัวรับแสงอาทิตย์ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงเพิ่มขึ้น และอัตราการไหลของน้ำที่สูงกว่า 15 L/min จะส่งผลต่ออุณหภูมิของน้ำที่ทางออกเล็กน้อย



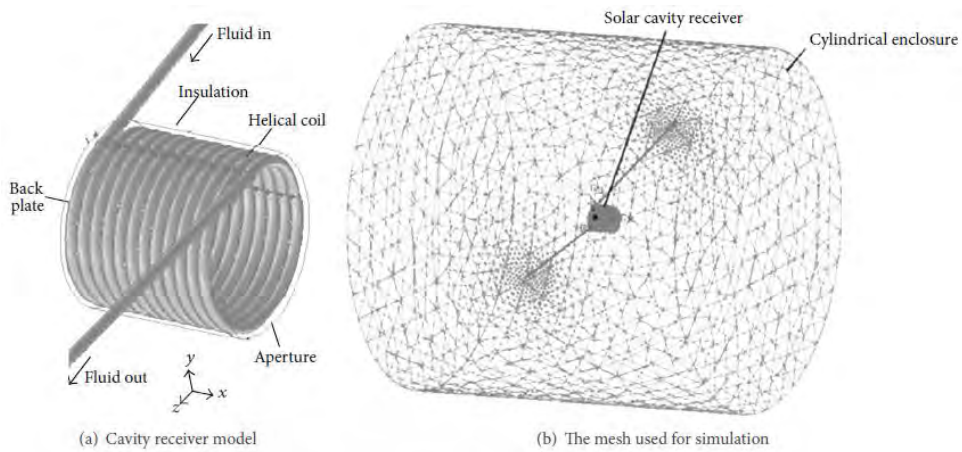
รูปที่ 2.7 แสดงตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกระบอกที่พันด้วยท่อทองแดงของ Djelloul Azzouzi et.al

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ใช้หลักการ Computational Fluid Dynamics (CFD) ในการวิเคราะห์ R. Loni et.al [7] ได้ทำการวิเคราะห์ Thermodynamics ของของไหลชนิดต่างๆ ได้แก่ Al_2O_3/oil , Cu/oil , SiO_2/oil และ TiO_2/oil โดยออกแบบตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 14 เซนติเมตร และจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 เมตร ดังรูปที่ 2.8 ในการทดลองพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีความเข้มแสงเท่ากับ 650 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพความร้อนจะลดลง เมื่อปริมาณความเข้มข้นของของไหลเพิ่มขึ้น โดย Cu/oil มีประสิทธิภาพดีที่สุด และ SiO_2/oil มีประสิทธิภาพสูงที่สุด

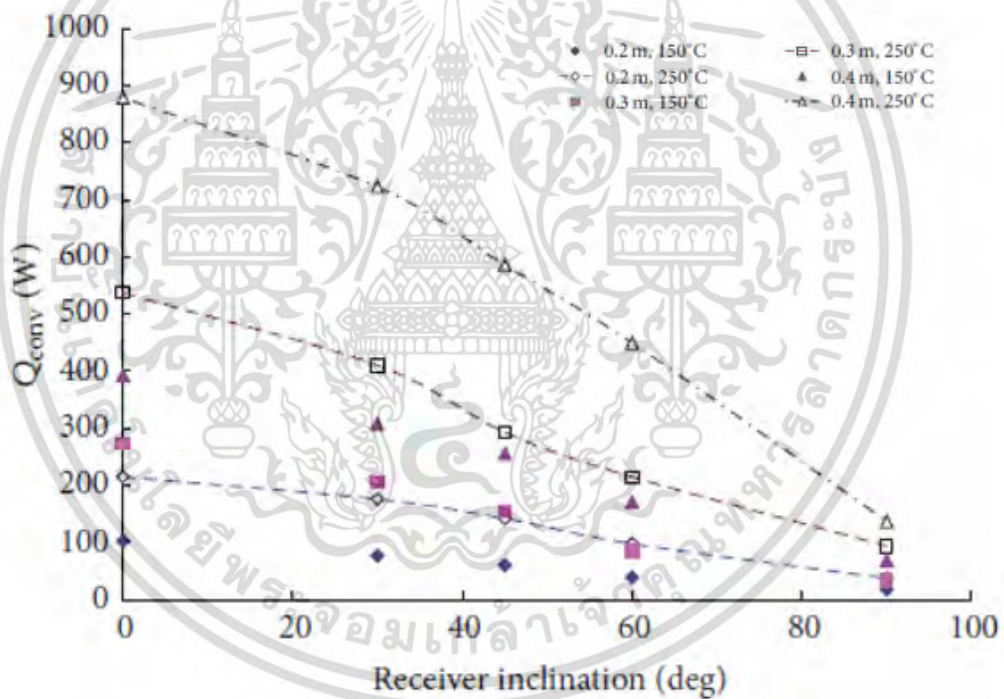


รูปที่ 2.8 แสดงแบบจำลองที่ใช้ในการวิเคราะห์ของ R. Loni et.al [7]

M. Prakash [8] ได้ศึกษาเชิงตัวเลขเกี่ยวกับการสูญเสียจากการพาความร้อนตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นจากตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2, 0.3 และ 0.4 เมตร โดยใช้ท่อโลหะขนาด 1.25 เซนติเมตรพันรอบตัวรับแสงอาทิตย์ ซึ่งรูปแบบการจำลองดังรูปที่ 2.9 และมีการจำลองการทำงานของของไหลในท่อโลหะ ซึ่งกำหนดให้อุณหภูมิขาเข้าของของไหลอยู่ที่ 150 และ 250 องศาเซลเซียส และตัวรับแสงอาทิตย์ที่มุมเอียง 0, 30, 45, 60 และ 90 องศา พบว่าการสูญเสียจากการพาความร้อนเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของของไหลในทุกๆขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์ และการสูญเสียจากการพาความร้อนลดลงประมาณ 80% เมื่อเพิ่มมุมเอียงของตัวรับแสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 แสดงแบบการจำลองเชิงตัวเลขของ M. Prakash [8]



รูปที่ 2.10 แสดงผลการจำลองเชิงตัวเลขของ M. Prakash [8]

Graham Hughes et.al [9] ได้ศึกษาวิธีที่สามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพความร้อน ของตัวรับแสงอาทิตย์ โดยวิธีแรกเป็นการจัดรูปแบบความร้อนภายในโพรงรับแสงโดยกำหนดอุณหภูมิของผนังภายในเพื่อลดความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นกับสภาพแวดล้อมภายนอก ซึ่งการออกแบบตัวรับแสงก็มีส่วนสำคัญในการลดการสูญเสียความร้อนด้วยการลดอุณหภูมิของผนังภายในบริเวณที่มีสัดส่วนการกระจายมาก ทดลองโดยวิธีนำของเหลวไปหล่อเย็นบริเวณส่วนรับแสงของผนังโพรงรับแสง เพื่อรักษาอุณหภูมิและลดการสูญเสียการพาความร้อนและการแผ่รังสี ส่วนวิธีที่สองใช้มันที่มีค่าการนำความร้อนเป็นเอกสารที่สวนทางสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสงกันเพื่อขัดขวางการไหลเวียนของอากาศไหลออกจากโพรงรับแสง ซึ่งการลดการสูญเสียจากการหมุนเวียนของอากาศสามารถทำได้เฉพาะตัวรับแสงมีการเอียงเท่านั้น และยังคงควบคุมทั้งทิศทางและความร้อนของมันเป็นกันด้วยเช่นกัน

ยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนของของไหล เช่น อุณหภูมิของของไหลที่ไหลเข้า-ออกจากท่อที่ใช้ทำตัวรับแสงอาทิตย์ , ความดันภายในตัวรับแสงอาทิตย์ , การสูญเสียความร้อน , ประสิทธิภาพความร้อน และอัตราการไหล [10]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

3.1 พลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นดาวฤกษ์ที่อยู่ใกล้โลกมากที่สุด โดยมีลักษณะเป็นกลุ่มก๊าซร้อนรูปทรงกลมที่มีความหนาแน่นสูง เปรียบได้กับเตาปฏิกรณ์ที่เกิดปฏิกิริยาฟิวชันของก๊าซที่เป็นส่วนประกอบอย่างต่อเนื่อง ดวงอาทิตย์นั้นมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.39 ล้านกิโลเมตร มีมวลเท่ากับ 1.99×10^{30} กิโลกรัม มีอุณหภูมิที่พื้นผิวประมาณ 6,000 องศาเซลเซียส และมีความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 1,410 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร ดวงอาทิตย์ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนในปริมาณ 75% ,ธาตุฮีเลียมในปริมาณ 27.1% และธาตุหนักอื่น ๆ เช่น เหล็ก ประมาณ 1.9% พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่ออกจากดวงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากปฏิกิริยาการแตกตัวหลายชนิด ปฏิกิริยาที่สำคัญที่สุดปฏิกิริยาหนึ่งคือการรวมตัวกันของไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม ปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้มวลบางส่วนของไฮโดรเจนสูญหายไป มวลส่วนที่หายไปคือมวลที่เปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานซึ่งจะเกิดขึ้นภายในดวงอาทิตย์ที่อุณหภูมิหลายล้านองศาเซลเซียส พลังงานนี้จะถ่ายเทมาที่ผิวของดวงอาทิตย์และแผ่ออกสู่อวกาศ

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ การใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานความร้อน (solar thermal) และการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า (Photovoltaic) โดยแต่ละกลุ่มมีการพัฒนาเทคโนโลยี เพื่อให้มีการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด ซึ่งจะเป็นการช่วยลดการใช้พลังงานจากซากดึกดำบรรพ์ และไม่ทำให้เกิดปัญหาต่อสภาวะแวดล้อม

เทคโนโลยีที่ใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ มีทั้งประเภทที่ต้องใช้พลังงานความร้อนไม่สูงมากนักไปจนถึงประเภทที่ต้องใช้พลังงานความร้อนสูง โดยประเภทที่ใช้พลังงานความร้อนไม่สูงมาก ได้แก่ เครื่องอบแห้ง เครื่องทำความร้อน เครื่องกลั่นน้ำ เครื่องปรับอากาศ เป็นต้น เทคโนโลยีเหล่านี้โดยทั่วไปใช้พลังงานความร้อนที่ไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เรียกเทคโนโลยีกลุ่มนี้ว่า เทคโนโลยีความร้อนอุณหภูมิต่ำ (Low temperature technology) ส่วนประเภทที่ต้องใช้พลังงานความร้อนสูง มักเป็นเทคโนโลยีที่มีการนำเอาพลังงานความร้อนไปใช้ประโยชน์ในการผลิตไฟฟ้า โดยการนำเอาพลังงานความร้อนไปต้มน้ำ และใช้แรงดันของไอน้ำไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า เทคโนโลยีเหล่านี้ต้องใช้ความร้อนสูงซึ่งอาจสูงได้ถึงตั้งแต่หลักร้อยถึงหลายร้อยหรือพันองศาเซลเซียส เรียกเทคโนโลยีกลุ่มนี้ว่า เทคโนโลยีความร้อนอุณหภูมิสูง (High temperature technology) ได้แก่ ระบบรางพาราโบลิค และระบบหอคอยพลังงาน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง คือเซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) ซึ่งในปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้กันมากขึ้น เพราะการติดตั้งและการดูแลรักษาค่อนข้างสะดวก อีกทั้งอายุการใช้งานค่อนข้างยาวนาน คือประมาณ 20 ปี ซึ่งระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ด้วยกันหลักๆ 2 แบบ คือ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (standalone) กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง (grid connected) โดยแต่ละแบบก็จะมีชุดอุปกรณ์ประกอบเป็นระบบเช่น เครื่องแปลงสัญญาณไฟ (inverter) เครื่องควบคุมประจุ (charge controller) แบตเตอรี่ (battery) เป็นต้น

ใน 1 ชั่วโมง โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ประมาณ 174 Petawatts, 30% ของพลังงานนี้ถูกสะท้อนกลับไปสู่อวกาศ ที่เหลือถูกดูดซับโดยเมฆ มหาสมุทรและพื้นดิน คิดเป็น 3,850,000 exajoules ต่อปี ประมาณว่า พลังงานนี้ใน 1 ชั่วโมงมีปริมาณเกือบเท่ากับพลังงานที่โลกใช้ทั้งปี (510 EJ ในปี 2009)

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ผิวดวงอาทิตย์พื้นที่ 1 ตารางเมตร มีค่าถึงประมาณ 48,490,000 วัตต์ แต่ที่ผิวโลกบนพื้นที่ 1 ตารางเมตรเท่ากันนั้น มีพลังงานแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงเพียงประมาณ 1,000 วัตต์เท่านั้น ในส่วนของประเทศไทยซึ่งตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร จึงได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ในเกณฑ์สูง พลังงานโดยเฉลี่ยที่ได้รับทั่วประเทศประมาณ 4 ถึง 4.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน แต่ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์บนผิวโลกที่ดูมีค่าเพียงน้อยนิดนี้ เมื่อคิดเป็นปริมาณของพลังงานจากแหล่งเชื้อเพลิงที่มีอยู่ และความจำเป็นของมนุษย์เราในการใช้พลังงานเพื่อกิจกรรมต่าง ๆ แล้วไม่น้อยเลยทีเดียว เพราะพลังงานแสงอาทิตย์ที่มาถึงโลกในช่วงเวลา 1 เดือนนั้น หากคิดเป็นปริมาณพลังงานก็เท่ากับถ่านหินถึง 8×10^{12} ตัน หรือ แปรล้านล้านตันเลยทีเดียว ทั้งนี้ ดวงอาทิตย์ถือเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่สำคัญที่สุดทั้งทางตรงและทางอ้อมให้แก่โลก พลังงานที่ดวงอาทิตย์ให้แก่โลกทางตรงคือแสงสว่าง ซึ่งมีผลทำให้เกิดความร้อน สร้างความอบอุ่นให้แก่โลก พลังงานทางอ้อมคือดวงอาทิตย์ทำให้สิ่งมีชีวิตดำรงชีพอยู่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับพืชที่เจริญเติบโต โดยอาศัยการสังเคราะห์แสง ขณะที่มนุษย์ได้อาศัยพลังงานจากต้นไม้ คือการนำมาทำเป็นฟืนและถ่าน นอกจากนั้นเมื่อพืชและสัตว์ตายทับถมกันเป็นเวลานาน ๆ จะกลายเป็นถ่านหินปิโตรเลียม ซึ่งสามารถนำหลักการย่อยสลายของพืชมาทำ เป็นก๊าซชีวภาพได้อีกด้วย

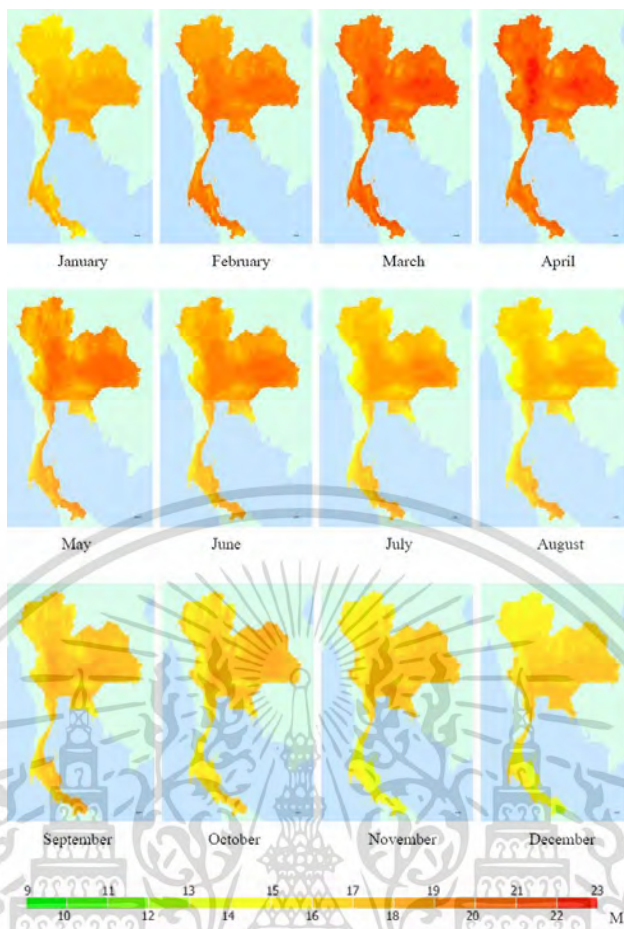
3.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำ ขึ้นกับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น หรือที่เรียกว่า “ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์” (solar intensity) มีหน่วยทางด้านพลังงานเป็น เมกกะจูลต่อตารางเมตร (MJ/m^2) โดยบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์มากก็จะมี

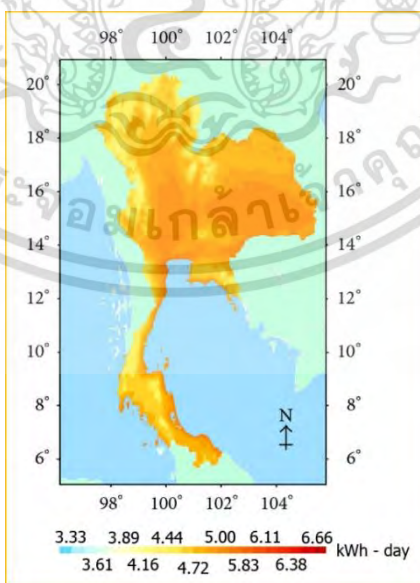
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเป็นไปตามพื้นที่ มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี กล่าวคือ ในพื้นที่หนึ่ง ๆ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาเที่ยงวัน และลดต่ำลงจนถึงช่วงเย็น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศ (air mass) ซึ่งรังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเข้ามาถึงพื้นผิวโลก และผลจากมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เช้าจนถึงเย็น สำหรับการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่เป็นผลมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยาโดยมีเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญ

โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่า การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ตามบริเวณต่าง ๆ ในแต่ละเดือนของประเทศไทย ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีจากแสงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m²-day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อัญญา นครสวรรค์ และลพบุรี โดยได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19-20 MJ/m²-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ และนอกจากนี้ยังพบว่าร้อยละ 50.2 ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 18-19 MJ/m²-day ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและบางส่วนของภาคกลาง บริเวณที่มีศักยภาพค่อนข้างต่ำมีเพียงร้อยละ 0.5 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ (บริเวณภูเขาทางด้านตะวันออกเฉียงและตะวันตกของภาคเหนือ) จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m²-day จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง



รูปที่ 3.1 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ในเดือนต่าง ๆ ของประเทศไทย
ที่มา : กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน (2559)



รูปที่ 3.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีของประเทศไทย

ที่มา : กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและการอนุรักษ์พลังงาน (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลด้านศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สรุปได้ว่าประเทศไทยนั้นมีศักยภาพทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง จึงได้มีการพัฒนาเพื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานเสนอให้การใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกทดแทนทางหนึ่ง โดยเริ่มต้นโครงการมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526 แต่พลังงานทางเลือกยังไม่เป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายมากนักในตอนนั้น (เนื่องจากน้ำมันมีราคาถูก) ซึ่งแต่ตั้งแต่ช่วงปี พ.ศ. 2540 เป็นต้นมา พลังงานทดแทนได้รับความสำคัญอีกครั้งหนึ่ง โดยพลังงานแสงอาทิตย์ก็เป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนาพลังงานทดแทนตั้งแต่ตอนนั้นเป็นต้นมาจนถึงปัจจุบัน

3.3 การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

แนวความคิดในการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อการเผาไหม้ เริ่มมีมาตั้งแต่ 212 ปีก่อนคริสต์ศักราช เมื่อมีอาร์คิมิดีสใช้แสงสะท้อนจากดวงอาทิตย์ส่องไปทำให้เกิดไฟลุกไหม้บนเรือใบของทหารโรมัน ส่วนแนวความคิดในการใช้พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้าก็เกิดขึ้นเมื่อกว่า 100 ปีมาแล้ว แต่เนื่องจากในสมัยนั้นน้ำมันยังเป็นแหล่งพลังงานที่หาง่ายและแทบไม่มีราคา จึงทำให้การพัฒนาการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ไม่มีความก้าวหน้านัก อย่างไรก็ตามในปัจจุบันด้วยปัญหาจากราคาของเชื้อเพลิงซากดึกดำบรรพ์ และปริมาณเชื้อเพลิงสำรองที่ลดน้อยลง ส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอันเกิดจากการใช้พลังงานจากซากดึกดำบรรพ์ ทำให้มีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มากขึ้น จนกระทั่งเกิดเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ (solar thermal power plant) ที่มีกำลังการผลิตขนาดใหญ่ในหลายแห่งทั่วโลก

3.3.1 ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

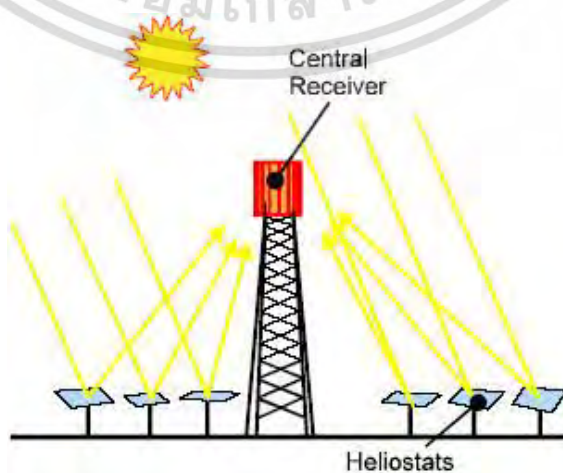
โดยพื้นฐานของการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าแบบความดันไอน้ำ คือการใช้แรงดันของไอน้ำที่ได้จากการต้มน้ำไปขับให้กังหัน (turbine) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator) เกิดการหมุนซึ่งจะผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา โรงไฟฟ้าแบบนี้โดยทั่วไปจะใช้แหล่งพลังงานจากซากดึกดำบรรพ์เป็นเชื้อเพลิงในการต้มน้ำ ดังนั้นแนวคิดในการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์จึงเป็นแนวคิดที่จะเอาพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาแทนเชื้อเพลิงจากซากดึกดำบรรพ์นั่นเอง สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยทั่วไปมีอยู่ 3 แบบ คือ แบบหอคอยพลังงาน (power tower plant) แบบรางพาราโบลิก (parabolic trough power plant) และแบบจานพาราโบลิก (parabolic dish concentrator system) ซึ่งทั้ง 3 แบบจะมีหลักการทางานที่คล้ายกันโดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจแตกต่างกันบ้างในส่วนขอรายละเอียดและรูปแบบของส่วนประกอบ ซึ่งส่วนประกอบหลักที่สาคัญของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้แก่

3.3.1.1 ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ หรือตัวรวมแสงอาทิตย์ (collector) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รับและสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ ทำให้มีการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานความร้อนหรือพลังงานรูปแบบอื่นเพื่อนำไปใช้งานต่อไป สำหรับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้านั้น จะมีลักษณะเป็นตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบรวมแสง (concentrating collector) ซึ่งการที่จะทำได้ปริมาณความร้อนจากรังสีแสงอาทิตย์มากๆ สิ่งที่ต้องพิจารณาคือการเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติในการรับและการสะท้อนแสงได้ดี เช่น กระจกเงา อะลูมิเนียมซีเทพลอน หรืออะลูมิเนียมขัดมัน เป็นต้น นอกจากนี้สิ่งที่สาคัญที่สุดคือการออกแบบและค นวณในเรื่องของทิศทางการติดตั้งตัวรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ เพื่อให้มีการรับรังสีจากแสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด และให้มีการรวมรังสีของแสงที่สะท้อนให้อยู่ในตำแหน่งที่ต้องการโดยทั่วไปจะมีระบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (solar tracker) ติดตั้งอยู่ด้วย เพื่อช่วยให้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์สามารถรับรังสีให้ได้มากที่สุดตลอดเวลาที่มีแสงอาทิตย์ ทำให้สามารถรับพลังงานความร้อนได้ยาวนานและมากพอที่จะทำให้กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องได้ ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยทั่วไปมีอยู่ 3 แบบ ซึ่งจะเรียกชื่อแตกต่างกันตามลักษณะโรงไฟฟ้าคือ

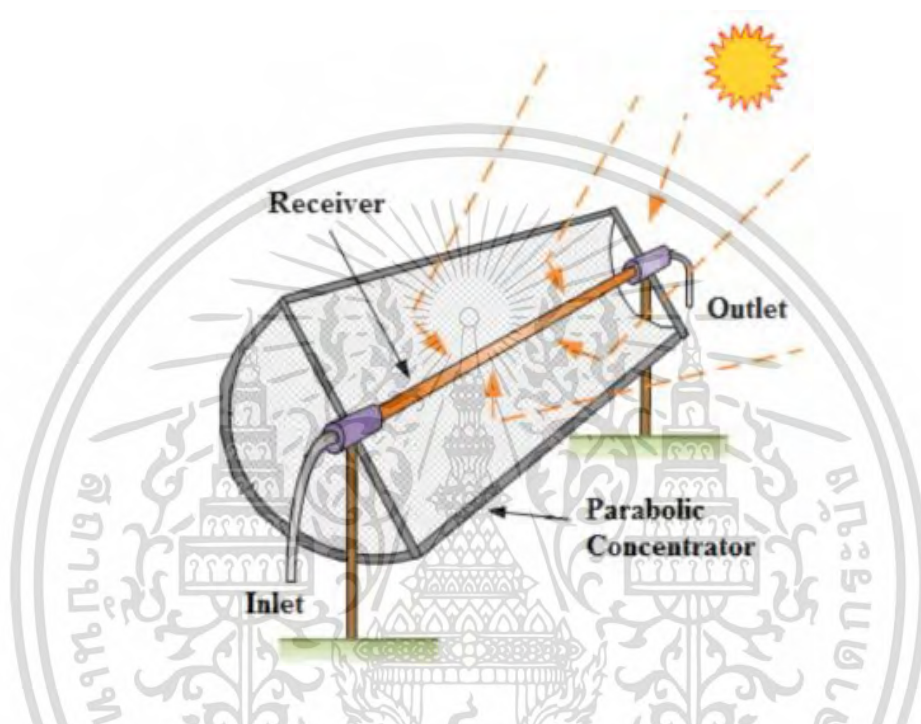
(1) ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนระบบหอคอยรวมแสง ซึ่งเรียกว่า “เฮลิโอสเตท” (heliostat) มีลักษณะเป็นแผ่นกระจกเงาเรียบหรือโค้งแล้วแต่การออกแบบ โดยทั่วไปที่ใช้กันอยู่มักเป็นแบบกระจกเงาเรียบ เฮลิโอสเตททุกตัวจะถูกออกแบบให้รับและสะท้อนแสงอาทิตย์ไปรวมตัวกันที่ตัวรับแสงสะท้อน หรือตัวรับแสงอาทิตย์ (receiver) ซึ่งถูกติดตั้งอยู่บนหอคอยสูง ลักษณะการรวมแสงแบบนี้ เรียกว่า “การรวมแสงแบบจุด” (point concentrating) ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาพแสดงการรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ของเฮลิโอสเตท

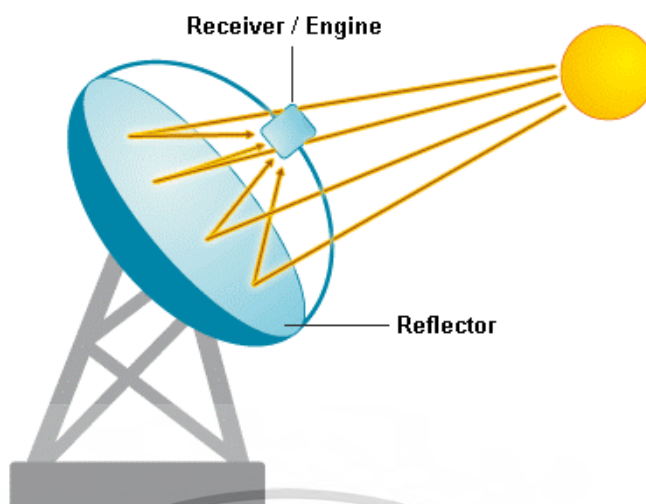
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกการดำเนินงานไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(2) ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแบบรางพาราโบลิก ซึ่งเรียกว่า “ตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลิก” (parabolic trough) มีลักษณะเป็นรางโค้งยาว ผิวด้านในของรางโค้งทำด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ดี แสงสะท้อนที่เกิดจากรางพาราโบลิกทุกตำแหน่ง ตามความยาวของรางจะไปรวมกันที่ท่อรับแสงสะท้อน หรือท่อรับแสงอาทิตย์ ลักษณะการรวมแสงแบบนี้เรียกว่าการรวมแสงแบบเส้น (line concentrating) ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพแสดงการรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ของรางพาราโบลิก

(3) ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ของระบบจานพาราโบลิก ซึ่งเรียกว่า “ตัวรับรังสีแบบจานพาราโบลิก” (parabolic dish concentrator) ผิวภายในทาด้วยวัสดุที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ดี แสงสะท้อนที่เกิดจากผิวด้านในของจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิกทุกตำแหน่ง จะไปรวมกันที่ตัวรับแสงสะท้อน หรือตัวรับแสงอาทิตย์ ซึ่งมีการรวมแสงเป็นแบบจุดเหมือนกับกรณีของหอคอยพลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ภาพ แสดงการรับและสะท้อนแสงอาทิตย์ของจานพาราโบลิค

3.3.1.2 ตัวรับแสงสะท้อน หรือตัวรับแสงอาทิตย์ (receiver) แสงสะท้อนที่มาจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบที่กล่าวมานั้น จะมีลักษณะของแสงสะท้อนที่มาถึงตัวรับแสงสะท้อนอยู่ 2 แบบ คือ แบบรวมแสงที่จุดเดียว (point focus) สำหรับระบบของโรงไฟฟ้าแบบหอคอยพลังงาน และระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิค ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.5 กับแบบรวมแสงตามเส้น (line focus) สำหรับระบบของรางพาราโบลิค ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ในกรณีของระบบจานพาราโบลิค ภายในตัวรับแสงสะท้อนจะมีความแตกต่างออกไป ซึ่งจะกล่าวต่อไปในหัวข้อ 3.3.2.3 ตัวรับแสงสะท้อนของโรงไฟฟ้าแบบหอคอยพลังงานและระบบรางพาราโบลิค ภายในจะมีท่อส หรับการไหลวนของสารท าน หรือของไหล (working fluid) เพื่อเข้าไปรับพลังงานความร้อนที่ส่วนรับแสงนี้ ท่อที่ใช้ในระบบทั้ง 2 อาจแตกต่างกันเล็กน้อย กล่าวคือในกรณีของระบบรางพาราโบลิค ส่วนใหญ่จะใช้เป็นท่อ 2 ชั้น โดยชั้นในเป็นท่อส หรับการน ความร้อนให้แก่สารท านที่อยู่ภายใน ซึ่งสารท านจะไหลผ่านเข้ามาเพื่อรับเอาพลังงานความร้อน ส่วนชั้นนอกมักท าเป็นท่อสุญญากาศ หรือท่อที่ใส่จ าพวกก๊าซเฉื่อยไว้เพื่อช่วยลดการสูญเสียความร้อนจากการคายความร้อนของสารท านในท่อชั้นใน

สารท านที่ใช้ในระบบอาจจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันเช่น ในบางระบบจะใช้น้ำเป็นสารท าน ซึ่งเมื่อนำน้ำ ไหลเข้าไปในท่อและผ่านเข้าไปในส่วนรับแสงสะท้อน จะท าน้ำ นามีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดเดือด และกลายเป็นไอน้ำที่มีความดันสูง ไอน้ำนี้จะถูกส่งไปหมุนกังหันของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อผลิตไฟฟ้า หรือในบางระบบอาจใช้สารท านอย่างอื่น เช่น เกลืออมอลเทน (molten rock salt) หรือ น้ำมันสังเคราะห์ (synthetic oil) เป็นต้น สารเหล่านี้เมื่อได้รับความร้อนจากบริเวณส่วนที่รับแสงสะท้อนแล้วจะท าน้ำที่เป็นตัวกลางในการนำความร้อนแล้วไปถ่ายเทให้กับน้ำ ซึ่งเมื่อน้ำได้รับความ

ร้อนจะทำให้ น้ำมันเดือดและระเหยกลายเป็นไอจึงสามารถหมุนกังหันของเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าได้ สารท างานที่ควรมีคุณสมบัติคือ มีค่าความจุความร้อนและค่าการนำความร้อนสูง

3.3.1.3 ระบบเก็บสะสมพลังงาน (energy storage system) เป็นแหล่งเก็บสะสมพลังงานสำรองของระบบเพื่อไว้ในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์ เช่น ในตอนกลางคืน หรือในช่วงที่มีแสงอาทิตย์แต่มีไม่มากพอ เช่น ในตอนเช้า ตอนเย็น ช่วงที่มีเมฆหรือฝนตก เป็นต้น การเก็บสะสมพลังงานที่ใช้ในระบบเหล่านี้มักเก็บไว้ในวัสดุที่มีคุณสมบัติในการเก็บความร้อนได้ดี เช่น น้ำมันสังเคราะห์ เกลือมอลเทน หินน้ำมัน เป็นต้น โดยวัสดุเหล่านี้จะถูกบรรจุไว้ในถังเก็บสะสมพลังงาน (storage tank) ซึ่งมีการออกแบบเฉพาะให้สามารถเก็บรักษาความร้อนได้เป็นอย่างดี

3.3.2 โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

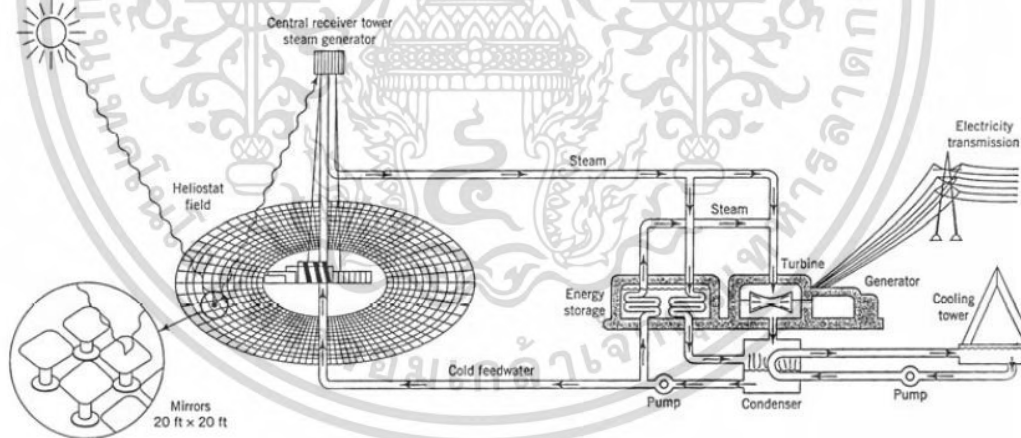
โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบหอคอย และแบบรางพาราโบลิก จะมีหลักการทำงานและส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกัน ยกเว้นรูปแบบของตัวรับ-ตัวสะท้อนแสงอาทิตย์และความแตกต่างในด้านความสามารถในการผลิตอุณหภูมิ ส่วนแบบงานพาราโบลิกนั้น ถึงแม้จะมีหลักการในการรวมแสงเหมือนกัน แต่วิธีการประยุกต์ใช้นั้นจะแตกต่างกันไปจากแบบอื่นๆ

3.3.2.1 โรงไฟฟ้าแบบหอคอยพลังงาน หรืออาจเรียกว่าแบบรับแสงที่ศูนย์รวม (central receiver) โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์แบบนี้ ได้มีการออกแบบ สร้าง และทำการทดลองผลิตกระแสไฟฟ้าครั้งแรก เมื่อต้นปี ค.ศ. 1980 ที่เมืองบาร์สโทว์ รัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา ซึ่งถือว่าเป็นแห่งแรกที่มีการสร้างขนาดใหญ่และผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาใช้งานจริง โดยมีกำลังการผลิตขนาด 10 เมกะวัตต์ มีตัวสะท้อนแสงหรือเฮลิโอสเตจ ราว 1,900 ตัว แต่ละตัวมีขนาด 20x20 ตารางฟุต ถูกติดตั้งบนขาตั้งพร้อมตัวติดตามแสงอาทิตย์ซึ่งคอยควบคุมให้ตัวสะท้อนแสงหมุนติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ และควบคุมให้แสงสะท้อนจากตัวสะท้อนนี้ไปตกกระทบบนที่ตัวรับแสงสะท้อนซึ่งอยู่บนยอดหอคอย ตัวสะท้อนแสงแต่ละตัวจะถูกยึดติดกับพื้นและวางไว้รอบหอคอย ส่วนตัวรับแสงสะท้อนถูกติดตั้งบนหอคอยสูง 295 ฟุต ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ส่วนผังแสดงการทำงานของโรงไฟฟ้าแบบนี้แสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 โรงไฟฟ้าแบบหอคอยพลังงาน ที่เมืองบาร์สโรว์ ในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา

ในปัจจุบันโรงไฟฟ้าแบบนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นในหลายพื้นที่ของหลายประเทศ บางแห่งเป็นโรงไฟฟ้าเชิงพาณิชย์เรียบร้อยแล้ว และบางแห่งกำลังทำการวิจัยและพัฒนา โดยในปัจจุบันโรงไฟฟ้าแบบนี้สามารถผลิตอุณหภูมิได้สูงกว่า 1,500 องศาเซลเซียส และสามารถสร้างให้มีขนาดกำลังการผลิตสูงกว่า 200 เมกะวัตต์



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการทำงาน of โรงไฟฟ้าแบบหอคอยพลังงาน

3.3.2.2 โรงไฟฟ้าแบบรางพาราโบลา โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแบบนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นเป็นชุดแรกในปี ค.ศ. 1983 ในบริเวณทะเลทรายโมจาวิ ซึ่งอยู่ทางใต้ของรัฐแคลิฟอร์เนีย โดยบริษัทลูซอินเตอร์เนชั่นแนล (Luz International) ดังแสดงในรูปที่ 3.8 โดยมีขนาดกำลังการผลิต 13.8 เมกะวัตต์ และหลังจากนั้นได้มีการพัฒนาสร้างโรงไฟฟ้าในรูปแบบเดียวกันอีก 8 ชุด ซึ่งมีขนาดกำลังการผลิตแตกต่างกัน โรงไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดใน 9 โรงนี้คือโรงสุดท้ายมีขนาดกำลังการผลิตถึง 80 เมกะวัตต์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากผู้เกี่ยวข้อง หากต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อผู้เกี่ยวข้อง

โดยมีพื้นที่ของรางพาราโบลิกทั้งสิ้น 464,000 ตารางเมตร ทั้งหมดนี้ถูกสร้างแล้วเสร็จเมื่อปี ค.ศ. 1990 เป็นผลให้ต้นทุนการก่อสร้างโรงไฟฟ้าต่อกิโลวัตต์ลดลงจากชุดแรกถึงร้อยละ 50 รวมกำลังการผลิตในช่วงเวลาดังกล่าวทั้งสิ้น 354 เมกะวัตต์ ในปัจจุบันตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ของโรงไฟฟ้าแบบนี้ได้รับการพัฒนาจนสามารถทำอุณหภูมิสูงถึง 400 องศาเซลเซียส และสามารถสร้างให้มีขนาดกำลังการผลิตสูงกว่า 100 เมกะวัตต์



รูปที่ 3.8 โรงไฟฟ้าแบบรางพาราโบลิก ที่ทะเลทรายโมจาวิ ในรัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา

3.3.2.3 โรงไฟฟ้าแบบจานพาราโบลิก เป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าจากระบบจานพาราโบลิก มีการประยุกต์ใช้อยู่ 2 ระบบ คือ ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายนอก (External combustion engine) กับเครื่องยนต์ไอน้ำขนาดเล็ก (small steam engine) แต่ที่นิยมกันมากคือการใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายนอก เพราะสามารถทำอุณหภูมิให้สูงได้ถึง 1,000 องศาเซลเซียส และมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานถึงร้อยละ 30 ส่วนประยุกต์ใช้กับเครื่องยนต์ไอน้ำขนาดเล็กนั้น จะมีความยุ่งยากเมื่ออุณหภูมิสูงเกิน 700 องศาเซลเซียสขึ้นไป หลักการทำงานของระบบจานพาราโบลิกที่ใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายนอกคือ เมื่อแสงสะท้อนมารวมกันที่ส่วนรับแสงสะท้อน สารทำงานซึ่งเป็นของเหลวที่บรรจุอยู่ในส่วนรับแสงสะท้อนได้รับพลังงานความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น พลังงานความร้อนจากสารทำงานจะถ่ายเทให้กับอากาศหรือก๊าซที่อยู่ภายในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ เมื่อก๊าซได้รับความร้อนจะเกิดการขยายตัวไปดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ และเมื่ออุณหภูมิของก๊าซลดลงลูกสูบก็จะเคลื่อนที่กลับ การเคลื่อนที่ที่กลับไปมาของลูกสูบนี้เมื่อนำไปต่อเข้ากับ ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะสามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ ขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบจานพาราโบลิกแบบชุดเดียวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 7-25 กิโลวัตต์ แต่สามารถทำให้ได้ขนาดกำลังการผลิตที่มากขึ้นโดยการประกอบต่อกันหลายๆ ชุด ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะของโรงไฟฟ้าแบบจานพาราโบลิก

3.4 การสูญเสียความร้อนของการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

การสูญเสียความร้อนจากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ประกอบด้วย

- การสูญเสียที่เกิดจากการรั่วไหล กล่าวคือเมื่อรังสีแสงอาทิตย์ตกลงบนตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แล้วสะท้อนไปยังตัวรับแสงสะท้อน ไปตกกระทบภายนอกหรือรับแสงของตัวรับแสงสะท้อน
- การสูญเสียที่เกิดจากเงา กล่าวคือรังสีแสงอาทิตย์ถูกบดบังจากตัวรับแสงสะท้อน
- การสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อน กล่าวคือเมื่อพลังงานจากการสะท้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ถูกกระจายออกไป การสูญเสียประเภทนี้ เกิดจากความสามารถในการสะท้อนของวัสดุ เช่น ความสกปรก, ปัญหาผิวสะท้อน ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาใช้ในการสะท้อนรังสีของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์
- การสูญเสียที่เกิดจากการส่งผ่าน กล่าวคือพลังงานที่สูญหายไปในอากาศ จากการที่รังสีแสงอาทิตย์ตกลงบนตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แล้วสะท้อนไปยังตัวรับแสงสะท้อน ขณะที่แสงสะท้อนกำลังเคลื่อนที่ได้มีการสูญหายระหว่างทางที่เคลื่อนไปยังตัวรับแสงสะท้อน
- การสูญเสียที่เกิดจากการดูดกลืน กล่าวคือเมื่อพลังงานจากการสะท้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์เข้ามายังตัวรับแสงสะท้อน ถูกดูดกลืนด้วยวัสดุที่ใช้ในการทำตัวรับรังสีด้วยอาทิตย์ ซึ่งทำให้เกิดความเค้นทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ความร้อนและพลังงานความร้อน (Heat and thermal energy)

พลังงานภายใน คือ พลังงานทั้งหมดของระบบในเมื่อระบบไม่มีการเคลื่อนที่ทั้งแบบเลื่อนต หนึ่งและหมุน ได้แก่ พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานเคมี และพลังงานที่เกิดจากความเครียด เช่น การอัด หรือยืดสปริง พลังงานความร้อน (Thermal energy) เป็นส่วนหนึ่งของพลังงานภายในที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของระบบ การส่งถ่ายพลังงานความร้อน (Thermal energy transfer) เป็นการส่งถ่ายพลังงานความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างระบบกับสิ่งแวดล้อม การส่งถ่ายพลังงานความร้อนนี้อาจท ให้พลังงานภายในของระบบเปลี่ยนแปลงหรือไม่ก็ได้

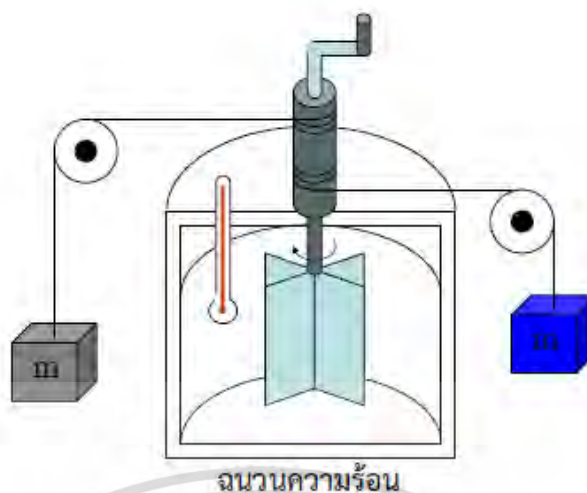
ค ข่า ความร้อน (Heat) มักจะใช้เมื่อต้องการอธิบายการถ่ายเทพลังงานจากสิ่งหนึ่งไปยังอีก สิ่งหนึ่ง นั่นคือ “การไหลของความร้อน (Heat flow)” เป็นการถ่ายเทพลังงานจากวัตถุที่มีอุณหภูมิ ต่างกัน ดังนั้นความร้อนจึงเป็นค่าที่ใช้ในความหมายของพลังงานความร้อนและการส่งถ่ายพลังงาน ความร้อน หน่วยของปริมาณความร้อน (Q) ที่ใช้กันทั่วไปคือ แคลอรี (Calorie ; cal) ซึ่งเป็นปริมาณ ความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของน้ำมวล 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มจาก 14.5 องศาเซลเซียส ไปเป็น 15.5 องศาเซลเซียส ดังนั้น กิโลแคลอรี (Kilocalorie; Kcal) จะเป็นปริมาณความร้อนที่ทำให้ให้น้ำมวล 1 กิโลกรัม มีอุณหภูมิเพิ่มจาก 14.5 องศาเซลเซียส ไปเป็น 15.5 องศาเซลเซียส (1 กิโลแคลอรี = 103 แคลอรี) หน่วยของความร้อนในระบบวิศวกรรมของอังกฤษคือ บีทียู (British Thermal Unit ; BTU) ซึ่งหมายถึงปริมาณความร้อนที่ทำให้ น้ำ 1 ปอนด์ มีอุณหภูมิเพิ่มจาก 63 องศาฟาเรนไฮต์ ไปเป็น 64 องศาฟาเรนไฮต์ เนื่องจากความร้อนเป็นพลังงาน จึงสามารถเขียนหน่วยในภาพแบบต่างๆ ได้ตามแต่ สะดวก เช่น จูล อิเล็กตรอน- โวลต์ เอิร์ก หรือ ฟุต-ปอนด์ ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างแคลอรีและ หน่วยของพลังงานกลที่ได้จากการทดลองของจูล (Joule) คือ

$$1 \text{ calorie} = 4.186 \text{ J} \quad (1)$$

ผลลัพธ์นี้เรียกว่า สมมูลกลของความร้อน (Mechanical equivalent of heat)

เมื่อมีแรงเสียดทานในระบบเชิงกล พลังงานบางส่วนสูญเสียไปในรูปแบบของความร้อน ทาให้ พลังงานในระบบเชิงกลนั้นไม่อนุรักษ์ จูลได้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกลและพลังงาน ความร้อนด้วย ชุดทดลองตามรูปที่ 3.10 ประกอบด้วยภาชนะที่เป็นฉนวนความร้อนที่ใช้บรรจุ น้ำ งาน ที่ท ทำขึ้น เกิดจากการหมุนใบพัดด้วยอัตราเร็วคงที่ โดยมีมวลมาถ่วงทาให้เกิดความร้อนจากแรงเสียด ทาน ถ้าไม่มีพลังงานสูญเสียไปในผนังของภาชนะและส่วนที่เป็นเพลาหมุนแล้ว พลังงานศักย์ของมวล จะเท่ากับงานที่ใบพัดทากับน้ำ ถ้ามวลถ่วงทั้งสองตกลงมาเป็นระยะ h พลังงานศักย์ที่สูญเสียไปจะ เท่ากับ $2 mgh$ ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะทำให้น้ำร้อนขึ้น จากการทดลองพบว่าพลังงานกลนี้เป็นสัดส่วน โดยตรงกับมวลของน้ำและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยค่าคงที่ของสัดส่วนที่ทดลองได้เท่ากับ 4.18 จูลต่อ

กรัม·องศาเซลเซียส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 การทดลองความสมดุลระหว่างพลังงานกลและพลังงานความร้อน
ที่มา (ปรับปรุงจาก Serway, 2008, หน้า 555)

3.6 ความจุความร้อนและความร้อนจำเพาะ (Heat capacity and specific heat)

เมื่อสารได้รับความร้อนอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเสมอและถ้าได้รับปริมาณความร้อนมากพอจะมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะ (Phase) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความจุความร้อนของสารแต่ละชนิดซึ่งไม่เท่ากัน ความจุความร้อน (Heat capacity; C') เป็นปริมาณของพลังงานความร้อนที่ท ให้อุณหภูมิของสารใดๆ เพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส ทั้งนี้สารแต่ละชนิดต้องการปริมาณพลังงานความร้อนไม่เท่ากัน เช่น ความร้อนที่ทให้น้ำ 1 กรัม มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส เท่ากับ 1 แคลอรี หรือในกรณีของคาร์บอนจะเท่ากับ 0.12 แคลอรีเป็นต้น ดังนั้นจากนิยามจึงกล่าวได้ว่าความจุความร้อนของน้ำ 1 กรัม คือ 1 แคลอรีต่อองศาเซลเซียส และความจุความร้อนของคาร์บอน 1 กรัม คือ 0.12 แคลอรีต่อองศาเซลเซียส

ความร้อนจำเพาะ (Specific heat; C) เป็นปริมาณที่ใช้บ่อยที่สุดในทางปฏิบัติ ซึ่งนิยามว่าเป็นความจุความร้อนต่อหน่วยมวล ถ้ามีปริมาณความร้อน Q หน่วย ถูกถ่ายเทให้กับมวล m กิโลกรัมแล้วท ให้อุณหภูมิเปลี่ยนไป ΔT ความจุความร้อนของสาร คือ

$$C = \frac{Q}{m \cdot \Delta T} \quad (2)$$

จากสมการ (7) สามารถเขียนปริมาณความร้อน Q ที่ส่งถ่ายระหว่างสารมวล m กับสิ่งแวดล้อมแล้วท ให้อุณหภูมิเปลี่ยนไป ΔT เป็น

$$Q = mc\Delta T \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ความร้อนแฝง (Latent heat)

สารต่าง ๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเสมอเมื่อมีการถ่ายเทความร้อนระหว่างสารนั้นกับสิ่งแวดล้อม มีบางปรากฏการณ์ที่การเปลี่ยนแปลงความร้อนไม่มีผลทำให้อุณหภูมิของสารเปลี่ยนแปลง ปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้น เมื่อคุณลักษณะเฉพาะทางกายภาพของสารเปลี่ยนแปลงจากภาพหนึ่งไปเป็นอีกภาพหนึ่ง หรือเรียกว่า “การเปลี่ยนสถานะ (Phase change)” เช่น เปลี่ยนจากสถานะของแข็งไปเป็นของเหลว เปลี่ยนจากสถานะของเหลวไปเป็นก๊าซ และการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกของของแข็ง การเปลี่ยนแปลงที่กล่าวมานี้ จะเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงานภายใน และพลังงานที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสถานะนี้เรียกว่า “ความร้อนของการแปลงภาพ (Heat of transformation)”

พิจารณาตัวอย่างของความร้อนที่ใช้ทำให้น้ำแข็งอุณหภูมิ -30 องศาเซลเซียส กลายเป็นไอน้ำ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เริ่มแรกความร้อนที่ส่งถ่ายไปในก้อนน้ำแข็งจะทำให้มันกลายเป็นน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส นั่นคือ ในช่วงแรกนี้สถานะของน้ำแข็งยังคงเดิม จนกระทั่งได้รับความร้อนเพิ่มขึ้น น้ำแข็งจะเริ่มละลายกลายเป็นน้ำ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะจากของแข็งไปเป็นของเหลว แต่ช่วงแรกของการเปลี่ยนสถานะนี้ ยังคงเป็นน้ำ ที่ 0 องศาเซลเซียส ต่อเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นจุดเดือดของน้ำ เมื่อน้ำเดือดได้รับความร้อนจะยังคงมีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส แต่จะเปลี่ยนไปเป็นไอน้ำซึ่งเป็นสถานะก๊าซ ความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสารบริสุทธิ์มวล m ก หนดเป็น

$$Q = mL \quad (4)$$

เมื่อ L เป็นความร้อนแฝงของสาร และขึ้นกับธรรมชาติของการเปลี่ยนสถานะของสาร แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

- ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization; L_v) เป็นปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารจากของเหลวให้กลายเป็นสถานะก๊าซ โดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง

- ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (Latent heat of fusion; L_f) เป็นปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสารจากของแข็งไปเป็นของเหลว โดยไม่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง

3.8 การถ่ายโอนความร้อน

ความร้อนจะถ่ายโอนหรือส่งผ่านจากวัตถุที่มีระดับความร้อนสูง(อุณหภูมิสูง) ไปสู่วัตถุที่มีระดับความร้อนต่ำ (อุณหภูมิต่ำ) การถ่ายโอนความร้อนมี 3 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1 การนำความร้อน (Heat Conduction) คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาค เป็นหนึ่งในกระบวนการถ่ายเทความร้อนในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ (คล้ายการนำไฟฟ้าในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพการนำความร้อนต่ำ เป็นผลมาจากการสั่นของโมเลกุลข้างเคียงในก๊าซ) การนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นสะท้อนระหว่างโมเลกุลหรือกล่าวคือการนำความร้อนเป็นลักษณะการถ่ายเทความร้อนผ่านของแข็งหรือผ่านของไหลที่อยู่กับที่โดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับกาน้ำร้อน จะทำให้ความร้อนจากกาน้ำถ่ายเทไปยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น วัสดุใดจะนำความร้อนดีหรือไม่ดี อันเป็นผลมาจากอุณหภูมิที่แตกต่างกัน การนำความร้อนต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา (\dot{q}) ในสภาวะคงตัวคำนวณได้จากกฎของฟูเรียร์ (Fourier's Law) คือ

$$\dot{q} = -k\Delta T \quad (5)$$

โดย k เป็นค่าสภาพนำความร้อน (Thermal Conductivity) และสำหรับการเปลี่ยนอุณหภูมิในทิศทางเดียว (ทิศทาง x) ภายใต้สภาวะคงตัวจะได้

$$\dot{q}_u = \frac{\dot{Q}}{A} = -k \frac{dt}{dx} \quad (6)$$

3.8.2 การพาความร้อน (Heat Convection) เป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นได้ในสสารสองสถานะคือ ของเหลวและก๊าซ เนื่องจากเป็นสิ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยจะมีทิศทางลอยขึ้นเท่านั้น เมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นต่ำลง และสสารที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า (ความหนาแน่นสูงกว่า) ก็จะลงมาแทนที่ ในสภาวะคงตัว สำหรับการพาความร้อนแบบบังคับ พลักซ์ความร้อน (\dot{q}) ที่ถ่ายเทไปยังผิวของแข็งที่อุณหภูมิ T_w จากของไหลที่ไหลที่อุณหภูมิ T สามารถหาได้จากสมการ คือ

$$\dot{q} = h_c(T - T_w) \quad (7)$$

โดย h_c เป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer Coefficient) สำหรับรูปแบบของการไหลจ นวนมาก (ได้แก่การไหลผ่านท่อ หรือการไหลบนแผ่นราบ)

ประเภทของการพาความร้อน

1. การพาความร้อนแบบธรรมชาติหรือแบบอิสระ (Natural or Free Convection)

- การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยไม่มีกลไกใดๆ ทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่เกิดจากแรงลอยตัวของของไหลเอง

- แรงลอยตัวเกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น ที่มีอุณหภูมิของของไหลแตกต่างกัน ใน 2 บริเวณ

2. การพาความร้อนแบบบังคับ (Forced Convection)

- การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอก เช่น พัดลม เครื่องสูบลม

3.8.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีเกิดขึ้นโดยการปล่อยและการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากผิวตัวกลางหนึ่งไปสู่อีกผิวตัวกลางหนึ่งที่มีอุณหภูมิแตกต่างกัน ในเครื่องยนต์เผาไหม้ภายใน การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีเกิดขึ้นจากแก๊สที่ได้จากการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงและที่บริเวณเปลวไฟไปยังผนังห้องเผาไหม้ ซึ่งในเครื่องยนต์จุดระเบิดด้วยประกายไฟ การแผ่รังสีความร้อนจะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อน แต่จะมีค่ามากพอควรในเครื่องยนต์ดีเซล นอกจากนี้ยังมีการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีไปสู่สิ่งแวดล้อมจากผิวด้านนอกของเครื่องยนต์ที่ร้อนอีกด้วย

ทฤษฎีของการแผ่รังสีความร้อนเริ่มต้นจากหลักการของวัตถุดำ (black body) ซึ่งก็คือวัตถุที่มีผิวที่ปล่อยและดูดกลืนรังสีของทุกความยาวคลื่นได้ดีพอๆกัน และไม่สะท้อนรังสีกลับออกไป ฟลักซ์ความร้อนจากวัตถุดำระนาบเดียวที่อุณหภูมิ T_1 กับวัตถุดำอีกชิ้นหนึ่งที่อุณหภูมิ T_2 ซึ่งอยู่ขนานกันผ่านบริเวณที่ไม่มีวัตถุดูดกลืนรังสี จะได้เป็น

$$\dot{q} = \sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (8)$$

โดย σ เป็นค่าคงตัวของสเตฟาน - โบลต์ซมันน์ มีค่าเท่ากับ $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ สำหรับผิวจริงจะมีการสะท้อนรังสีปริมาณหนึ่งซึ่งขึ้นอยู่กับความยาวคลื่น ส่วนแก๊สจะมีคุณสมบัติที่ต่างไปจากวัตถุดำมาก ความแตกต่างจากวัตถุดำนี้จะกำหนดโดยสภาพเปล่งรังสี emissivity, ϵ จากสมการ (ด้านบน) จะเขียนได้เป็นฟลักซ์ความร้อนของการแผ่รังสีของผิวจริง คือ

$$\dot{q} = \epsilon\sigma(T_1^4 - T_2^4) \quad (9)$$

3.9 เซนทรอยด์ (Centroid) หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุ

หมายถึง จุดศูนย์กลางทางเรขาคณิตของวัตถุนั้น แต่ถ้าจะพิจารณาถึงสมบัติทางฟิสิกส์ของวัตถุแล้วมักจะใช้เป็น จุดศูนย์กลางมวล อย่างไรก็ตาม จุดศูนย์กลาง (Centroid) และจุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass) จะเป็นจุดเดียวกันเมื่อวัตถุนั้นมีความหนาแน่นสม่ำเสมอและถ้าหากวัตถุมีความหนาแน่นไม่สม่ำเสมอแล้ว จุดดังกล่าวทั้งสองจะไม่ทับกัน การบอกตำแหน่งของจุด Centroid ของวัตถุรูปร่างใด ๆ มักจะบอกในเทอมของระยะค่าเฉลี่ยของโคออร์ดิเนตในระบบพิกัดฉาก (x, y, z) ซึ่งการหาจุดเซนทรอยด์ หรือจุดศูนย์กลางของวัตถุสามารถแบ่งแยกตามรูปร่างของวัตถุได้ 3 ชนิด คือ เส้น พื้นที่ และปริมาตร

เซนทรอยด์ของวัตถุทรงนูน (convex) จะอยู่ในวัตถุนั้นเสมอ สำหรับรูปสามเหลี่ยมจะเป็นจุดที่เส้นมัธยฐานทั้งสามตัดกันพอดี ส่วนวัตถุที่ไม่เป็นทรงนูน เซนทรอยด์อาจอยู่นอกวัตถุก็ได้ ตัวอย่างวัตถุเช่น แหวนหรือถ้วย เซนทรอยด์จะอยู่กึ่งกลางช่องว่างระหว่างวัตถุ

ถ้าหากเซนทรอยด์ได้ถูกนิยามขึ้นมาแล้ว จุดนั้นจะเป็นจุดตรึง (fixed point) สำหรับสามมิติ (isometry) ทั้งหมดในกลุ่มสมมาตร (symmetry group) โดยเฉพาะเซนทรอยด์ของวัตถุที่อยู่บนจุดตัดของระนาบเกินทั้งหมดของความสมมาตร เซนทรอยด์ของรูปทรงหลายชนิด (อาทิ รูปหลายเหลี่ยมปกติ ทรงหลายหน้าปรกติ ทรงกระบอก รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน รูปวงกลม ทรงกลม รูปวงรี ทรงรี super ellipsoid ฯลฯ) สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการข้างต้น

3.10 คุณสมบัติของวัสดุ

3.10.1 อลูมิเนียม (Aluminium) ถือเป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากทั้งในภาคอุตสาหกรรม และภาคครัวเรือน สำหรับภาคอุตสาหกรรมใช้ในการผลิตอลูมิเนียมผสม และผลิตภัณฑ์อลูมิเนียม ส่วนภาคครัวเรือนมีการใช้กันมากในการก่อสร้าง และตกแต่งบ้าน ทดแทนไม้และเหล็ก เนื่องจากเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติคงทนต่อการหัก ความร้อน การกัดกร่อน น้ำหนักเบา และมีความสามารถในการสะท้อนแสง และความร้อนได้ดี มักใช้ในงานก่อสร้าง งานตกแต่ง เช่น การทำประตู หน้าต่าง ฝ้า รวากัน และโครงสร้างต่างๆ

คุณสมบัติอลูมิเนียม

อลูมิเนียมมีจุดหลอมละลายที่ 660 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา รับภาระน้ำหนักได้สูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสียงต่อรอยร้าว และการแตกหัก ไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ โดยเฉพาะการนำมาผสมกับโลหะอื่นๆแล้วจะทำให้คุณสมบัติต่างๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น จุดหลอมเหลวของอลูมิเนียมผสมจะอยู่ที่ 1140-1205 องศาเซลเซียส จึงนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่างๆ รวมถึงวัสดุหรือภาชนะที่เกี่ยวข้องกับอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ตัวอย่างลักษณะของอลูมิเนียม

ประโยชน์อลูมิเนียม

- ด้านการก่อสร้าง

มักใช้เป็นโครงสร้าง และวัสดุตกแต่งในงานต่างๆ เช่น โครงสร้างเสา กอบประตู หน้าต่าง รั้วราวกัน บันได เนื่องจากมีคุณสมบัติคงทน น้ำหนักเบา และอื่นๆ ซึ่งสามารถทดแทนไม้ และเหล็กได้เป็นอย่างดี

- ด้านการขนส่ง

มักใช้เป็นวัสดุโครงสร้างในอุตสาหกรรมรถยนต์ เนื่องจากมีน้ำหนักเบา ไม่เป็นสนิม มีอายุการใช้งานมากกว่าวัสดุอื่นๆ และสามารถรับแรงกด แรงกระแทกได้มาก จึงนิยมนามาใช้เป็นชิ้นส่วนรถยนต์ เครื่องบิน รถไฟ และยานพาหนะอื่นๆ

- ด้านบรรจุภัณฑ์

อลูมิเนียมนิยมนามาผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับบรรจุอาหาร และเป็นภาชนะสำหรับประกอบอาหาร เช่น ฟอยล์ครอบอาหาร กระจ่างบรรจุอาหาร งาน ชาม หม้อ กระทะ เป็นต้น เนื่องจากเป็นโลหะที่ไม่ทำ ปฏิกิริยากับอาหารหรือสารเคมีอื่นๆ ไม่เกิดสนิม และทนต่อความร้อน การกัดกร่อนได้ดี

- อุตสาหกรรมไฟฟ้า

มักใช้อลูมิเนียมเป็นส่วนประกอบของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ สายไฟฟ้า เนื่องจากเป็นสื่อ นำไฟฟ้าได้ดี มีน้ำหนักเบา มีความคงทน และไม่เกิดสนิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10.2 เหล็กกล้าไร้สนิมหรือสแตนเลส (Stainless steel) เป็นศัพท์ทั่วไปที่ใช้เรียกเหล็กในกลุ่มที่มีความต้านทานทานการกัดกร่อนสูง สแตนเลสเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน ซึ่งส่วนประกอบจะมีปริมาณคาร์บอนต่ำ มีโครเมียม เป็นส่วนผสมหลัก ประมาณ 10.5 % หรือมากกว่า ทำให้เกิดการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ (chromium oxide film : CrO₂ หรือเรียกว่า passive film) ที่มองไม่เห็นเกาะติดแน่นอยู่ที่ผิวหน้าทำให้เหล็กกล้า มีความต้านทานการกัดกร่อน ฟิล์มปกป้องกันี้จะมีความบางเทียบเท่ากับวงกระดาษ 1 แผ่นบนตึกสูง 20 ชั้น ถ้าฟิล์มที่ผิวหน้านั้น ถูกทำลายไม่ว่าจากแรงกล สารเคมี หรือออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศ แม้จำนวนน้อยนิดจะเข้าทำปฏิกิริยากับโครเมียม สร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ทดแทนขึ้นใหม่ด้วยตัวมันเอง

สแตนเลส สามารถปรับปรุงคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนและสมบัติอื่นๆที่ต้องการ ให้สูงขึ้นได้โดยการเพิ่มส่วนผสมของโครเมียมและเพิ่มธาตุอื่นๆเช่น โมลิบดีนัม นิกเกิลและไนโตรเจน เข้าไป สแตนเลส มีอยู่มากกว่า 60 ชนิด ด้วยคุณสมบัติที่ไม่เหมือนใคร เช่น ยากต่อการขึ้นสนิมเมื่อเทียบกับโลหะหรือวัสดุชนิดอื่นๆ ค่าบำรุงรักษาต่ำ ยากต่อการเชื่อมและการขึ้นรูป ระยะเวลาการใช้งานคุ้มค่างบราคา และสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ทั้งหมด จึงทำให้สแตนเลส เป็นโลหะที่ทรงคุณค่า คุณสมบัติและประโยชน์ใช้สอยที่ไร้ขีดจำกัด



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างลักษณะของเหล็กกล้าไร้สนิมหรือสแตนเลส

ประเภทของสแตนเลส

โดยทั่วไปสแตนเลสแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ตามโครงสร้างคือ ออสเทนนิติก เฟอร์ริติก ดูเพล็กซ์ มาร์เทนซิติก และเหล็กกล้าชุบแข็งแบบตกผลึก

- ตระกูลออสเทนนิติก (Austenitic) หรือที่รู้จักกันใน "ซีรีส์ 300" ซึ่งประมาณได้ว่า 70

เปอร์เซ็นต์ของการผลิตสแตนเลสในโลกนี้เป็นสแตนเลสตระกูลออสเทนนิติก ที่ประกอบด้วยคาร์บอน

ไม่ต่ำกว่า 0.02% ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างน้อย 0.15 เปอร์เซ็นต์ มีส่วนผสมของโครเมียมอย่างน้อย 16 เปอร์เซ็นต์ และ นิกเกิล หรือซึ่งช่วยปรับปรุง คุณสมบัติในการขึ้นรูปประกอบและเพิ่มความทนทานต่อการกัดกร่อน บางเกรดจะมีแมงกานีสผสมอยู่ด้วย โดยทั่วไปจะมีโครเมียม 18 เปอร์เซ็นต์ นิกเกิล 10 เปอร์เซ็นต์ และมักเรียกกันว่า 18/10 ซึ่งคล้ายกับ 18/0 และ 18/8

- ตระกูลเฟอร์ริติก (Ferritic) มีสมบัติดูดแม่เหล็ก มีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักระหว่าง 10.5-27 เปอร์เซ็นต์ บางเกรดผสมนิกเกิลลงไปเล็กน้อย บางเกรดผสมโมลิบดีนัม หรืออลูมิเนียม ไททาเนียม

- ตระกูลมาร์เทนซิติก (Martensitic) เป็น ตระกูลที่มีความต้านทานการกัดกร่อนน้อยกว่าอสเทนนิติก และเฟอร์ริติก แต่มีความทนทานและแข็งแรงมากกว่า มีคุณสมบัติดูดแม่เหล็ก โดยทั่วไปจะมีส่วนผสมของโครเมียม 12 -14 เปอร์เซ็นต์ โมลิบดีนัม 0.2-1 เปอร์เซ็นต์ มีนิกเกิล 0-2 เปอร์เซ็นต์ และมีคาร์บอนผสม อยู่ประมาณ 0.1-1 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถชุบแข็งได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วและอบ คืบตัว โดยทั่วไปจะรู้จักกันใน "ซีรีส์ -00"

- ตระกูลดูเพล็กซ์ (Duplex) เนื่องจากมีโครงสร้างผสมระหว่าง โครงสร้างเฟอร์ไรต์และอสเทนไนต์ จึงทำให้มีความแข็งแรงมากกว่าอสเทนนิติกและมีความทนทานต่อการกัดกร่อนชนิด รูซิม ซอก อับ มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19 ถึง 28 เปอร์เซ็นต์ โมลิบดีนัมสูงกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ และมีนิกเกิลน้อยกว่าตระกูลอสเทนนิติกใช้งานมากในสภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์ สูง

- ตระกูลเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกผลึก มีความต้านทานการกัดกร่อนเทียบเคียงกับตระกูลอสเทนนิติก มีความแข็งแรงมากกว่าตระกูลมาร์เทนซิติก เกรด 17-4H ที่รู้จักกันทั่วไป มีโครเมียมผสมอยู่ 17 เปอร์เซ็นต์และมีนิกเกิล 4 เปอร์เซ็นต์ ทองแดง และไนโอเบียม ผสมอยู่ด้วย เนื่องจาก สแตนเลสชนิดนี้สามารถชุบแข็งได้ในคราวเดียว จึงเหมาะสม สำหรับทาแกนปั๊มหัววาล์ว และส่วนประกอบของอากาศยาน

ประโยชน์ของสแตนเลส

- ทนทานต่อการกัดกร่อน

สแตนเลส ทุกตระกูลทนทานต่อการกัดกร่อน แต่จะแตกต่างกันไปตามส่วนผสมของโลหะ เช่น เกรดที่มีโลหะผสม ไม่สูง สามารถต้านทาน การกัดกร่อนในบรรยากาศทั่วไป ในขณะที่เกรดที่มีโลหะผสมสูงสามารถต้านทานการกัดกร่อนในกรด ต่าง สารละลาย บรรยากาศคลอไรด์ ได้เกือบทั้งหมด

- ความต้านทานต่ออุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ

สแตนเลส บางเกรดสามารถทนความร้อนหรือ/และความเย็น รวมถึงการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลันได้ดี และด้วยคุณสมบัติพิเศษในการทนไฟ ทำให้มีการน สแตนเลสไปใช้ในอุตสาหกรรมขนส่ง อุตสาหกรรม ปิโตรเคมี อย่างแพร่หลาย

- ง่ายต่องานประกอบ หรือแปรรูป

สแตนเลส ส่วนใหญ่สามารถ ตัด เชื่อม ขึ้นรูป ตบแต่งทางกล ลากขึ้นรูป ขึ้นรูปนูนต่ำได้ง่าย ด้วยรูปร่าง สมบัติ และลักษณะต่างๆของสแตนเลสช่วยให้ผู้ผลิตสามารถนำสแตนเลสไปประกอบกับวัสดุอื่นๆได้ง่าย

- ความทนทาน

คุณสมบัติ เด่นอีกประการหนึ่งของสแตนเลสคือความแข็งแรงทนทาน สแตนเลสสามารถเพิ่มความแข็งแรงได้ด้วยการขึ้นรูปเย็น ซึ่งใช้เพื่อออกแบบงาน โดยลดความหนา น้ำหนักและราคา สแตนเลสบางเกรดอาจใช้ในงานที่ทนความร้อนและยังคงความ ทนทานสูง

3.10.3 ทองแดง (copper) ถือเป็นโลหะที่ถูกใช้ประโยชน์มาตั้งแต่ยุคสัมฤทธิ์ (Bronze Age) จนถึงปัจจุบัน และเป็นโลหะที่ถูกใช้มากรองลงมาจากเหล็ก และอลูมิเนียม ปัจจุบันมีการนำโลหะทองแดงมาใช้เป็นส่วนผสมของทองและเงินมากขึ้น เพื่อเพิ่มความแข็งแรง ความสวยงาม และทนต่อการกัดกร่อน โดยใช้โลหะทองแดงในรูปทองแดงเจือส าเร็จรูป ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ง่าย

ทองแดงเป็นโลหะที่มีคมเหนียว และเนื้ออ่อน สามารถตัดให้มีรูปร่างตามที่ต้องการได้ มีคุณสมบัติเป็นตัวนำความร้อนและนำไฟฟ้าได้ดี (รองจากเงิน) เป็นโลหะที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อน มีเลขออกซิเดชัน +1, +2 และ +3 แต่โดยทั่วไปพบทองแดงที่มีเลขออกซิเดชัน +1 (cuprous ion) และ +2 (cupric ion) เท่านั้น ซึ่งในสารละลายคิวปริกไอออน (Cu^{2+}) มีความเสถียรกว่า คิวปริสไอออน (Cu^+) เนื่องจาก คิวปริสไอออนจะเกิดออกซิเดชันและรีดักชันได้ง่ายกว่า แต่ความเสถียรของทั้ง Cu^+ และ Cu^{2+} นั้น ขึ้นอยู่กับชนิดของไอออนลบหรือลิแกนด์ ค่าคงที่ในการละลาย และชนิดของอะตอมในผลึกด้วย

ทองแดงละลายได้ดีในกรดซัลฟูริก และกรดไนตริก รวมทั้งสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ โดยคิวปริกไอออนส่วนใหญ่ละลายได้ในน้ำ คิวปริกไฮดรอกไซด์ ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) สามารถตกตะกอนเป็นตะกอนเบาหรือผลึกได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น คิวปริกไฮดรอกไซด์อาจเปลี่ยนเป็นคิวปริกออกไซด์ (CuO) ซึ่งละลายได้ดีในกรดแก่ แต่บางครั้งอาจพบคิวปริกไอออนอยู่ในรูปคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เช่น $\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ รวมทั้งทองแดงยังสามารถเกิดเป็นสารประกอบของ ซัลไฟด์ อาร์ซีไนต์ คลอไรด์ และคาร์บอเนตได้เช่นกัน



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างลักษณะของทองแดง

ประโยชน์ทองแดง

ทองแดง เป็นโลหะที่มีความสำคัญในการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงเครื่องเรือนต่างๆ เพราะมีคุณสมบัติที่ดีหลายประการ ได้แก่ เป็นโลหะที่สื่อไฟฟ้า และถ่ายเทความร้อนได้ดี มีความทนทานต่อการกัดกร่อนสูง สามารถนำมาขึ้นรูปได้ง่าย อุตสาหกรรมที่มีการใช้ทองแดง ได้แก่

- อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์
- อุตสาหกรรมเครื่องประดับ
- อุตสาหกรรมก่อสร้าง
- อุตสาหกรรมยานยนต์
- อุตสาหกรรมผลิตเครื่องใช้ เครื่องเรือน
- อุตสาหกรรมเครื่องทอผ้าไหม
- อุตสาหกรรมการผลิตกระป๋องบรรจุภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การหารูปทรงที่ดีที่สุดของตัวรับแสง

หัวข้อนี้เสนอการวิเคราะห์ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพการรับแสงอาทิตย์ของตัวรับแสง พร้อมทั้งเปรียบเทียบลักษณะการรับแสงของรูปทรงแบบต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดและรูปร่างของตัวรับแสงอาทิตย์แต่ละรูปทรงต่อประสิทธิภาพการรับแสง โดยมุ่งเน้นการวิเคราะห์หารูปร่างของตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพการรับแสงสูงสุด โดยคำนึงถึงลักษณะการรับแสงและการกระจายฟลักซ์ความร้อนของตัวรับแสงอาทิตย์ ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ ตัวรับแสงมีทั้งหมด 5 รูปทรง คือ รูปทรงกรวย, รูปทรงกลม, รูปทรงระบอก, รูปทรงโดม และรูปทรงผสมระหว่างทรงระบอกและทรงกรวย โดยมีการกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงมีขนาดเท่ากันคือ 0.32 เมตร โดยคิดเป็นขนาด 10% ของขนาดจานรวมแสงที่มีอยู่ และพื้นที่ผิวภายในเท่ากัน ในการศึกษาครั้งนี้มีขนาดจานรวมแสงเท่ากับ 3.20 เมตร ซึ่งในการวิเคราะห์คำนวณการติดตามรังสีเพื่อหาวิถีเส้นทางของรังสี จะทำการจำลองด้วยโปรแกรม Comsol mutiphysics โดยอาศัยหลักการ Finite element analysis (FEA) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการรับแสงของตัวรับแสงรูปทรงต่างๆ

4.1.1 การออกแบบระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลาในการจำลองจานพาราโบลา ที่ใช้ในการจำลองนี้ได้ทำการวาดด้วยโปรแกรม Comsol multiphysics ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.1 และขนาดของจานพาราโบลาและตัวรับแสงในรูปทรงเรขาคณิตทั้ง 5 แบบที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 จานรวมแสงพาราโบลา ที่วาดด้วยโปรแกรม Comsol multiphysics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ขนาดของจานรวมแสงพาราโบลิกส าหรับการจ าลอง

	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	ความลึก (m)	ความหนา (m)	พื้นที่ รับแสง (m ²)	*CR
จาน รวมแสงพาราโบลิก	3.2	0.67	0.01	9.32	131.9

*CR คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแสงของจานรวมแสงกับพื้นที่รับแสง

ตารางที่ 4.2 ขนาดของตัวรับแสงส าหรับการจ าลอง

รูปทรง ตัวรับแสง	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	ความสูง (m)	ความหนา (m)	พื้นที่ผิว ภายใน (m ²)
1. ทรงกรวย	0.32	0.40	0.01	0.32
2. ทรงกลม	0.32	0.29	0.01	0.32
3. ทรงกระบอก	0.32	0.26	0.01	0.32
4. ทรงโดม	0.32	0.33	0.01	0.32
5. รูปทรงผสม	0.32	0.25	0.01	0.32

* หมายเหตุ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแสงของจานรวมแสงกับพื้นที่รับแสงของตัวรับแสงเท่ากัน

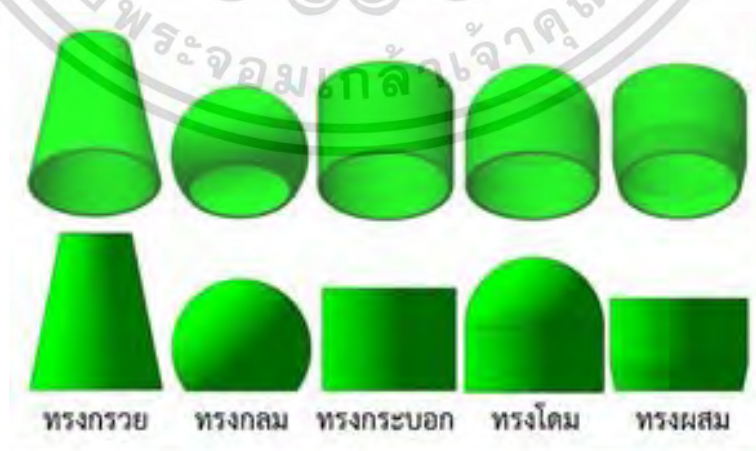
4.1.2 การจ าลองเชิงตัวเลขของแบบจ าลอง

โปรแกรม Comsol multiphysics เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการจำลองประสิทธิภาพการทางานของแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นพื้นฐานของเทคนิคการติดตามรังสี ด้วยคุณสมบัติพิเศษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตรวจจับ 3 มิติ ซอฟต์แวร์นี้มีความสามารถที่จะดูว่า อะไรเข้าไปภายในช่องของตัวรับแสง และแสดงให้เห็นว่ามีการกระจายฟลักซ์ความร้อนบนผนังของช่องตัวรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารทิสงานวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้จะมีรูปทรงของตัวรับแสงทั้งหมด 5 รูปทรงที่แตกต่างกัน (รูปทรงกรวย, รูปทรงกลม, รูปทรงกระบอก, รูปทรงโดม และรูปทรงผสมระหว่างทรงกระบอกและทรงกรวย) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ซึ่งจุดมุ่งหมายหลักของการจำลองนี้คือการเปรียบเทียบรูปทรงตัวของรับแสงแต่ละรูปทรงที่ส่งผลต่อพลังงานที่ได้รับในระบบจานรวมแสงพาราโบลิก และส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนที่สูญเสียไปจากตัวรับแสงแต่ละรูปทรง โดยตัวรับแสงแต่ละรูปทรงนั้นจะทำการจำลองด้วยโปรแกรม Comsol multiphysics ซึ่งมีการติดตามรังสีเพื่อที่จะตรวจสอบจำนวนของฟลักซ์ความร้อนที่ได้รับ โดยตัวรับแสงของแต่ละรูปทรงจะมีเป็นแหล่งกำเนิดแสงเดียวกันคือพลังงานจากดวงอาทิตย์ โดยกำหนดให้พลังงานที่ปล่อยออกมามีค่าเท่ากับ 6,524 วัตต์ (ซึ่งได้มาจากพื้นที่ของรับแสงของจานคูณกับค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีที่กรุงเทพมหานคร) ตัวตรวจจับที่บันทึกจำนวนของฟลักซ์ที่เข้ามาจากแหล่งที่มาตลอดจนฟลักซ์สะท้อนนั้น แสดงให้เห็นถึงพื้นที่ในการรับแสงของตัวรับแสง ซึ่งตำแหน่งของตัวรับแสงนั้นได้ตั้งอยู่ที่จุดโฟกัส โดยจุดโฟกัสขึ้นอยู่กับมุมขอบและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรวมแสงพาราโบลิก โดยรูปที่ 4.3 เป็นการแสดงแผนผังรูปแบบกระบวนการท งานของระบบจานรวมแสงพาราโบลิกในโปรแกรม Comsol multiphysics และรูปที่ 4.4 นั้น เป็นการแสดงระบบจานรวมแสงพาราโบลิกจากโปรแกรมจำลอง โดยในการวิเคราะห์นี้ จะมีการศึกษาตำแหน่งของตัวรับแสงเพิ่มเติมจากตัวรับแสงอยู่ที่ตำแหน่งจุดโฟกัส โดยเพิ่มเป็น 10 ตำแหน่ง ซึ่งนับจากจุดโฟกัสของจานพาราโบลิก อยู่ที่ระยะ 955 มิลลิเมตร จากจานรวมแสงอาทิตย์ จึงตั้งขอบเขตการวางตำแหน่งตัวรับแสงไว้ที่ตำแหน่ง 890 – 980 มิลลิเมตร จากจานรวมแสงอาทิตย์ โดยเลื่อนตำแหน่งทีละ 10 มิลลิเมตร และมีเงื่อนไขขอบเขตของการจำลองด้วยโปรแกรม ดังแสดงในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.2 ตัวรับแสงทรงเรขาคณิต 5 รูปแบบ ในมุมมองสามมิติและสองมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

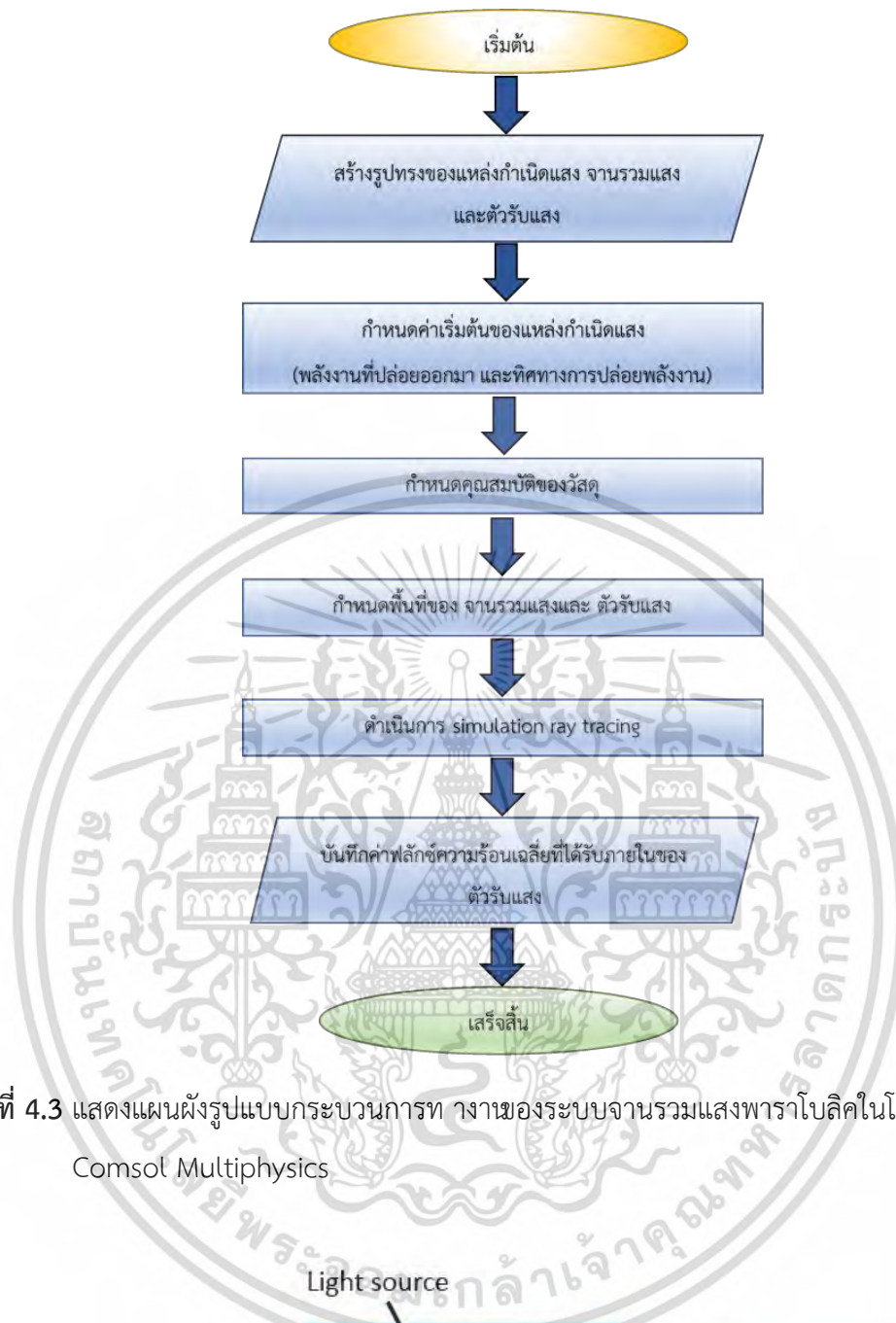
ตารางที่ 4.3 เงื่อนไขขอบเขตของการจำลอง

Part	Condition	Setting
Initial condition	Number of ray per release (N)	1000
	Wave length	660 nm
	Threshold intensity	$1 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$
	Maximum disc angle	4.65 mrad
	Surface slope error	0.875 mrad
	Ray Intensity	700 W/m^2
	Source power	6524 W
Concentrator dish setting	Absorption coefficient	0.1
	Smooth radius	0.01 m
	Initial polarization	Unpolarized
	Mesh element size	Coarser (0.129-0.61)
Receiver setting	Thermal conductivity	$16.2 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
	Young's modulus	1.9 GPa
	Heat capacity	$490 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$
	Coefficient of thermal expansion	$1.6 \times 10^{-7} \text{ 1/K}$
	Refractive index	1
	Mesh element size	Extra fine (0.00482-0.112)

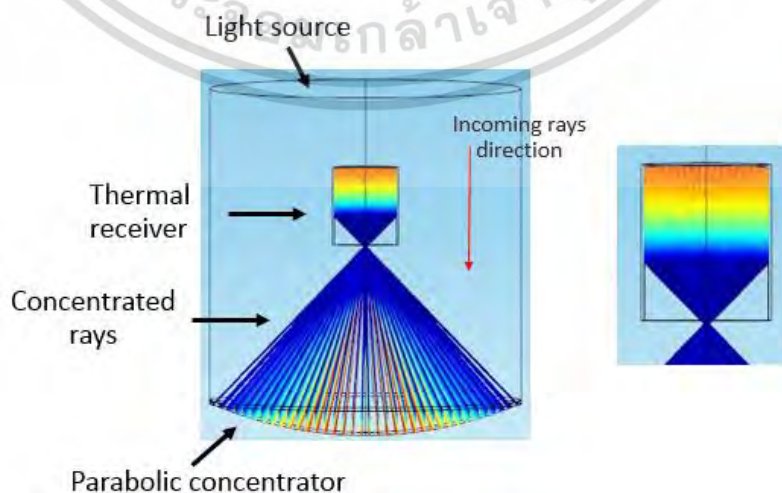
*หมายเหตุ

$$\begin{aligned}
 \text{Source power} &= \text{พื้นที่รับแสงของจาน} \times \text{ค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์เฉลี่ยรายปีที่} \\
 &\quad \text{กรุงเทพมหานคร} \\
 &= 9.32 \text{ m}^2 \times 700 \text{ W/m}^2 \\
 &= 6524 \text{ W}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงแผนผังรูปแบบกระบวนการทำงานของระบบจานรวมแสงพาราโบลิกในโปรแกรม Cansol Multiphysics



รูปที่ 4.4 ระบบจานรวมแสงพาราโบลิกจากโปรแกรม Cansol Multiphysics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่หรือใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการจำลองนี้แสดงให้เห็นว่า การกระจายฟลักซ์บนพื้นผิวภายในของตัวรับแสงมีผลต่อประสิทธิภาพของตัวรับแสง และพบว่าตัวรับแสงรูปทรงกรวยนั้น มีการกระจายฟลักซ์ความร้อนดีที่สุด โดยทรงผสม ทรงโดม ทรงกลม และทรงกระบอก มีการกระจายฟลักซ์ความร้อนรองลงมาตามลำดับ และตำแหน่งที่ดีของตัวรับแสงจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของตัวรับแสงอีกด้วย ซึ่งตัวรับแสงรูปทรงกรวยที่ตำแหน่งจุดโฟกัสอยู่ภายในตัวรับแสง จะมีการกระจายฟลักซ์ความร้อนดีที่สุด จากผลการจำลองด้วยโปรแกรมนี้จะสามารถนำไปพัฒนาการออกแบบขนาดตัวรับแสงให้เหมาะสมกับงานรวมแสงขนาดอื่นๆ เพื่อทำให้ระบบงานรวมแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด

4.2 การตรวจสอบความถูกต้องจากการจำลอง

จากการจำลองในหัวข้อ 4.1 ได้ผลการจำลองว่า ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยมีการกระจายฟลักซ์ดีกว่ารูปทรงอื่นๆ ดังนั้นจึงต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องจากการจำลองด้วยการทำการทดลองวัดประสิทธิภาพของตัวรับแสงรูปทรงต่างๆ โดยในการทดลองนี้จะเลือกตัวรับแสงรูปทรงกรวย, รูปทรงโดม ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงสุดตามลำดับ และรูปทรงกระบอก ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำที่สุด และทำการทดลองโดยการเชื่อมระบบงานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิคขนาดเล็กขึ้นมา

4.2.1 การออกแบบระบบงานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิคขนาดเล็ก

งานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิคที่ใช้ในการตรวจสอบนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 เมตร และตัวรับแสงอาทิตย์ที่ใช้มี 3 รูปทรงได้แก่ รูปทรงกรวย รูปทรงโดม และรูปทรงกระบอก ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 แสดงงานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงตัวรับแสงอาทิตย์สำหรับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่ใช้มี 3 รูปทรง ได้แก่ รูปทรงกรวย รูปทรงกระบอก และรูปทรงโดม

ข้อมูลขนาดของจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลีคขนาดเล็กและขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับการทดลอง แสดงดังตารางที่ 4.4 และ ตารางที่ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 จานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลีคขนาดเล็ก

	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	ความสูง (m)	ความยาวโฟกัส (m)	พื้นที่รับแสง (m ²)	CR
จานรวมแสงพาราโบลีค	1	0.1	0.6	0.81	4.5

*CR คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแสงของจานรวมแสงกับพื้นที่รับแสง

ตารางที่ 4.5 ขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์ที่ใช้ทดลองกับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

รูปทรงของตัวรับแสง	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	ความสูง (m)	พื้นที่ผิวภายใน (m ²)
1. ทรงกรวย	0.20	0.355	0.18
2. ทรงกระบอก	0.20	0.250	0.18
3. ทรงโดม	0.20	0.295	0.18

*หมายเหตุ มีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแสงของจานรวมแสงกับพื้นที่รับแสงของตัวรับแสงเท่ากัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

ติดตั้งระบบจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็กโดยนำตัวรับแสงอาทิตย์ทั้งสามรูปทรงคือ รูปทรงกรวย รูปทรงกระบอก และรูปทรงโดม ไปติดตั้งกับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก ซึ่งนำไปติดตั้งที่แกนกลางที่ติดอยู่กับจานรวมแสงอาทิตย์ จากนั้นต่อสายเทอร์โมคัปเปิลกับดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์เข้าที่ตัวรับแสงอาทิตย์เพื่อวัดอุณหภูมิ ที่บริเวณภายในของตัวรับแสงอาทิตย์ และบริเวณจุดโฟกัสของจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 4.7-4.9 ปล่องให้ระบบจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็กเก็บความร้อนสักครู่ จากนั้นทำการอ่านค่าอุณหภูมิที่ตัวดิจิตอลเทอร์โมมิเตอร์ทั้ง 2 ค่า แล้วบันทึกผลโดยท การทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง

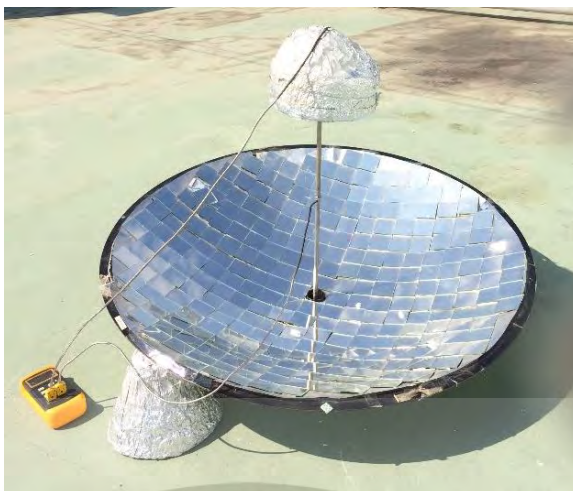


รูปที่ 4.7 แสดงการทดลองตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย ร่วมกับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก



รูปที่ 4.8 แสดงการทดลองตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกระบอก ร่วมกับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

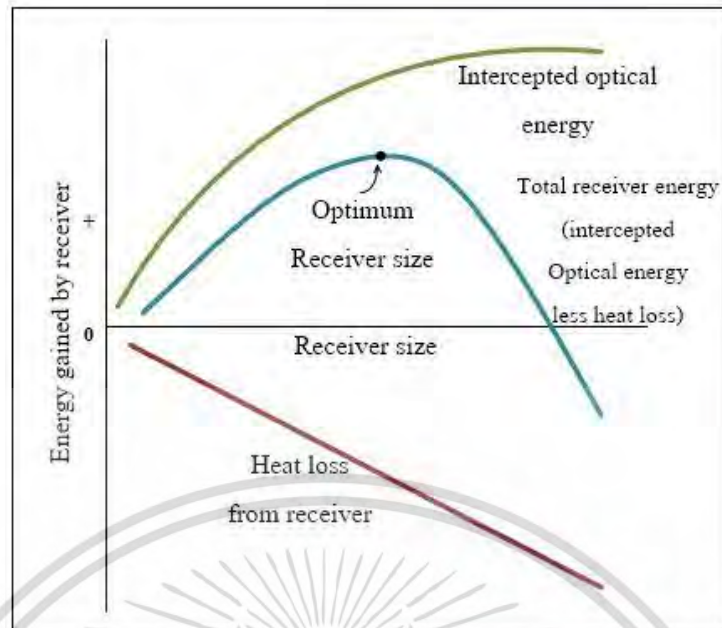


รูปที่ 4.9 แสดงการทดลองตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงโคม ร่วมกับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

ผลที่ได้จากการตรวจสอบนี้พบว่า จานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็กสามารถรวมแสงอาทิตย์และรวมความร้อนได้ดี และจะมีประสิทธิภาพมากขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับตัวรับแสงอาทิตย์ โดยตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยมีประสิทธิภาพการเก็บความร้อนได้ดีที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองการหารูปทรงที่ดีที่สุดของตัวรับแสงอาทิตย์ในหัวข้อที่ 4.1

4.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์ในระบบจานรวมแสงอาทิตย์

ในตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ องค์ประกอบหลักของตัวรับแสงเป็นการเชื่อมโยงระหว่างการทำงานของพลังงานที่เข้ามา (รับพลังงานสะท้อนจากจานพาราโบลิก) และการทำงานของของไหลภายในตัวรับแสง หลังจากนั้นก็ให้พลังงานกับระบบ แล้วแปลงเป็นพลังงานที่ต้องการในรูปแบบของความร้อนหรือพลังงานจลน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการตัวรับแสงที่มีประสิทธิภาพที่ดี ซึ่งอีกหนึ่งปัจจัยหลักเกี่ยวกับตัวรับแสง คือ ขนาด โดยจะต้องหาขนาดตัวรับแสงที่เหมาะสมกับขนาดของจานรวมแสงอาทิตย์ เพื่อที่จะลดการสูญเสียความร้อน และเพิ่มประสิทธิภาพการรับพลังงานในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก [20] ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวรับแสงกับพลังงานที่ได้รับ

จากผลการจำลองและทดลองหัวข้อที่ 4.1 และ 4.2 สรุปได้ว่า ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยมีความสามารถในการรับแสงอาทิตย์ได้ดีกว่ารูปทรงอื่นๆ จึงเลือกตัวรับแสงรูปทรงกรวยนี้ มาหาขนาดของรูรับแสงที่เหมาะสมเพื่อนำใช้งานร่วมกับจานรวมแสงอาทิตย์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.2 เมตร ต่อไป แสดงดังรูปที่ 4.11

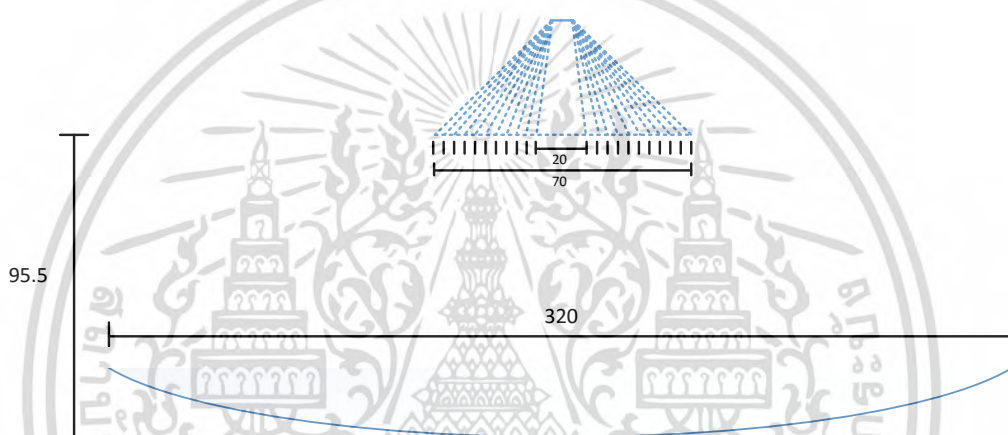


รูปที่ 4.11 แสดงจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.1 การจำลองการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสมกับขนาดของจานรวมแสงอาทิตย์ในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิค

ทำการจำลองโดยใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics ซึ่งขนาดจานรวมแสงอาทิตย์ที่ใช้เป็นขนาดจริงดังรูปที่ 4.11 โดยการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสม จะแบ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงอาทิตย์ของตัวรับแสงอาทิตย์เป็น 10 ขนาด ซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยอื่นๆที่กล่าวไว้ว่าขนาดของตัวรับแสงที่ดีควรมีขนาดเล็กกว่าขนาดของจานรวมแสงอย่างน้อยคิดเป็น 10% ของขนาดของจานรวมแสงอาทิตย์ ในการจำลองนี้จึงตั้งขอบเขตของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ไว้ที่ 20 – 70 เซนติเมตร โดยเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มขึ้นทีละ 5 เซนติเมตร แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 แสดงการจำลองการวิเคราะห์หาขนาดรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย

4.3.2 การออกแบบตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย และการเลือกวัสดุที่จะนำมาสร้างตัวรับแสงอาทิตย์เพื่อนำไปทดลองในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิค

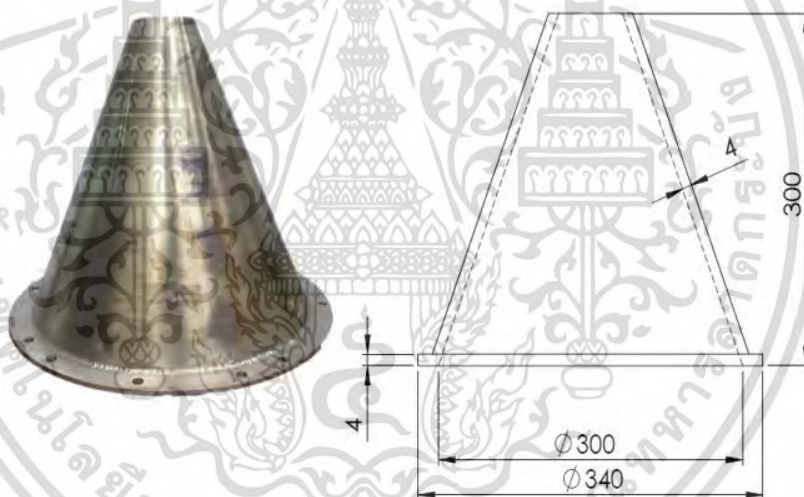
จากหัวข้อ 4.3.1 ผลการจากจำลองนั้นจะทำให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงอาทิตย์ของตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีค่าฟลักซ์ความร้อนที่ดีที่สุด จึงนำข้อมูลดังกล่าวไปสร้างตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย ซึ่งค่าวัสดุต่างๆที่เกี่ยวข้องในการพิจารณา คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ค่าอุณหภูมิหลอมเหลว และค่าความแข็งของวัสดุ เป็นต้น ในการศึกษาวัสดุที่นำมาใช้ในการทำตัวรับแสงอาทิตย์มีวัสดุอยู่หลายชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม เหล็กกล้าไร้สนิม และ ทองแดง เป็นต้น ดังตารางที่ 4.5 โดยจากการพิจารณาคุณสมบัติวัสดุจึงได้เลือกเหล็กกล้าไร้สนิม เบอร์ 304 มาทำตัวรับแสงอาทิตย์เนื่องจากมีค่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำที่สุด, ค่าอุณหภูมิหลอมเหลวและค่าความแข็งของวัสดุสูงที่สุด รูปที่ 4.13 แสดงขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่มาจากเหล็กกล้าไร้สนิม เบอร์ 304 มีความหนา 4 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยเท่ากับ 300 มิลลิเมตร และตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยมีความสูงเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

300 มิลลิเมตร โดยปลายด้านบนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับขนาดส่วนรับความร้อนของ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่จะนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับตัวรับแสงทรงกรวยนี้คือ มีขนาดเท่ากับ 6.3 มิลลิเมตร และออกแบบให้มีตัวครอบตัวรับแสงรูปทรงกรวยเพื่อให้สามารถปรับระยะตาแหน่งตัวรับแสงบนแกนของจานรวมแสงอาทิตย์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลของวัสดุที่นำมาพิจารณาเพื่อนำมาทำ ตัวรับแสงอาทิตย์

Materials	Thermal Conductivity (W/m.k)	Melting Point (dC)	Ultimate Yield Strength (MPa)	Hardness, Vickers
Aluminium	205	660	310	107
St.Steel304	16.2	1400-1455	505	129
Copper	385	1085	290	100



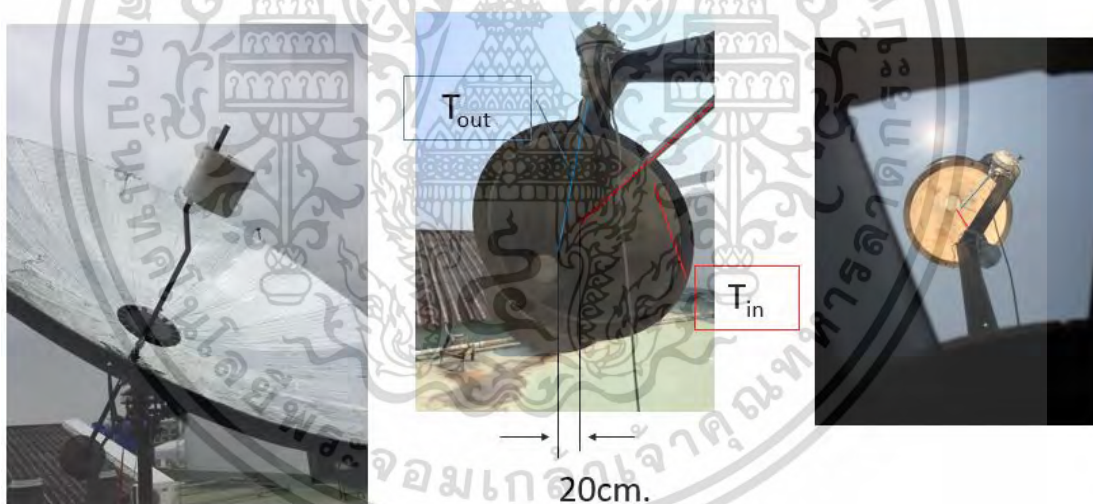
รูปที่ 4.13 แสดงตัวรับแสงอาทิตย์ที่ทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิม เบอร์ 304



รูปที่ 4.14 แสดงที่ครอบตัวรับแสงที่สามารถปรับระยะการรับแสงบนแกนของจานรวมแสงได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย

การทดลองการหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยจะแสดงการติดตั้งตัวรับแสงอาทิตย์กับจานรวมแสงอาทิตย์ดังรูปที่ 4.15 และมีการติดตั้ง thermocouple ประเภท k ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิที่ปากทางเข้าตัวรับแสงอาทิตย์ และวัดอุณหภูมิที่ภายในตัวรับแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ ในขั้นตอนการทดลองนั้นเริ่มจากการติดตั้งตัวรับแสงอาทิตย์ โดยให้ระยะของตาแหน่งตัวรับแสงอาทิตย์ห่างจากจานรวมแสงอาทิตย์อยู่ที่ 910 มิลลิเมตร จากนั้นปรับให้จานรวมแสงอาทิตย์เคลื่อนทิศทางไปรับแสงอาทิตย์ บันทึกค่าอุณหภูมิที่รูปากทางเข้าของตัวรับแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิภายในตัวรับแสงอาทิตย์ที่ตาแหน่งปากทางออก แล้วนำค่าที่ได้มาหาประสิทธิภาพการรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์, จากนั้นทำการเลื่อนระยะของตาแหน่งตัวรับแสงอาทิตย์จากจานรวมแสงอาทิตย์ที่ละ 10 มิลลิเมตร แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิเป็นจำนวน 8 ตาแหน่ง จนถึงตาแหน่งที่ตัวรับแสงห่างจากจานรวมแสงอาทิตย์เป็นระยะ 980 มิลลิเมตร เมื่อทำการทดลองครบทุกตาแหน่ง นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณเพื่อหาประสิทธิภาพการรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ และพล็อตกราฟเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการจำลองผ่านโปรแกรม



รูปที่ 4.15 แสดงการติดตั้งตัวรับแสงอาทิตย์กับจานรวมแสงอาทิตย์

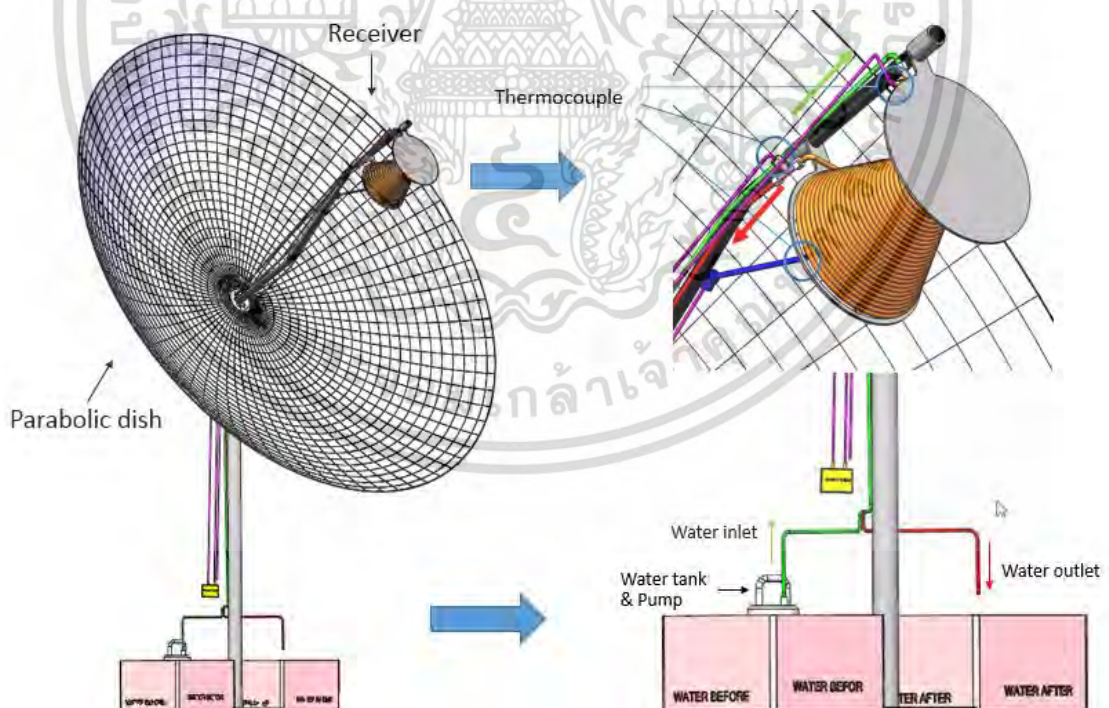
4.3.4 การทดลองหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย

ในการทดลองหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสง 0.30 เมตร จะนำหลักการของการถ่ายเทความร้อนมาใช้ในการทดลอง โดยการนำท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ $1/4$ นิ้ว, มีความหนา 1 มิลลิเมตร และยาว 32 เมตร พันรอบๆ ตัวรับแสงต้นแบบ โดยขึ้นรูปตามตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยต้นแบบที่ได้สร้างไว้ ซึ่งท่อทองแดงที่พันเสร็จแล้วจะพันทั้งหมด 46 รอบ ดังรูปที่ 4.16 จากนั้นออกแบบระบบการทดลอง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย ซึ่งใช้น้ำเป็นตัวกลางในการวัดอุณหภูมิเพื่อหาพลังงานที่ตัวรับแสงอาทิตย์ได้รับในระบบจันรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก โดยระบบการทดลองหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยนี้จะแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.16 ก) แสดงตัวรับแสงอาทิตย์ที่ทำจากท่อทองแดง ข) ตัวรับแสงอาทิตย์ที่ทำจากท่อทองแดงหุ้มด้วยฉนวนและพอยด์กันความร้อน



รูปที่ 4.17 แสดงระบบการทดลองหาพลังงานที่ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยได้รับในระบบจันรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดลองหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย ประกอบด้วยปั๊มน้ำที่มีกำลัง 400 วัตต์ และอัตราการไหลสูงสุดเท่ากับ 250 ลิตรต่อนาที ซึ่งใช้น้ำเป็นตัวกลางในการวัดอุณหภูมิ เพื่อหาพลังงานที่ตัวรับแสงอาทิตย์ได้รับในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิค โดยจะมีการควบคุมการไหลของน้ำที่เข้าตัวรับแสงอาทิตย์โดยใช้วาล์ว มีการวัดอัตราการไหลโดยใช้ flow meter และวัดอุณหภูมิของน้ำที่ขาเข้าและขาออกจากตัวรับแสงอาทิตย์ที่ขดด้วยท่อทองแดง โดยใช้ thermocouple ประเภท k

4.3.4.1 ขั้นตอนการทดลอง

ทำการติดตั้งระบบการทดลองหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยในระบบจานรวมแสงพาราโบลิคดังที่แสดงในรูปที่ 4.17 โดยเปิดวาล์วให้น้ำไหลเข้าไปในระบบ แล้วทำการวัดอัตราการไหลของน้ำ จากนั้นทำการติดตั้งระยะของตาแหน่งตัวรับแสงอาทิตย์จากจานรวมแสงอาทิตย์ให้อยู่ที่ 910 มิลลิเมตร แล้วปรับให้จานรวมแสงอาทิตย์เคลื่อนทิศทางไปรับแสงอาทิตย์ บันทึกค่าอุณหภูมิที่จุดโฟกัส และบันทึกค่าอุณหภูมิของน้ำขาเข้าและขาออกจากตัวรับแสงอาทิตย์เพื่อนามาหาค่าพลังงานที่ได้รับจากสมการ

$$Q = \dot{m} \cdot (h_{out} - h_{in})$$

จากนั้นทำการเลื่อนระยะของตาแหน่งตัวรับแสงอาทิตย์จากจานรวมแสงอาทิตย์ที่ละ 10 มิลลิเมตร แล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ เป็นจำนวน 8 ตาแหน่ง จนถึงที่ตาแหน่งของตัวรับแสงห่างจากจานรวมแสงอาทิตย์เป็นระยะ 980 มิลลิเมตร และเมื่อทำการทดลองครบทุกตาแหน่ง จึงนำข้อมูลที่ได้ของทุกๆตาแหน่งมาคำนวณหาพลังงานที่ตัวรับแสงอาทิตย์ได้รับในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิค และพล็อตกราฟ

บทที่ 5

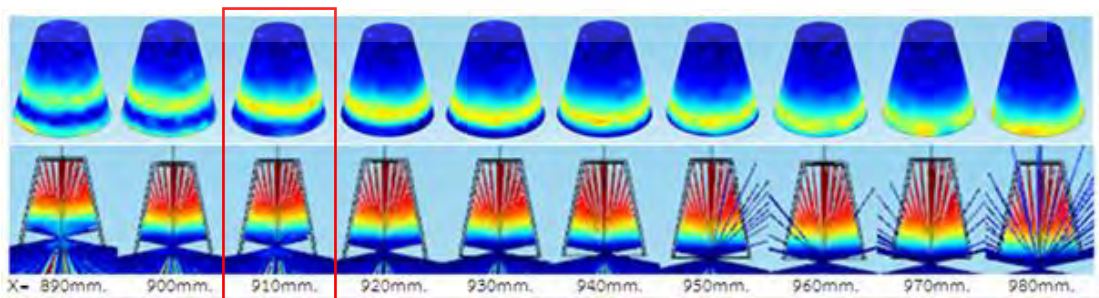
ผลการทดลอง

5.1 ผลการหารูปทรงที่ดีที่สุดของตัวรับแสงอาทิตย์

5.1.1 ผลกระทบที่เกิดจากตำแหน่งของตัวรับแสง

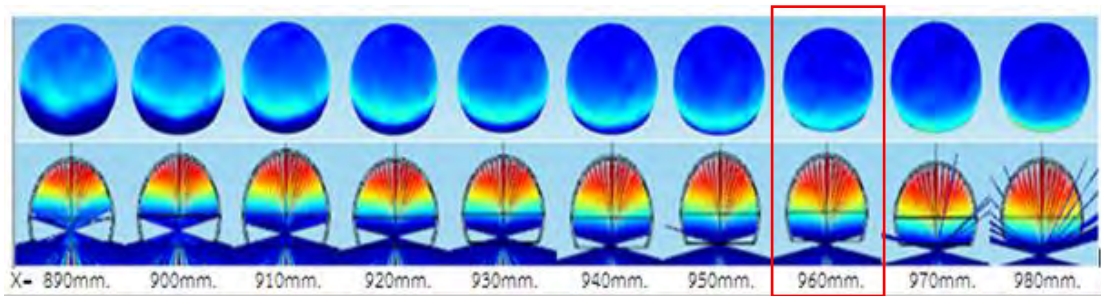
รูปทรงและตำแหน่งของตัวรับแสงจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของแสงที่ได้รับและการกระจายฟลักซ์ความร้อน โดยการตรวจวัดแบบสามมิตินี้จะช่วยในการสร้างลักษณะของรูปแบบการทำงานของการติดตามรังสีตลอดจนติดตามผลลัพธ์ในเวลาเดียวกัน รูปที่ 5.1 – 5.5 แสดงผลลัพธ์ของผลกระทบดังกล่าว สำหรับตำแหน่งของตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีระยะห่างจากจานรวมแสงพาราโบลาที่ใช้วิเคราะห์นั้น จะแบ่งเป็น 10 ตำแหน่ง ซึ่งตำแหน่งจุดโฟกัสของจานพาราโบลานี้จะอยู่ที่ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางจานพาราโบลิก 955 มิลลิเมตร จึงตั้งขอบเขตการเลื่อนระยะของตัวรับแสงไว้ที่ตำแหน่ง 890 – 980 มิลลิเมตร โดยจะเลื่อนตำแหน่งทีละ 10 มิลลิเมตร และสำหรับตัวรับแสงรูปทรงกรวย รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งที่ได้รับจำนวนของฟลักซ์สูงสุด เมื่อตัวรับแสงถูกเคลื่อนย้ายไปใกล้จานรวมแสงและจุดโฟกัสอยู่ที่ภายในตัวรับแสง ซึ่งในลักษณะเดียวกัน รูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นผลจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของตัวรับแสงรูปทรงกลม ตำแหน่งที่มีการกระจายที่ดีที่สุด เมื่อตัวรับแสงนั้นได้ขยับตัวออกจากจานรวมแสง เพื่อให้จุดโฟกัสอยู่ด้านนอกตัวรับแสง เช่นเดียวกับกับตัวรับแสงรูปทรงกระบอก รูปที่ 5.3 ที่มีการกระจายที่ดีที่สุด เมื่อตัวรับแสงนั้นได้ขยับตัวออกจากจานรวมแสง ในส่วนของตัวรับแสงรูปทรงโดม รูปที่ 5.4 ตำแหน่งที่มีการกระจายฟลักซ์ที่ดีที่สุด เมื่อตัวรับแสงอยู่ที่บริเวณจุดโฟกัส เช่นเดียวกับกับตัวรับแสงรูปทรงผสม ดังรูปที่ 5.5

ในตำแหน่งที่ตัวรับแสงถูกเคลื่อนย้ายออกจากจานรวมแสงมากๆ จะเห็นได้ว่า ตัวรับแสงทุกรูปทรง มีการรั่วไหลของแสงมากขึ้นหรือแสงไม่เข้าสู่ตัวรับแสงจึงทำให้จำนวนฟลักซ์ความร้อนนั้นลดลง และในตำแหน่งที่ตัวรับแสงถูกเคลื่อนย้ายไปสู่จานรวมแสงมากๆ ก็จะทำให้เห็นได้ว่า แสงไม่เข้าสู่ตัวรับแสงและทำให้จำนวนฟลักซ์ความร้อนนั้นลดลงเช่นเดียวกัน

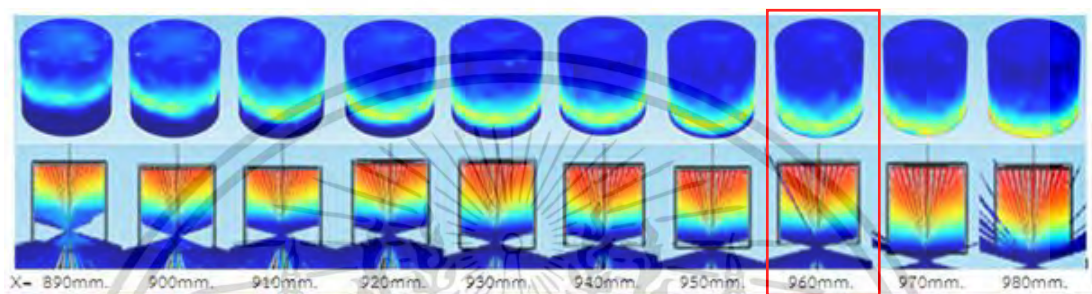


รูปที่ 5.1 แสดงตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกรวย

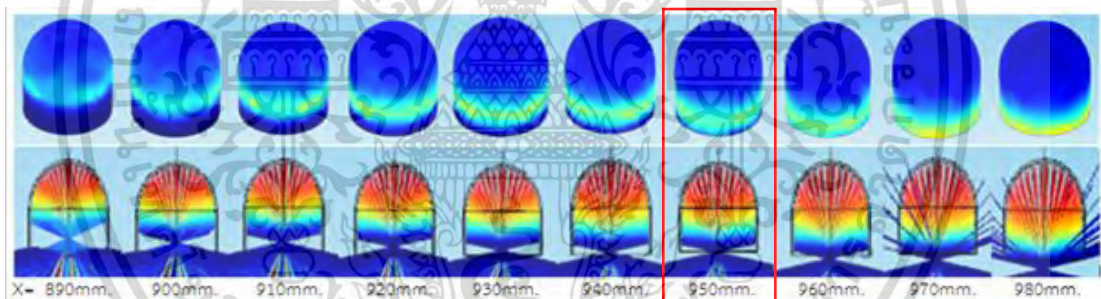
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



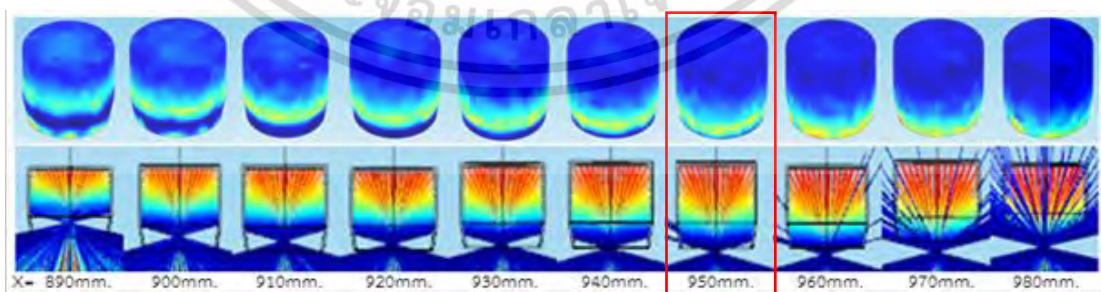
รูปที่ 5.2 แสดงตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกลม



รูปที่ 5.3 แสดงตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกระบอก



รูปที่ 5.4 แสดงตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงโดม



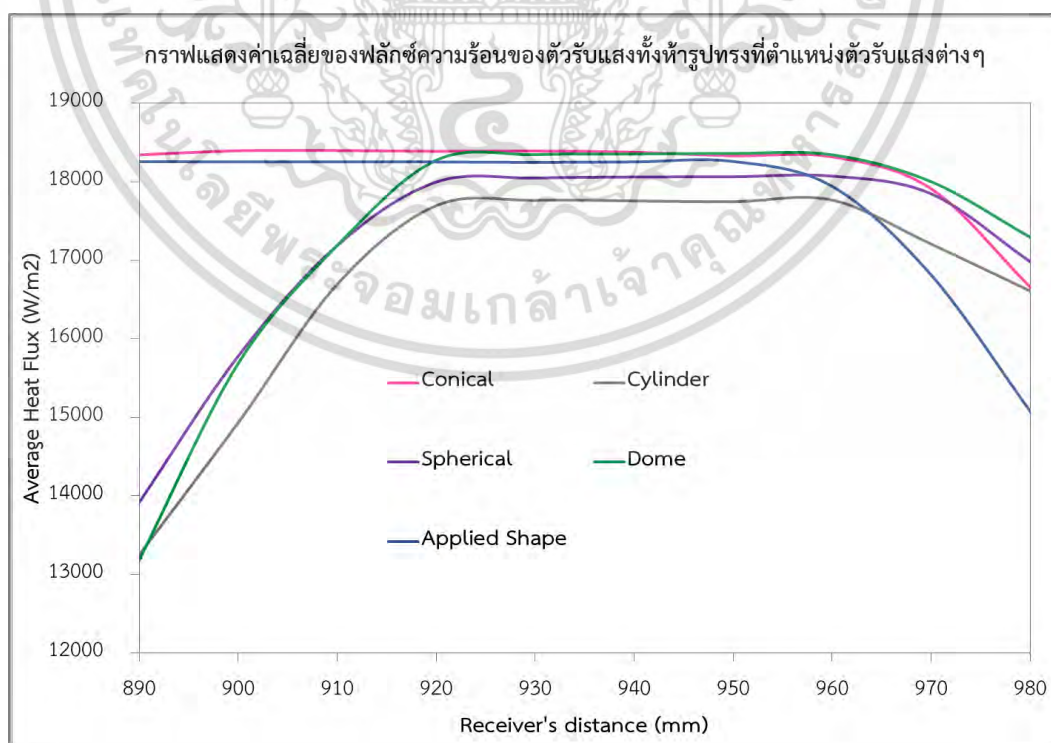
รูปที่ 5.5 แสดงตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

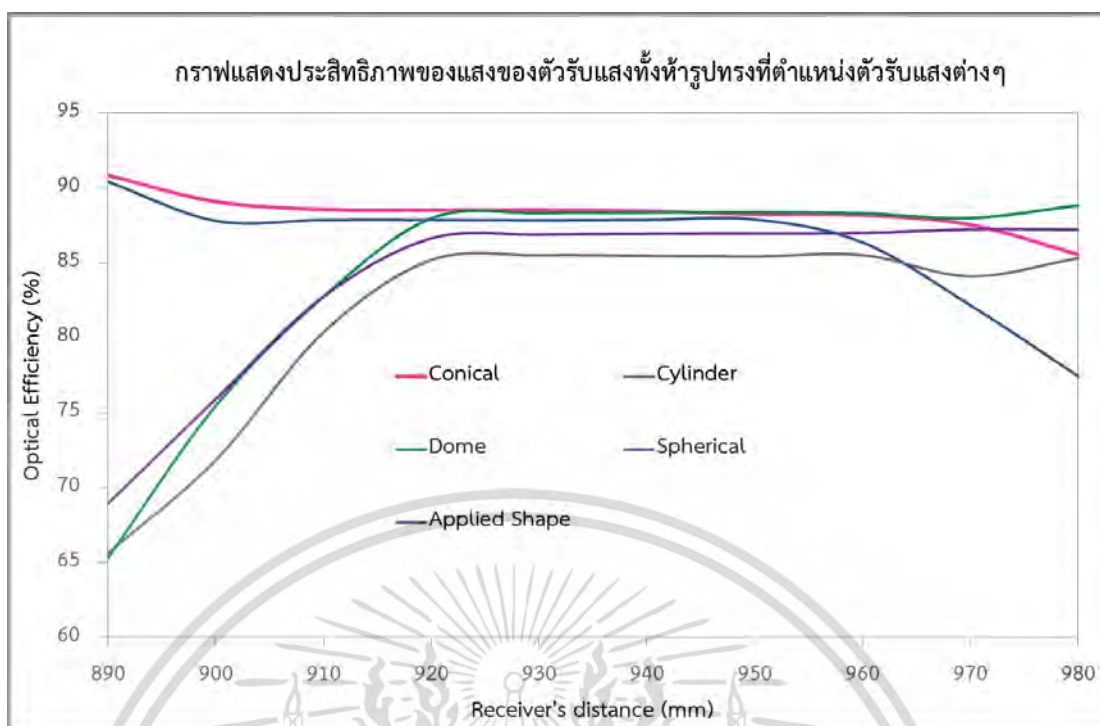
5.1.2 ผลกระทบจากรูปทรงของตัวรับแสง

เห็นได้อย่างชัดเจนว่ารูปทรงของตัวรับแสงนั้นส่งผลต่อพลังงานที่จะได้รับ, พลังงานที่สะท้อนและพลังงานที่สูญเสียไปในระบบจานรวมแสงพาราโบลิก ซึ่งหลังจากที่แสงตกกระทบบนผนังของตัวรับแสง พลังงานบางส่วนจะถูกดูดกลืนโดยตรงที่ผนังของตัวรับแสง และบางส่วนสะท้อนออกจากผนังภายในของตัวรับแสงไปเป็นรังสีตกกระทบบริเวณอื่น อีกทั้งยังมีพลังงานที่สูญเสียไปจากการสะท้อนออกจากตัวรับแสง ดังนั้นรูปทรงของตัวรับแสงจึงมีผลในการสะท้อนรังสี จากรูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่า รูปทรงกรวยมีค่าเฉลี่ยของฟลักซ์ความร้อนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวรับแสงอีกสี่รูปทรง ซึ่งพลังงานที่ตัวรับแสงได้รับสูงสุด สำหรับรูปทรงกรวย ทรงกลม ทรงกระบอก ทรงโดม และรูปทรงผสมระหว่างทรงกระบอกและทรงกรวย คือ 5,887, 5,783, 5,685, 5,875 และ 5,843 วัตต์ ที่ตำแหน่งอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางจานรวมแสงพาราโบลิกเป็นระยะ 910, 960, 960, 950 และ 950 มิลลิเมตร ตามลำดับ

รูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการรับแสง สำหรับตัวรับแสงทั้งห้ารูปทรง ที่ตำแหน่งแตกต่างกัน จากรูปจะเห็นว่า ตัวรับแสงรูปทรงกรวย และรูปทรงผสม มีประสิทธิภาพการรับแสงสูงสุดใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 90.9% และ 90.4% ตามลำดับ ส่วนตัวรับแสงรูปทรงกระบอกมีประสิทธิภาพการรับแสงต่ำที่สุดอยู่ที่ประมาณ 55.5% โดยตัวรับแสงรูปทรงกลม และรูปทรงโดม มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 57.3% และ 55.9% ตามลำดับ



รูปที่ 5.6 แสดงค่าเฉลี่ยของฟลักซ์ความร้อนสำหรับตัวรับแสงทั้งห้าที่ตำแหน่งตัวรับแสงที่ต่างกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 แสดงประสิทธิภาพแสงส สำหรับตัวรับแสงทั้งห้าที่ตำแหน่งตัวรับแสงที่ต่างกัน

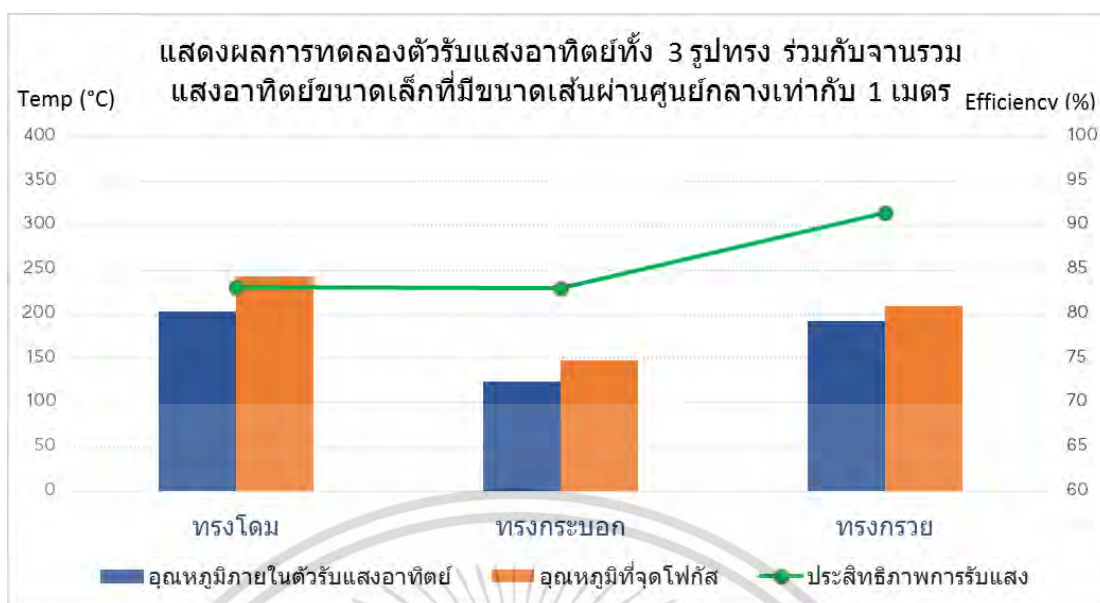
5.2 ผลการตรวจสอบความถูกต้องจากการจำลอง

ในการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องจากการจำลอง โดยใช้ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย รูปทรงกระบอก และรูปทรงโดม ร่วมกับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 เมตร ผลการทดลองดังตารางที่ 5.1 ซึ่งจากรูปที่ 5.8 แสดงให้เห็นว่าจากผลจากการจำลอง ในหัวข้อ 5.1 มีความถูกต้อง เมื่อนำตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงต่างๆมาทำการทดลอง พบว่าตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยสามารถรวมแสงและเก็บความร้อนได้ดีที่สุด

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองเพื่อตรวจสอบความถูกต้องจากการจำลอง

รูปทรง ตัวรับแสง	อุณหภูมิภายในตัวรับแสงอาทิตย์ (°C)			อุณหภูมิที่จุดโฟกัส (°C)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
1. ทรงกรวย	198.2	184.8	191.2	213.1	205.0	209.6
2. ทรงกระบอก	127.7	118.3	123.6	150.7	146.2	148.8
3. ทรงโดม	201.4	209.2	195.6	248.4	249.3	231.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

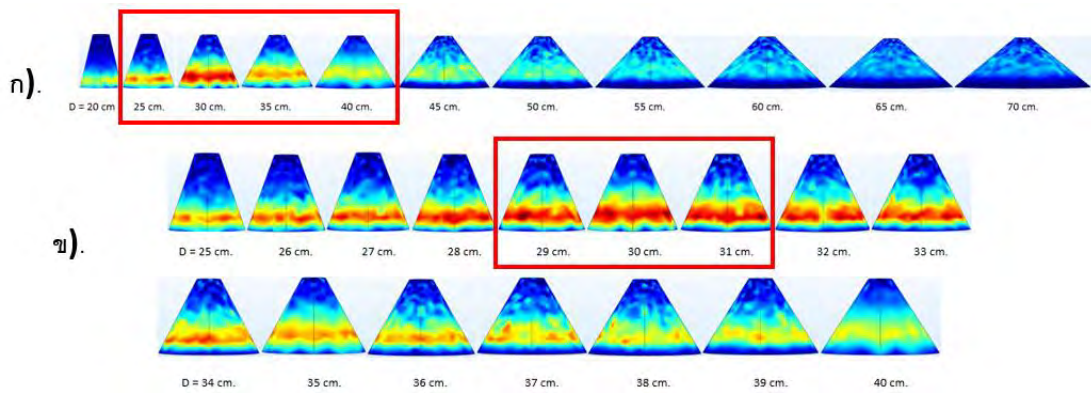


รูปที่ 5.8 แสดงผลการทดลองตัวรับแสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปทรง ร่วมกับจานรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 เมตร

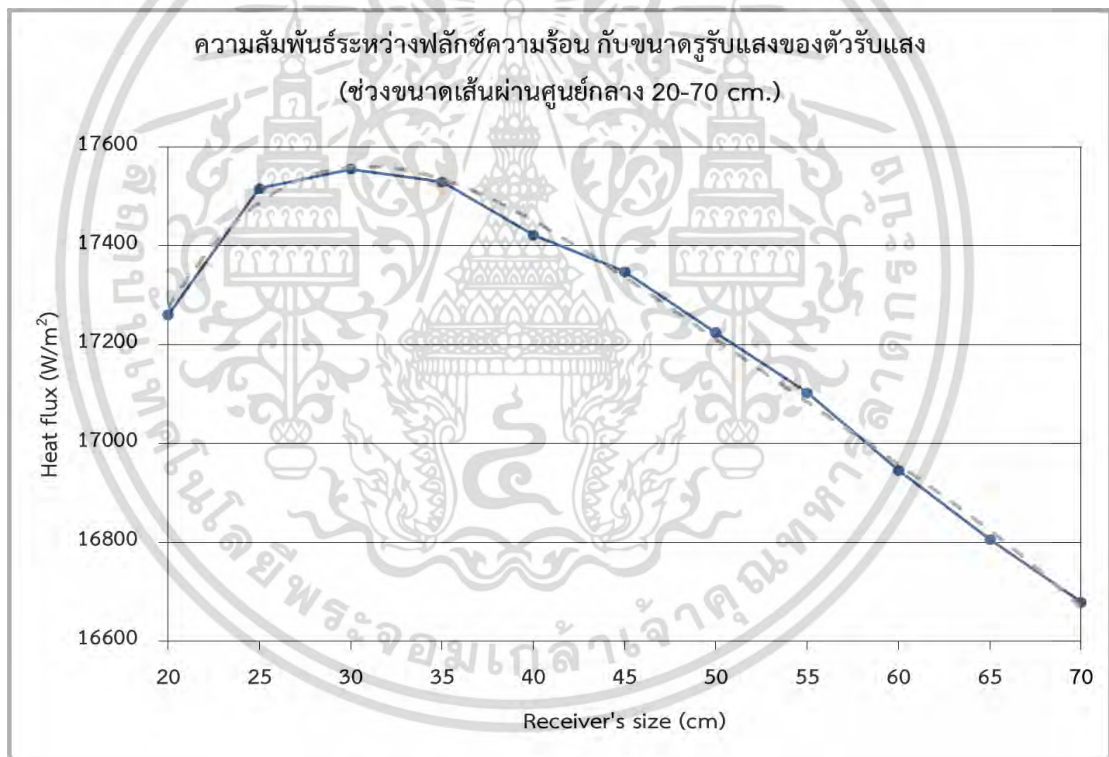
5.3 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์ในระบบจานรวมแสงอาทิตย์

5.3.1 ผลการจำลองการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสมกับขนาดของจานรวมแสงในระบบจานรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก

จากการจำลองการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสม ซึ่งใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics โดยแบ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์เป็น 10 ขนาด โดยตั้งขอบเขตของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ไว้ที่ 20 – 70 เซนติเมตร โดยเพิ่มขนาดขึ้นทีละ 5 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5.9 และผลจากการจำลองแสดงให้เห็นดังรูปที่ 5.10 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ยิ่งขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ค่าฟลักซ์ความร้อนที่ได้รับยิ่งลดลง เมื่อได้ขอบเขตของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีค่าฟลักซ์ความร้อนที่ดีที่สุดคือช่วงขอบเขตของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ที่ 25 – 40 เซนติเมตร จากนั้นทำการวิเคราะห์อีกครั้งในขอบเขตของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ให้ถี่ขึ้น จากช่วงขนาดที่มีค่าฟลักซ์ความร้อนที่ดีที่สุดคือช่วงขนาด 25-40 เซนติเมตร โดยเพิ่มขนาดขึ้นทีละ 1 เซนติเมตร ซึ่งผลจากการจำลองแสดงดังรูปที่ 5.11

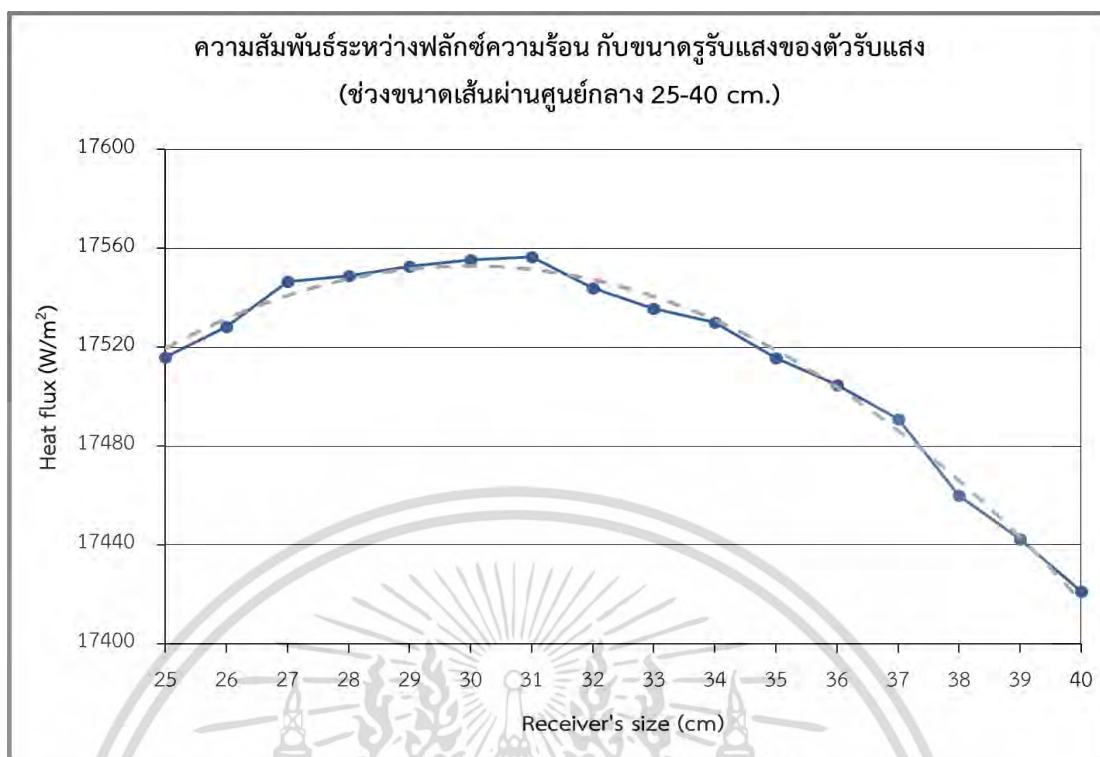


รูปที่ 5.9 ก). แสดงการกระจายฟลักซ์ความร้อนเพื่อหาขนาดของตัวรับแสงอาทิตย์ ระยะ 20-70 ซม. (ปรับระยะทีละ 5 ซม.) ข). แสดงการกระจายฟลักซ์ความร้อนเพื่อหาขนาดของตัวรับแสงระยะ 25-40 ซม. (ปรับระยะทีละ 1 ซม.)



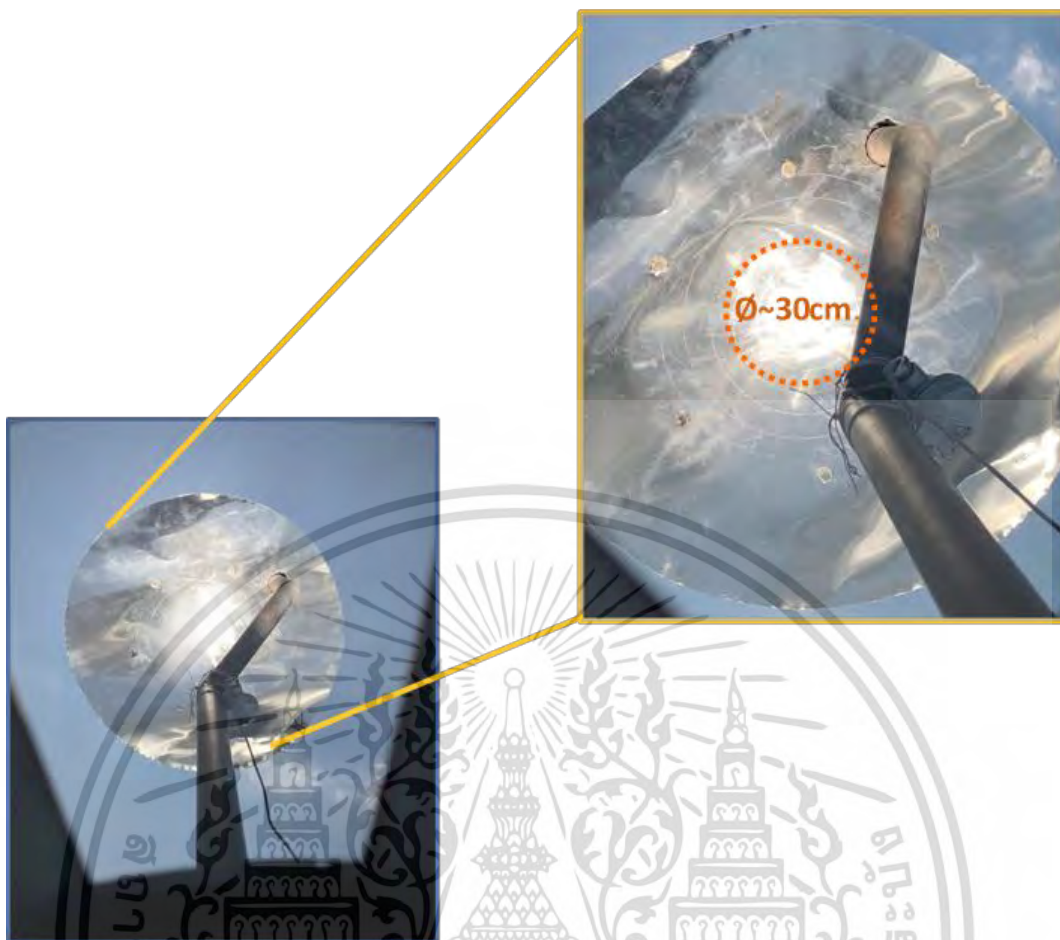
รูปที่ 5.10 แสดงกราฟการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสม ที่ขอบเขต 20 – 70 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 แสดงกราฟการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสม ที่ขอบเขต- 25 – 40 เซนติเมตร

จากรูปที่ 5.11 จะเห็นว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีค่าฟลักซ์ความร้อนมากที่สุดอยู่ประมาณ 28-31 เซนติเมตร จึงเลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ที่ 30 เซนติเมตร ไปสร้างตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย เพื่อที่จะนำไปใช้งานร่วมกับระบบจานรวมแสงอาทิตย์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 3.2 เมตร ซึ่งจากการทดลองวัดการรวมแสงของจานรวมแสงพาราโบลิกนี้ พบว่าพื้นที่ที่มีความความเข้มแสงมากที่สุดที่จุดโฟกัส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 เซนติเมตร ดังรูปที่ 5.12 ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับขนาดรูรับแสงที่ได้จากการจำลอง



รูปที่ 5.12 แสดงพื้นที่ที่มีความเข้มข้นแสงมากที่สุด จากการทดลองวัดการรวมแสงของจานรวมแสงพาราโบลิก

5.3.2 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพการรวมแสงอาทิตย์ของตัวรับแสงอาทิตย์

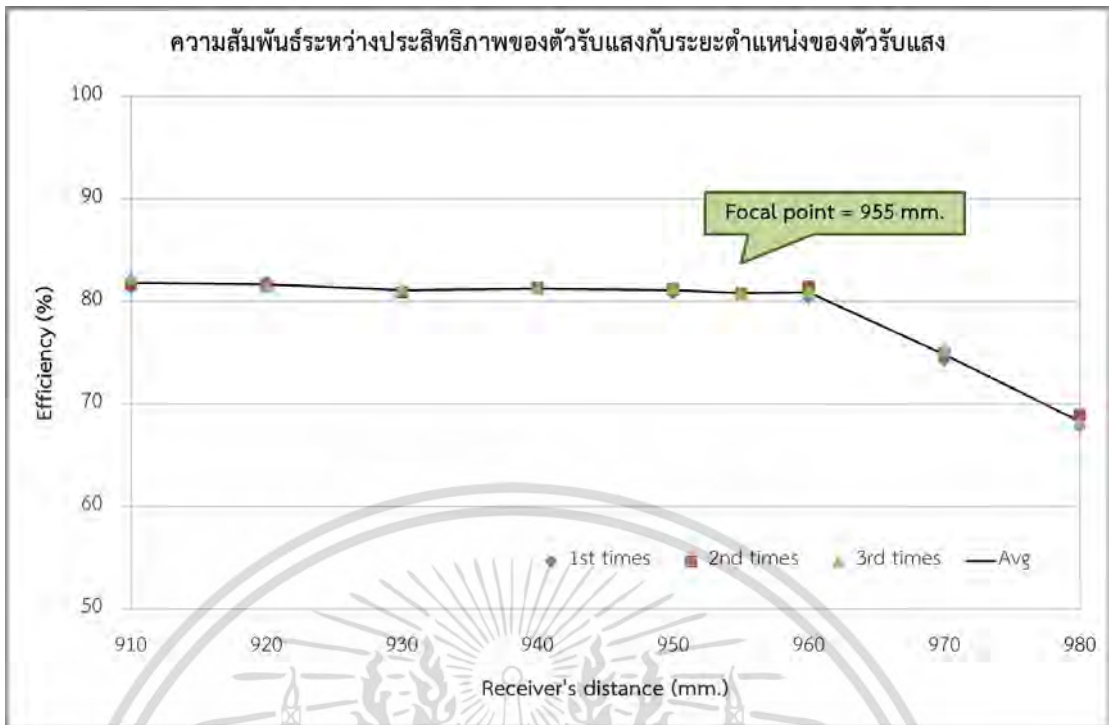
ในการทดลองหาประสิทธิภาพการรวมแสงอาทิตย์ของตัวรับแสงอาทิตย์ในระบบจานรวมแสงพาราโบลิก โดยวัดอุณหภูมิที่ปากทางเข้าของตัวรับแสงอาทิตย์และวัดอุณหภูมิภายในตัวรับแสงอาทิตย์โดยใช้เทอร์โมคัปเปิล จากนั้นทำการปรับระยะของตำแหน่งตัวรับแสงอาทิตย์ให้ห่างจากจานรวมแสงอาทิตย์ในช่วงขอบเขตตั้งแต่ 910 มิลลิเมตร ถึง 950 มิลลิเมตร ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์

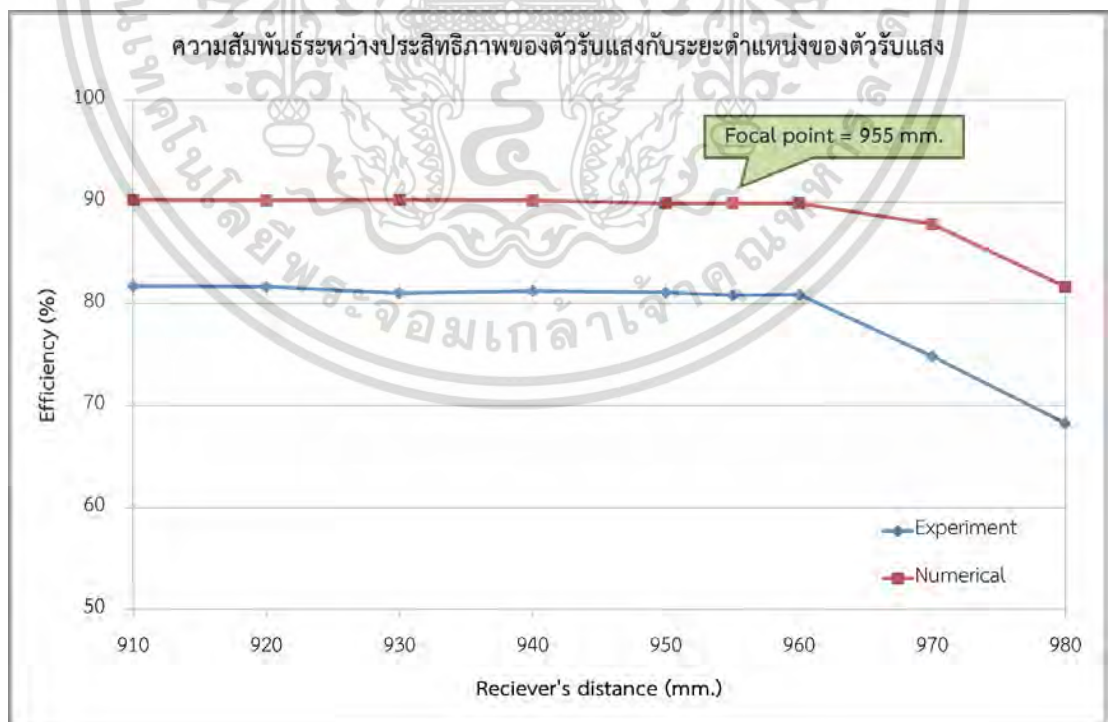
ระยะของ ตำแหน่ง ตัวรับ แสงอาทิตย์ (มิลลิเมตร)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
	T_{focus}	T_{inside}	η	T_{focus}	T_{inside}	η	T_{focus}	T_{inside}	η
910	541.3	440.8	81.43	540.2	441.1	81.65	539.2	443.7	82.29
920	538.0	441.1	81.99	539.2	440.2	81.64	540.7	440.8	81.52
930	541.7	439.1	81.06	542.2	438.7	80.91	540.5	439.4	81.30
940	537.9	437.2	81.28	540.1	439.1	81.30	537.2	436.6	81.27
950	542.2	438.2	80.82	540.1	438.7	81.23	537.6	437.1	81.31
960	540.5	434.3	80.35	537.3	437.6	81.44	538.6	436.3	81.00
970	538.6	400.2	74.30	539.0	403.7	74.90	537.3	404.6	75.30
980	539.4	366.2	67.89	540.7	372.5	68.89	541.2	368.4	68.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.13 แสดงกราฟประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์

จากนั้น ผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองผ่านโปรแกรม Comsol Multiphysics (หัวข้อ 5.1.2) ดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวรับแสงกับระยะตำแหน่งของตัวรับแสง-

อาทิตย์จากการทดลองและการจำลองผ่านโปรแกรม Comsol Multiphysics

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญได้เห็นว่าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 ผลการทดลองหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย

ในการทดลองหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย พบว่าอุณหภูมิของน้ำเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนกลายเป็นไอร้อนยิ่งยวดซึ่งเป็นไอพุ่งออกมาปลายทางออกของท่อทองแดง โดยวัดอัตราการไหลของน้ำได้ 1 ลิตรต่อนาที และมีแรงดันอยู่ที่ 1 bar (100 kPa) ซึ่งผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิที่ได้ แสดงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองวัดอุณหภูมิของน้ำ เพื่อหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์

ระยะของ ตำแหน่ง ตัวรับ แสงอาทิตย์ (มิลลิเมตร)	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3		
	T_{in}	T_{out}	ΔT	T_{in}	T_{out}	ΔT	T_{in}	T_{out}	ΔT
910	51.3	298.3	247	46.7	301.1	254.4	44.3	302.2	257.9
920	51.7	268.3	216.6	50.2	265.4	215.2	44.3	260.2	215.9
930	50.5	265.1	214.6	52.7	263.3	210.6	54.6	273.7	219.1
940	41.7	253.1	211.4	40.1	253.4	213.3	44.3	262.3	218
950	53.9	269.1	215.2	50.1	264.8	214.7	56.5	273	216.5
955	50.2	263.4	213.2	51.7	265.8	214.1	44.3	259.3	215
960	55.2	268.1	212.9	48.9	263.8	214.9	52.5	260.8	208.3
970	56.2	224.7	168.5	61.3	230.9	169.6	57.5	223.1	165.6
980	48.6	184.3	135.7	53.4	180.3	126.9	51.8	192	140.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้น ผลการทดลองในตารางที่ 5.3 มาเปิดตารางเทอร์โมไดนามิกส์ เพื่อคำนวณหาพลังงานที่ได้รับจากสมการ

$$Q = \dot{m} \cdot (h_{out} - h_{in}) \quad (5.1)$$

โดย \dot{m} คือ อัตราการไหล เท่ากับ 0.0051 kg/s

h_{out} คือ เอนทาลปีของไอน้ำที่ออกจากท่อ (kJ/kg)

h_{in} คือ ค่าเอนทาลปีของน้ำอึมตัวที่อุณหภูมิก่อนเข้าท่อ (kJ/kg)

P ที่ใช้ในการเปิดค่าจากตารางเทอร์โมไดนามิกส์ คือ ความดันสัมบูรณ์

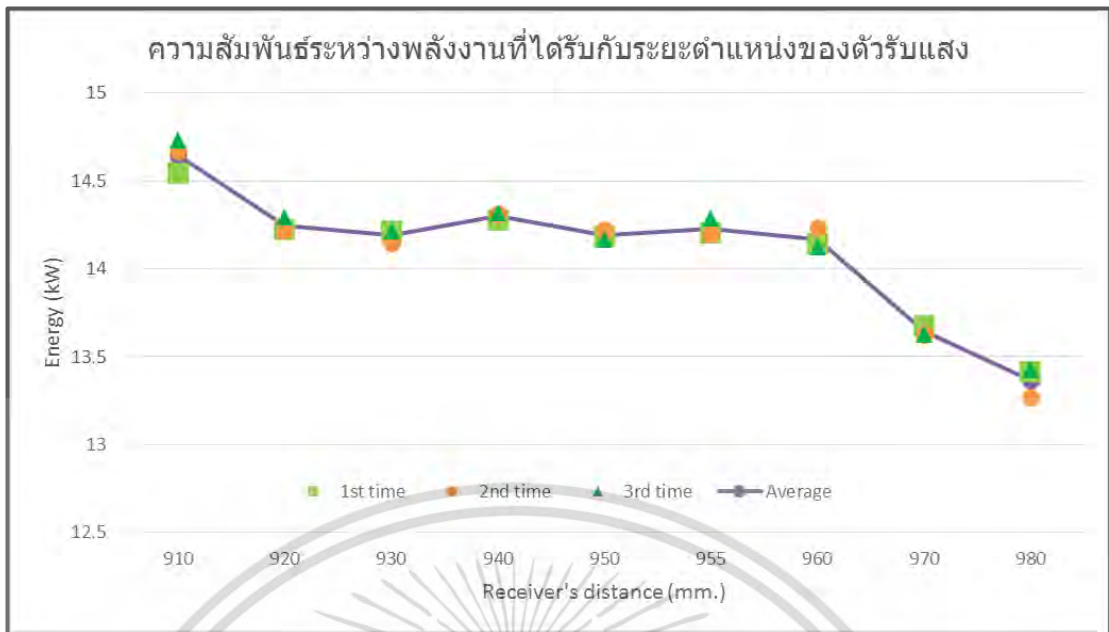
$$(P = P_{atm} + P_{gauge}, = 101.325 + 100 \text{ kPa} = 201.325 \text{ kPa})$$

ซึ่งผลการคำนวณพลังงานที่ได้รับจากสมการ ดังตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.15

ตารางที่ 5.4 ค่าพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์จากการทดลอง 3 ครั้ง

ระยะของตำแหน่ง ตัวรับแสงอาทิตย์ (มิลลิเมตร)	ครั้งที่1 (kW)	ครั้งที่2 (kW)	ครั้งที่3 (kW)	เฉลี่ย (kW)
910	14.54	14.67	14.73	14.65
920	14.22	14.22	14.30	14.25
930	14.21	14.15	14.22	14.19
940	14.28	14.31	14.32	14.30
950	14.18	14.22	14.17	14.19
955	14.20	14.29	14.23	14.23
960	14.23	14.13	14.17	14.17
970	13.63	13.63	13.64	13.64
980	13.27	13.43	13.37	13.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.15 แสดงกราฟพลังงานเฉลี่ยที่ได้รับที่ตำแหน่งต่างๆ ของตัวรับแสงอาทิตย์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัย

6.1 การหารูปทรงที่ดีที่สุดของตัวรับแสง

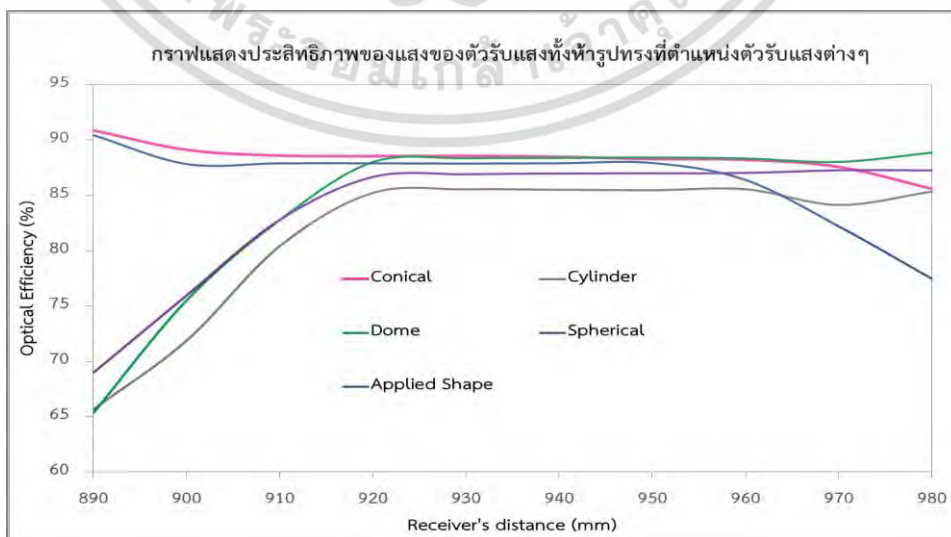
ในการศึกษาการทำงานของตัวรับแสงรูปทรงเรขาคณิตทั้งห้าแบบที่แตกต่างกัน คือ รูปทรงกรวย, รูปทรงกลม, รูปทรงกระบอก, รูปทรงโดม และรูปทรงผสมระหว่างทรงกรวยกับทรงกระบอก โดยมีการจำลองการติดตามรังสีเพื่อคำนวณวิถีเส้นทางของรังสีของแต่ละรูปทรงด้วยโปรแกรม Comsol multiphysics ซึ่งจากผลการจำลองด้วยโปรแกรมสามารถสรุป ดังต่อไปนี้

1). รูปทรงกรวยสามารถเก็บพลังงานที่เข้ามาได้เป็นจำนวนมากที่สุดจากจากรวมแสง เมื่อเทียบกับอีกสี่รูปทรงอื่นๆ ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลงานวิจัยของ Ahmed M.Daabo ซึ่งมีการจำลองด้วยโปรแกรมที่แตกต่างกัน และในงานวิจัยนี้ประสิทธิภาพแสงสูงสุดจากการจำลองตัวรับแสงแต่ละรูปทรง คือ รูปทรงกรวย 90.9%, รูปทรงผสม 90.4%, รูปทรงโดม 88.9%, รูปทรงกลม 87.3% และรูปทรงกระบอก 85.5% ตามลำดับดังรูปที่ 6.1

2). ตำแหน่งที่ดีที่สุด ที่ทำให้ตัวรับแสงได้รับค่าพลังงานสูงสุดของตัวรับแสงแต่ละรูปทรง คือ

- รูปทรงกรวย เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ห่างจากจากรวมแสงอาทิตย์ 910 มิลลิเมตร
- รูปทรงกลม เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ห่างจากจากรวมแสงอาทิตย์ 960 มิลลิเมตร
- รูปทรงกระบอก เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ห่างจากจากรวมแสงอาทิตย์ 960 มิลลิเมตร
- รูปทรงโดม เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ห่างจากจากรวมแสงอาทิตย์ 950 มิลลิเมตร
- รูปทรงผสม เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ห่างจากจากรวมแสงอาทิตย์ 950 มิลลิเมตร

3). รูปทรงกรวยมีความสม่ำเสมอของการส่องสว่างที่ดีที่สุดของคาร์ระยะโฟกัสทั้งหมด

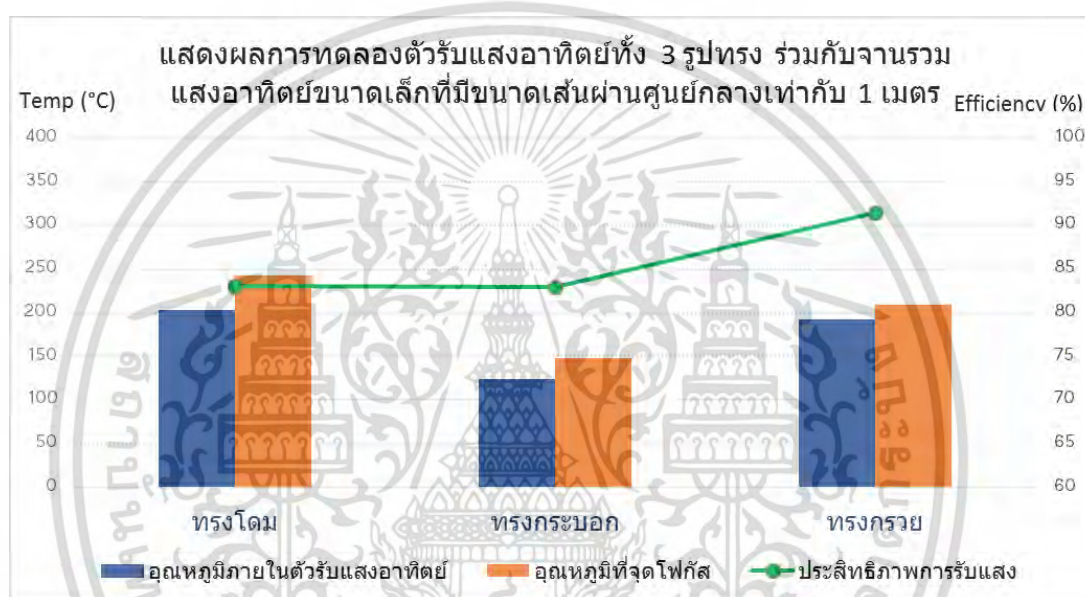


รูปที่ 6.1 แสดงประสิทธิภาพแสงสำหรับตัวรับทั้งห้าที่ตำแหน่งตัวรับแสงที่ต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การตรวจสอบความถูกต้องจากการจำลอง

จากการทดลอง โดยใช้ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวย รูปทรงกระบอก และรูปทรงโดม ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงเท่ากับ 20 เซนติเมตร ทงานร่วมกับจนวนรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 เมตร เพื่อตรวจสอบความถูกต้องจากการจ าสงได้ผลสรุปว่า ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยกักเก็บอุณหภูมิภายในตัวรับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวรับแสงอาทิตย์อีก 2 รูปทรง ซึ่งประสิทธิภาพการรับแสงเฉลี่ยอยู่ที่ 91.48 เปอร์เซ็นต์, 83.11 เปอร์เซ็นต์ และ 82.93 เปอร์เซ็นต์ ส าหรับตัวรับแสงทรงกรวย ทรงโดมและทรงกระบอก ตามล าดับดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 แสดงผลการทดลองตัวรับแสงอาทิตย์ทั้ง 3 รูปทรง ร่วมกับจนวนรวมแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

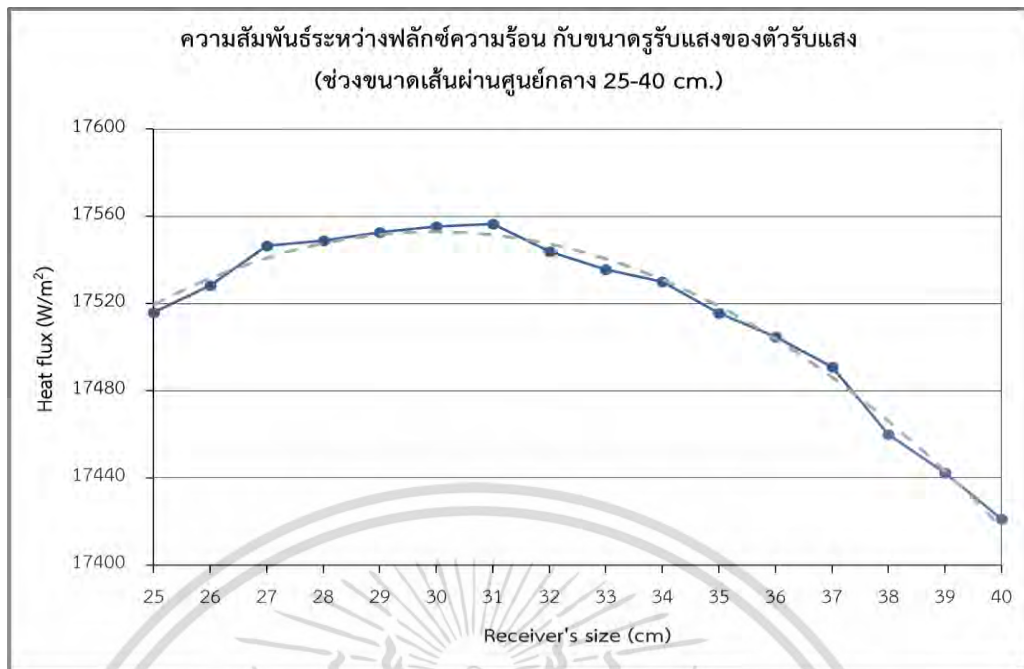
6.3 การทดลองหาประสิทธิภาพของตัวรับแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบจนวนรวมแสงอาทิตย์ต้นแบบ

6.3.1 ผลการจำลองการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสมกับขนาดของจนวนรวมแสงอาทิตย์ในระบบจนวนรวมแสงอาทิตย์พาราโบลิก

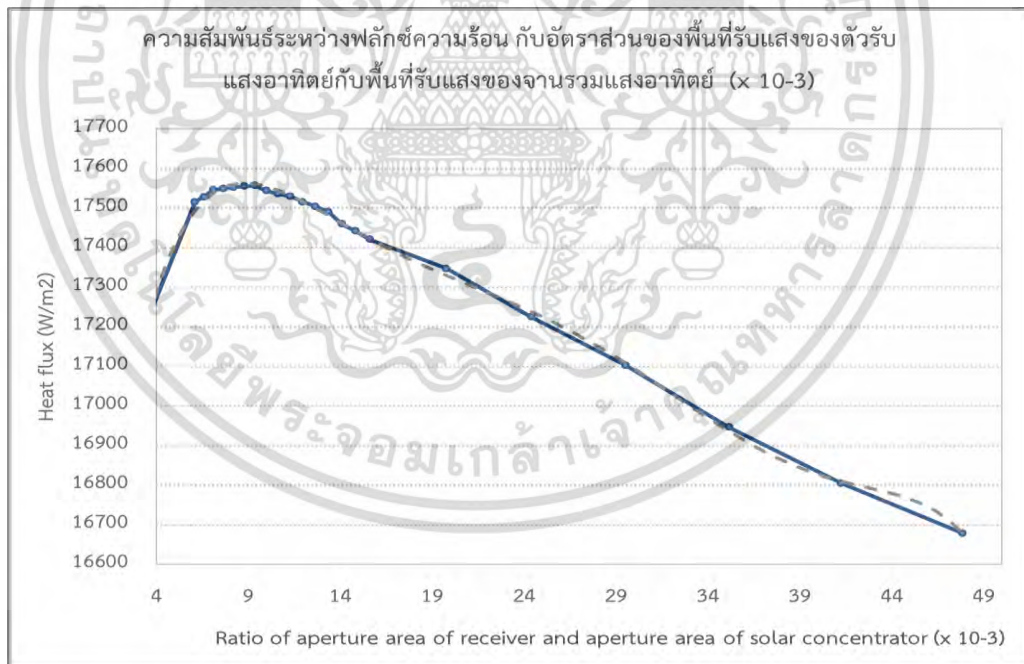
จากการจำลองการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสม โดยใช้โปรแกรม Comsol Multiphysics ได้ผลสรุปว่า ตัวรับแสงอาทิตย์ที่เข้าร่วมกับจนวนรวมแสงอาทิตย์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 เมตร ซึ่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดที่สามารถรับพลังงานความร้อนได้มากที่สุด อยู่ในช่วงระหว่าง 28-31 เซนติเมตร ดังรูปที่ 6.3

และอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ต่อพื้นที่รับแสงของจนวนรวมแสงอาทิตย์ประมาณ $9-10 \times 10^{-3}$ จะมีค่าฟลักซ์ความร้อนมากที่สุดดังรูปที่ 6.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.3 แสดงกราฟการวิเคราะห์หาขนาดตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยที่เหมาะสม ที่ขอบเขต 25 – 40 เซนติเมตร

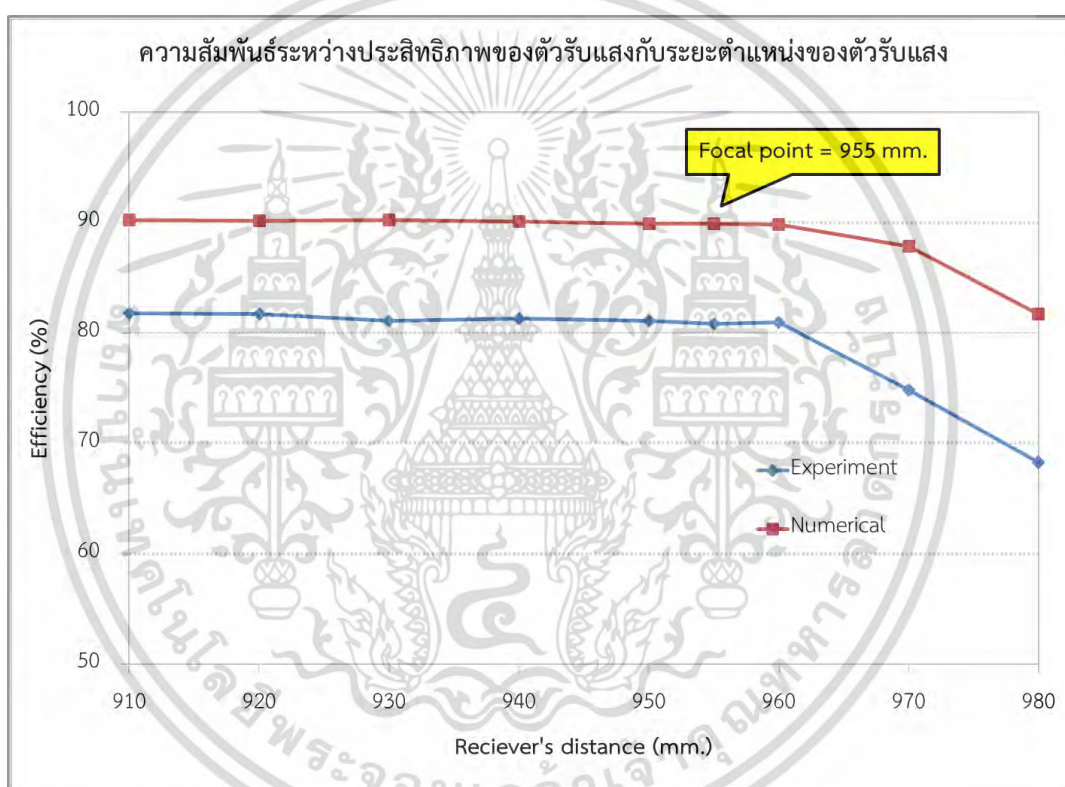


รูปที่ 6.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างฟลักซ์ความร้อน กับอัตราส่วนระหว่างพื้นที่รับแสงของตัวรับแสงอาทิตย์ต่อพื้นที่รับแสงของจานรวมแสงอาทิตย์

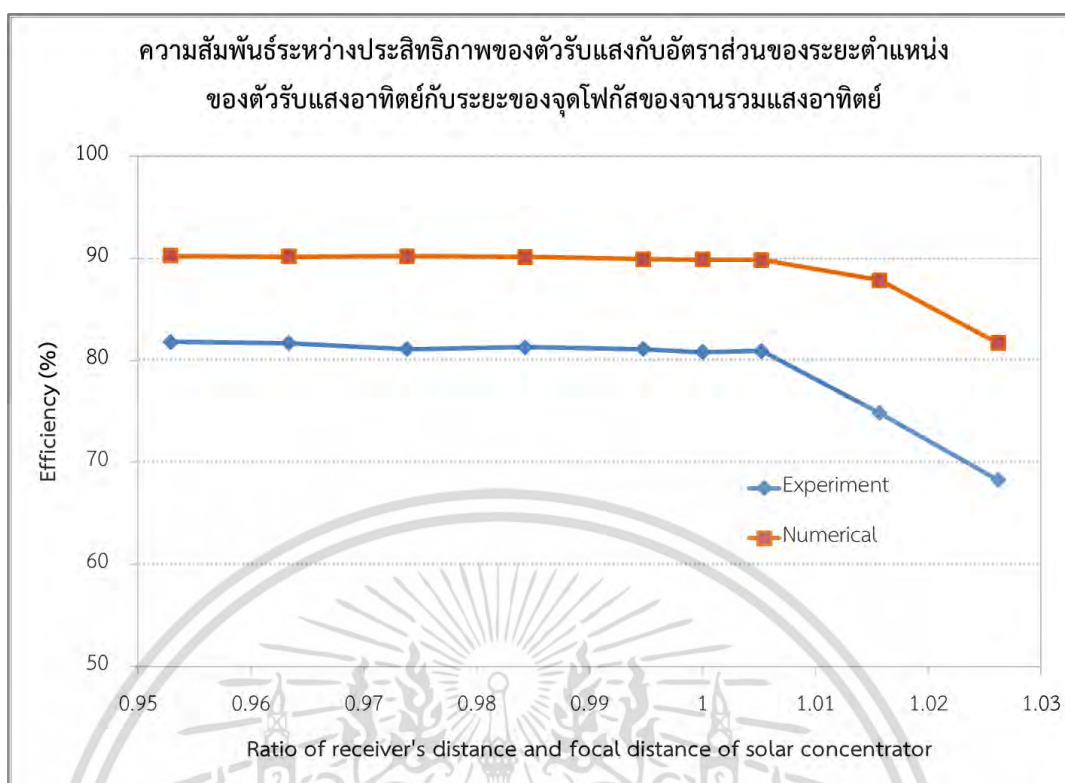
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3.2 ผลการทดลองหาประสิทธิภาพการรวมแสงอาทิตย์ของตัวรับแสงอาทิตย์

จากการทดลองหาประสิทธิภาพการรวมแสงอาทิตย์ของตัวรับแสงอาทิตย์ พบว่าตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงกรวยมีประสิทธิภาพในการกักเก็บอุณหภูมิสูงสุดคิดเป็น 81.7% ที่ตำแหน่งของตัวรับแสงอาทิตย์มีระยะห่างจากจานรวมแสงอาทิตย์อยู่ที่ 910 มิลลิเมตร โดยอุณหภูมิเฉลี่ยที่ปากทางเข้าของตัวรับแสงอาทิตย์อยู่ที่ประมาณ 540 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับผลการจำลองผ่านโปรแกรม Comsol Multiphysics ประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 90.2% ที่ระยะ 910 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 6.5 ซึ่งอัตราส่วนของระยะของตำแหน่งของตัวรับแสงอาทิตย์ต่อระยะของจุดโฟกัสของจานรวมแสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ ช่วงประมาณ 0.953-0.94 ดังรูปที่ 6.6



รูปที่ 6.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวรับแสงกับระยะตำแหน่งของตัวรับแสงอาทิตย์จากการทดลองและการจำลองผ่านโปรแกรม Comsol Multiphysics



รูปที่ 6.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของตัวรับแสง กับอัตราส่วนของระยะตำแหน่งของตัวรับแสงอาทิตย์ต่อระยะจของจุดโฟกัสของจานรวมแสงอาทิตย์

6.3.3 ผลการทดลองหาพลังงานที่ได้รับของตัวรับแสงอาทิตย์

จากการทดลองหาพลังงานตัวรับแสงอาทิตย์โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนจากท่อทองแดง พบว่า ตำแหน่งของตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีระยะห่างจากจานรวมแสงอาทิตย์ 910 มิลลิเมตร คือ ตำแหน่งที่ได้รับพลังงานความร้อนสูงสุดอยู่ที่ 14.65 กิโลวัตต์ หรือ 14650 วัตต์ และจากการทดลองปรับตำแหน่งของตัวรับแสงอาทิตย์ให้ห่างจากจานรวมแสงอาทิตย์เป็นระยะตามขอบเขตเช่นเดียวกับขอบเขตที่ใช้ในการจำลอง พบว่า พลังงานที่ได้รับจากการทดลองมีความสอดคล้องกันกับผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ye Wang, Guoqiang Xu, Yongkai Quan, Xiang Luo and Haiwang Li., "Design and Optimization of a New Solar Dish Cavity Receiver/Absorber" **IPCBEE**, vol.54, 2013.
- [2] E. Abbasi-Shavazia, G.O. Hughesb and J.D. Pyea, "Investigation of heat loss from a solar cavity receiver" **Energy Procedia**, 2015.
- [3] Ahmed M. Daabo, Saad Mahmoud and Raya K. Al-Dadah, "The effect of receiver geometry on the optical performance of a smallscale solar cavity receiver for parabolic dish applications" **Energy**, 114, 2016. p.513-525.
- [4] Saša R. Pavlovic and Velimir P. Stefanovic, "Ray Tracing Study of Optical Characteristics of the Solar Image in the Receiver for a Thermal Solar Parabolic Dish Collector" **Solar Energy**, vol. 2015.
- [5] Rebecca Dunn, Keith Lovegrove, Greg Burgess and John Pye, "An Experimental Study of Ammonia Receiver Geometries for Dish Concentrators" **Journal of Solar Energy Engineering**, Vol. 134, NOVEMBER 2012.
- [6] Djelloul Azzouzi, Boussad Boumeddane and Abderahmane Abene, "Experimental and analytical thermal analysis of cylindrical cavity receiver for solar dish" **Renewable Energy**, Vol.106, 2017. p.111-121.
- [7] R. Loni, E. Askari Asli-ardeh, B. Ghobadian, A.B. Kasaeian and Sh. Gorjian, " Thermodynamic analysis of a solar dish receiver using different nanofluids" **Energy**, Vol.133, 2017. p.749-760.
- [8] M. Prakash, " Numerical Study of Natural Convection Heat Loss from Cylindrical Solar Cavity Receivers" **Renewable Energy**, vol. 2014.
- [9] Graham Hughes, John Pye, Martin Kaufer, Ehsan Abbasi-Shavazi, Jack Zhang, Adam McIntosh and Tim Lindley, "Reduction of Convective Losses in Solar Cavity Receivers" **AIP Conference Proceedings**, Vol.1734, 2016.
- [10] Kentaro Kanatani, Takashi Yamamoto, Yutaka Tamaura and Hiroshige Kikura, " A model of a solar cavity receiver with coiled tubes" **Solar Energy**, Vol.153, 2017. p.249–261.
- [11] THANCHANOK. "ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์" [Online]. Available : <https://thanchaging.wordpress.com/โครงการงานปัญหาพิเศษ/บทที่2-ทฤษฎีและงานวิจัย/>
- [12] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. "พลังงานแสงอาทิตย์" [Online]. Available :

<https://th.wikipedia.org/wiki/พลังงานแสงอาทิตย์>
 เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนวิชาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] "พลังงานแสงอาทิตย์" [Online]. Available : <http://www.rmutphysics.com>
- [14] "อุณหพลศาสตร์เบื้องต้น" [Online]. Available :
http://pws.npru.ac.th/nattapon/data/files/บทที่%2010%20อุณหพลศาสตร์เบื้องต้น_part2.pdf
- [15] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. "การถ่ายเทความร้อน" [Online]. Available :
<https://th.wikipedia.org/wiki/การถ่ายเทความร้อน>
- [16] "อลูมิเนียม (Aluminium) ชนิด และประโยชน์อลูมิเนียม" [Online]. Available :
<http://www.siamchemi.com/อลูมิเนียม/>
- [17] "ความรู้เกี่ยวกับสแตนเลส" [Online]. Available :
<http://www.tssda.org/index.php?actions=about&id=6>
- [18] "ทองแดง (Copper) ประโยชน์ และพิษทองแดง" [Online]. Available :
<http://www.siamchemi.com/ทองแดง/>
- [19] Yunus A. Cengel, M. A.. **In Thermodynamics: An Engineering Approach.** McGraw-Hill Science/Engineering/Math. 2005
- [20] Stine William B, Geyer Michael. **Power from the sun,** 2001.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก



ก. แบบตัวรับแสงอาทิตย์

ข. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

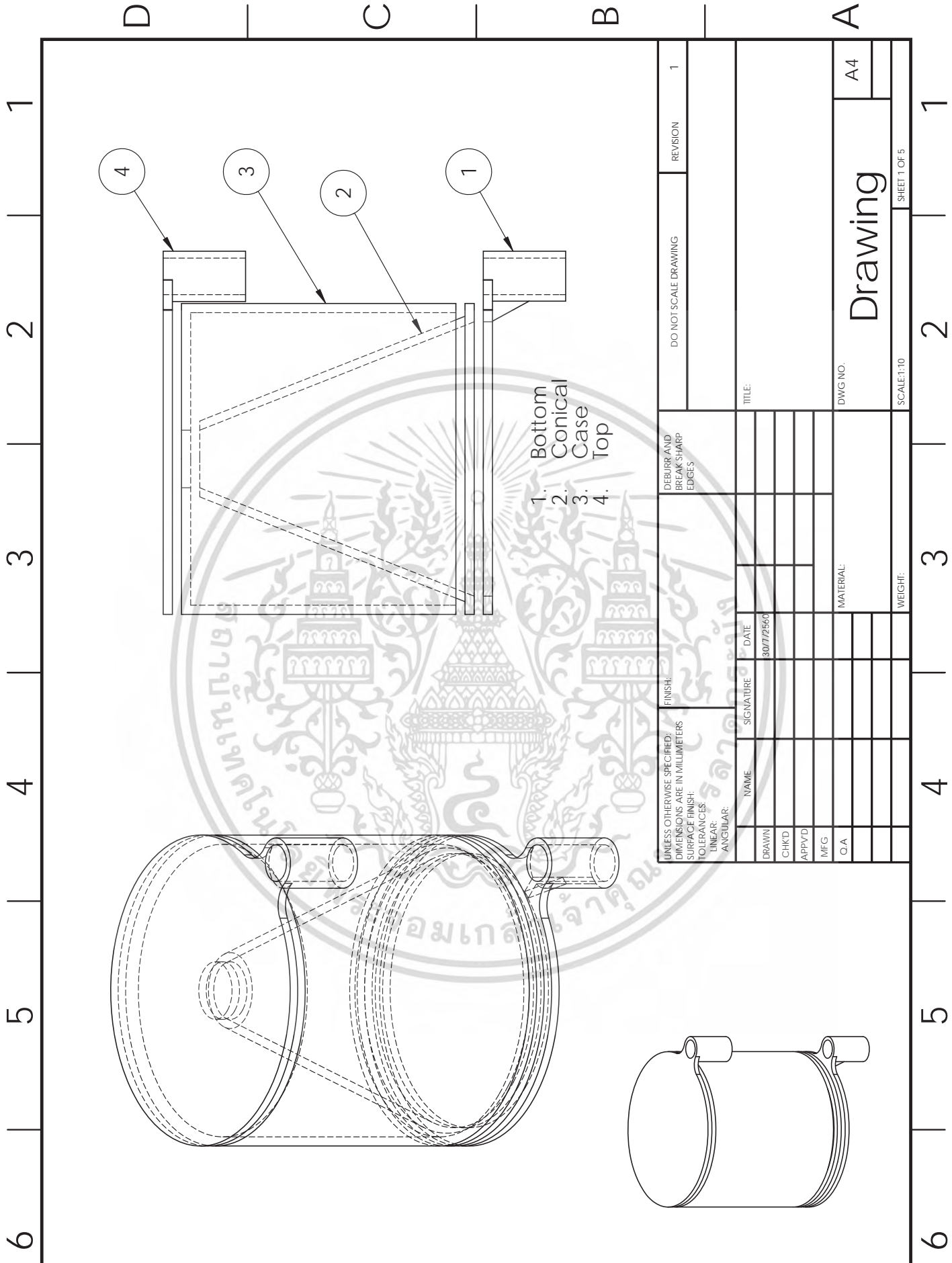
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก.

แบบตัวรับแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



1. Bottom
2. Conical
3. Case
4. Top

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:		BREAK SHARP EDGES		TITLE:		1	
TOLERANCES:		DATE		DRAWING NO.		A4	
LINEAR:		30/7/2560		DWG NO.		Drawing	
ANGULAR:		SIGNATURE		MATERIAL:		SHEET 1 OF 5	
DRAWN		DATE		WEIGHT:		SCALE:1:10	
CHKD		30/7/2560					
APPVD							
MFG							
O/A							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่าใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึง B ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำ A ใช้

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

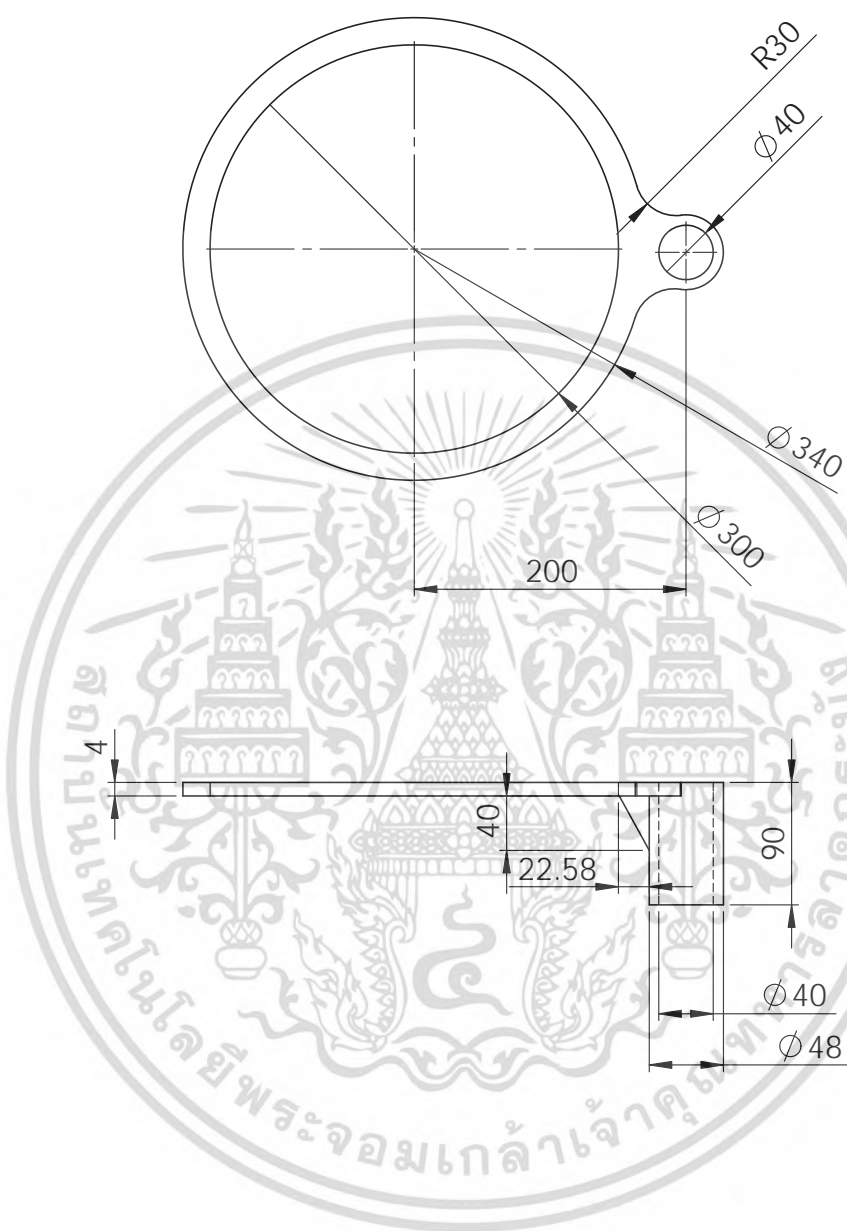
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 1	
DRAWN				NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHK'D								30/7/2560			
APPV'D											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		DWG NO.	
										Bottom	
								WEIGHT:		A4	
								SCALE:1:10		SHEET 2 OF 5	

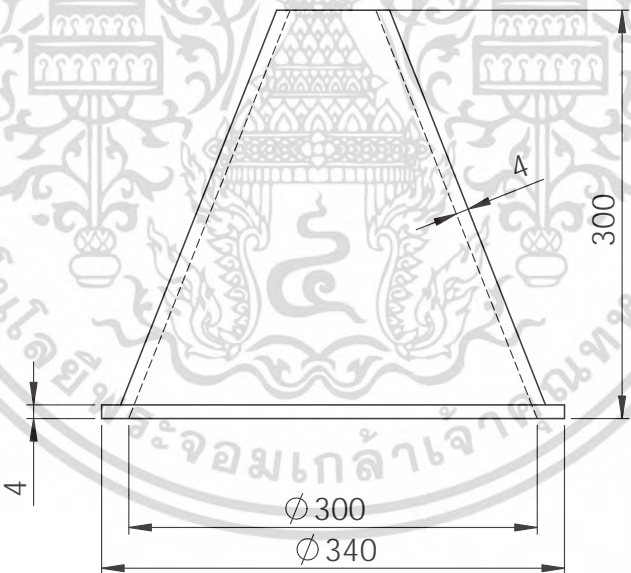
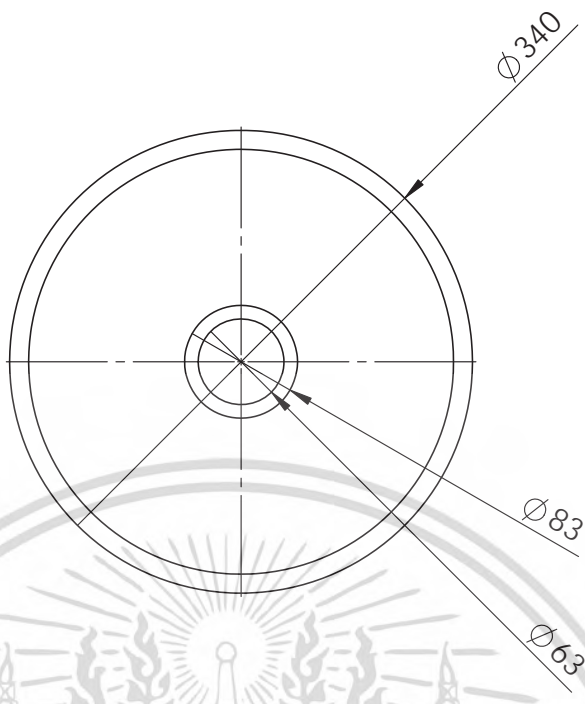
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ผ่านการ
 4 3 2 1

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 1	
DRAWN				NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHK'D								30/7/2560			
APPV'D											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		DWG NO.	
										Conical	
								WEIGHT:		A4	
								SCALE:1:10		SHEET 3 OF 5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ผ่านการพิจารณา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 3 2 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

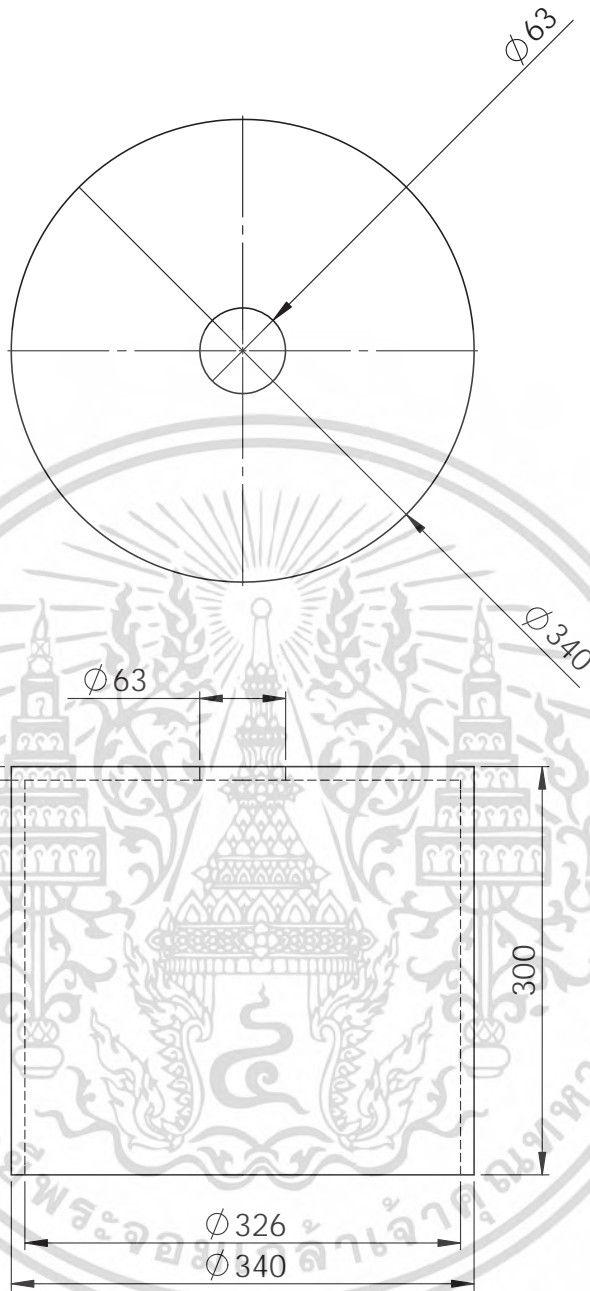
C

B

B

A

A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 1	
								TITLE:			
DRAWN				NAME		SIGNATURE		DATE		30/7/2560	
CHK'D											
APPV'D											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		DWG NO.	
										Case	
								WEIGHT:		A4	
								SCALE:1:10		SHEET 4 OF 5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ผ่านการพิจารณา

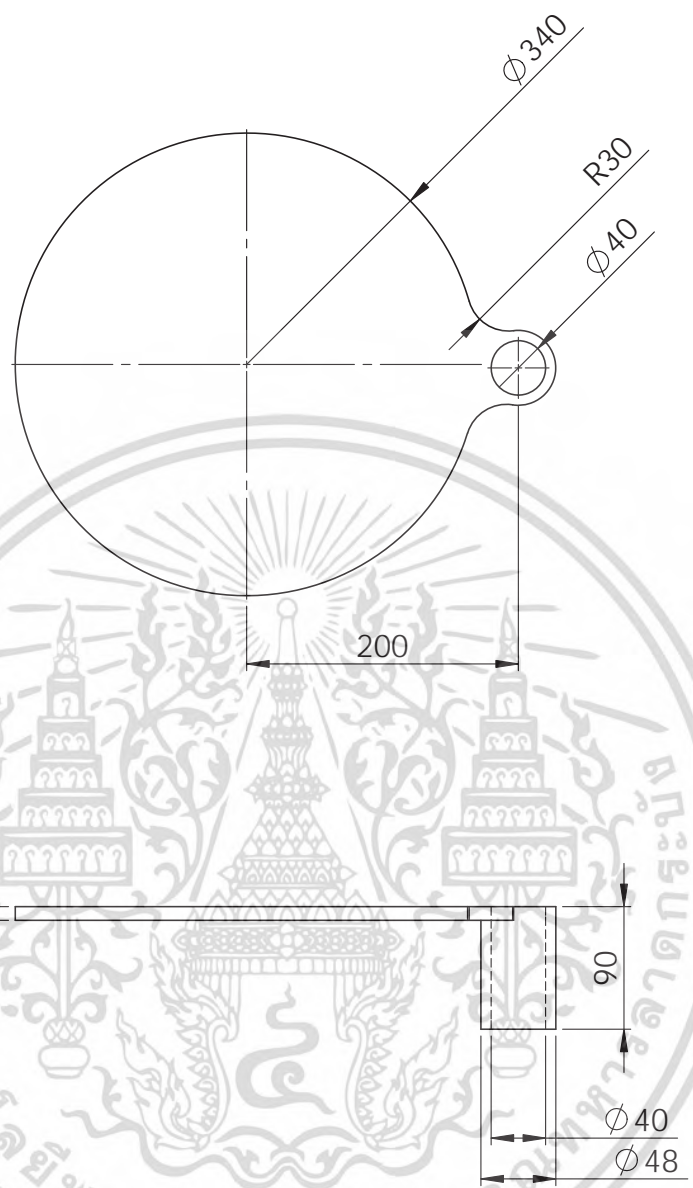
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 3 2 1

4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A



UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS SURFACE FINISH: TOLERANCES: LINEAR: ANGULAR:				FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION 1	
DRAWN				NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:	
CHK'D								30/7/2560			
APPV'D											
MFG											
Q.A								MATERIAL:		DWG NO.	
										Top	
								WEIGHT:		A4	
								SCALE:1:10		SHEET 5 OF 5	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการพิจารณา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4 3 2 1



ภาคผนวก ข.
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Proceedings The 31st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31

ระหว่างวันที่ 4 - 7 กรกฎาคม 2560

ณ โรงแรมภูเขาาม รีสอร์ท จ.นครนายก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

งานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย

ครั้งที่ ๓๑

๔ ถึง ๗ กรกฎาคม ๒๕๖๐



โดย
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ณ โรงแรมภูเขางาม รีสอร์ท

จังหวัดนครนายก

EEU-03.....1060
Alternative Education for Comparing the Utilization between Old and New Air Conditioner for Chulachomkiao Royal Military Academy Library
Pongsakorn Prakobprom, Jessadakorn Saenkotr, Suwimon Saneewong Na Ayuttaya*, Teerapat Punkla

EEU-04.....1069
การสร้างและทดสอบหม้อต้มแรงดันเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ในการเรียนการสอน
อนุวัฒน์ บำรุงกิจ, ไพโรจน์ ลิ้มปวยอม, ชาตชาย สีลาสิริวิไล

สาขา Energy Technology and Management (ETM)

ETM-01.....1074
การศึกษาสมการอบแห้งแบบชั้นบางสำหรับการอบแห้งลมร้อนร่วมกับวัสดุพูนชนิดตาข่าย
ระตินันท์ เหลืออมพล^{1*}, โสภณ สิ้นสร้าง¹, พรสวรรค์ ทองใบ¹, สัจจวาลย์ บุญจันทร์¹ และ ณรงค์ศักดิ์ โยธา²

ETM-02.....1082
ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สไฮโดรเจนโดยใช้ระบบผลิตไฟฟ้าและน้ำร้อนร่วมพลังงาน
แสงอาทิตย์
อศกฤตา โลหพรหม¹, ชนิตา ป้อมเสน¹, สุระศักดิ์ ศรีปาน¹ และ บุญญฤทธิ์ ประสาทแก้ว^{2*}

ETM-03.....1092
The Development of an Appropriate Energy Management System for a NGV Station According to ISO 50001: 2011
Benya Kasantikul, Hataitep Wongsuwan and Kanit Manatura

ETM-04.....1097
เครื่องทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์จากท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนภายใน
สถิตพงศ์ เสงี่ยมศักดิ์^{1*}, สุพัตรา บุญโฮง¹, วิริยะ แฉงทน¹ และอนุรักษ รัตบำรุง²

ETM-05.....1105
การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบการผลิตน้ำแข็งด้วยการนำน้ำละลายน้ำแข็งมาเติมในหอ
ระบายความร้อน กรณีศึกษาโรงงานน้ำแข็งหลอดในจังหวัดอุดรธานี
อภิชาติ ศรีชาติ^{1*} และ กวีพงษ์ หงษ์ทอง¹

ETM-06.....1114
การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับแสงรูปทรงต่าง ๆ ในระบบจวนรวม
แสงอาทิตย์
นัทธมน เขียวอ่อน¹, สุตาภัทร แคว้นเขาเม็ง^{1*}

ETM-07.....1124
การศึกษาสมรรถนะตู้มาเชื่อมด้วยรังสีอาทิตย์ร่วมไอระเหยเอทานอล
จารุวัฒน์ เจริญจิต^{1*}

ETM-08.....1133
ปัจจัยที่มีผลต่อการนำ ASHRAE Building EQ มาใช้ในประเทศไทย
ณรงค์ พรหมศรี¹, ทสพล เขตเจนการ^{1*}

การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับแสงรูปทรงต่างๆในระบบจานรวมแสงอาทิตย์

Investigation and Comparison on Solar Receiving Efficiency of Various Shape Receivers in Solar Concentrator System

นัทธมน เขียวอ่อน¹, สุตาภัทร แควนเขาเม็ง^{1*}

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ 4 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 เขตลาดกระบัง แขวงลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 410520
 *ติดต่อ: E-mail sutapat.kw@kmitl.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 02-329-8351, เบอร์โทรสาร 02-329-8352

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้เสนอการออกแบบและวิเคราะห์ตัวรับแสงอาทิตย์รูปทรงต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพการรับแสงอาทิตย์ของตัวรับแสง พร้อมทั้งเปรียบเทียบลักษณะการรับแสงของรูปทรงแบบต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์ของขนาดและรูปร่างของตัวรับแสงอาทิตย์แต่ละรูปทรงต่อประสิทธิภาพการรับแสง ในการวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์หารูปร่างของตัวรับแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพการรับแสงสูงสุด โดยคำนึงถึงลักษณะการรับแสงและการกระจายฟลักซ์ความร้อนของตัวรับแสงอาทิตย์ซึ่งในการวิเคราะห์นี้ ตัวรับแสงมีทั้งหมด 5 รูปทรง คือ รูปทรงกรวย , รูปทรงกลม , รูปทรงกระบอก , รูปทรงโดม และ รูปทรงผสมระหว่างทรงกระบอกและทรงกรวย โดยมีการกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงมีขนาดเท่ากัน โดยมีขนาด 10% ของขนาดจานรวมแสง และพื้นที่ผิวภายในเท่ากัน โดยในการศึกษานี้มีขนาดจานรวมแสงเท่ากับ 3.20 เมตร ซึ่งในการวิเคราะห์คำนวณการติดตามรังสีเพื่อหาวิถีเสถียรของรังสีซึ่งจำลองด้วยโปรแกรม Comsol mutiphysics อาศัยหลักการ Finite element analysis (FEA) เพื่อประเมินสมรรถนะการรับแสงของตัวรับแสงรูปทรงต่างๆ ผลที่ได้จากการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การกระจายฟลักซ์ความร้อนพื้นผิวภายในของตัวรับมีผลต่อประสิทธิภาพของตัวรับแสง และพบว่าตัวรับแสงรูปทรงกรวยนั้น มีการกระจายฟลักซ์ความร้อนดีกว่ารูปทรงอื่นๆ และตำแหน่งที่ดีของตัวรับแสงจะขึ้นอยู่กับรูปร่างของตัวรับแสงอีกด้วย ซึ่งตัวรับแสงรูปทรงกรวยที่ตำแหน่งจุดโฟกัสอยู่ภายในตัวรับแสง จะมีการกระจายฟลักซ์ความร้อนดีที่สุด จากผลการวิจัยจะสามารถนำไปพัฒนาการออกแบบขนาดตัวรับแสงให้เหมาะสมกับจานรวมแสงขนาดอื่นๆ สำหรับการนำมาใช้งานจริง

คำหลัก: ตัวรับแสงอาทิตย์, การติดตามรังสี, รูปทรงตัวรับแสง

Abstract

This paper presents design and analysis of solar receivers in order to investigate and compare effects of solar receiver geometries on optical characteristic and receiving efficiency. This research focuses on five different geometric solar receivers including 1.conical 2.spherical 3.cylindrical 4.dome and 5.combined between cylindrical and conical shape. The best shape providing the highest optical efficiency is evaluated by consideration of solar ray characteristic and heat flux distribution. The controlled parameters of the receivers are identical in aperture diameter and internal surface

area. In the numerical investigation, the aperture diameter is 10% of solar concentrator's diameter and the solar concentrator has rim diameter of 3.20 m. Comsol multiphysics program is used to simulate the ray trajectories based on the principle of finite element analysis (FEA). The results showed that the conical shape gives the highest heat flux and optical efficiency while the focal point should be located inside the receiver. From the analytic results of research can be used to design the suitable solar receiver and develop solar receiving performance.

Keywords: Solar receiver, Ray tracing, Receiver's shape, Solar collector.

1. บทนำ

ในปัจจุบัน มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มาจากพลังงานทดแทนอย่างแพร่หลาย เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าประสิทธิภาพมากขึ้นและเพื่อลดการใช้พลังงาน ซึ่งระบบจากรวมแสงพาราโบลาก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่สามารถผลิตพลังงานทดแทนได้ โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจากรวมแสงพาราโบลานี้ จะมีอุปกรณ์สำคัญที่เรียกว่า “ตัวรับแสง” ซึ่งเป็ผลผลิตสำคัญที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของแสงในระบบ ดังนั้นในตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ ส่วนใหญ่ในการวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่การสูญเสียความร้อนและความสัมพันธ์ของรูปทรงตัวรับ เพื่อให้ตัวรับประเมินค่าได้นั้นจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับ [1-2] ผู้ทำการวิจัยส่วนใหญ่มักจะละเลยการถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรูปทรงเรขาคณิตแบบต่างๆ ซึ่งจะช่วยให้การถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลที่กำลังทำงาน เมื่อไม่นานมานี้ มีการวิจัยจำนวนมากทำการทดลองเกี่ยวกับระบบ solar tower [3], เครื่องยนต์สเตอร์ลิง [4] และการเพิ่มประสิทธิภาพของวัฏจักร solar Brayton [5] นอกจากนี้ ยังมีการวิจัยหลายแห่งที่วิจัยเกี่ยวกับการสูญเสียความร้อนของ รูปทรง, ขนาด และตำแหน่งของตัวรับ ตัวอย่างเช่น เรื่องการพาความร้อนและการแผ่รังสีของการปรับเปลี่ยนครึ่งวงกลมของช่องตัวรับที่มีครึ่ง นำไปใช้กับงานพาราโบล่าแสงอาทิตย์4มีการวิเคราะห์เชิงตัวเลข [6] และแสดงให้เห็นว่า มีการสูญเสียการพาความร้อนเป็นอย่างมาก ซึ่งมีอิทธิพลจากจำนวนของครึ่งและการเอียงของตัวรับ ในทางกลับกัน

การสูญเสียการแผ่รังสี เป็ผลมาจากคุณสมบัติของพื้นผิวภายในตัวรับแสง อิทธิพลของการหมุนของการพาความร้อนในช่องรับแสง สำหรับนำไปใช้กับงานพาราโบล่า [7]

มีการวิเคราะห์การทดลองการสูญเสียความร้อนจากช่องตัวรับแสงอาทิตย์ตรงกระบอกสำหรับการนำไปใช้กับงานพาราโบล่าที่ส่องอัตราส่วน และความโน้มเอียงตั้งแต่ 0 องศา ถึง 90 องศา [8] แสดงให้เห็นว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ผนังของตัวรับ ขึ้นอยู่กับการเอียงของช่องตัวรับ นอกจากนี้ความร้อนที่ได้รับทั้งหมด ที่พื้นผิวภายในตัวรับแสงและบริเวณใกล้เคียงรูรับแสง นั้นพบว่าเป็ผลผลิตสำคัญที่ส่งผลต่อการสูญเสียมาก [9]

ดังนั้นบทความนี้จะมุ่งเน้นไปที่ประสิทธิภาพของแสงและการกระจายพลังงานความร้อนของตัวรับรูปทรงต่างๆ ทั้งหมดรูปทรง คือ รูปทรงกรวย ,รูปทรงกลม ,รูปทรงกระบอก ,รูปทรงโดม และ รูปทรงผสมระหว่างทรงกระบอกและทรงกรวย ซึ่งจะใช้การจำลองการติดตามรังสีด้วยโปรแกรม Comsol mutiphysics ในการวิเคราะห์ผล ซึ่งโปรแกรมนี้ได้ใช้หลักการ Finite element analysis (FEA) เพื่อประเมินผลตัวรับแสงรูปทรงต่างๆ โดยในการออกแบบรูปทรงเพื่อการนำไปวิเคราะห์หาค่าจนถึงขนาดของ พื้นผิวตัวรับ,รูรับแสง และขนาดของจากรวมแสง รวมไปถึงจุดโฟกัส และค่าต่างๆของการสะท้อนแสงทั้งหมด

2. การสูญเสียทางแสง

การสูญเสียของแสง ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการสรงและความไม่สมบูรณ์ของโครงสร้างหรือคุณสมบัติของวัสดุ [10-11] ประเภทของการสูญเสียสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ความเสียหายที่เกิดการรั่วไหล เป้นส่วนหนึ่ง ของรังสีกระทบภายนอกรูรับแสงของตัวรับ ซึ่งสามารถเพิ่มการสูญเสียถึง 1-3%

- การสูญเสียจากเงา เกี่ยวข้องกับอัตราส่วนของพื้นที่สะท้อนของงานซึ่งเป้นเงาโดยตัวรับแสง แต่อย่างไรก็ตามการสูญเสียประเภทนี้จะลดลง 80%พื้นที่รับแสงของงานมีขนาดใหญ่กว่าตัวรับแสงมาก

- การสูญเสียจากการสะท้อนแสง มีความแตกต่างกันระหว่าง พลังงานที่ตกลงบนงานรวมแสง และพลังงานที่สะท้อนออกมาจากงานรวมแสง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ และการสูญเสียนี้ ประมาณ 6-10% จากพลังงานที่เข้ามาหรือพลังงานที่ได้รับ

- การสูญเสียจากการส่งผ่าน เป้นปริมาณของพลังงานที่สูญหายไปในอากาศ เมื่อบันเคลื่อนที่จากงานรวมแสงไปยังตัวรับแสง ซึ่งสามารถเพิ่มปริมาณการสูญเสียถึง 2-4%

- การสูญเสียจากการดูดกลืน การเข้ามาหรือการรับพลังงานสามารถถูกดูดกลืนโดยวัสดุที่ใช้ในการทำตัวรับแสง ซึ่งทำให้เกิดความเค้นทางความร้อน

การสูญเสียทั้งหมดนี้ได้นำมาคำนวณในการวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพแสงของการตรวจสอบ ทั้ง 5 รูปทรงเรขาคณิต แต่การสูญเสียอันเนื่องมาจากข้อผิดพลาด, มาจากโครงสร้าง, การติดตาม, การจัดตำแหน่ง และเซ็นเซอร์ไม่ได้นำมาคิด ส่วนประสิทธิภาพของแสงของตัวรวมแสงพาราโบล่าสามารถแสดงได้โดยไขสมการที่ (1) ในขณะที่ประสิทธิภาพแสงของตัวรับ ได้รับพิจารณาโดยใช้สมการ (2)

$$\eta_{0Conc} = \frac{Q_r}{Q_s} \quad (1)$$

ที่ Q_r คือ พลังงานที่ไปถึงพื้นที่ผิวรับแสงของงานรวมแสงพาราโบล่า และ Q_s คือ พลังงานที่ออกมาจากงานรวมแสงพาราโบล่า

$$\eta_{0Rec} = \frac{Q_u}{Q_{rec}} \quad (2)$$

ซึ่ง Q_u เป็นพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ ที่ถูกส่งไปให้ของไหลทำงาน ในขณะที่ Q_{rec} เป็นปริมาณของพลังงานซึ่งได้รับจากตัวรับแสง เป็นที่รู้กันว่า Q_{rec} มีค่าที่ต่างจาก Q_r เพราะบางครั้งไม่สามารถทำให้พลังงานทั้งหมดที่ออกจากงานรวมแสงพาราโบล่าไปถึงที่ตัวรับแสง

3. การออกแบบงานรวมแสงพาราโบล่า

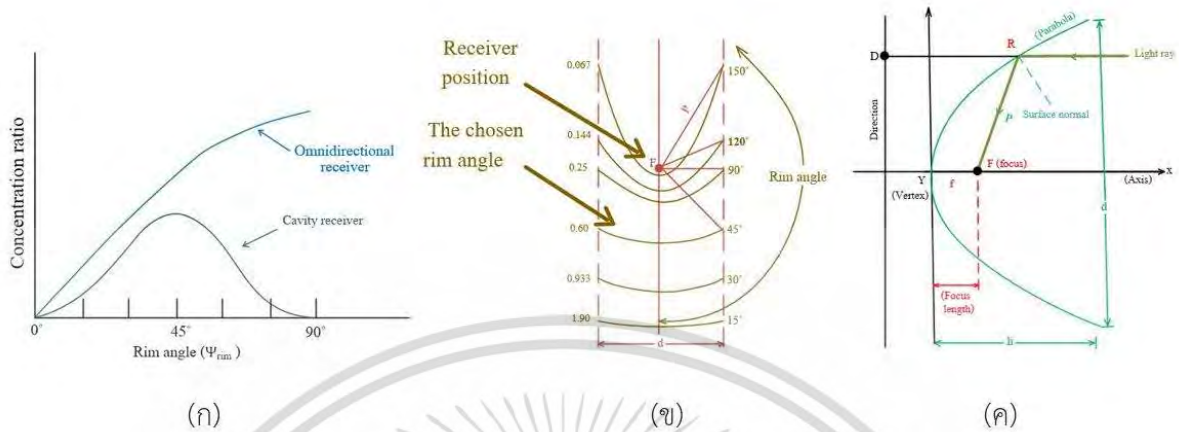
งานรวมแสงพาราโบล่าในการจำลองนี้จะใช้ขนาดของงานพาราโบล่าจากงานพาราโบล่าที่เราเมืออยู่จริง คือ 3.20 เมตร และมุมขอบ 45 องศา ซึ่งมีค่าอัตราส่วนความเข้มนสูงสุด [12] ดังแสดงในรูปที่ 1ก นอกจากนี้ยังให้จำนวนฟลักซ์ที่ได้รับสูงสุด เมื่อเทียบกับมุมขอบอื่นๆ รูปที่ 1ข และ รูปที่ 1ค แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของรูปทรงเรขาคณิต ความยาวของโฟกัสสามารถคำนวณได้จากสมการ (3) – (5) [12]

$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (3)$$

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

$$p = \frac{2f}{1 + \cos \psi_{rim}} \quad (5)$$

ที่ h , d , f , ψ_{rim} และ p เป็นระยะทางสูงสุด (ความลึก) ระหว่างจุดสูงสุดและเส้นที่ลากผ่านรูรับแสงของเส้นโค๑, เส้นผ่านศูนย์กลางรูรับแสง, ความยาวโฟกัส, มุมขอบรูปโค้ง และรัศมีรูปโค้ง ตามลำดับ



รูปที่ 1 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นทางเรขาคณิตและมุมขอบ, (ข) ตัวอย่างส่วนของเส้นโค้งกับจุดโฟกัส F และเส้นผ่าศูนย์กลางรูรับแสงที่เหมือนกัน และ (ค) ส่วนของเส้นโค้ง

นอกจากนี้มุมขอบสามารถกำหนดได้โดยสมการ (6)

$$\tan \psi_{rim} = \frac{1}{\left(\frac{d}{8h} - \frac{2h}{d}\right)} \quad (6)$$

พื้นที่รูรับแสงของจานพาราโบลา สามารถคำนวณได้จากสมการ (7)

$$A_a = \frac{\pi}{4} (2p \sin \psi_{rim})^2 \quad (7)$$

ที่ $2p \sin \psi_{rim}$ คือ สมการเส้นผ่านศูนย์กลางรูรับแสงของจานพาราโบลา

สมการ (5) และ (7) สามารถรวมกันเพื่อหา

สมการ (8)

$$A_a = 4\pi f^2 \frac{\sin^2 \psi_{rim}}{(1 + \cos \psi_{rim})^2} \quad (8)$$

โดยพิจารณาจุดกำเนิดที่จุดสูงสุด V และแกน Y ขนานกับแกนของเส้นโค้งที่วาดตัวรวมแสงพาราโบลาซึ่งได้ขึ้นโดยสมการ (9)

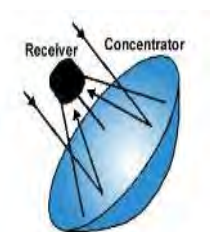
$$Y = \frac{X^2}{4f} \quad (9)$$

4. ขั้นตอนการทดลอง

งานพาราโบลา ที่ใชในงานวิจัยนี้ วาดด้วยโปรแกรม Comsol multiphysics ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2 และตำแหน่งที่ตั้งของตัวรับแสงในระบบจานรวมแสงจะแสดงใหญ่ขึ้นในรูปที่ 3 และขนาดของตัวรับแสงในรูปทรงเรขาคณิตทั้ง 5 แบบที่ใชในการวิเคราะห์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2



รูปที่ 2 จานรวมแสงพาราโบลา



รูปที่ 3 ตำแหน่งที่ตั้งของตัวรับแสงในระบบจานรวมแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตารางที่ 1 ขนาดของจานรวมแสงพาราโบลา

	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	ความสูง (m)	ความหนา (m)	พื้นที่รับแสง (m ²)
จานรวมแสงพาราโบลา	3.2	0.67	0.01	9.32

ตารางที่ 2 ขนาดของตัวรับแสง

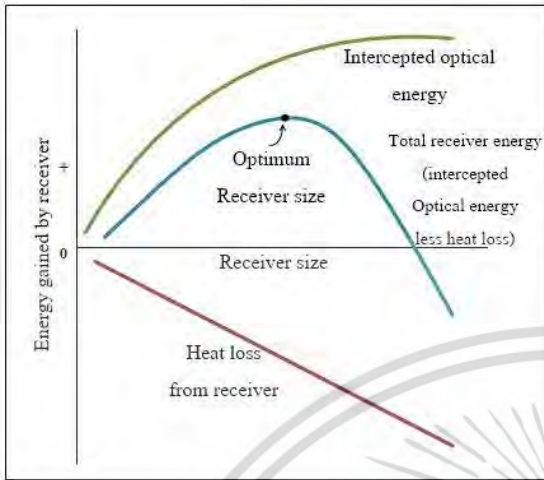
รูปทรงตัวรับแสง	เส้นผ่านศูนย์กลาง (m)	ความสูง (m)	ความหนา (m)	พื้นที่ผิวภายใน (m ²)
1. ทรงกรวย	0.32	0.40	0.01	0.32
2. ทรงกลม	0.32	0.29	0.01	0.32
3. ทรงกระบอก	0.32	0.26	0.01	0.32
4. ทรงโดม	0.32	0.33	0.01	0.32
5. รูปทรงผสม	0.32	0.25	0.01	0.32

ในการจำลองนี้จะใช้ขนาดของจานพาราโบลาจากจานพาราโบลาที่เรามีอยู่จริงและออกแบบขนาดของตัวรับแสงของแต่ละรูปทรงให้เหมาะสมกับขนาดของจานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพแสงที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางของต้น การจำลองด้วยโปรแกรม Comsol multiphysics เปนซอฟต์แวร์ที่เชื่อถือตามรังสี ได้ถูกใช้ในการคาดการณ์พลังงานที่ได้รับในแต่ละพื้นผิว รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับซอฟต์แวร์นี้ มีการกล่าวถึงในหัวข้อที่ 6 ซอฟต์แวร์นี้ใช้ Monte - Carlo algorithm ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายสำหรับการจำลองที่แม่นยำ วิธีการนี้ยอมรับเปนจำนวนมากสำหรับรังสีที่นำไปใช้ในการสุ่มแนวทางเมื่อกระทบกับพื้นผิว แต่ละรังสีที่ส่งผ่านในจำนวนพลังงานที่เท่ากัน และมีทิศทางที่แน่นอนแล0 จากความน่าจะเป็นของความหนาแน่นที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของพื้นผิว (การแผ่รังสี, การสะท้อนแสง และการดูดกลืนแสง)

การศึกษาทั้งหมดที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ได้ใช้การวิเคราะห์ 42 มิติ ที่บันทึกจำนวนพลังงานที่ระนาบ 2 มิติ จุดอ่อนของการวิเคราะห์ประเภทนี้ก็คือว่าไม่แม่นยำเท่าที่ควรสำหรับจำลองพลังงานที่ได้รับจากรูปทรงเรขาคณิต 3 มิติ ในขณะที่มีนเปนเพียงการอ่านพลังงานที่ผ่านพื้นที่รับแสงของตัวรับแต่ละรูปทรง และด้วยเหตุนี้ค่าของพลังงานจะเกือบเท่ากัน ซึ่งโปรแกรม Comsol mutiphysics สามารถใช้ตรวจจับ 3 มิติ ซึ่งมีความสามารถในการอ่านค่าฟลักซ์ในทุกจุดเดี่ยวได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นจึงเนอที่ผลกระทบของรูปทรงเรขาคณิตเป็นปัจจัยหลัก ทั้งในแง่ของจำนวนของฟลักซ์ที่ได้รับและการกระจายภายในรูปทรงของตัวรับแสง ตลอดจนตำแหน่งของตัวรับแสง ซึ่งได้มีการตรวจสอบอัตราส่วนของฟลักซ์ที่ได้รับ และฟลักซ์ที่กักเก็บไว้ภายในตัวรับแสง

5. การออกแบบตัวรับแสง

ในตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์4งคประกอบด้วยองค์ประกอบหลักของตัวรับแสง เปนการเชื่อมโยงระหว่างการทำงานของพลังงานที่เขอมา (รับพลังงานสะท้อนจากจานพาราโบลา) และการทำงานของของไหลภายในตัวรับแสง หลังจากนั้นให้พลังงานกับระบบ แล้วแปลงเปนพลังงานที่ต้องการในรูปแบบของความร้อนหรือพลังงานกลน4งคนั้นผู้วิจัยจึงต้องการตัวรับแสงที่มีประสิทธิภาพที่ดี อีกหนึ่งในปัจจัยหลักเกี่ยวกับตัวรับแสง คือ ขนาด ซึ่งจะต้องหาขนาดตัวรับแสงที่เหมาะสมกับขนาดของจานรวมแสงด้วยเพื่อที่จะลดการสูญเสียความร้อน [12] ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตัวรับแสง กับพลังงานที่ได้รับ

รูปทรงตัวรับแสงทั้ง 5 แบบ ที่ทำการวิเคราะห์ จะใช้โปรแกรม Comsol multiphysics ในการวาดรูปทรงต่างๆเพื่อเปรียบเทียบ ซึ่งตัวรับแสงแต่ละรูปทรง จะมีพื้นผิวภายในและขนาดรับแสงเท่ากัน โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูรับแสงนั้น คิดเป็น 10% ของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจากรวมแสง

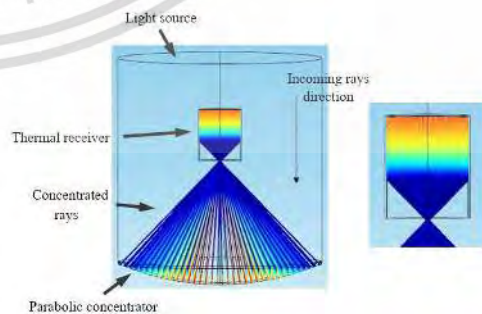
6. การจำลองเชิงตัวเลขของแบบจำลอง

โปรแกรม Comsol multiphysics เป้าหมายในการจำลองประสิทธิภาพการทำงานของแสงของระบบตัวรับแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็พื้นฐานของเทคนิคการติดตามรังสี ด้วยคุณสมบัติพิเศษโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การตรวจจับ 3 มิติ ซอฟแวร์นี้ความสามารถที่จะดูว่าอะไรเข้าไปภายในช่องตัวรับแสง และแสดงให้เห็นว่าการกระจายฟลักซ์ของผนังของช่องตัวรับแสง ในงานวิจัยนี้รูปทรงของตัวรับแสงทั้ง 5 รูปทรงที่แตกต่างกัน (รูปทรงกรวย, รูปทรงกลม, รูปทรงกระบอก, รูปทรงโดม และรูปทรงผสมระหว่างทรงกระบอกและทรงกรวย) ดังแสดงในรูปที่ 5 และ จุดมุ่งหมายหลักของการจำลองนี้คือการตรวจสอบผลกระทบของรูปทรงของช่องตัวรับ และฟลักซ์ที่สูญเสียไปจากตัวรับ ดังนั้นแต่ละรูปทรงนั้นได้

จำลองมาจาก Comsol multiphysics ซึ่งมีการติดตามรังสีเพื่อที่จะตรวจสอบจำนวนของฟลักซ์ที่ได้รับ โดยตัวรับแสงของแต่ละตัวจะมีดวงอาทิตย์กำหนดที่เป็แหล่งกำเนิดแสง โดยกำหนดให้พลังงานที่ปล่อยออกมา มีค่าเท่ากับ 9,320 วัตต์ (ซึ่งได้มาจากพื้นที่รูรับแสง คูณกับค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์) ตัวตรวจจับที่บันทึกจำนวนของฟลักซ์ที่เขามาจากแหล่งที่มาตลอดจนฟลักซ์ 4 สะท้อนนั้น แสดงให้เห็นถึงพื้นที่ในการรับแสงของตัวรับแสง ซึ่งตำแหน่งของตัวรับแสงนั้นได้ตั้งอยู่ที่จุดโฟกัส โดยจุดโฟกัสขึ้นอยู่กับมุมขอบและขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของจานรวมแสงพาราโบลา โดยรูปที่ 6 นั้นแสดงระบบจานรวมแสงพาราโบลาจากโปรแกรมจำลอง และรูปที่ 7 ได้แสดงแผนผังรูปแบบกระบวนการทำงานของระบบจานรวมแสงพาราโบลาในโปรแกรม Comsol multiphysics



รูปที่ 5 ตัวรับแสงทรงเรขาคณิต 5 รูปแบบ ในมุมมองสามมิติและสองมิติ



รูปที่ 6 ระบบจานรวมแสงพาราโบลาจากโปรแกรมจำลอง



รูปที่ 7 แสดงแผนผังรูปแบบกระบวนการทำงานของระบบจากรวมแสงพาราโบลาในโปรแกรม Comsol multiphysics

7. ผลสรุปและการอภิปราย

7.1 ผลกระทบของตำแหน่งของตัวรับแสง

รูปทรงและตำแหน่งของตัวรับแสงจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแสงที่ได้รับ และการกระจายฟลักซ์ความร้อน การตรวจวัดแบบสามมิตินี้ ได้ช่วยในการสรองลักษณะของรูปแบบการทำงานจนถึงการติดตามรังสีตลอดจนติดตามผลลัพธ์ในเวลาเดียวกัน รูปที่ 8 – รูปที่ 12 แสดงผลลัพธ์ของผลกระทบดังกล่าวสำหรับแต่ละ

ตำแหน่งจากระยะห่างของจากรวมแสงพาราโบลา กับตัวรับแสง ที่ใช้วิเคราะห์นั้น จะแบ่งเป็น 10 ตำแหน่ง ซึ่งจุดโฟกัสของจากรวมแสงพาราโบลา อยู่ที่ระยะ 955 mm. จึงตั้งขอบเขตไว้ที่ตำแหน่ง 890 – 980 mm. โดยเลื่อนตำแหน่งทีละ 10 mm. และสำหรับรูปทรงตัวรับแสงทรงกรวย รูปที่ 8 ตำแหน่งที่ได้รับจำนวนของฟลักซ์สูงที่สุด เมื่อตัวรับแสงถูกเคลื่อนย้ายไปสู่อ่างรวมแสง และจุดโฟกัสอยู่ที่ภายในตัวรับแสง ในลักษณะเดียวกัน รูปที่ 9 แสดงให้เห็นผลจากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของตัวรับแสงรูปทรงกลม ตำแหน่งที่มีการกระจายที่ดีที่สุด เมื่อตัวรับแสงนั้นได้ขยับตัวออกจากจากรวมแสง เพื่อให้จุดโฟกัสอยู่ด้านนอกตัวรับแสง เช่นเดียวกับกับรูปทรงกระบอก รูปที่ 10 ที่มีการกระจายที่ดีที่สุด เมื่อตัวรับแสงนั้นได้ขยับตัวออกจากจากรวมแสง ในส่วนของรูปทรงโดม รูปที่ 11 ตำแหน่งที่มีการกระจายฟลักซ์ดีที่สุด เมื่อตัวรับแสงอยู่ที่บริเวณจุดโฟกัส เช่นเดียวกับกับรูปทรงผสม รูปที่ 12

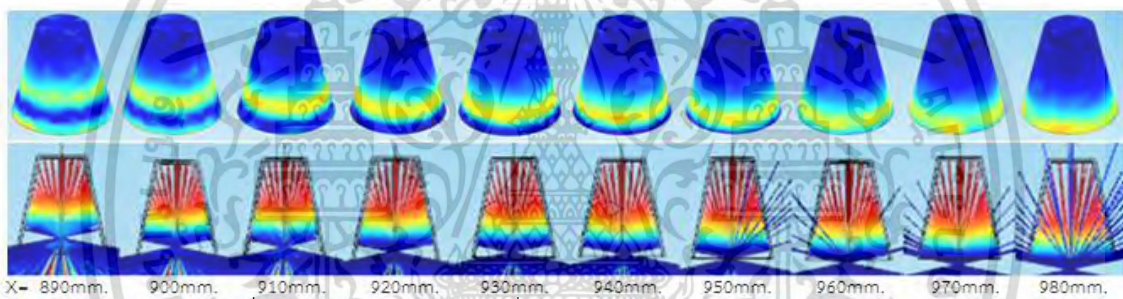
ในตำแหน่งที่ตัวรับแสงถูกเคลื่อนย้ายออกจากจากรวมแสงมากๆ ทุกๆรูปทรงของตัวรับแสง จะเห็นได้ว่ามีการรั่วไหลหรือลำแสงไม่เข้สู่อ่างตัวรับแสงทำให้อ่างรวมแสงมีฟลักซ์ลดลง และในตำแหน่งที่ตัวรับแสงถูกเคลื่อนย้ายไปสู่อ่างรวมแสงมากๆ ก็จะทำให้เห็นได้ว่า ลำแสงไม่เข้สู่อ่างตัวรับแสงเช่นกัน

7.2 ผลกระทบของรูปทรงช่องตัวรับ

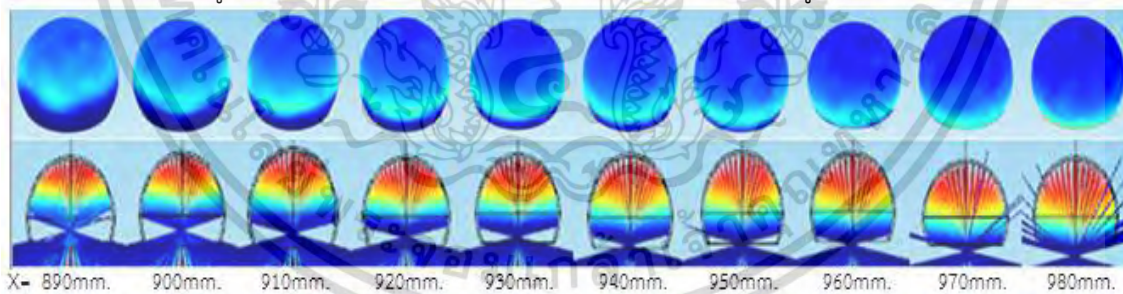
แผนที่ชัดเจนว่ารูปทรงของตัวรับแสงมีบทบาทในแง่ของจำนวนของพลังงานที่จะได้จับ, สะทอน และสูญเสีย หลังจากรังสีตกกระทบบนผนังของตัวรับ มีความแตกต่างที่เด่นชัดสองอย่าง คือ ทั้งจะถูกดูดซึมได้โดยตรงจากผนังหรือสะท้อนออกโดยภายในพื้นผิวของช่องตัวรับ โดยภายในนั้น ขณะที่รังสีถูกดูดซึมจะวัดเป็นพลังงานที่เป็ประโยชน์ซึ่งรังสีที่สะท้อนนั้นมีความแตกต่างที่เป็ไปได้สองอย่าง ทั้งไปกระทบกับส่วนหนึ่งของพื้นที่ผิวช่องตัวรับ และการกระทำเช่นนั้นจะทำให้รังสีมีโอกาสถูกดูดซึมด้วยผนังภายในของช่องตัวรับ และนำมา

คำนวณเปลวพลังงานที่เปปประโยชน4อีกทั้งยังพิจารณาพลังงานที่สูญเสียไป ดังนั้นรูปทรงของตัวรับแสงมีบทบาทสำคัญในแง่ของการสะท้อนรังสี เปปผลใหญ่ปทรงมีผลกระทบในการนำมาตรวจสอบเพื่อที่จะทราบแนวทางในการติดตามของแต่ละรูปทรง จากรูปที่ 13 แสดงให้0เห็นว่า รูปทรงกรวยมีค่าเฉลี่ยของฟลักซ์ความร้อนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสี่รูปทรงของตัวรับแสง ซึ่งพลังงานที่ถูกดูดกลืนสูงสุด สำหรับรูปทรงกรวย ทรงกลม ทรงกระบอก ทรงโดม และทรงรูปทรงผสมระหว่างทรงกระบอกและทรงกรวย คือ 8,410, 8,261, 8,121, 8,393 และ 8,347 วัตต์ ที่ 910, 960, 960, 950 และ 950mm. ตามลำดับ

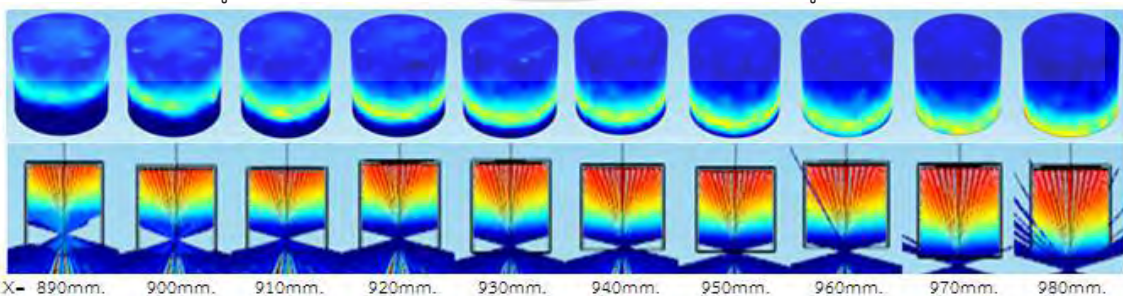
รูปที่ 14 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพแสงสำหรับห0รูปทรง ที่ระยะทางโฟกัสที่แตกต่างกัน จากรูปจะเห็นว่า ที่ตัวรับแสงทรงกรวย และทรงผสม มีประสิทธิภาพแสงสูงสุดใกล้เคียงกันอยู่ที่ประมาณ 90.9% และ 90.4% ตามลำดับ ตัวรับแสงทรงกระบอกมีประสิทธิภาพแสงต่ำที่สุดอยู่ที่ประมาณ 85.5% ส่วนตัวรับแสงทรงกลม และทรงโดม มีประสิทธิภาพอยู่ที่ 87.3% และ 88.9% ตามลำดับ



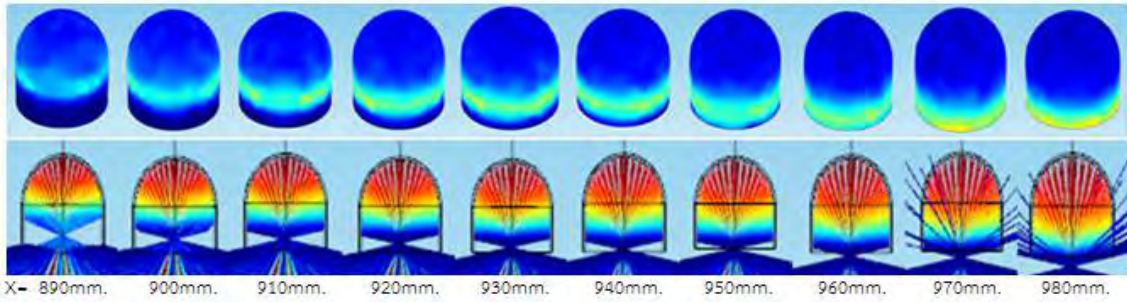
รูปที่ 8 ตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกรวย



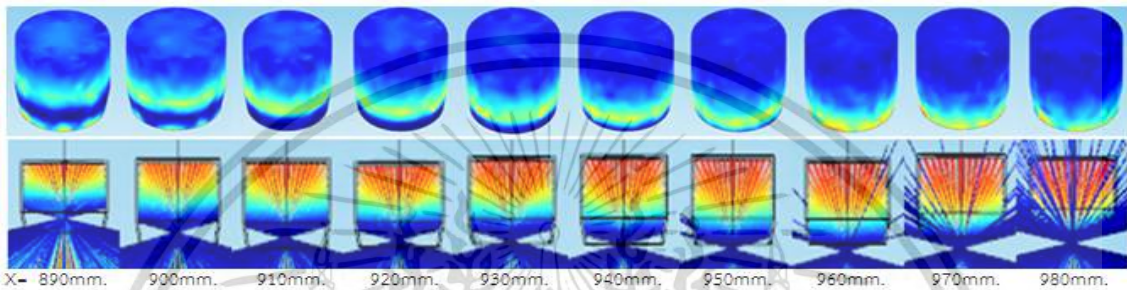
รูปที่ 9 ตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกลม



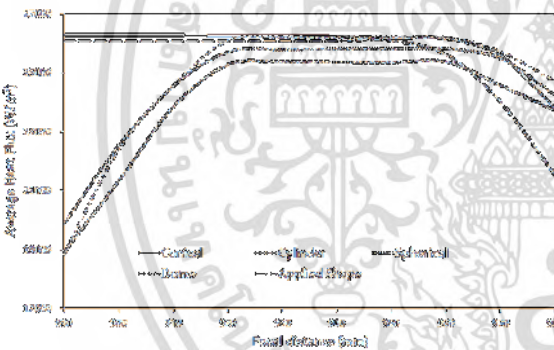
รูปที่ 10 ตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงกระบอก



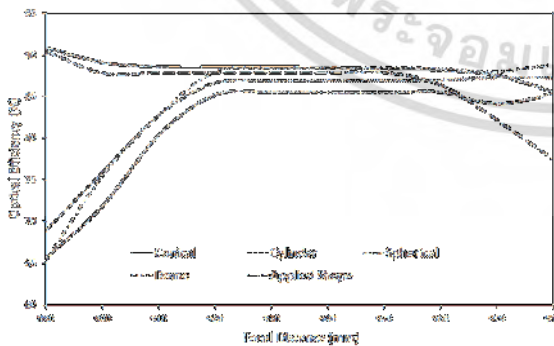
รูปที่ 11 ตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงโดม



รูปที่ 12 ตำแหน่งของตัวรับแสงที่ส่งผลต่อฟลักซ์ความร้อนของรูปทรงผสม



รูปที่ 13 ค่าเฉลี่ยของฟลักซ์ความร้อนสำหรับตัวรับแสงทั้งห้าที่ตำแหน่งตัวรับแสงที่ต่างกัน



รูปที่ 14 ประสิทธิภาพแสงสำหรับตัวรับทั้งห้าที่ตำแหน่งตัวรับแสงที่ต่างกัน

8. สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาการทำงานของตัวรับแสงรูปทรงเรขาคณิตทั้งห้าแบบที่แตกต่างกัน คือ ทรงกรวย , ทรงกลม , ทรงกระบอก , ทรงโดม และทรงผสม โดยมีจำลองการติดตามรังสีเพื่อคำนวณวิถีเสถียรของรังสี ของแต่ละรูปทรง โดยใช้โปรแกรม Comsol multiphysics ผลที่ได้รับได้สรุปเป็นข้อๆ ดังต่อไปนี้

1). รูปทรงกรวยสามารถเก็บพลังงานที่เขามาได้เป็นจำนวนมากที่สุดจากจนวนรวมแสง เมื่อเทียบกับอีกสี่รูปทรงอื่นๆ ประสิทธิภาพแสงสูงสุดของแต่ละรูปทรงอยู่ที่ 90.9%, 90.4%, 88.9%, 87.3% และ 85.5% สำหรับ ทรงกรวย, ทรงผสม, ทรงโดม, ทรงกลม และทรงกระบอกตามลำดับ

2). ตำแหน่งที่ดีที่สุด ที่ทำให้ตัวรับแสงได้ค่าพลังงานสูงสุดของตัวรับแสงแต่ละรูปทรง คือ

- รูปทรงกรวย เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ที่ 910 มิลลิเมตร
- รูปทรงกลม เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ที่ 960 มิลลิเมตร
- รูปทรงกระบอก เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ที่ 960 มิลลิเมตร
- รูปทรงโดม เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ที่ 950 มิลลิเมตร

- รูปทรงผสม เมื่อตำแหน่งตั้งอยู่ที่ 950 มิลลิเมตร จากรูปทรงเรขาคณิตทั้งหมด ได้มีการพัฒนาและจำลองในงานวิจัยนี้ ซึ่งมันสามารถสรุปได้ว่า รูปทรงโดมมีการกระจายฟลักซ์ได้ดีที่สุด

3). รูปทรงกรวยมีความสม่ำเสมอของการส่องสว่างที่ดีที่สุดของค่าระยะโพลัสทั้งหมด

9. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (OHEC) และ Green Energy Engine Research Laboratory ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้การช่วยเหลือในทุกๆด้าน ทำให้บทความฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

10. เอกสารอ้างอิง

- [1] Thakkar Vanita, Ankush Doshi, and Akshaykumar Rana, “Performance analysis methodology for parabolic dish solar concentrators for process heating using thermic fluid”.
- [2] Lovegrove Keith, Stein Wes, editors, “Concentrating solar power technology:Principles, developments and applications”, Elsevier; 2012.
- [3] Carrizosa E, et al. “Optimization of multiple receivers solar power tower systems”, Energy 2015;90:2085-93.
- [4] Beltran-Chacon Ricardo, et al. “Design and analysis of a dead volume control for a solar Stirling engine with induction generator”, Energy 2015;93:2593-603.
- [5] Goodarzi Mohsen, Kiasat Mohsen, Khalilidehkordi Ehsan. “Performance analysis of

a modified regenerative Brayton and inverse Brayton cycle”, Energy 2014;72:35-43.

[6] Ngo LC, Bello-Ochende Tunde, Meyer Josua P. “Three-dimensional analysis and numerical optimization of combined natural convection and radiation heat loss in solar cavity receiver with plate fins insert”, Energy Convers Manag 2015;101:757-66.

[7] Wu Wei, et al. “On the influence of rotation on thermal convection in a rotating cavity for solar receiver applications”, Appl Therm Eng 2014;70(1):694-704.

[8] Abbasi-Shavazi E, Hughes GO, Pye JD. “Investigation of heat loss from a solar cavity receiver”, Energy Procedia 2015;69:269-78.

[9] Fleming Austin, et al. “A general method to analyze the thermal performance of multi-cavity concentrating solar power receivers”, Sol Energy 2015.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.08.007>.

[10] Feuermann Daniel, Gordon Jeffrey M. “High-concentration photovoltaic designs based on miniature parabolic dishes”. Sol Energy 2001;70.5:423-30.

[11] Segal Akiba, Epstein Michael. “Optimized working temperatures of a solar central receiver”, Sol Energy 2003;75.6:503-10.

[12] Stine William B, Geyer Michael. “Power from the sun”, 2001.



จัดโดย ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ที่อยู่ 63 น.7 ต.องครักษ์ อ.องครักษ์ จ.นครนายก 26120
โทร.0 2649 5000 ต่อ 27060



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวนันทมน เขียวอ่อน
วัน เดือน ปีเกิด	30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2533
ที่อยู่	549/079 ถ.ทหาร ต.บดมากแข้ง อ.เวียงเมือง จ.อุตรธานี 41000
ประวัติการศึกษา	ปี 2556 จบการศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ ฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานทางวิชาการ	การศึกษาและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับแสงรูปทรงต่างๆใน ระบบจันรวมแสงอาทิตย์, ETM-06, การประชุมวิชาการเครือข่าย วิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 31, 4 – 7 กรกฎาคม 2560, โรงแรมภูเขางาม รีสอร์ท จังหวัดนครนายก
ประวัติการทำงาน	บริษัท NEC TOKIN Electronics Thailand จำกัด ตำแหน่ง วิศวกรฝ่าย ผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้