



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาตัวรวมแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบล่า  
A study of solar parabolic trough concentrator

กาจปัญญา สุวรรณสุขโข

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาตัวรวมแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลา  
A study of solar parabolic trough concentrator

กาจปัญญา สุวรรณสุขโข

รพทญ.....  
เลขทะเบียน 145200  
รับเดือนปี 31 อ.ค. 2560

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	1
1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินการ	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี</b>	4
2.1 อุปกรณ์สะสมพลังงานแสงอาทิตย์	4
2.2 พาราโบลา	9
2.3 อุปกรณ์สะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก	11
2.4 วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุสะท้อนแสงของรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา	14
2.5 ประสิทธิภาพของระบบรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา	16
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย</b>	17
3.1 วัสดุและอุปกรณ์	17
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	18
3.3 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา	30
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล</b>	32
4.1 อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ไหลภายในท่อของระบบ	32
4.2 การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา	32
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>	35
5.1 สรุปผลการวิจัย	35
5.2 ข้อเสนอแนะ	35
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มนุษย์รู้จักนำพลังงานจากดวงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยตรงมาตั้งแต่สมัยโบราณ เช่น ใช้ในการตากผ้า ตากผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรม ทำนาเกลือ เป็นต้น ในสมัยปัจจุบันได้มีการนำความรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ โดยใช้เทคโนโลยีและออกแบบเครื่องมือในการนำพลังงาน แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด สำหรับประเทศไทยซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 500,000 ตารางกิโลเมตร ตั้งอยู่ในเขตใกล้เส้นศูนย์สูตรหรืออยู่ในแถบร้อนมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยค่อนข้างสูงประมาณ 5.05 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ดังนั้นหากสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนประเทศไทยเพียง ร้อยละ 1 ของพื้นที่ทั้งหมด ต่อปี จะได้พลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบประมาณ 700 ล้านตันต่อปี

การค้นคว้าเพื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้แทนพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปจากโลกจึงมีความจำเป็นต้องวิจัยและพัฒนาโดยการประดิษฐ์เครื่องมือต่างๆ เช่น เทคโนโลยีการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การกลั่นน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ หรือเทคโนโลยีการแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานได้ การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในรูปแบบความร้อนการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้โดยตรง โดยใช้อุปกรณ์ที่ได้รับการพัฒนามาอย่างมีประสิทธิภาพ และปัจจุบันได้มีการส่งเสริมการใช้งานในต่างประเทศ ทั้งในประเทศแถบยุโรป ออสเตรเลีย และประเทศจีน สำหรับในประเทศไทยยังมีการใช้งานในระดับที่ไม่สูงนักด้วยเหตุผลจากราคาลงทุนเบื้องต้นสูง ขาดความเชื่อมั่นในเทคโนโลยี รวมถึงภาพลักษณ์ไม่ดีจากการใช้งานในอดีตที่ผ่านมา เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาระบบตัวรวมแสงอาทิตย์ชนิดรางพาราโบลา เพื่อให้สามารถใช้ได้จริงในทางปฏิบัติ โดยจะศึกษาทั้งในแง่ การออกแบบให้ทันสมัยและประสิทธิภาพสูงสุดที่ได้

### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับอุปกรณ์ หรือตัวรับรวมแสง (Solar collector) และวัสดุสะท้อนแสงแบบรางพาราโบลา (Parabolic Troughs)
2. เพื่อศึกษา ออกแบบ และประดิษฐ์รางรวมแสงแบบพาราโบลา
3. เพื่อวัดประสิทธิภาพของรางรวมแสงแบบพาราโบลาที่ประดิษฐ์ขึ้น
4. เพื่อให้ได้เครื่องมือที่สามารถนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการ

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ประยุกต์ใช้วัสดุ และต้นทุนที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อประดิษฐ์รางรวมแสงแบบพาราโบลา
2. วัดประสิทธิภาพของรางรวมแสงแบบพาราโบลา โดยใช้อุณหภูมิของของเหลวที่ไหลผ่านเป็นตัววัด

### 1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mohammed S. และคณะ ได้ทำการประดิษฐ์เตาพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาที่มีระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนที่ประเทศจอร์แดน โดยมีการควบคุมโดยระบบตรรกะที่ใช้ในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบการเคลื่อนไหวยของเตาแสงอาทิตย์ ผลจากการทดสอบอย่างต่อเนื่องเป็นเวลาสามวันในช่วงเวลา 8.30 - 16.30 ในปี 2008 ขณะนั้นอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมในฤดูร้อนมีค่าประมาณ 33°C พบว่า อุณหภูมิของน้ำภายในท่อสูงขึ้นจากประมาณ 36°C เป็นประมาณ 90°C และยังพบว่าอุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของพลังงานแสงอาทิตย์มากขึ้น

Avadhesh Yadav, Manoj Kumar และ Balram ได้ทำการศึกษาและทดลองระบบทำความร้อนอากาศพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้รางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา โดยรังสีแสงอาทิตย์จะสะท้อนไปยังท่อดูดกลืนรังสีที่เป็นตำแหน่งของระยะโฟกัสของรางพาราโบลิก และใช้อากาศเป็นของไหลทำงานที่รวบรวมความร้อนจากท่อดูดกลืนรังสี และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของรางพาราโบลิกจึงใช้วัสดุสะท้อนแสงที่แตกต่างกัน พบว่าแผ่นอลูมิเนียมมีอุณหภูมิสูงสุดเป็น 52.3°C ซึ่งมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 24.22% เมื่อเทียบกับการใช้แผ่นเหล็กเป็นวัสดุสะท้อนแสง และเพิ่มขึ้น 8.5% เมื่อเทียบกับการใช้ฟอยล์อลูมิเนียมเป็นวัสดุสะท้อนแสง และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างใช้แผ่นอลูมิเนียมแสงกับใช้แผ่นเหล็กเป็นวัสดุสะท้อนแสงพบว่ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 61.8% และประสิทธิภาพเมื่อใช้แผ่นอลูมิเนียมสะท้อนแสงเทียบกับฟอยล์อลูมิเนียมเป็นวัสดุสะท้อนแสงจะเพิ่มขึ้น 18.98%

## 1.5 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีการดำเนินการ

ตารางที่ 1.1 วิธีการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	ระยะเวลา											
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.
1. ศึกษาทฤษฎีและเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←→											
2. ศึกษาการทำงานและการออกแบบรางรวมแสงแบบพารา โบลิก		←→										
3. ออกแบบและพัฒนารางรวมแสงแบบพาราโบลิก					←→							
4. วัดประสิทธิภาพของรางรวมแสงแบบพาราโบลิกที่ประดิษฐ์ขึ้นพร้อมทั้งปรับปรุงแก้ไข										←→		
5. รวบรวมข้อมูลทำรูปเล่ม											←→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับอุปกรณ์ หรือตัวรับรวมแสง (Solar collector) และวัสดุสะท้อนแสงแบบรางพาราโบลา (Parabolic Troughs)
2. สามารถออกแบบ และประดิษฐ์รวมแสงแบบพาราโบลาได้
3. สามารถวิเคราะห์ และพัฒนารวมแสงแบบพาราโบลาให้มีประสิทธิภาพสามารถใช้งานได้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 อุปกรณ์สะสมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector)

ระบบเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงรังสีคลื่นสั้น (short wave radiation) ให้เป็นพลังงานความร้อนผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (solar collector) โดยอาศัยหลักการเบื้องต้นของแสง ซึ่งเมื่อตกกระทบวัตถุใดๆ จะเกิดปรากฏการณ์เชิงแสง 4 รูปแบบ ได้แก่ การดูดกลืนแสง (absorption) การเปล่งแสง (emission) การสะท้อนแสง (reflection) และการส่องผ่าน (transmission) โดยวัสดุต่างชนิดกันจะมีสมบัติเชิงแสงต่างกัน การเลือกวัสดุที่มีสมบัติเชิงแสงที่เหมาะสมมาสร้างเป็นระบบทำ ความร้อน ทำให้ใช้ประโยชน์ได้ในหลากหลายลักษณะ เช่น การผลิตน้ำร้อน การสร้างความอบอุ่นใน อาคารบ้านเรือนในเขตหนาว กระบวนการอบแห้ง หรือการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น การใช้ ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อทำความร้อนเริ่มมีบันทึกเป็นหลักฐานครั้งแรกในปี ค.ศ. 1774 โดยนักเคมีชาวฝรั่งเศสชื่อ อังตวน ลาวัวซิเย (Antoine Lavoisier) ผู้ประดิษฐ์เครื่องจักรที่ใช้รวม แสงอาทิตย์เพื่อให้ความร้อนในการทดลองทางเคมี

Solar collector คืออุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้ในการดูดซับและสะสมพลังงานความร้อน จากแสงอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนไปให้ตัวกลาง (medium) ที่ลำเลียงไปตามระบบท่อ ส่วนประกอบหลักของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้แก่

1. ตัวดูดกลืน (absorber) ทำหน้าที่รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติดูดกลืน รังสีคลื่นสั้น (short wave radiation) ได้ดี สะท้อนแสงน้อย อัตราการปลดปล่อยพลังงานในรูปรังสี คลื่นยาว (long wave radiation) ต่ำและไม่ยอมให้แสงส่องผ่าน ได้แก่ โลหะทองแดงหรืออลูมิเนียม เป็นต้น
2. อุปกรณ์นำความร้อน (heat carrier) ประกอบด้วยตัวกลางและระบบท่อนำความร้อน ทำหน้าที่ ถ่ายเทความร้อนจากตัวดูดกลืนไปยังอุปกรณ์ปลายทาง
3. อุปกรณ์เก็บความร้อน (energy storage) ทำหน้าที่เก็บสะสมความร้อนก่อนที่จะนำไปใช้งาน ตัว เก็บรังสีอาทิตย์ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งตามรูปร่างของตัวเก็บรังสี ได้แก่ ตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ แบบท่อ และแบบรางพาราโบลิค

ในปัจจุบันตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector) เป็นเทคโนโลยีสำหรับผลิตน้ำ ร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ คือมีการถ่ายเทความร้อนไปให้ตัวกลาง (medium) ที่เป็นน้ำ ซึ่งตัว สะสมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector) แบ่งได้ 3 แบบดังนี้

##### 2.1.1 แบบแผ่นรับแสงแบบรวมแสง (Focusing Solar Collector)

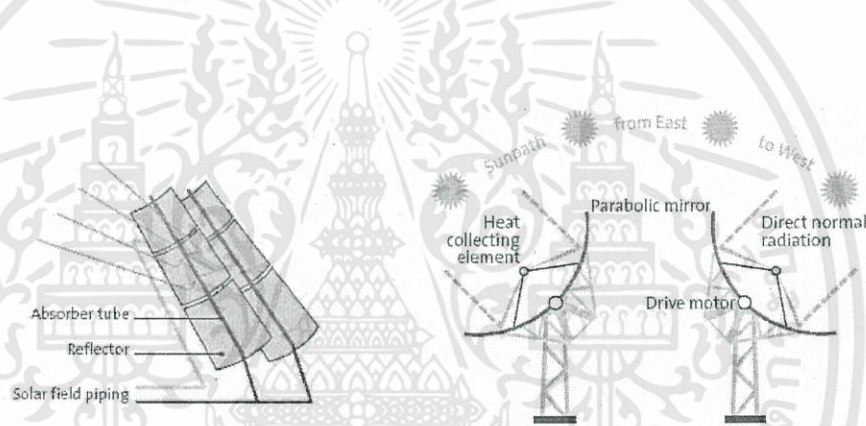
บางครั้งเราเรียกเทคโนโลยีนี้ว่า Concentrated Solar Thermal ซึ่งการทำน้ำร้อนแบบนี้จะ ใช้วัสดุรวมแสงหรือสะท้อนแสง โดยทั่วไปจะใช้กระจกสะท้อนแสงไปยังวัสดุรับแสงและติดระบบ ติดตามดวงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบ การทำน้ำร้อนแบบนี้จะได้น้ำอุณหภูมิ สูงมาก ซึ่งจำแนกได้ตามชนิดของการรวมแสงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

- 2.1.1.1 การรวมแสงเป็นจุด (point-focus solar collector) ได้แก่ระบบหอคอยรวมแสง (Central receivers tower) และจานรวมแสง (parabolic dishes)

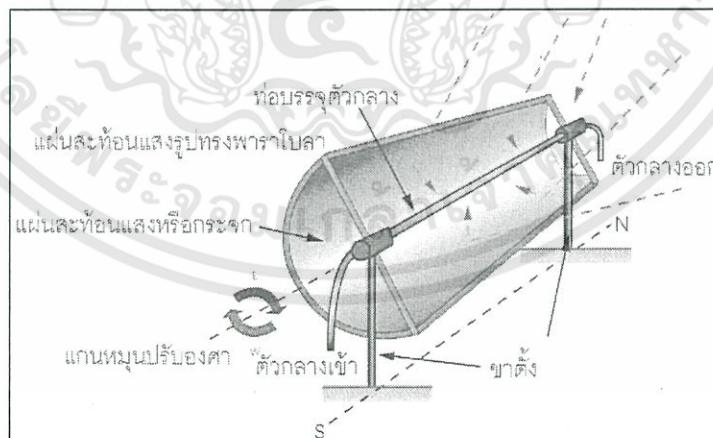
2.1.1.2 การรวมแสงเป็นเส้น (line-focus solar collector) ได้แก่เลนส์สะท้อนรวมแสง (Fresnel reflector) และรางรวมแสง (parabolic troughs) แผ่นรับแสงแบบรวมแสงสามารถแบ่งได้ 4 แบบ ดังนี้

1. แบบใช้กระจกโค้งรวมแสง หรือแบบรางพาราโบลา (Parabolic Troughs)

วิธีนี้จะใช้แผ่นกระจกหรือวัสดุสะท้อนแสงโค้งหน้าตัดรูปพาราโบลา มีลักษณะเป็นรางยาว ทำหน้าที่รวมพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังท่อหรือวัสดุรับแสงยาวขนานกับรางตรงตำแหน่งโฟกัสของรางพาราโบลา เพื่อถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับน้ำหรือของเหลวซึ่งเป็นสารทำงาน เพื่อทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและสามารถนำไปใช้งานได้ ดังรูปที่ 2.1 โดยการทำความร้อนด้วยวิธีนี้สามารถทำให้มีอุณหภูมิสูงถึง 290-400 องศาเซลเซียส (กรณีที่ใช้ น้ำ เป็นตัวกลาง) ถ้าติดตั้งแผ่นรับแสงแบบรางพาราโบลาจำนวนมากพอ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้ น้ำ กลายสภาพเป็นไอน้ำแรงดันสูงป้อนเข้าสู่โรงไฟฟ้า พลังความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป แผ่นรับแสงแบบรางพาราโบลา ยังสามารถออกแบบให้มีระบบติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าเพื่อรับแสงอาทิตย์จากรังสีตรง (direct radiation) ความเข้มสูงได้ตลอดทั้งวัน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานให้สูงขึ้นได้อีกด้วย



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะของระบบทำน้ำร้อนแบบแผ่นรับแสงแบบรางพาราโบลา

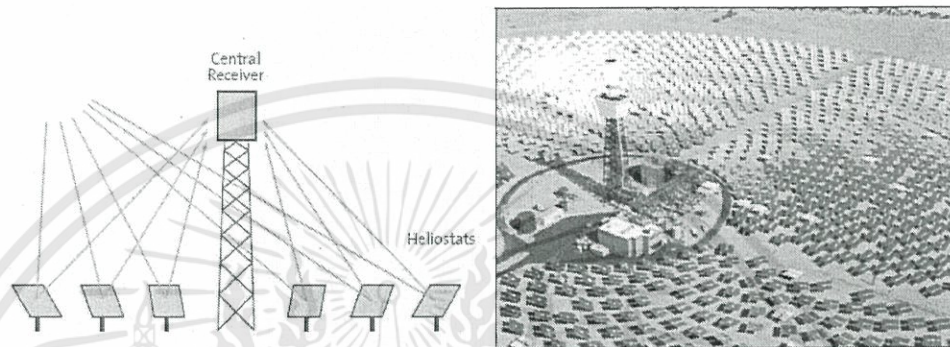


รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบผลิตน้ำร้อนแบบแผ่นรับแสงแบบรางพาราโบลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. แบบหอคอยรวมแสง (Central Receiver Tower)

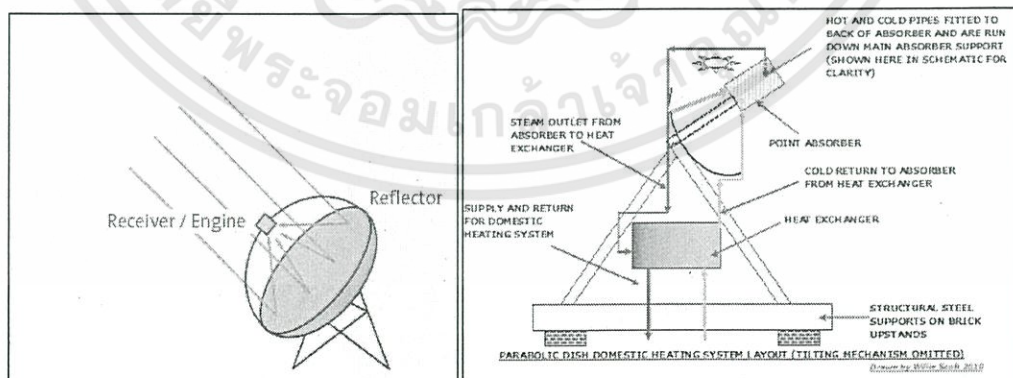
วิธีการนี้เป็นการรวมพลังงานแสงอาทิตย์จากแผ่นกระจกจำนวนมาก แล้วสะท้อนไปยังตัวรับพลังงานซึ่งตั้งอยู่บนหอคอยบรรจุด้วยน้ำหรือสารทำงาน กระจกสะท้อนแสงเรียกว่า เฮลิโอสแตท จะติดตั้งรอบ ๆ หอรับความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 การทำน้ำร้อนด้วยวิธีนี้ไม่เหมาะกับการนำมาทำน้ำร้อนโดยตรงเหมือนกับแบบรางพาราโบลา เนื่องจากมีอุณหภูมิสูงมาก ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส การใช้งานอาจผ่านการผลิตไฟฟ้าโดยกังหันไอน้ำ และผ่านระบบทำความเย็นแบบดูดซึม และสุดท้ายผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อผลิตน้ำร้อนแล้วนำไปใช้งาน



รูปที่ 2.3 การผลิตน้ำร้อนแบบหอคอยรวมแสง (Central Receiver Tower)

## 3. แบบจานรวมแสง (Parabolic Dish)

การผลิตความร้อนแบบนี้อาศัยการรวมแสงโดยใช้วัสดุสะท้อนแสงแบบจานรวมแสงรูปทรงพาราโบลา หรือกระจกโค้งหลายแผ่นจัดเรียงให้มีการสะท้อนและรวมแสงไปยังจุดโฟกัส ซึ่งมีตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ และมักติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์เพื่อให้ระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 การรวมแสงแบบนี้ปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้เพื่อผลิตไฟฟ้าโดยใช้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงวางไว้ยังตำแหน่งโฟกัส ซึ่งสามารถทำอุณหภูมิได้สูงถึง 1,500 องศาเซลเซียส ส่วนการใช้สำหรับงานต้มน้ำมักไม่นิยมเนื่องจากอุณหภูมิสูงมาก และรูปแบบไม่เหมาะกับการการใช้ต้มน้ำสำหรับการทำน้ำร้อน

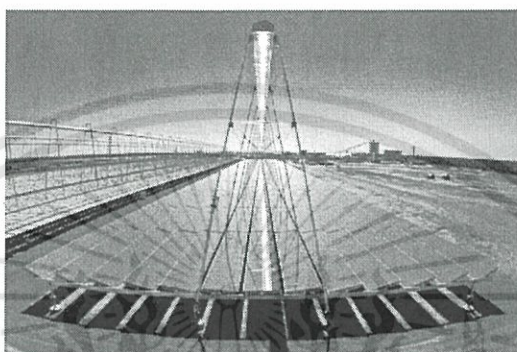


รูปที่ 2.4 การผลิตความร้อนโดยใช้จานรวมแสง (Parabolic Dish)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. เลนส์สะท้อนรวมแสงแบบเส้นตรง (Linear Fresnel reflector)

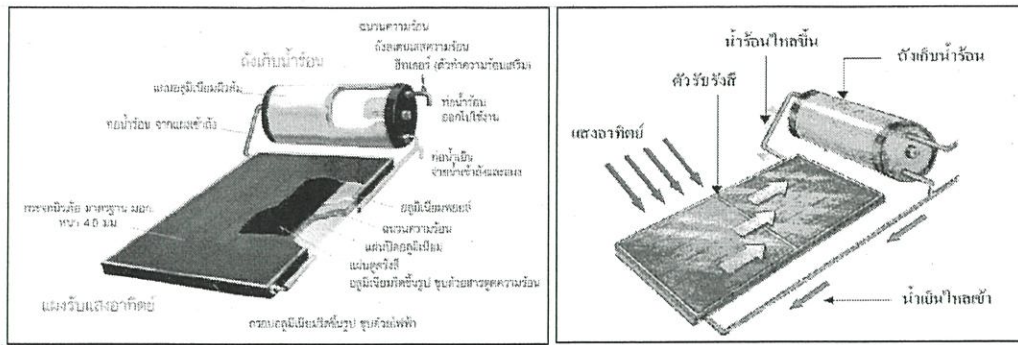
เทคโนโลยีนี้มีลักษณะคล้ายกับแบบรางพาราโบลา แต่แตกต่างกันตรงกระจกที่ใช้จะมีลักษณะเป็นแผ่นราบ ไม่มีความโค้งงอ แสงอาทิตย์จะถูกสะท้อนจากกระจกแล้วมารวมที่ตัวรับ ซึ่งจะวางเป็นแนวยาวตามกระจก และจะมีกระจกครอบไว้ด้านบนอีกชั้น เพื่อที่จะทำการรวมแสงที่ไม่ได้ส่งไปที่ตัวรับอีกรอบ เทคโนโลยีนี้มีข้อดี คือ มีราคาการผลิตและโครงสร้างที่ถูกกว่า และพื้นที่ของกระจกต่อตัวรับมีปริมาณมากกว่า ทำให้สามารถรวมรังสีจากแสงได้ในปริมาณมาก เทคโนโลยีนี้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 1.4 เมกะวัตต์ ไปจนถึง 44 เมกะวัตต์



รูปที่ 2.5 แผ่นรับแสงแบบเลนส์สะท้อนรวมแสงแบบเส้นตรง (Linear Fresnel reflector)

#### 2.1.2 แบบแผ่นรับแสงแบบแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collector)

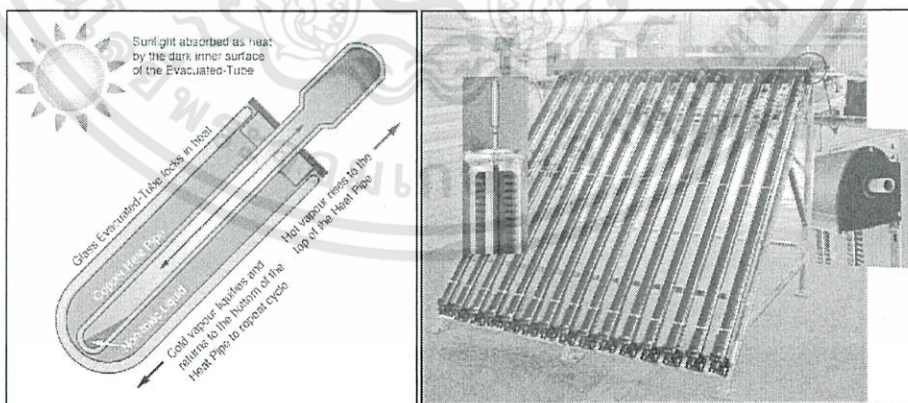
ตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบอาศัยการรับรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรงและแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำที่เก็บไว้ในถังเก็บ สามารถผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส เช่น การผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในอาคารบ้านเรือน หรือผลิตน้ำอุ่นสำหรับสระว่ายน้ำ เป็นต้น แผ่นรับแสงแบบนี้จะไม่มีอุปกรณ์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ระบบผลิตน้ำร้อนแบบแผ่นเรียบประกอบด้วยตัวดูดกลืนที่เป็นแผ่นเรียบรับแสงทำด้วยทองแดงหรืออลูมิเนียม และมีระบบท่อ (riser tube) เชื่อมติดอยู่ด้านบนของแผ่นรับแสง ปิดทับด้วยกระจกหรือพลาสติกด้านบน (glazing) แผ่นรับแสงเคลือบด้วยสารพิเศษที่มีคุณสมบัติเลือกรังสี (selective coating) ช่วยเพิ่มการดูดกลืนแสงอาทิตย์ (absorption) ทั้งจากรังสีตรง (direct radiation) และรังสีกระจาย (diffuse radiation) และลดอัตราการปลดปล่อยพลังงานในรูปของแสง (emission) ตัวแผงโลหะและขอบทั้งสี่ด้านหุ้มด้วยฉนวน เพื่อลดการสูญเสียพลังงานจากการนำความร้อน (conductive heat loss) เมื่อแสงอาทิตย์ส่องเข้ามาในแผงโลหะ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากแผ่นดูดกลืนจะส่งผ่านให้ตัวกลาง (medium) ที่ไหลอยู่ภายในท่อ เช่น น้ำหรือของเหลวชนิดอื่น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยหลักการการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบไหลเวียนธรรมชาติคือเมื่อน้ำได้รับพลังงานความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเคลื่อนที่ไปด้านบน หรือลอยไปด้านบน



รูปที่ 2.6 ระบบผลิตน้ำร้อนแบบแผ่นรับแสงแบบแผ่นเรียบ

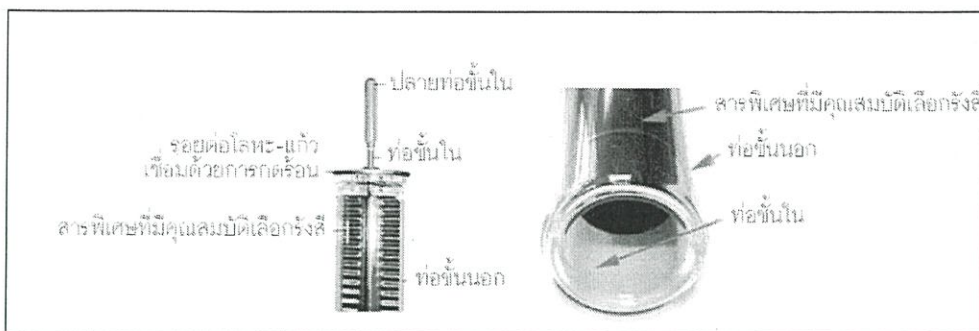
### 2.1.3 แบบแผ่นรับแสงแบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Evacuated Tube Solar Collector)

เป็นเทคโนโลยีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อทดแทนเครื่องทำน้ำร้อนแบบเดิม การผลิตน้ำร้อนแบบหลอดแก้วสุญญากาศมีประสิทธิภาพสูงแม้ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่ำ และสามารถผลิตความร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในช่วงอุณหภูมิ 90-200 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ประกอบด้วยหลอดแก้วชั้นนอกชนิดไดร์เนีย (Dornier type หรือ heat pipe evacuated tube) และท่อชั้นในทำจากโลหะทองแดงหรืออลูมิเนียม ติดอยู่กับครีป (fin) ซึ่งเคลือบด้วยสารพิเศษที่มีคุณสมบัติเลือกรังสี (selective coating) ทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืน (absorber) โดยมีตัวกลาง (medium) เป็นของเหลว เช่น น้ำ ไกลเวียนอยู่ภายในท่อชั้นใน ช่องว่างระหว่างหลอดแก้วชั้นนอกกับท่อโลหะชั้นในเป็นสุญญากาศ เพื่อลดการสูญเสียพลังงานจากการนำและการพาความร้อน (conductive และ convective heat losses) ทำให้ประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานสูงกว่าตัวเก็บรังสีแบบแผ่นเรียบ ตัวเก็บรังสีแบบท่ออีกรูปแบบหนึ่งประกอบด้วยหลอดแก้วสองชั้นชนิดเดวาร์ (Dewar type หรือ all glass evacuated tube) ชั้นนอกเป็นหลอดแก้วใส ผิวหลอดแก้วชั้นในเคลือบด้วยสารพิเศษที่มีคุณสมบัติเลือกรังสี ทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืน ช่องว่างระหว่างหลอดแก้วทั้งสองชั้นเป็นสุญญากาศ เช่นเดียวกับชนิดไดร์เนีย



รูปที่ 2.7 ระบบผลิตน้ำร้อนแบบแผ่นรับแสงแบบหลอดแก้วสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



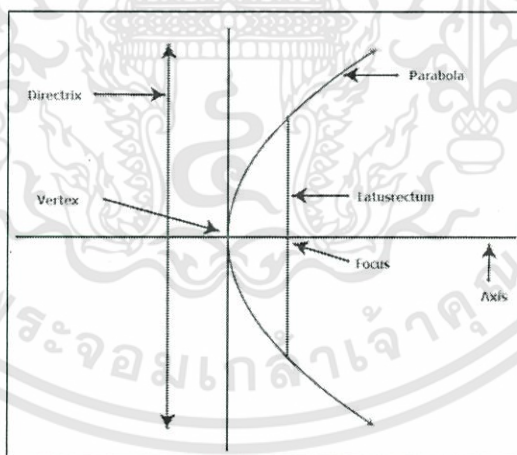
รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของแผ่นรับแสงแบบหลอดแก้วสุญญากาศ

## 2.2 พาราโบลา (Parabola)

พาราโบลา (Parabola) คือ เซตของจุดทุกจุดบนระนาบ ซึ่งอยู่ห่างจากจุดคงที่จุดหนึ่ง และห่างจากเส้นคงที่เส้นหนึ่งเป็นระยะทางเท่ากัน เรียกจุดคงที่นั้นว่าจุดโฟกัส F และเรียกเส้นคงที่ว่าเส้นกำกับ หรือเส้นไดเรกทริกซ์ (Directrix)

โดยพาราโบลามีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

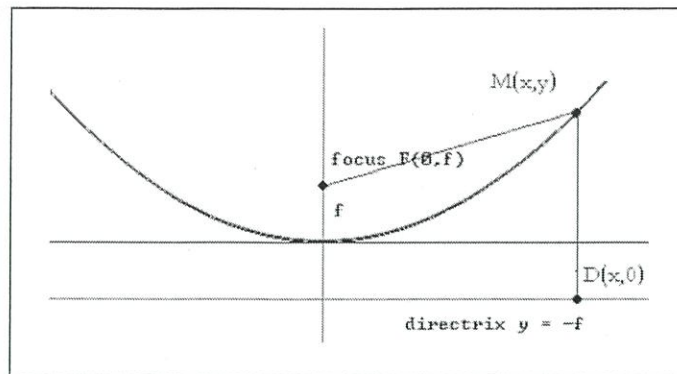
- 1.) เส้นบังคับ หรือไดเรกทริกซ์ (Directrix) คือเส้นคงที่ของพาราโบลา
- 2.) จุดโฟกัส F (Focus) คือจุดคงที่ของพาราโบลา
- 3.) จุดยอด (Vertex) คือจุดที่เส้นพาราโบลาตัดกับแกนของพาราโบลา
- 4.) เลตัสเรกตรัม (Latus rectum) คือส่วนของเส้นตรงที่ลากผ่านจุดโฟกัส มีจุดปลายทั้งสองอยู่บนพาราโบลา เลตัสเรกตรัมจะตั้งฉากกับแกนของพาราโบลา และขนานกับไดเรกทริกซ์
- 5.) แกนของพาราโบลา (Axis) คือเส้นตรงที่ลากผ่านจุดโฟกัส และจุดยอด ตั้งฉากกับไดเรกทริกซ์



รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบของพาราโบลา

สมการพาราโบลาในกรณีที่พาราโบลามีแกนของพาราโบลขนานกับแกน y รูปที่ 2.10 แสดงรูปพาราโบลา โดยที่จุดยอดอยู่ที่พิกัด  $(0,0)$  จุดโฟกัสอยู่ที่จุด F ที่พิกัด  $(0,f)$  และเส้นไดเรกทริกซ์คือ  $y = -f$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 รูปพาราโบลา

จากนิยามของพาราโบลา ที่จุดใด ๆ  $M(x,y)$  ระยะทางจากจุด  $f$  ถึงจุด  $M$  จะเท่ากับระยะทางจากจุด  $M$  ถึงเส้นโคเรกตริกซ์ ดังนั้นจึงสามารถสร้างสมการได้ดังนี้

$$\sqrt{(X-0)^2 + (y-f)^2} = \sqrt{(x-x)^2 + (y-(-f))^2} \quad (2.1)$$

จากนั้นยกกำลังสองทั้งสองข้าง แล้วจัดรูปสมการใหม่ จะได้

$$x^2 + y^2 + f^2 - 2y \times f = y^2 + f^2 + 2y \times f \quad (2.2)$$

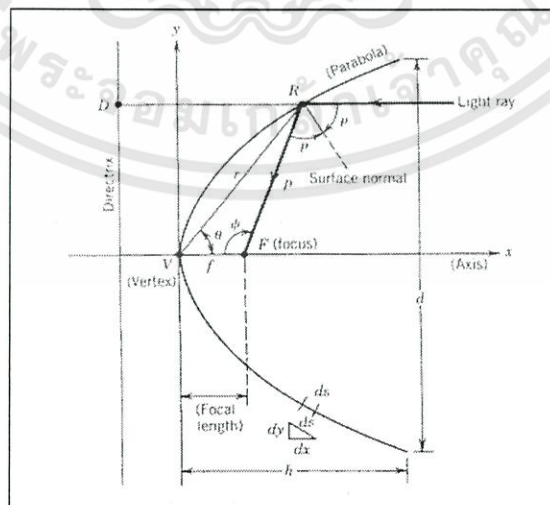
จัดรูปสมการให้ง่ายขึ้น จะสมการพาราโบลา ดังนี้

$$y = \frac{x^2}{4f} \quad (2.3)$$

รูปร่างพาราโบลิกถูกใช้เป็นพื้นผิวสะท้อนสำหรับตัวสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar collector) อย่างกว้างขวาง การออกแบบกระจกหรือวัสดุสะท้อนแสงโค้งหน้าตัดรูปพาราโบลาจะอ้างอิงได้ตามสมการที่ (2.3)

ถ้าพิจารณาสมการที่ (2.3) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความยาวเส้นผ่านศูนย์กลางของพาราโบลา ( $d$ ) ความสูงของพาราโบลา ( $h$ ) และระยะโฟกัส ( $f$ ) ตามรูปที่ 2.11 จะได้สมการดังนี้

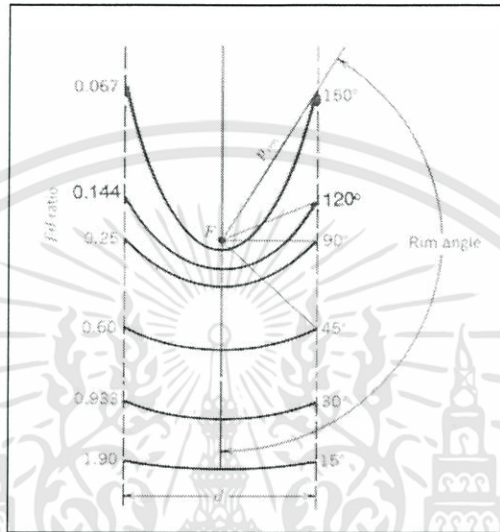
$$h = \frac{d^2}{16f} \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.11 ลักษณะหน้าตัดพาราโบลาของกระจกหรือวัสดุสะท้อนแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

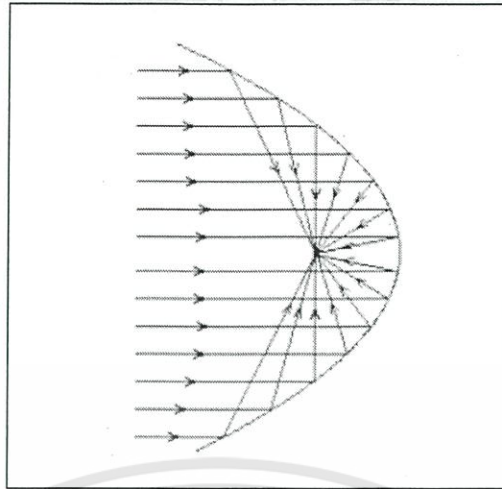
โดยทั่วไปพาราโบลาค่าหนดให้เส้นโค้งมีขอบเขตเป็นอนันต์ ตัวรวมแสงอาทิตย์ (Solar concentrators) จะใช้ส่วนตัดของเส้นโค้งนี้ ขอบเขตของการตัดนี้ มักจะถูกกำหนดจากมุมขอบ (Rim angle) หรืออัตราส่วนระหว่างระยะโฟกัสกับเส้นผ่านศูนย์กลางของพาราโบลาคือ  $f/d$  ดังรูปที่ 2.12 แสดงให้เห็นความโค้งของพาราโบลาค่าแตกต่างกัน ที่ระยะโฟกัสต่าง ๆ โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางของพาราโบลาค่าเท่ากัน



รูปที่ 2.12 ส่วนของโค้งพาราโบลาค่าที่ระยะโฟกัสต่างๆ และมีเส้นผ่านศูนย์กลางของพาราโบลาค่าเท่ากัน

### 2.3 อุปกรณ์สะสมพลังงานแสงอาทิตย์แบบรางพาราโบลิก (Parabolic trough collector)

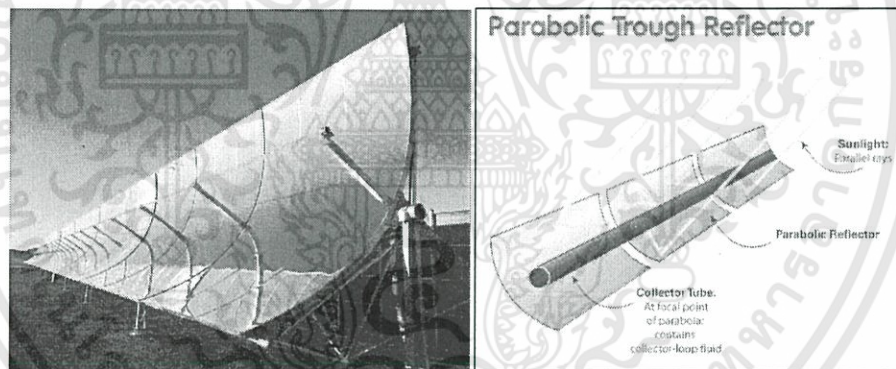
ตัวสะท้อนรังสีรูปพาราโบลิก (Parabolic) หรือพาราโบลอยด์ (Paraboloids) สามารถพบเห็นได้จากการประยุกต์ใช้ในจานดาวเทียม ตัวรับรังสีรูปพาราโบลามีคุณสมบัติในการสะท้อนรังสีขนานที่ตกกระทบลงบนพื้นผิวตัวรับรังสีให้รวมกันที่จุดโฟกัส หรือกรณีตรงกันข้าม ที่ตำแหน่งการเกิดรังสีที่จุดโฟกัส จะทำให้เกิดการสะท้อนรังสีออกไปในแนวขนาน ดังรูปที่ 2.13 แสดงให้เห็นว่ารังสีขนานที่เดินทางจากด้านซ้ายตกกระทบตัวรับรังสีแล้วเดินทางไปจุดโฟกัสเพียงจุดเดียว รังสีที่สะท้อนไปรวมกันที่ตำแหน่งจุดโฟกัสนี้มีความเข้มข้นของรังสีมากที่สุด ส่วนรวมแสงด้วยรางพาราโบลิกจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้



รูปที่ 2.13 การกระทบลงบนจุดโฟกัสของพาราโบลา

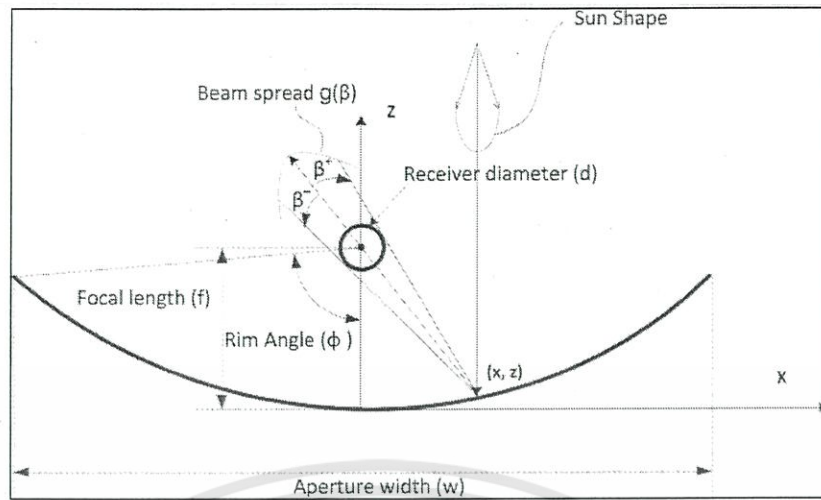
### 2.3.1 วัสดุสะท้อนแสงโค้งหน้าตัดรูปพาราโบลา

รูปทรงพาราโบลามีลักษณะโค้ง ประกอบด้วยส่วนสำคัญหลายส่วน คือ จุดโฟกัส จุดยอดของพาราโบลา แกนพาราโบลา ไดร็อยทริก และเลตส์เรกตีฟ ส่วนนี้จะมีหน้าที่รวมพลังงานแสงอาทิตย์แล้วสะท้อนไปยังท่อดูดซับรังสีตรงตำแหน่งโฟกัสของรางพาราโบลา เพื่อถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับน้ำหรือของเหลวซึ่งเป็นสารทำงานภายในท่อ มีลักษณะดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะวัสดุสะท้อนแสงโค้งหน้าตัดรูปพาราโบลา

สำหรับการออกแบบโครงสร้างของวัสดุสะท้อนแสงโค้งหน้าตัดรูปพาราโบลามีชื่อเรียกเฉพาะส่วน ดังแสดงในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 โครงสร้างของหน้าตัดพาราโบลาที่ใช้ในการออกแบบ

เมื่อ Aperture width คือความกว้างของวัสดุสะท้อนแสงโค้งหน้าตัดรูปพาราโบลา  
 Parabolic trough length คือความยาวของรางพาราโบลิก  
 Rim angle คือมุมระหว่างแกนของพาราโบลาและเส้นที่ลากจากจุดโฟกัสมายังส่วนปลาย  
 ของเส้นพาราโบลา  
 Receiver diameter คือเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อดูดซับรังสี  
 Focal length คือระยะโฟกัส  
 Beam spread คือมุมของลำรังสีที่สะท้อนมายังท่อดูดซับ หลังจากลำรังสีกระทบวัสดุ  
 สะท้อนแสง

### 2.3.2 โครงสร้างรับวัสดุสะท้อนแสงโค้ง

เป็นโครงสร้างที่ออกแบบเพื่อรับน้ำหนัก เพิ่มความแข็งแรงให้กับแผ่นกระจกหรือวัสดุสะท้อนแสงโค้ง และต้องออกแบบให้มีโครงสร้างรับท่อดูดซับ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 รูปแบบของโครงสร้างโดยทั่วไปขึ้นรูปกับกระจกโค้ง หรือการออกแบบกำลังการผลิตของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ วัสดุอาจทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม หรืออะลูมิเนียม เพื่อลดน้ำหนักให้โครงสร้าง

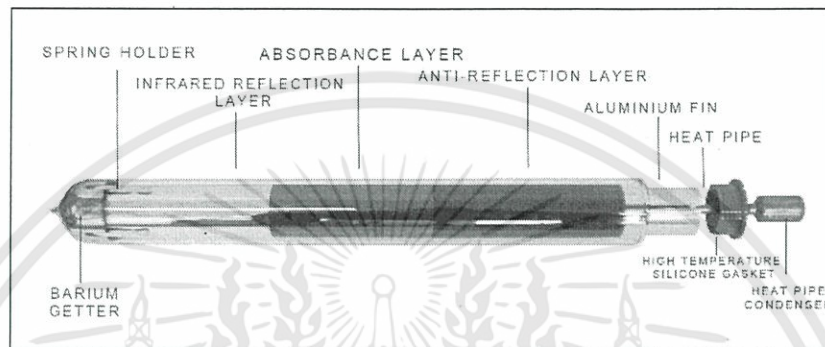


รูปที่ 2.16 แสดงโครงสร้างรับวัสดุสะท้อนแสงโค้งและท่อดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.3 ท่อดูดซับรังสี

เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากต่อประสิทธิภาพของระบบ ท่อดูดซับรังสีจะทำหน้าที่นำสารทำงานหรือของเหลวไหลผ่านเพื่อรับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ที่เกิดจากการรวมแสงของรางพาราโบลา โดยปกติท่อดูดซับรังสีทำจากท่อโลหะ อาจเป็นท่อทองแดงเคลือบด้วยสารดูดความร้อน โดยทั่วไปท่อโลหะจะบรรจุภายในหลอดแก้ว โดยทำให้ช่องว่างระหว่างท่อโลหะและหลอดแก้วเป็นสุญญากาศ เพื่อลดการสูญเสียความร้อน โดยการพาความร้อน ลักษณะของท่อดูดซับรังสี (Receiver Tube) แสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะ และส่วนประกอบของท่อดูดซับรังสี (Receiver Tube)

### 2.3.4 สารทำงานในส่วนรวมแสงด้วยรางพาราโบลา

เป็นของเหลวที่ไหลอยู่ภายในท่อดูดซับรังสี โดยจะรับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาจากรวมแสงแบบพาราโบลา

เนื่องจากรางพาราโบลาสามารถรวมแสงอาทิตย์ให้มีอุณหภูมิสูงมาก ประมาณ 400 องศาเซลเซียส ดังนั้น สารทำงานที่เลือกใช้ในระบบท่อดูดซับรังสี (Absorber Tube) ต้องมีจุดเดือดสูงเช่นกัน โดยทั่วไปจะเลือกใช้น้ำมันร้อน (Thermal Oil) เป็นสารทำงาน

## 2.4 วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุสะท้อนแสงของรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

### 2.4.1 สเตนเลส

สเตนเลส หรือชื่ออย่างเป็นทางการคือเหล็กกล้าไร้สนิมเป็น ศัพท์ทั่วไปที่ใช้เรียกเหล็กในกลุ่มที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง สเตนเลสเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน ซึ่งส่วนประกอบจะมีปริมาณคาร์บอนต่ำ มีโครเมียมเป็นส่วนผสมหลักประมาณ 10.5 % หรือมากกว่า ทำให้เกิดการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ (chromium oxide film :  $\text{CrO}_2$  หรือเรียกว่า passive film) ที่มองไม่เห็นเกาะติดแน่นอยู่ที่ผิวหน้าทำให้เหล็กกล้ามีความต้านทานการกัดกร่อน ฟิล์มปกป้องนี้ จะมีความบางเทียบเท่ากับวงกระดาษ 1 แผ่นบนตึกสูง 20 ชั้น ถ้าฟิล์มที่ผิวหน้านั้นถูกทำลายไม่ว่าจากแรงกล สารเคมี หรือออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศ แม้จำนวนน้อยนิดจะเข้าทำปฏิกิริยากับโครเมียม สร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ทดแทนชิ้นใหม่ด้วยตัวมันเอง แต่การทำให้สเตนเลสเป็นสนิมคือการที่ถูกทำลายฟิล์มโครเมียมออกไซด์ที่เคลือบผิวออกไปในสถานะที่สเตนเลสสามารถเกิดสนิมได้ ก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมาอีกครั้ง เช่น ถ้าสเตนเลสถูกทำให้เกิดรอยขีดข่วน แล้ว

บริเวณรอยนั้นมีความชื้น ซึ่งสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยากับธาตุเหล็กก่อนที่ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จะก่อตัวขึ้นมา ก็จะเป็นสาเหตุให้เกิดสนิมขึ้นได้

สแตนเลสสามารถปรับปรุงคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนและสมบัติอื่นๆที่ต้องการให้สูงขึ้นได้โดยการเพิ่ม ส่วนผสมของโครเมียมและเพิ่มธาตุอื่นๆ เช่น โมลิบดีนัม นิกเกิลและไนโตรเจนเข้าไป สแตนเลสมีอยู่มากกว่า 60 ชนิด

ด้วยคุณสมบัติที่ไม่เหมือนใคร เช่น ยากต่อการขึ้นสนิมเมื่อเทียบกับโลหะหรือวัสดุชนิดอื่นๆ ค่าบำรุงรักษาต่ำ ง่ายต่อการเชื่อมและการขึ้นรูป ระยะเวลาการใช้งานคุ้มค่างับราคา และสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ทั้งหมด จึงทำให้สแตนเลส เป็นโลหะที่ทรงคุณค่า คุณสมบัติและประโยชน์ใช้สอยที่ไร้ขีดจำกัด

ประเภทของสแตนเลส

โดยทั่วไปสแตนเลสแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มใหญ่ตามโครงสร้างคือ ออสเทนนิติก, เฟอร์ริติก, ดิวเพล็กซ์, มาร์เทนซิติก และกลุ่มเพิ่มความแข็งแรงโดยวิธีการตกผลึก

- 1.) กลุ่มออสเทนนิติก (Austenitic) หรือสแตนเลสตระกูล 300 เป็นเกรดที่ใช้งานแพร่หลายมากที่สุดถึง 70% มีคุณสมบัติแม่เหล็กดูดไม่ติด (non - magnetic) มีส่วนผสมของโครเมียม 16% คาร์บอนอย่างมากที่สุด 0.15% มีส่วนผสมของธาตุนิกเกิล 8% เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติในการขึ้นรูปประกอบ (Fabrication) และเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน บางเกรดจะมีแมงกานีสผสมอยู่ด้วยเกรดที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายและนิยมเรียก 18/8 คือการที่มีส่วนผสมของโครเมียม 18% และนิกเกิล 8%
- 2.) กลุ่มเฟอร์ริติก (Ferritic) มีสมบัติแม่เหล็กดูดติด (magnetic) มีธาตุคาร์บอนผสมปริมาณที่ต่ำ และมีโครเมียมเป็นธาตุผสมหลักที่สำคัญอาจอยู่ระหว่าง 10.5%-27% บางเกรดผสมนิกเกิลลงไปเล็กน้อย บางเกรดผสมโมลิบดีนัม หรืออลูมิเนียม ไททาเนียม
- 3.) กลุ่มมาร์เทนซิติก (Martensitic) มีสมบัติแม่เหล็กดูดติด (magnetic) เป็นตระกูลที่มีความต้านทานการกัดกร่อนน้อยกว่าออสเทนนิติกและเฟอร์ริติก แต่มีความทนทานและแข็งแรงมากกว่า โดยทั่วไปจะมีส่วนผสมของโครเมียม 12 -14% โมลิบดีนัม 0.2-1% มีนิกเกิล 0-2% และมีคาร์บอนผสมอยู่ประมาณ 0.1-1% สแตนเลสตระกูลนี้สามารถปรับความแข็งแรงได้โดยการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นตัวอย่างรวดเร็ว (Quenching) และอบคืนตัว (Tempering) สามารถลดความแข็งแรงได้ คล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน และพบการใช้งานที่สำคัญในการผลิตเครื่องตัด อุตสาหกรรมเครื่องบินและงานวิศวกรรมทั่วไป
- 4.) กลุ่มดิวเพล็กซ์ (Duplex) มีโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างเฟอร์ริติกและออสเทนนิติก จึงทำให้มีความแข็งแรงมากกว่าออสเทนนิติกและมีความทนทานต่อการกัดกร่อนชนิดรูเข็ม ซอกอับ มีโครเมียมเป็นธาตุผสมอยู่ระหว่าง 19-28% และโมลิบดีนัมสูงกว่า 5% และมีนิกเกิลน้อยกว่าตระกูลออสเทนนิติก พบว่าใช้งานมากในสภาพแวดล้อมที่มีคลอไรด์สูง
- 5.) กลุ่มเพิ่มความแข็งแรงโดยการตกผลึก (Precipitation hardening) มีความต้านทานการกัดกร่อนเทียบเคียงกับตระกูลออสเทนนิติก มีความแข็งแรงมากกว่าตระกูลมาร์เทนซิติก เกรดที่เป็นที่รู้จักในตระกูลนี้ คือ 17-4H ซึ่งมีส่วนผสมของโครเมียม 17% และนิกเกิล 4% สามารถเพิ่มความแข็งแรงได้โดยกลไกเพิ่มความแข็งแรงจากการตกผลึก (Precipitation hardening mechanism) โดยสามารถเพิ่มความแข็งแรงสูงมาก มีค่าความเค้นพิสูจน์ (Proof stress) อยู่ระหว่าง 1,000 ถึง 1,500 MPa ขึ้นอยู่กับชนิดและกรรมวิธีปรับปรุงคุณสมบัติด้วยความร้อน (Heat treatment) สแตนเลสชนิดนี้สามารถชุบแข็งได้ในคราวเดียว จึงเหมาะสำหรับทำแกน ปีมหัววาล์ว และส่วนประกอบของ อากาศยาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิวของสเตนเลส

No.1 เป็นผิวแรกที่ผ่านกระบวนการรีดร้อน รีดเย็น อบอ่อน หรือปรับปรุงด้วยความร้อน ไม่ได้จัดคราบออกไซด์ออก ผิวมีสีเทา ค่อนข้างหยาบ โดยทั่วไปจะใช้งานที่ทนความร้อน

2D เป็นลักษณะผิวด้านไม่เงา มีความสะท้อนแสง 13% ผิวผ่านกระบวนการรีดเย็น ตามด้วยการอบอ่อนและขจัดคราบออกไซด์

2B เป็นผิว 2D ที่ผ่านลูกรีดขนาดใหญ่กดทับเพื่อปรับความเรียบ เพิ่มความเงา ผิวเงาสะท้อนปานกลาง ผลิตโดยวิธีการรีดเย็น ตามด้วยการอบอ่อน ขจัดคราบออกไซด์ และนำไปรีดปรับความเรียบผิว (Skin pass rolling) ลักษณะของผิวจะเงาขึ้นเล็กน้อยจากผิว 2D มีความสะท้อนแสง 22% ในประเภทออสเทนนิติก (304,316) และ 46% ในประเภทเฟอร์ริติก (410,430)

No.3 มีลักษณะเป็นผิวที่ขัดด้วยวัสดุเบอร์ 100-120

No.4 เป็นผิวที่ขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 150-180 ลักษณะผิวเป็นลายเส้นสั้นคล้ายขนแมว HL หรือ Hair line มีลักษณะการขัดอย่างละเอียดด้วยกระดาษทรายให้มีรอยขีดเป็นเส้นยาวต่อเนื่องคล้ายเส้นผม

No.5 มีลักษณะเป็นผิว No. 4 ที่นำมาผ่านเครื่องปรับผิว (Skin pass rolling) เพื่อให้ผิวมีความเรียบมากขึ้น

No.6 มีลักษณะเป็นผิวที่ขัดด้วยวัสดุเบอร์ 200-300

No.7 มีลักษณะเป็นผิวขัดด้วยวัสดุประเภทผ้าสักหลาด (Buffing) มีความมันเงาประกอบกับลายเส้นบางๆ

BA เป็นสเตนเลสที่ผ่านกระบวนการ Zenzimir Mill คือรีดเย็นด้วยความหนาลดลงทีละน้อยๆ ผ่านการอบอ่อนด้วยก๊าซไฮโดรเจน เพื่อป้องกันการออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ ผิวมันเงา สะท้อนแสงได้ดี ผิวผลิตภัณฑ์สเตนเลสที่กระทำด้วยวิธีนี้จะมีเครื่องหมาย BA หรือ NO.2BA , A ซึ่งผิวอบอ่อนเงาจะมีลักษณะเป็นเงากระจก โดยเริ่มต้นจากการรีดเย็นอบอ่อนในเตาควบคุมบรรยากาศ ผิวเงาที่เห็นจะเป็นการขัดผิวด้วยลูกกลิ้งขัดผิว หรือเจียรในผิวตามเกรดที่ต้องการ ผิวอบอ่อนเงาสวนมากจะใช้กับงานสถาปัตยกรรมที่ต้องการผิวสะท้อน ผิวอบอ่อนสีนํ้ามอมจะไม่สะท้อนแสงเหมือนกับ No.8 จะใช้งานที่เป็นขอบชิ้นส่วนทางสถาปัตยกรรม ภาชนะในครัว อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตอาหาร

No.8 หรือเรียกว่า Mirror เป็นสภาพผิว 2B, BA ที่ผิวจะถูกขัดด้วยเครื่องขัดละเอียด ขัดด้วยวัสดุประเภทสำลีหรือผ้าสักหลาดจนมองไม่เห็นลายเส้นใดๆ ลักษณะผิวมีความเงาเหมือนกระจกนำไปใช้กับงานตกแต่งทางด้านสถาปัตยกรรม และงาน ที่เน้นความสวยงาม

## 2.5 ประสิทธิภาพของระบบรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

ประสิทธิภาพของระบบรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาสามารถหาได้ตามมาตรฐานของ ASHRAE Standard 93-77 ซึ่งเมื่อพิจารณาช่วงระยะเวลาสั้นๆ สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพทางความร้อน ณ ขณะใดขณะหนึ่ง (Instantaneous efficiency,  $\eta$ ) ของตัวรับรังสีอาทิตย์ชนิดรวมแสง ได้ดังสมการดังนี้

$$\eta = \frac{m C_p (T_o - T_i)}{I_T A_c} \quad (2.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

โครงการพิเศษนี้เป็นการศึกษาระบบรางรวมแสงพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาราโบล่า เพื่อศึกษา ออกแบบ และประดิษฐ์รางรวมแสงแบบพาราโบลิก สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ โดยมีวิธีการดำเนินการศึกษาดังต่อไปนี้

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบระบบรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิก มีส่วนประกอบหลัก ดังนี้คือ

- 1.) แผ่นไม้
- 2.) สีทาไม้ สำหรับทาทภายนอก
- 3.) อลูมิเนียมฉาก ขนาด  $2.54 \times 2.54 \times 0.3$  เซนติเมตร
- 4.) อลูมิเนียมเส้น ความหนา 2 มิลลิเมตร
- 5.) แผ่นสแตนเลส ผิวกระจก No.8 ความหนา 0.8 และ 0.5 เซนติเมตร
- 6.) ลูกปืน (Bearing)
- 7.) ฝาท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว
- 8.) ท่อ PVC และข้อต่อ
- 9.) ท่อแก้วสุญญากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 58 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 48 มิลลิเมตร และความยาวท่อ 180 เซนติเมตร
- 10.) ท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $3/8$  นิ้ว
- 11.) สายยางทนความร้อน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $3/8$  นิ้ว
- 12.) ฉนวนกันความร้อน
- 13.) ข้อต่อทองเหลือง
- 14.) ซิลิโคน
- 15.) จาระบี
- 16.) เหล็กฉาก
- 17.) น็อต
- 18.) เลื่อยฉลุไฟฟ้า
- 19.) สว่าน
- 20.) เครื่องตัดเหล็ก
- 21.) เครื่องเจียร (ลูกหมู)
- 22.) โฮลซอร์ว (hole saw)
- 23.) แคลมป์ (C-clamp)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24.) ไชควง

25.) ปะแจ

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาประสิทธิภาพของระบบรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลิก

1.) ไพรานอมิเตอร์

2.) เทอร์โมคัปเปิลแบบ K

3.) บีกเกอร์

### 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.2.1 การคำนวณหาความโค้งของรางพาราโบลิก

การคำนวณหาความโค้งของรางพาราโบลิก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.4)

$$y = \frac{x^2}{4f}$$

โดยกำหนดให้  $f$  คือระยะโฟกัส = 10 เซนติเมตร

$y$  คือความกว้างของรางพาราโบลิก = 60 เซนติเมตร

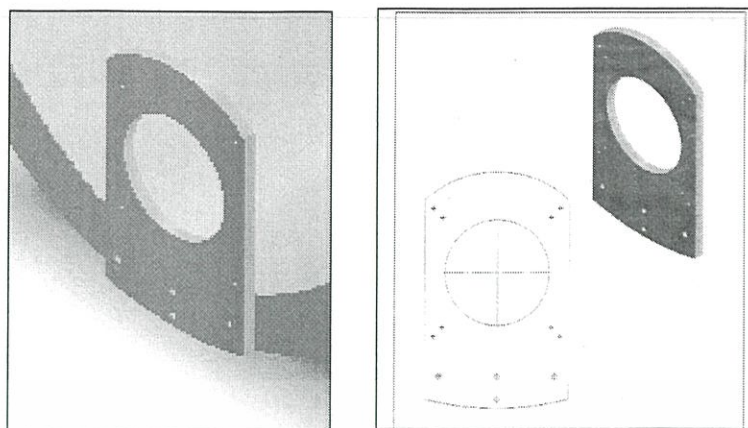
ดังนั้น  $x = 30$  เซนติเมตร

ตารางที่ 3.1 แสดงระยะแกน  $y$  ที่สัมพันธ์กับความกว้างของรางพาราโบลิก

ระยะแกน $x$ (เซนติเมตร)	ระยะแกน $y$ (เซนติเมตร)
-30	22.500
-25	15.625
-20	10.000
-15	5.625
-10	2.500
-5	0.625
0	0.000
5	0.625
10	2.500
15	5.625
20	10.000
25	15.625
30	22.500

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

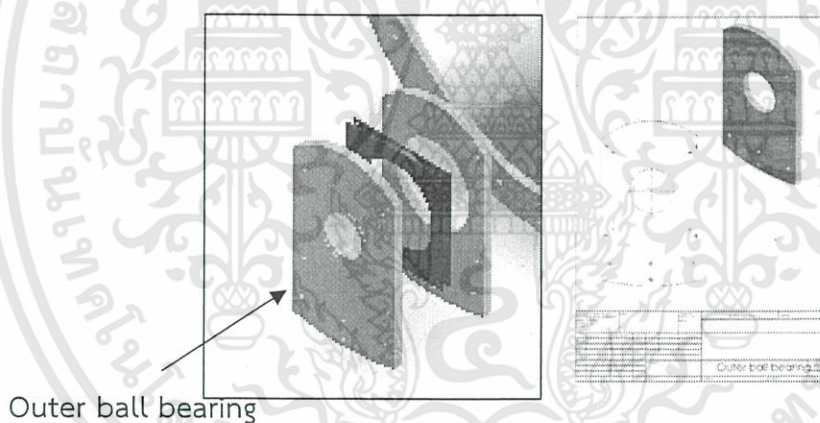




รูปที่ 3.3 แสดงส่วนโครงสร้าง Inner ball bearing

### 3.) ส่วน Outer ball bearing

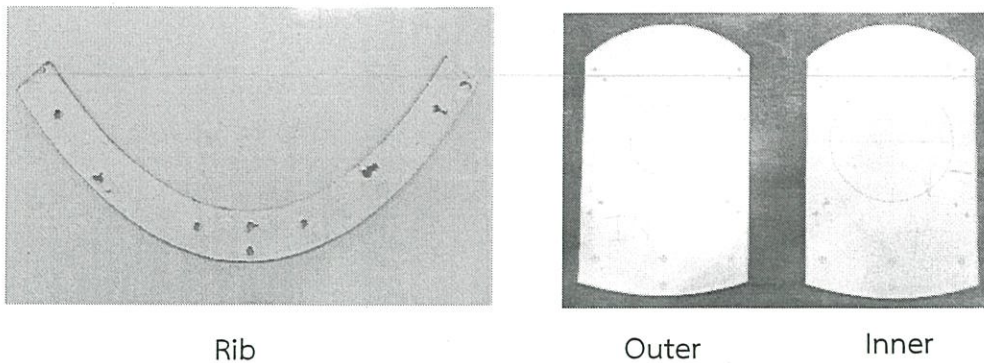
ซึ่งเป็นส่วนสุดท้ายที่จะใช้ประกอบเข้ากับลูกปืนภายนอก และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 73 มิลลิเมตร ซึ่งเล็กกว่าส่วน Inner ball bearing เพื่อสำหรับสวมกับท่อแก้วสุญญากาศได้พอดี โดยรวมแสงแบบพาราโบลา 1 รางจะมีส่วน Outer ball bearing 2 ชิ้น



รูปที่ 3.4 แสดงส่วนโครงสร้าง Outer ball bearing

#### 3.2.2.2 การสร้างไม้ต้นแบบ

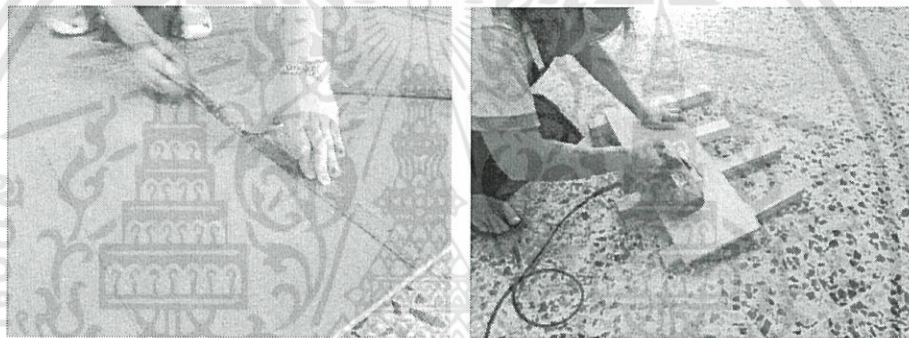
นำแบบที่วาดจากโปรแกรม SolidWork พิมพ์ออกมา จากนั้นนำแบบที่พิมพ์ไปทาบลงไม้อัด แล้วใช้เลื่อยฉลุตัดตามแบบที่ทาบไว้บนแผ่นไม้อัด ก็จะได้ไม้ต้นแบบที่เป็นส่วน Rib, Inner ball bearing, Outer ball bearing ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 โครงสร้างต้นแบบส่วน Rib ,Outer ball bearing และ Inner ball bearing

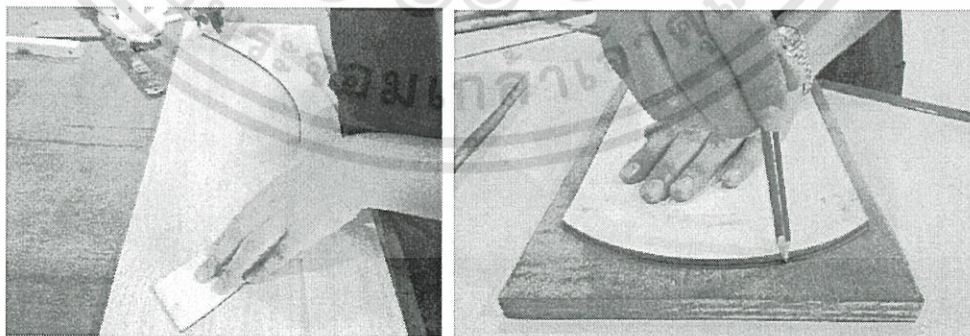
3.2.2.3 ขั้นตอนการตัดส่วนประกอบต่างๆ โดยทาบไม้จริงกับต้นแบบ มีวิธีในการประกอบดังนี้ คือ

1.) การแบ่งไม้ตามขนาดแต่ละชิ้นส่วน โดยใช้เลื่อยวงเดือนตัดออกให้เป็นส่วนๆ



รูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการแบ่งไม้ตามขนาดแต่ละชิ้นส่วน

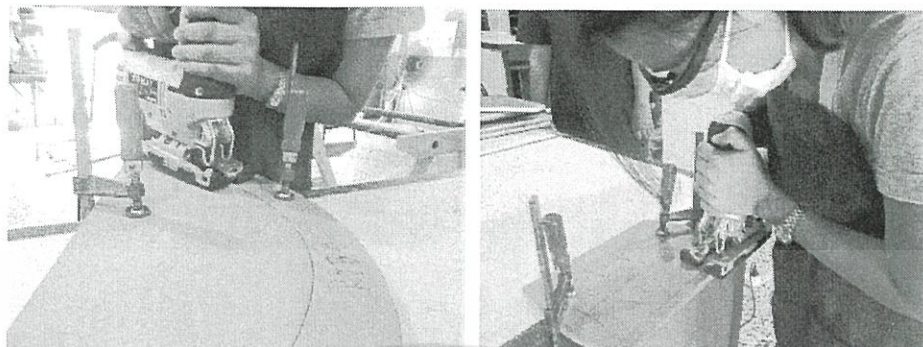
2.) ทาบแบบไม้ที่ตัดได้กับไม้จริงที่จะใช้ทำเป็นชิ้นส่วนรางพาราโบลิกจริงเป็นส่วน Rib, Inner ball bearing และ Outer ball bearing



รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการทาบแบบไม้กับไม้จริง

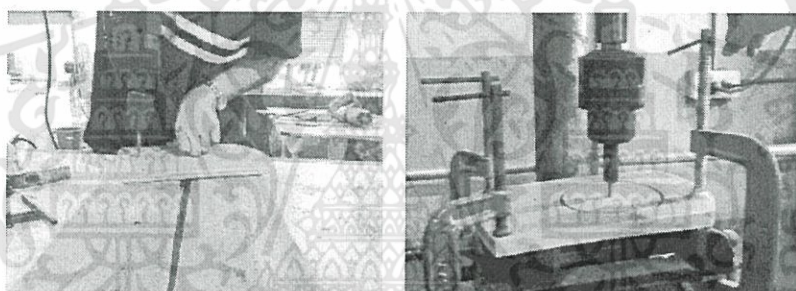
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) ตัดชิ้นส่วนตามแบบที่ได้เตรียมไว้ โดยใช้เลื่อยฉลุ



รูปที่ 3.8 แสดงการตัดชิ้นไม้

4.) เจาะรูตามแบบเพื่อใช้ยึดน็อตและใช้โหดขอเจาะไม้ในส่วน Inner ball และส่วนOuter ball bearing

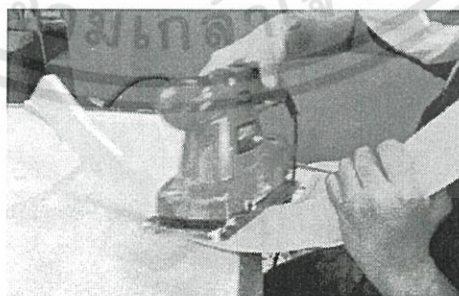


(ก)

(ข)

รูปที่ 3.9 (ก) การเจาะรูไม้เพื่อใช้สำหรับยึดน็อต (ข) การเจาะวงกลมในส่วน Inner ball และส่วนOuter ball bearing

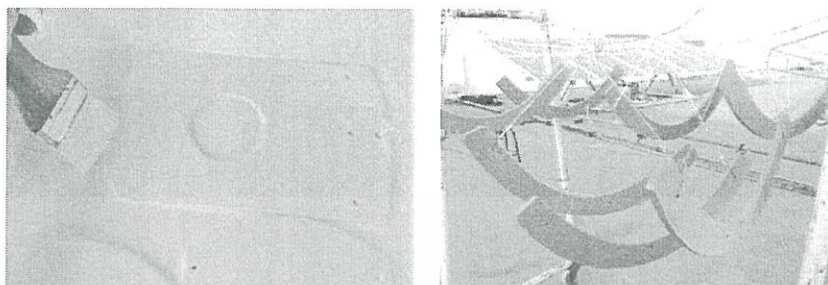
5.) นำไม้ที่ตัดและเจาะรูเรียบร้อยแล้วไปขัดไม้ด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย



รูปที่ 3.10 แสดงการขัดไม้ด้วยเครื่องขัดกระดาษทราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. เป็นขั้นตอนของการนำไม้ที่ขัดกระดาษทรายแล้วไปทาสีและตากแดดให้แห้งเพื่อเพิ่มอายุการใช้งาน เพื่อป้องกันน้ำฝนและแสงแดด



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.11 (ก) การทาสีไม้ (ข) ไม้ที่ผ่านการทาสีแล้วนำไปตากแห้ง

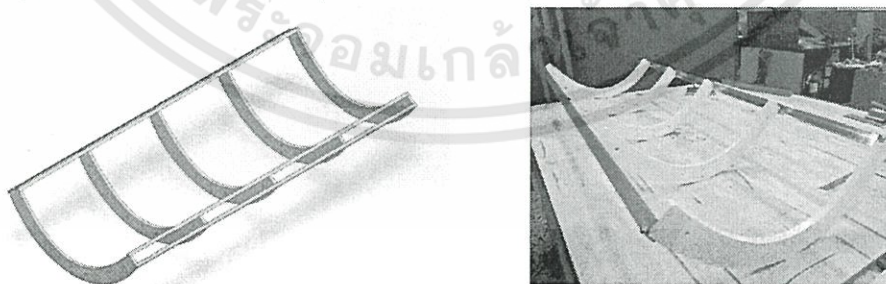
3.2.2.4 การประกอบรางพาราโบลาโบลิก มีวิธีในการประกอบแต่ละส่วนดังนี้ คือ

1.) นำส่วน Rib มาเรียงกันทั้งหมด 5 ชิ้น โดยที่มีความยาวราง 150 เซนติเมตร และเว้นระยะห่างแต่ละอันเท่าๆ กัน จากนั้นทำการตีโครงโดยใช้ลูมิเนียมฉากยึดประกบทั้งด้านบน และด้านล่าง



รูปที่ 3.12 ลักษณะการเรียงส่วน Rib เพื่อเตรียมประกอบ

2.) ใช้ลูมิเนียมฉากประกอบ Rib ทุกอันเข้าด้วยกันที่มุมทั้ง 4 มุม ให้มีลักษณะเป็นราง



(ก.)

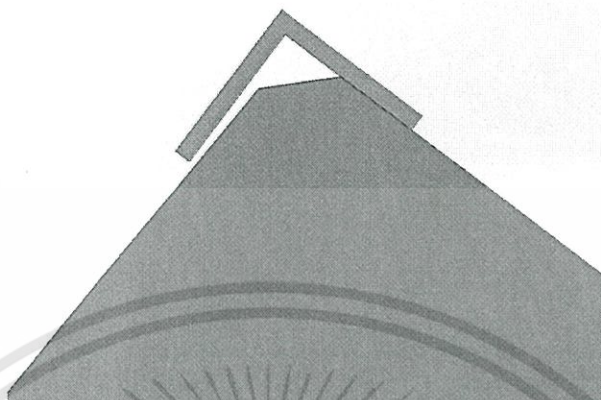
(ข.)

รูปที่ 3.13 (ก.) การประกอบโครงสร้างของรางพาราโบลิกด้วยโปรแกรม SolidWorks

(ข.) การประกอบโครงสร้างของรางพาราโบลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) เจาะรูเพื่อยึดน็อตระหว่างอลูมิเนียมฉาก กับ Rib และก็เปิดช่องไว้เล็กน้อยเพื่อสอดแผ่นสะท้อนแสงเข้าไป

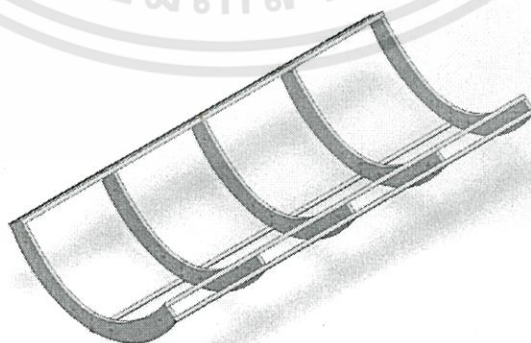


รูปที่ 3.14 ลักษณะอลูมิเนียมฉากประกบกับมุมของรางพาราโบลาด้วยโปรแกรม SolidWorks



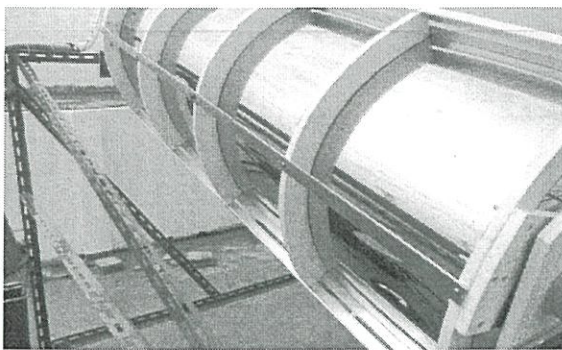
รูปที่ 3.15 การยึดอลูมิเนียมฉากกับมุมของรางพาราโบลา

4.) ใช้อลูมิเนียมเส้น ที่มีลักษณะแบนยาวยึดด้านล่างของรางพาราโบลาอีกครั้ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับราง



รูปที่ 3.16 การยึดอลูมิเนียมเส้นที่ด้านล่างของรางพาราโบลาด้วยโปรแกรม SolidWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 อลูมิเนียมเส้นที่ยึดด้านล่างของรางพาราโบลา

5.) สอดแผ่นสะท้อนแสงเข้ากับโครงของรางพาราโบลา ให้มีลักษณะโค้งแนบไปกับโครงสร้างของราง



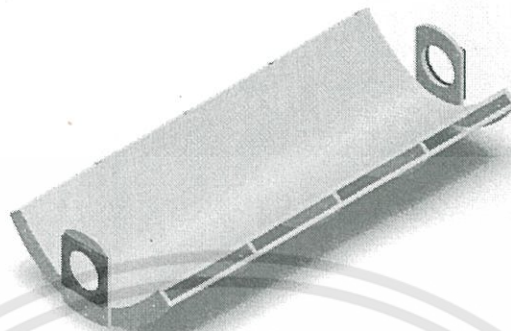
รูปที่ 3.18 สอดแผ่นสะท้อนแสงกับโครงสร้างรางพาราโบลาด้วยโปรแกรม SolidWorks

6.) ติดส่วน Inner ball bearing เข้ากับโครงที่ด้านหน้าตัดพาราโบลาทั้งสองด้าน

รูปที่ 3.19 ติดส่วน Inner ball bearing เข้ากับโครงสร้างด้วยโปรแกรม SolidWorks

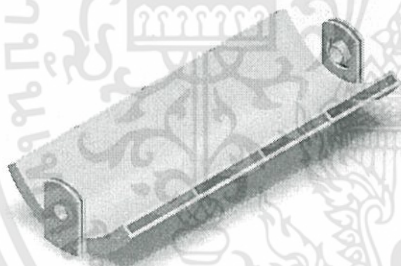
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.) ติดลูกปืนประกบกับส่วน Inner ball bearing ทั้งสองด้าน ซึ่งจะทำให้รางพาราโบลิกหมุนเคลื่อนที่ได้

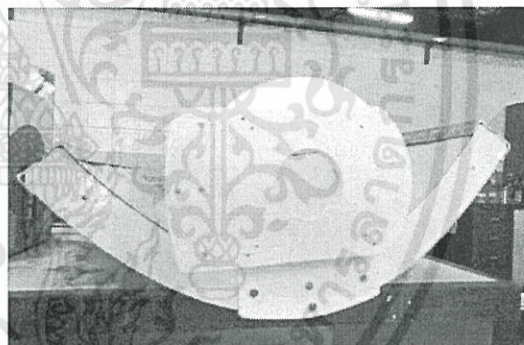


รูปที่ 3.20 ติดลูกปืนกับส่วน Inner ball bearing ทั้งสองด้านด้วยโปรแกรม Solid work

8.) ประกอบส่วน Outer ball bearing เข้ากับลูกปืนอีกด้าน และติดฝาท่อ PVC สั้นๆ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อพอดีกับเส้นผ่านศูนย์กลางวงกลมที่ส่วน Outer ball bearing ทั้งสองด้าน ฝาท่อ PVC จะช่วยรองรับท่อแก้วสุญญากาศ ไม่ให้เคลื่อนที่ในขณะที่รางพาราโบลิกหมุน



(ก.)



(ข.)

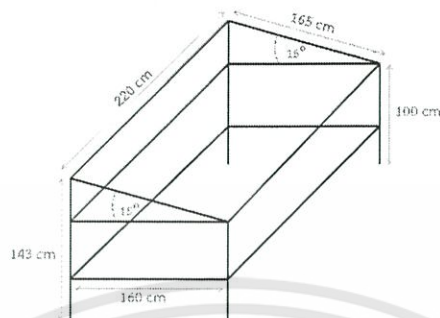
รูปที่ 3.21 (ก.) รางพาราโบลิกที่ประกอบ Rib, Inner ball bearing และ Outer ball bearing สมบูรณ์ ด้วยโปรแกรม SolidWorks (ข.) รางพาราโบลิกที่ประกอบ Rib, Inner ball bearing และ Outer ball bearing สมบูรณ์

### 3.2.2.5 สร้างโครงรับน้ำหนักรางพาราโบลิก

1.) ออกแบบโครงสำหรับติดตั้งรางพาราโบลิกและประกอบโครงเหล็กฉาก โดยกำหนดให้โครงสร้างรับน้ำหนักมีขนาดความกว้างเท่ากับ 160 เซนติเมตร ความยาวเท่ากับ 220 เซนติเมตร มีส่วนสูงขาตั้งด้านหลังเท่ากับ 143 เซนติเมตร มีส่วนสูงขาตั้งด้านหน้าเท่ากับ 100 เซนติเมตร และโครงสร้างรับน้ำหนักทำมุมเอียง 15 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) สำหรับการติดตั้งจะใช้หลักการติดตั้งเช่นเดียวกับการติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ คือจะให้โครงสร้างรับน้ำหนักหันหน้าไปทางทิศใต้เสมอ



รูปที่ 3.22 แสดงขนาดโครงสร้างรับน้ำหนักรางพาราโบลา

### 3.2.2.6 การติดตั้งรางพาราโบลา

- 1.) ออกแบบโครงสร้างสำหรับติดตั้งรางพาราโบลา และประกอบโครงด้วยเหล็กฉาก
- 2.) ติดตั้งรางพาราโบลาทั้ง 3 รางเข้ากับโครงเหล็กฉาก



รูปที่ 3.23 ติดตั้งรางพาราโบลา

3.) ติดตั้งท่อแก้วสุญญากาศที่ประกอบเรียบร้อยแล้วเข้ากับรางพาราโบลาแต่ละราง และใช้ซิลิโคนยาวแนวไว้ เพื่อไม่ให้ท่อหลุดออกจากรางพาราโบลาได้

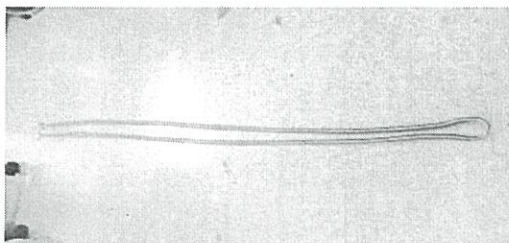


รูปที่ 3.23 ติดตั้งท่อแก้วสุญญากาศเข้ากับรางพาราโบลา

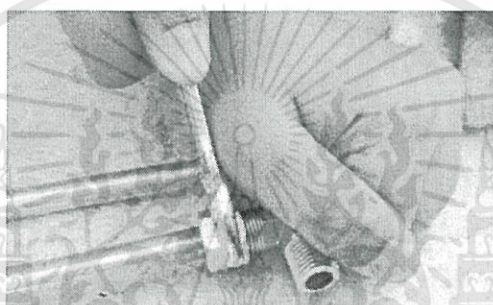
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2.7 การประกอบท่อทองแดงในท่อแก้วสุญญากาศ มีวิธีการประกอบแต่ละส่วนดังนี้ คือ

1.) ตัดท่อทองแดงความยาวเส้นละ 340 เซนติเมตร แล้วตัดให้เป็นรูปตัว U และต่อปลายแต่ละด้านด้วยข้อต่อฉากทองเหลืองเพื่อต่อกับสายยางทนความร้อน



รูปที่ 3.24 ท่อทองแดงที่ตัดเป็นรูปตัว U แล้ว

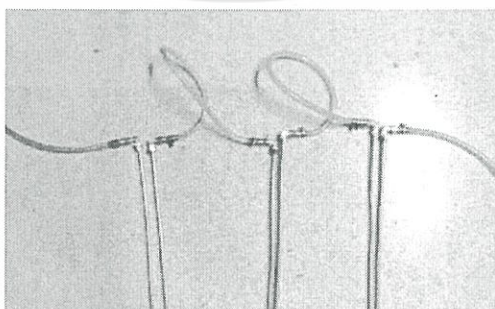


รูปที่ 3.25 ข้อต่อฉากทองเหลืองเข้ากับปลายท่อทองแดงแต่ละด้าน

2.) ต่อข้อต่อตรงทองเหลืองเข้ากับปลายสายยางทนความร้อนแต่ละด้าน เพื่อใช้ต่ออนุกรมท่อทองแดงทั้ง 3 ท่อเข้าด้วยกัน



รูปที่ 3.26 ข้อต่อตรงทองเหลืองเข้ากับปลายสายยางทนความร้อนแต่ละด้าน



รูปที่ 3.27 ต่ออนุกรมท่อทองแดงทั้ง 3 ท่อเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.) หุ้มฉนวนกันความร้อนตามสายอย่างกันความร้อน ข้อต่อต่างๆ เพื่อลดการสูญเสียความร้อนระหว่างทำการเก็บผลการทดลอง

4.) นำท่อทองแดงสวมเข้ากับท่อแก้วสุญญากาศ และปิดปากท่อแก้วสุญญากาศด้วยการอัดซิลิโคน เพื่อลดการสูญเสียความร้อนออกไปจากท่อ

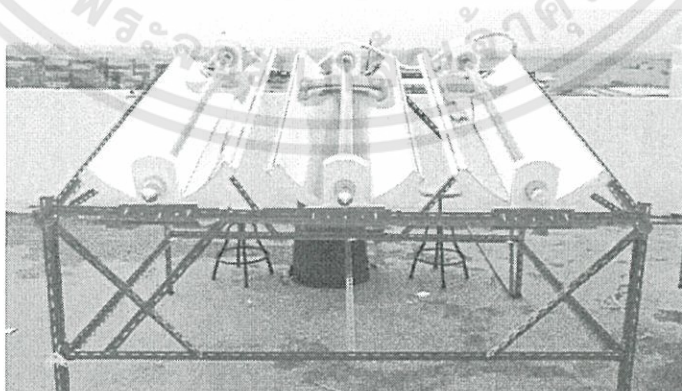


รูปที่ 3.28 ปิดปากท่อแก้วสุญญากาศด้วยการอัดซิลิโคน

3.) เดินระบบท่อน้ำเข้า และท่อน้ำออก เพื่อใช้บันทึกผลการทดลอง



รูปที่ 3.29 เดินระบบท่อน้ำเข้า และท่อน้ำออก



รูปที่ 3.30 รวบรวมแสงแบบพาราโบลิกสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนของรางรวมแสงแบบพาราโบลาตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน ได้แก่ การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ไหลภายในท่อของระบบ และการทดลองเพื่อวัดอุณหภูมิน้ำขาเข้าระบบ อุณหภูมิน้ำขาออกจากระบบ รวมถึงความเข้มรังสีอาทิตย์รวม สำหรับใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อน

#### 3.2.3.1 หาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ไหลภายในท่อของระบบ

##### วิธีการทดลอง

1. เปิดน้ำที่ทางน้ำออกของระบบใส่ในบีกเกอร์แล้วจับเวลา
2. เมื่อน้ำในบีกเกอร์มีปริมาณเป็น 2000 ml (เท่ากับ 2 kg) จึงหยุดเวลา
3. บันทึกเวลาเป็นวินาที และทำการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง
4. คำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลจากสมการที่ (3.1) ในทุกครั้งของการทดลอง และหา

อัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ย

$$\text{อัตราการไหลเชิงมวล} = \frac{\text{มวลของน้ำ (kg)}}{\text{เวลา (s)}} \quad (3.1)$$

#### 3.2.3.2 วัดอุณหภูมิน้ำขาเข้าระบบ อุณหภูมิน้ำขาออกจากระบบ และความเข้มรังสีอาทิตย์รวม

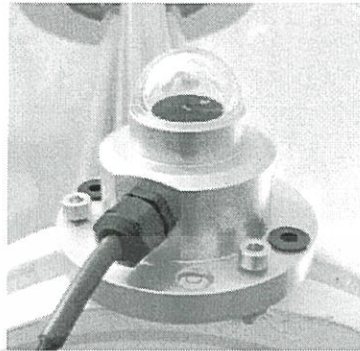
##### อุปกรณ์การทดลอง

1. เทอร์โมคัปเปิล ชนิดเค และเทอร์โมมิเตอร์ สำหรับใช้วัดอุณหภูมิ



รูปที่ 3.31 แสดงเทอร์โมคัปเปิล ชนิดเค และเทอร์โมมิเตอร์ VA8060

## 2. ไพรานอมิเตอร์ สำหรับใช้วัดความเข้มรังสีอาทิตย์รวม ( $I_T$ )



รูปที่ 3.32 ไพรานอมิเตอร์

### วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งไพรานอมิเตอร์บนรางพาราโบลา เพื่อวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวม ( $I_T$ )
2. เปิดน้ำเข้าสู่ระบบจากนั้นทำการวัดอุณหภูมิน้ำเข้า ( $T_{in}$ )
3. หลังจากเปิดน้ำเข้าระบบ ทิ้งให้น้ำค้างอยู่ในท่อเป็นเวลา 10 นาที
4. เมื่อครบ 10 นาที จึงเปิดน้ำออกจากระบบ โดยปล่อยน้ำทิ้งเป็นเวลา 1 นาที ก่อน จึงวัดอุณหภูมิน้ำขาออก ( $T_{out}$ )
5. ทำการทดลองข้อ 1- 4 ทุกๆ 10 นาที ตั้งแต่เวลา 09:00 น.-16.00 น.
6. นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาตามสมการที่ (2.5)

## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนของรางรวมแสงแบบพาราโบลาตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน ได้แก่ การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ไหลภายในท่อของระบบ และการทดลองเพื่อวัดอุณหภูมิน้ำขาเข้าระบบ อุณหภูมิน้ำขาออกจากระบบ รวมถึงความเข้มรังสีอาทิตย์รวม สำหรับใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อน

#### 4.1 อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ไหลภายในท่อของระบบ

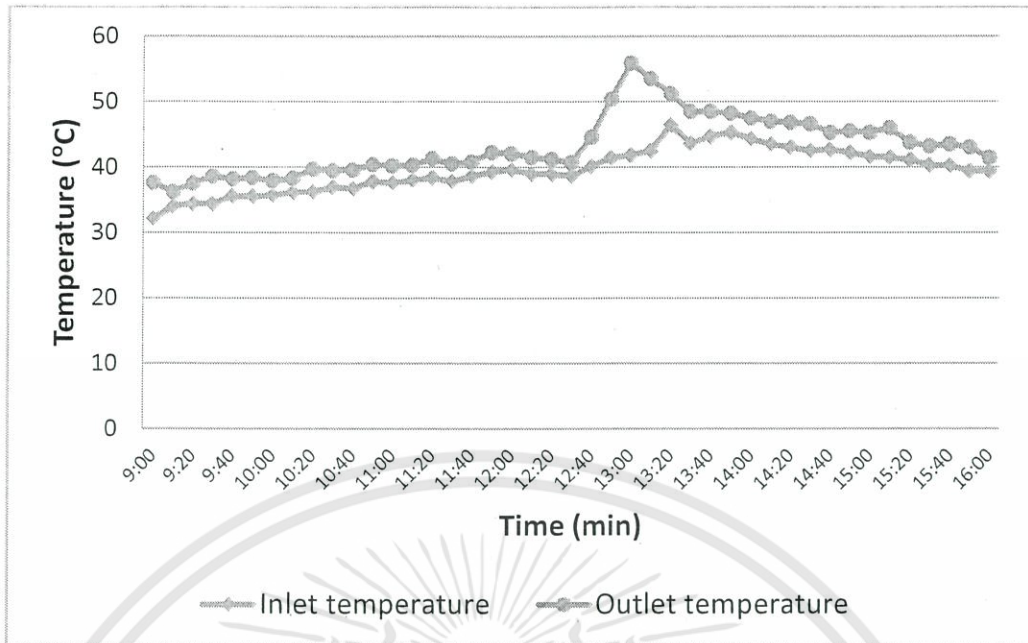
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองเป็นเวลาในหน่วยวินาที และอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ได้จากการคำนวณ

ครั้งที่	เวลา (s)	อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
1	75	0.0267
2	75	0.0267
3	75	0.0267
4	75	0.0267
5	76	0.0263
6	76	0.0263
7	77	0.0260
8	78	0.0256
9	76	0.0263
10	78	0.0256

จากผลการทดลองพบว่าอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ไหลภายในท่อของระบบ มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.0263 กิโลกรัม/วินาที ซึ่งอัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ยนี้จะนำไปใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาที่ประดิษฐ์ขึ้นต่อไป

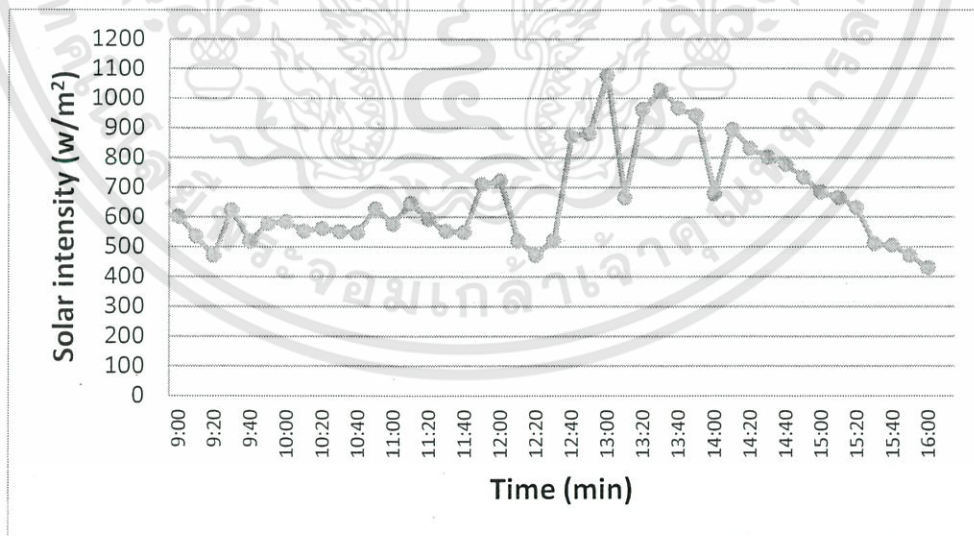
#### 4.2 การคำนวณประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลา

จากการทดลองเพื่อวัดอุณหภูมิน้ำขาเข้าระบบ และอุณหภูมิน้ำขาออกจากระบบ พบว่าอุณหภูมิของน้ำค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีอุณหภูมิสูงสุด แล้วอุณหภูมิน้ำจึงค่อยๆลดลง ซึ่งอุณหภูมิน้ำขาเข้าระบบสูงสุดเป็น 46.4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำขาออกจากระบบสูงสุดเป็น 55.9 องศาเซลเซียส ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำขาเข้าระบบและอุณหภูมิน้ำขาออกจากระบบสูงสุดเป็น 14.1 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13.00 น. ดังที่แสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิน้ำขาเข้า ( $T_i$ ) และอุณหภูมิน้ำขาออกจากระบบ ( $T_o$ ) ตั้งแต่เวลา 09.00 น.-16.00 น. ทุกๆ 10 นาที เมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2559

ความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่วัดได้เมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2559 แสดงดังรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นในช่วงเช้าจนถึงเวลา 13.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์รวมสูงสุดเป็น 1,077.17 วัตต์/ตารางเมตร จากนั้นความเข้มรังสีอาทิตย์รวมจึงค่อยๆ ลดลง และเนื่องจากในวันที่ทดลองมีปริมาณเมฆมากจึงทำให้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รวมไม่ค่อยสม่ำเสมอ

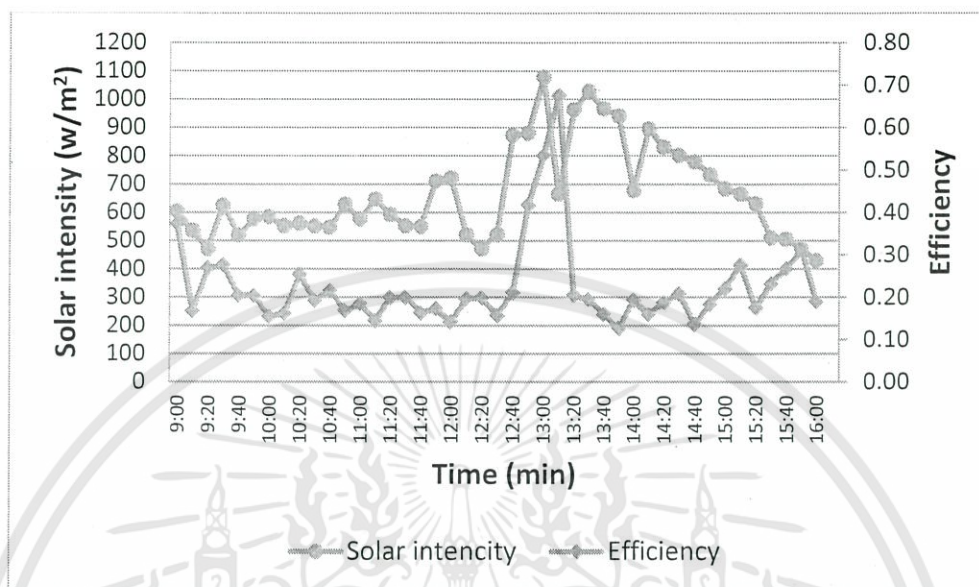


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเข้มรังสีอาทิตย์รวม ( $I_T$ ) ตั้งแต่เวลา 09.00 น.-16.00 น. เมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2559

หลังจากทำการทดลองเพื่อหาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ไหลภายในท่อของระบบ อุณหภูมิน้ำขาเข้าระบบ อุณหภูมิน้ำขาออกจากระบบ และความเข้มรังสีอาทิตย์รวมแล้ว ก็สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณหาประสิทธิภาพเชิงความร้อน ณ ขณะใดขณะหนึ่ง เมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2559 ของระบบ รวบรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาที่ประดิษฐ์ขึ้นได้จากสมการที่ (2.5) ผลของประสิทธิภาพเชิงความร้อนแสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์รวม ( $I_T$ ) และประสิทธิภาพทางความร้อนของรวบรวมแสง ( $\eta$ ) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา ตั้งแต่ 09.00 น. – 16.00 น. เมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2559

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบรวบรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลากับความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่เวลาตั้งแต่ 09.00 น. – 16.00 น. ของวันที่ 26 พฤษภาคม 2559 พบว่า ประสิทธิภาพทางความร้อน ( $\eta$ ) สูงสุดเป็น 67.49 % ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่รวบรวมแสงได้รับความเข้มรังสีอาทิตย์รวมสูงที่สุดและมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำขาเข้าระบบและอุณหภูมิน้ำขาออกจากระบบสูงสุดด้วย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาระบบรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาโดยการสร้างระบบรางรวมแสงอาทิตย์ที่มีขนาดของรางแบบพาราโบลากว้าง 60 เซนติเมตร ยาว 150 เซนติเมตร เป็นจำนวน 3 ราง มีพื้นที่รับรังสีอาทิตย์เท่ากับ 2.7 ตารางเมตร มีวัสดุสะท้อนแสงโค้งหน้าตัดรูปพาราโบลาเป็นแผ่นสแตนเลสผิวกระจกเพื่อสะท้อนแสงที่ได้รับไปยังจุดโฟกัสที่ระยะ 10 เซนติเมตร ที่เป็นท่อดูดซับรังสียาว 180 เซนติเมตร ภายในท่อดูดซับรังสีถูกบรรจุด้วยท่อทองแดงขดเป็นรูปตัวยูเพื่อเป็นทางเดินของน้ำ โดยในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาที่ประดิษฐ์ขึ้นได้อ้างอิงจากมาตรฐาน ASHRAE 93-77 ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน คือ การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ไหลภายในท่อ และการวัดอุณหภูมิน้ำขาเข้าระบบอุณหภูมิน้ำขาออกจากระบบ รวมถึงความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่รางได้รับขณะวัดอุณหภูมิ

การทดลองเพื่อหาอัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่ไหลภายในท่อพบว่าเวลาเฉลี่ยที่น้ำไหลเป็นปริมาณ 2,000 มิลลิลิตรเท่ากับ 71.1 วินาที และหาอัตราการไหลเชิงมวลเฉลี่ยได้เป็น 0.0263 กิโลกรัม/วินาที

การทดลองเพื่อหาอุณหภูมิน้ำขาเข้าระบบ อุณหภูมิน้ำขาออกจากระบบ และความเข้มรังสีอาทิตย์ที่รางได้รับเมื่อวันที่ 26 พฤษภาคม 2559 ตั้งแต่เวลา 09.00 น.-16.00 น. พบว่าระบบรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาสามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุดเป็น 55.9 องศาเซลเซียส ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำขาเข้าและอุณหภูมิน้ำขาออกสูงสุดเป็น 14.1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ได้รับความเข้มรังสีอาทิตย์รวมสูงสุดเป็น 1077.17 วัตต์/ตารางเมตร และเมื่อคำนวณหาประสิทธิภาพทางความร้อน ณ ขณะใดขณะหนึ่งของรางรวมแสงที่ประดิษฐ์ขึ้นตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 พบว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 67.49%

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ระบบรางรวมแสงอาทิตย์แบบพาราโบลาที่ประดิษฐ์ขึ้นได้ออกแบบให้ตัวรางสามารถหมุนได้ 360 องศา เพื่อในอนาคตจะได้พัฒนาให้รางรวมแสงมีการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์เพื่อให้รางเอียงรับรังสีอาทิตย์ให้มากที่สุดตามช่วงเวลาต่างๆ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้น
2. ในการหาประสิทธิภาพทางความร้อนของรางรวมแสงควรศึกษาหาเทคนิคที่มีความแม่นยำมากกว่านี้เพื่อให้ได้ค่าประสิทธิภาพที่ถูกต้องแม่นยำที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

- [1.] ผศ.ดร.สกนธ์ คล่องบุญจิต. 2552. ความรู้พื้นฐานระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในงานอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : มิน เซอร์วิส ซัพพลาย
- [2.] มานิจ ทองประเสริฐและสมศรี จรุงเรือง. 2524. พลังงานแสงอาทิตย์ ทฤษฎีและการใช้ประโยชน์ทางความร้อน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. ม.ป.ท.
- [3.] Avadhesh Yadav, Manoj Kumar, Balram. 2013. Experimental study and analysis of parabolic trough collector with various reflectors. [Online]. Available : <http://waset.org/publications/9996680/experimental-study-and-analysis-of-parabolic-trough-collector-with-various-reflectors>.
- [4.] ทนงศักดิ์ วัฒนา. 2556. รู้จักและการเลือกใช้เทคโนโลยีการผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์. [Online]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=19409&section=9>.
- [5.] William B. Stine, Michael Geyer. 2015. Chapter 8 Concentrator Optics. [Online]. Available <http://www.powerfromthesun.net/Book/chapter08/chapter08.html>.
- [6.] ปิยะพงษ์ ศรีสวัสดิ์, สิทธิไชยวัฒน์ โกพลรัตน์. 2553. ร่างพาราโบลิกรวมแสงอาทิตย์ที่มีระบบเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์อัตโนมัติแบบแกนเดียว. [Online]. เข้าถึงได้จาก : [https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc\\_upload/20110310162151.pdf](https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator/doc_upload/20110310162151.pdf).
- [7.] รศ.ดร.ประกอบ สุรวัฒนาวรรณ, อธิภัทร หลิมบุญเรือง. 2558. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการออกแบบตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบรางพาราโบล่า. [Online]. เข้าถึงได้จาก : [http://www.acat.or.th/download/acat\\_or\\_th/journal-16/16%20-%2012.pdf](http://www.acat.or.th/download/acat_or_th/journal-16/16%20-%2012.pdf).
- [8.] สรวิต สอนสารี และคณะ. 2557. “การพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบรูปประกอบพาราโบล่า.” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 19(2) : 105-121.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

