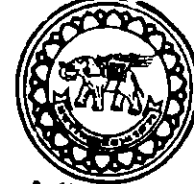


อธิปัทนการ



สำนักหอสมุด



การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

โดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

STUDY OF THERMAL PERFORMANCE OF FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR

WITH CLOSED-LOOP OSCILLATING HEAT PIPE

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์
วันลงทะเบียน.....14 ก.ย. 2560..
เลขทะเบียน.....19181899
เลขเรียกหนังสือ.....

นายทิวากร กาจันทร์ รหัสนิสิต 56362003

นายธนกร แต่งก่อ รหัสนิสิต 56362010

นายวีรชัย แก้วฉัยยา รหัสนิสิต 56362225

ป/ร

ท ๔๕ ก

๒๕๕๙

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

ปีการศึกษา 2559



### ใบรับรองโครงการวิศวกรรมเครื่องกล

ชื่อหัวข้อโครงการ : การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบ  
แผ่นเรียบโดยใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ

ผู้ดำเนินโครงการ : นายทิวากร กาจจันทร์ รหัสสนิสิต 56362003  
: นายธนกร แต่งก่อ รหัสสนิสิต 56362010  
: นายวีรชัย แก้วฉ้ายยา รหัสสนิสิต 56362225

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2559

.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์)

.....กรรมการ

(รศ.ดร. ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ

(ผศ. นพรัตน์ สีทะวงษ์)

ชื่อหัวข้อโครงการ	: การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ		
ผู้ดำเนินโครงการ	: นายทิวากร	กาจันท์	รหัสนิสิต 56362003
	: นายธนกร	แตงก้อ	รหัสนิสิต 56362010
	: นายวีรชัย	แก้วฉัยยา	รหัสนิสิต 56362225
อาจารย์ที่ปรึกษา	: รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์		
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ปีการศึกษา	: 2559		

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีขนาด  $1.5 \text{ m}^2$  ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสร้างจากท่อคาปิลลารีทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน  $1.5 \text{ mm}$  และเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก  $2.8 \text{ mm}$  ใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงานที่มีอัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% ของปริมาตรทั้งหมดของท่อความร้อน และได้ศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่างๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์นั้นคือ ความเข้มแสงอาทิตย์ ความยาวของส่วนทำระเหย จำนวนโค้งเลี้ยวและจำนวนท่อความร้อน ทำการทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์กับชุดกำเนิดแสงเทียมที่ใช้หลอดฮาโลเจนเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่สามารถปรับค่าความเข้มแสงได้ แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์จะถ่ายเทความร้อนให้แก่ท่อความร้อนที่ส่วนทำระเหย หลังจากนั้นจะระบายความร้อนออกจากท่อความร้อนที่ส่วนควบแน่นซึ่งพันรอบท่อทองแดงที่มีน้ำหล่อเย็นไหลผ่าน จากการทดลองทั้งหมดพบว่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มแสง และพบว่าความยาวส่วนทำระเหย จำนวนโค้งเลี้ยวและจำนวนท่อที่เหมาะสม คือ 1 m 20 โค้งเลี้ยว และ 8 ท่อ ตามลำดับ โดยตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีประสิทธิภาพสูงสุดคือ 76.5%

**Project Title** : Study of Thermal Performance of Flat Plate Solar Collector with Closed-Loop Oscillating Heat Pipe

**Name** : Mr.Thiwakorn Kachan Code 56362003  
: Mr.Tanagorn Tangkor Code 56362010  
: Mr.Weerachai Keawchaiya Code 56362225

**Project Adviser** : Assoc. Prof. Dr. Piyanun Charoensawan

**Department** : Mechanical Engineering

**Academic Year** : 2016

---

### Abstract

This project is to experimental study on the thermal performance of the flat plate solar collector with closed-loop oscillating heat pipe. The collector plate was  $1.5 \text{ m}^2$  in size. The closed-loop oscillating heat pipe was made of a copper capillary tube with 1.5 mm inside diameter and 2.8 mm outside diameter. The distilled water was used as the working fluid with 50% filling ratio of total internal tube volume. The effects of various parameters i.e., solar intensity, evaporator length, number of meandering turns and number of heat pipes, on the thermal performance of solar collector were investigated. The flat plate solar collector was test under the artificial sunlight with the variable solar intensity. The halogen lamps were used as the light sources. The heat was transferred from the absorber plate to the heat pipe array at the evaporator part. Then heat was removed from the condenser part to the cooling water that flowing through the copper tube wrapped by this section. It was found from all experimental results that the thermal performance of solar collector improved with an increase in the solar intensity. The proper evaporator length, number of turns and number of closed-loop oscillating heat pipes, for which the thermal efficiency of solar collector was the maximum of 76.5%, were 1 m, 20 turns and 8 pipes, respectively.

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่องการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ จะประสบความสำเร็จไม่ได้ หากปราศจากบุคคลที่มีความสำคัญดังต่อไปนี้ ขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ซึ่งให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และให้แนวทางการแก้ปัญหาตลอดจนให้ความไว้วางใจในการทำงานเป็นอย่างดี ขอขอบพระคุณครูช่างภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความกรุณาให้คำแนะนำในเรื่องวิธีการใช้เครื่องมือต่างๆและอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์

ขอขอบคุณห้องวิจัยท่อความร้อนและระบบความร้อน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งเป็นสถานที่ในการจัดทำโครงการจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ เอาใจใส่ดูแลและสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดี โดยเฉพาะการให้การศึกษาที่ดีแก่ผู้จัดทำตลอดมา



ทิวากร กาจจันทร์  
ธนกร แต่งก่อ  
วีรชัย แก้วฉัยยา

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
1.5 งบประมาณ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์	4
2.2 ท่อความร้อน	11
2.3 ตำแหน่งการติดตั้งตัวรับรังสีแสงอาทิตย์	17
2.4 มาตรฐานการทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ ASHRAE Standard 93-77	20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
2.6 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	
3.1 รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน	24
3.2 การออกแบบและการสร้างตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ฐานรอง	24
ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ และชุดกำเนิดแสงเทียม	
3.3 สร้างและติดตั้งท่อความร้อนแบบส่นวงรอบในชุดทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์	33
แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ	
3.4 หลักการทำงานของระบบและตัวแปรในการทดสอบ	48
3.5 ขั้นตอนการทดลอง	49
3.6 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 การเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของชุดกำเนิดแสงเทียบกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์จริง	43
4.2 ผลกระทบของความยาวส่วนทำระเหยที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบสัณวงรอบ	47
4.3 ผลกระทบของจำนวนโค้งเกลียวที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบสัณวงรอบ	52
4.4 ผลกระทบของจำนวนท่อที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบสัณวงรอบ	57
4.5 เปรียบเทียบการผลทดลองกับงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง	61
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	62
5.2 ข้อเสนอแนะ	63
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ตารางแสดงคุณสมบัติของน้ำ	66
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณการสร้างสมการเชิงเส้น	77
ประวัติผู้ดำเนินโครงการ	68

## สารบัญญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ภาพเขียนแบบสามมิติตัวดูดกลืน	4
รูปที่ 2.2 ระบบท่อนำความร้อน	5
รูปที่ 2.3 อุปกรณ์เก็บความร้อน	5
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ	6
รูปที่ 2.5 แสดงภาพรวมตัวรับรังสีแบบท่อในระบบทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์	8
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบตัวรับรังสีแบบท่อในระบบทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์	8
รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของตัวรับรังสีแบบพาราโบลิค	10
รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของท่อความร้อน	11
รูปที่ 2.9 ท่อความร้อนที่มีวัสดุพรุน	12
รูปที่ 2.10 ท่อความร้อนเทอร์โมไจพอน	14
รูปที่ 2.11 ประเภทของท่อความร้อนแบบสั้น	16
รูปที่ 2.12 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์	17
รูปที่ 2.13 อุปกรณ์การวัดพลังงานแสงอาทิตย์	19
รูปที่ 3.1 แสดงภาพถ่าย 2 มิติ ของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่น	25
รูปที่ 3.2 แสดงภาพเขียนแบบไอโซเมตริกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	26
รูปที่ 3.3 แสดงภาพจริงของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	26
รูปที่ 3.4 แสดงภาพเขียนแบบไอโซเมตริกของฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	27
รูปที่ 3.5 แสดงภาพถ่าย 2 มิติ ของฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	28
รูปที่ 3.6 แสดงภาพจริงของฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	29
รูปที่ 3.7 แสดงภาพถ่าย 2 มิติ ของชุดกำเนิดแสงเทียม	30
รูปที่ 3.8 แสดงภาพเขียนแบบไอโซเมตริกของชุดกำเนิดแสงเทียม	31
รูปที่ 3.9 แสดงภาพจริงของชุดกำเนิดแสงเทียม	31
รูปที่ 3.10 แสดงภาพเขียนแบบไอโซเมตริกของชุดทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	32
รูปที่ 3.11 แสดงภาพจริงของชุดทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	32
รูปที่ 3.12 แสดงการขดท่อทองแดงให้เป็นโค้งเลี้ยวรอบกล่องอลูมิเนียม	33
รูปที่ 3.13 แสดงการเติมสารทำงานลงในท่อความร้อน	34
รูปที่ 3.14 แสดงการตรวจสอบการทำงานของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ	35
รูปที่ 3.15 แสดงท่อความร้อนที่ถูกพันด้วยสีดำชนิดทนความร้อน	35

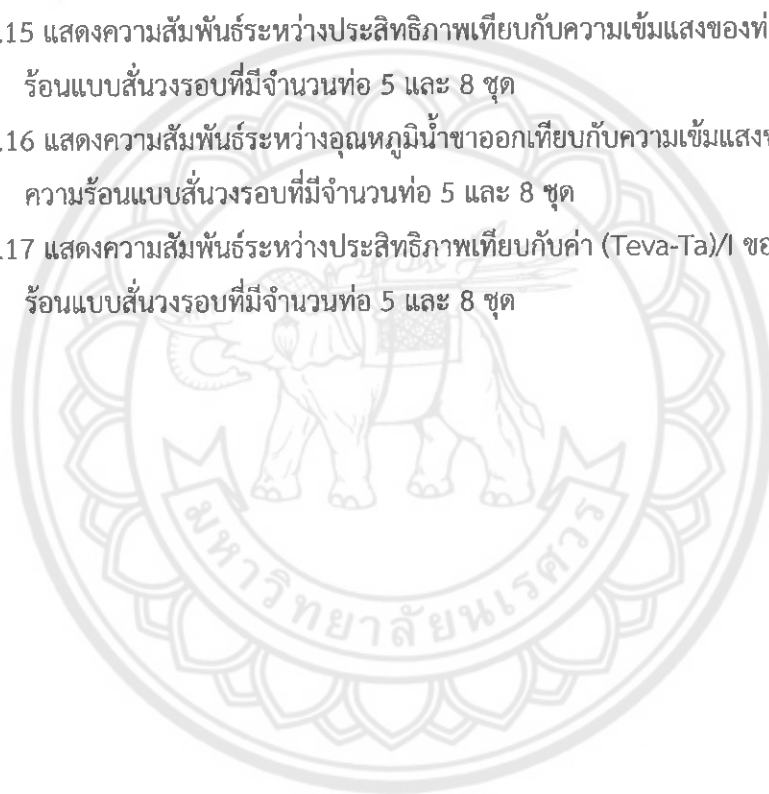


## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.16 แสดงการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบในชุดทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ	36
รูปที่ 3.17 แสดงตำแหน่งการติดตั้งของสายเทอร์โมคัปเปิล	37
รูปที่ 3.18 แสดงแผนผังของการทดลองและอุปกรณ์ต่างๆ	39
รูปที่ 3.19 แสดงภาพปั๊มสุญญากาศ	40
รูปที่ 3.20 แสดงภาพแท่นเดิมสารทำงาน	40
รูปที่ 3.21 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)	41
รูปที่ 3.22 สายเทอร์โมคัปเปิล	41
รูปที่ 3.23 ไพรานอมิเตอร์	42
รูปที่ 3.24 มัลติมิเตอร์	42
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลา	44
รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนเทียบกับเวลา	44
รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับแรงดันไฟฟ้า	45
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนเทียบกับแรงดันไฟฟ้า	46
รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับอุณหภูมิแผ่นดูดกลืน ของชุดกำเนิดแสงเทียบกับแสงอาทิตย์จริง	47
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหยเป็น 1 m และ 1.5 m	48
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหยเป็น 1 m และ 1.5 m	49
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหยเป็น 1 m และ 1.5 m	50
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับค่า (Teva-Ta)/I ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และ 1.5 m	51
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว	53
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว	54

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว	55
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับค่า (Teva-Ta)/I ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว	56
กราฟที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด	58
กราฟที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด	58
กราฟที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด	59
กราฟที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับค่า (Teva-Ta)/I ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด	60



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องจากในปัจจุบันพลังงานมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก มนุษย์ไม่สามารถดำรงอยู่ได้หากขาดพลังงาน พลังงานส่วนใหญ่ที่มนุษย์นำมาเป็นพลังงานหลักในการใช้ชีวิตมีหลายอย่างมีทั้ง ปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินและอื่นๆ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแหล่งพลังงานที่มีต้นทุนสูงและหมดไปตามกาลเวลา แต่มีอีกแหล่งพลังงานธรรมชาติที่ไม่ต้องจ่ายต้นทุนใดๆ และไร้อายุการใช้งานนั้นคือดวงอาทิตย์ ในปัจจุบันมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย มีทั้งนำมาผลิตกระแสไฟฟ้า และนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนในกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นความร้อนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ เรียกอีกอย่างว่า ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการต่างๆต่อไป ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มี 3 ชนิด คือ ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate collector) ตัวรับรังสีแบบพาราโบลา (Parabolic trough collector) และตัวรับรังสีแบบท่อแก้วสุญญากาศ (Evacuated glass tube collector) ข้อได้เปรียบของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่เหนือกว่าตัวรับรังสีแบบพาราโบลา (Parabolic trough collector) และแบบท่อแก้วสุญญากาศ (Evacuated glass tube collector) คือ ราคาของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบถูกกว่าตัวรับรังสีแบบพาราโบลาและแบบท่อแก้วสุญญากาศ ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเหมาะสำหรับการทำน้ำร้อนในครัวเรือนมากกว่าตัวรับรังสีแบบพาราโบลา ที่มีช่วงอุณหภูมิอยู่ที่  $290-400^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเหมาะกับการทำไอน้ำแรงดันสูง และการติดตั้งทำได้หลายรูปแบบ เช่น ติดบนหลังคาหรือติดเป็นส่วนหนึ่งของหลังคาจึงง่ายแก่การติดตั้ง

ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat plate collector) ประกอบด้วยตัวดูดกลืนที่เป็นแผ่นเรียบรับแสง (Absorber plate) ทำจากอลูมิเนียมหรือแผ่นเหล็ก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสง ตัวดูดกลืนที่เป็นแผ่นเรียบเคลือบด้วยสารพิเศษที่มีสมบัติเลือกรังสี (Selective coating) ช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ ทั้งจากรังสีตรง (Direct radiation) และรังสีกระจาย (Diffuse radiation) ด้านบนแผ่นรับแสงปิดทับด้วยกระจกหรือพลาสติกที่มีสมบัติโปร่งแสง

หลักการการทำงานของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านกระจกหรือพลาสติกไปยังแผ่นดูดกลืน จะทำให้แผ่นดูดกลืนมีอุณหภูมิสูงขึ้นและแผ่นดูดกลืนจะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับตัวกลางที่เป็นน้ำหรือสารทำงาน (Medium) ที่ไหลอยู่ภายในระบบท่อ น้ำหรือสารทำงานที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นก็จะถูกส่งไปเก็บยังอุปกรณ์เก็บความร้อน (Energy storage) เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถนำมาใช้ผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน  $100^{\circ}\text{C}$  เช่น การผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในบ้านเรือน เป็นต้น หลังจากนั้นมีการพัฒนาโดยการใช้ท่อความร้อน (Heat pipe) เข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนภายในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

ท่อความร้อน (Heat pipe) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประสิทธิภาพสูงที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก ท่อความร้อนมีหลายชนิดหลายรูปแบบแต่เราให้ความสนใจที่จะนำท่อความร้อนแบบสั่นมาใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนภายในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ ท่อความร้อนแบบสั่น (Oscillating heat pipe) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อความร้อนขนาดเล็กหรือระดับไมโครเมตร ซึ่งมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูง สร้างขึ้นจากท่อคาปิลลารียาวที่ขดเป็นโค้งเดียว เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนและแหล่งระบายความร้อน ภายในมีการดูดอากาศออกและเติมสารทำงานเข้าไปในท่อ สารทำงานภายในท่อจะเรียงตัวกันเป็นแท่งสลับกันระหว่างแท่งของเหลว (Liquid slug) และฟองไอ (Vapor bubble) การถ่ายเทความร้อนจะเกิดได้โดยการไหลเวียนและการสั่นในแนวแกนของสารทำงานภายในท่อความร้อนร่วมกับการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำงาน ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจะดีขึ้นเนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ท่อความร้อนแบบสั่นจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนทำระเหย (Evaporator section) มีตำแหน่งการใช้งานอยู่ในตำแหน่งหรือพื้นที่ของแหล่งความร้อน (Heat source) ส่วนกันความร้อน (Adiabatic section) และส่วนควบแน่น (Condenser section) มีตำแหน่งการใช้งานอยู่ในส่วนแหล่งระบายความร้อน (Heat sink) โดยทั่วไปสามารถแบ่งท่อความร้อนแบบสั่นได้ 3 ชนิดตามโครงสร้างของท่อคือ ท่อความร้อนสั่นแบบปลายปิด (Closed-end oscillating heat pipe, CEOHP) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบแบบมีวาล์วกันกลับ (Close-loop oscillating heat pipe with check valves, CLOHP/CV) และท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed-loop oscillating heat pipe, CLOHP) ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ สร้างจากท่อคาปิลลารียาวท่อเดียวที่มีการเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้างเข้าด้วยกันเป็นวงรอบ การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของสารทำงานร่วมกับการไหลเวียนของสารทำงานต่างๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ข้อได้เปรียบของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีเหนือกว่าท่อความร้อนสั่นแบบปลายปิดและท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบแบบมีวาล์วกันกลับคือ การไหลเวียนของสารทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะมีความเป็นอิสระมากกว่า เพราะท่อความร้อนสั่นแบบปลายปิดปลายทั้งสองข้างไม่เชื่อม

ติดกันจึงทำให้การไหลเวียนไม่เป็นอิสระ สำหรับท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบแบบมีวาล์วกันกลับ การสร้างจะยุ่งยากเนื่องจากท่อมีขนาดเล็กจึงอาจทำให้เกิดการอุดตันบริเวณวาล์วกันกลับ ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของการถ่ายเทความร้อนได้ จากข้อมูลดังกล่าวมาข้างต้นเราจึงสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของความเข้มแสงอาทิตย์เทียมและความยาวของส่วนทำระเหยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ

1.2.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของจำนวนโค้งเลี้ยวและจำนวนท่อความร้อนที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์เป็นแบบแผ่นเรียบ

1.3.2 ท่อความร้อนที่ใช้เป็นท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ สร้างจากท่อคาปิลลารีทองแดง

1.3.3 ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ทำมุมเอียง  $18^{\circ}$  จากแนวระดับ

1.3.4 ทำการทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ในร่มโดยใช้ชุดกำเนิดแสงเทียมตามมาตรฐานของ ASHRAE Standard 93-77

1.3.5 ความร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะถูกถ่ายเทให้แก่น้ำผ่านท่อความร้อน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบถึงผลกระทบของความเข้มแสงอาทิตย์เทียมและความยาวของส่วนทำระเหยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ

1.4.2 ได้ทราบถึงผลกระทบของจำนวนโค้งเลี้ยวและจำนวนท่อความร้อนที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ

## 1.5 งบประมาณที่ใช้

1.5.1 ค่าจัดทำรูปเล่มปริญาานิพนธ์

3,000 บาท

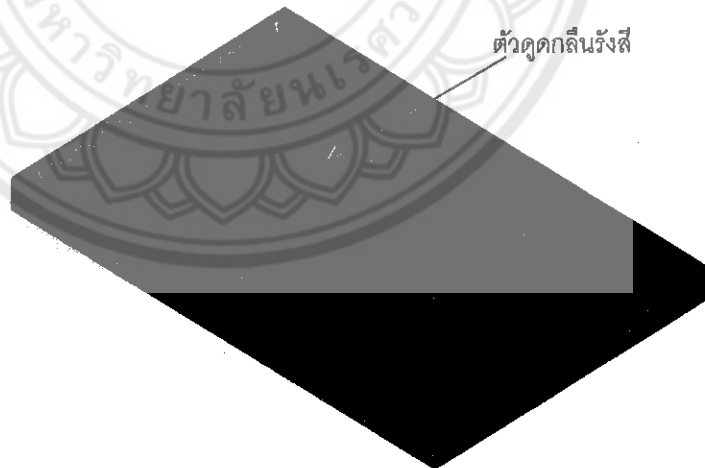
## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (Solar collector)

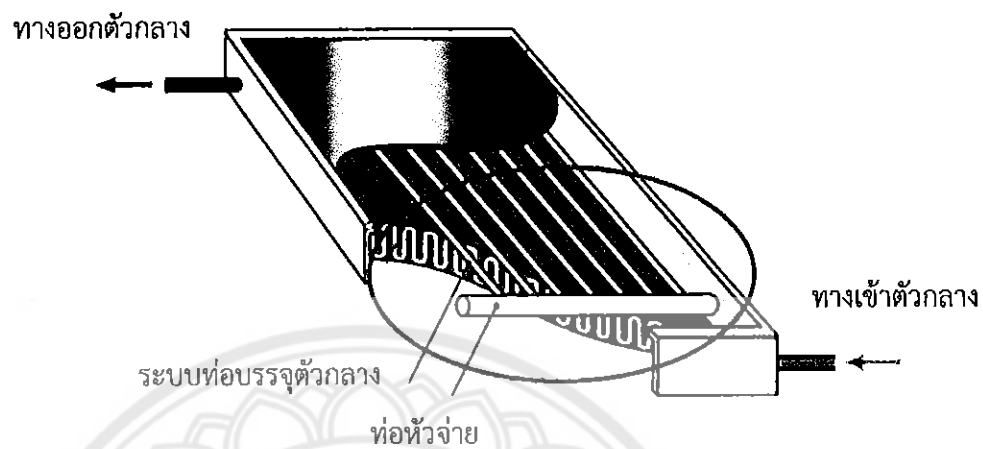
อุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้ในการดูดซับและสะสมพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์และถ่ายเทความร้อนไปให้ตัวกลางที่ลำเลียงไปตามระบบท่อ ส่วนประกอบหลักของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ ได้แก่

- ตัวดูดกลืน (Absorber) ทำหน้าที่รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ทำจากวัสดุที่มีคุณสมบัติดูดกลืนรังสีคลื่นสั้น (Short wave radiation) ได้ดี สะท้อนแสงน้อย อัตราการปลดปล่อยพลังงานในรูปร่างคลื่นยาว (Long wave radiation) ต่ำและไม่ยอมให้แสงส่องผ่าน ได้แก่ อลูมิเนียมหรือแผ่นเหล็ก ดังรูปที่ 2.1



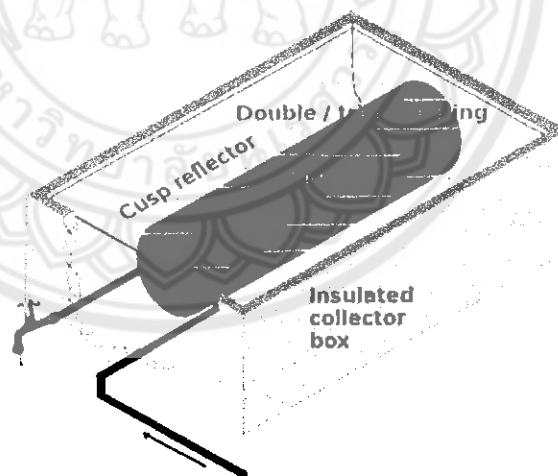
รูปที่ 2.1 ภาพเขียนแบบสามมิติตัวดูดกลืน [4]

- อุปกรณ์นำความร้อน (Heat carrier) ประกอบด้วยตัวกลางและระบบท่อนำความร้อน ทำหน้าที่ถ่ายเทความร้อนจากตัวดูดกลืนไปยังอุปกรณ์ปลายทาง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ระบบท่อนำความร้อน [4]

- อุปกรณ์เก็บความร้อน (Energy storage) ทำหน้าที่เก็บสะสมความร้อนก่อนที่จะนำไปใช้งาน ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์เก็บความร้อน [7]

ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่มีใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งตามรูปร่างของตัวรับรังสี ได้แก่ ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ แบบท่อ และแบบรางพาราโบลิก

### 2.1.1 ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ

ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบประกอบด้วยตัวดูดกลืนที่เป็นแผ่นเรียบรับแสงทำจากอลูมิเนียมหรือแผ่นเหล็กที่เคลือบด้วยสารพิเศษที่มีสมบัติเลือกรังสีช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ ด้านบนแผ่นรับแสงปิดทับด้วยกระจกหรือพลาสติก ดังรูปที่ 2.4 การทำงานของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ เมื่อแสงอาทิตย์ส่องเข้ามาผ่านกระจกหรือพลาสติกที่เคลือบด้วยสารพิเศษที่มีสมบัติเลือกรังสีไปยังแผ่นดูดกลืนกลายเป็นพลังงานความร้อนส่งผ่านไปต้่วกลางที่เป็นน้ำหรือสารทำงานที่ไหลอยู่ภายในระบบท่อไปยังอุปกรณ์เก็บความร้อนเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ โดยทั่วไปตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถนำมาใช้ผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ประโยชน์ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 100°C เช่น การผลิตน้ำร้อนเพื่อใช้ในบ้านเรือน เป็นต้น หลังจากนั้นมีการพัฒนาโดยการใช้ท่อความร้อนเข้ามาเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนภายในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ [4]



### ข้อดีของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ

- ราคาถูกกว่าแบบท่อแก้วสุญญากาศ
  - ประสิทธิภาพสูงถึงแม้ว่าจะมีความแตกต่าง ระหว่างอุณหภูมิตัวดูดรังสีและอากาศ
- แวดล้อมสูงมาก
- การติดตั้งทำได้หลายรูปแบบ เช่น ติดตั้งบนหลังคา ติดตั้งเป็นส่วนหนึ่งของหลังคา
- เป็นผนัง
- การประกอบ ติดตั้งทำได้ง่าย

### ข้อเสียของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ

- ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบท่อแก้วสุญญากาศ (เนื่องจากมีค่าการสูญเสียความร้อนรวมที่สูงกว่า)
- ระบบ support การติดตั้งต้องเป็นลักษณะพื้นราบเรียบ
- ต้องการพื้นที่ติดตั้งมากกว่าแบบท่อแก้วสุญญากาศ
- ไม่เหมาะกับการใช้งานอุณหภูมิสูง เช่น การผลิตไอน้ำ

### 2.1.2 ตัวรับรังสีแบบท่อแก้วสุญญากาศ

ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีลักษณะเป็นท่อสุญญากาศ ดังรูปที่ 2.5 ประกอบด้วยหลอดแก้ว 2 ชั้น โดยระหว่างท่อแก้ว 2 ชั้นเป็นสุญญากาศ เพื่อลดการสูญเสียพลังงานจากการนำและการพาความร้อน (Conductive and Convective heat losses) ท่อแก้วชั้นในพ่นสีดำและเคลือบด้วยสารพิเศษที่มีสมบัติเลือกรังสีทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืน ดังรูปที่ 2.6 และถ่ายเทความร้อนให้กับท่อชั้นในที่ทำจากโลหะทองแดงหรืออลูมิเนียม ติดอยู่กับครีป (Fin) และมีตัวกลางเป็นของเหลว เช่น น้ำ ไทลเวียนอยู่ภายในท่อชั้นใน ทำให้ประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานสูงกว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



รูปที่ 2.5 แสดงภาพรวมตัวรับรังสีแบบท่อในในระบบทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ [7]



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบตัวรับรังสีแบบท่อในในระบบทำความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ [7]

### ข้อดีของตัวรับรังสีแบบท่อแก้วสุญญากาศ

- ประสิทธิภาพสูงแม้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ
- ราคาต่อสมรรถนะการทำความร้อนสูง เหมาะกับการใช้งานอุณหภูมิสูง เช่น การผลิตไอน้ำ
- ขนส่งได้ง่ายกว่า เนื่องจากน้ำหนักเบา บางชนิดสามารถประกอบได้บริเวณพื้นที่ติดตั้งระบบ
- สามารถปรับทิศทางการรับรังสีอาทิตย์ของแผ่นดูดรังสีภายในท่อแก้วได้
- ติดตั้งได้หลายรูปแบบ เช่น แนวนอนราบกับพื้นหลังคา ช่วยลดแรงลมปะทะ และลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

### ข้อเสียของตัวรับรังสีแบบท่อแก้วสุญญากาศ

- ราคาสูงกว่าแบบแผ่นเรียบ
- ไม่สามารถติดตั้งแบบนอนราบได้กรณีเป็นแบบ heat pipe (ต้องมีมุมเอียงประมาณ 25°)
- ไม่สามารถติดตั้งแบบเป็นส่วนหนึ่งของหลังคาได้
- ไม่เหมาะกับการใช้งานอุณหภูมิสูง เช่น การผลิตไอน้ำ

### 2.1.3 ตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลิก

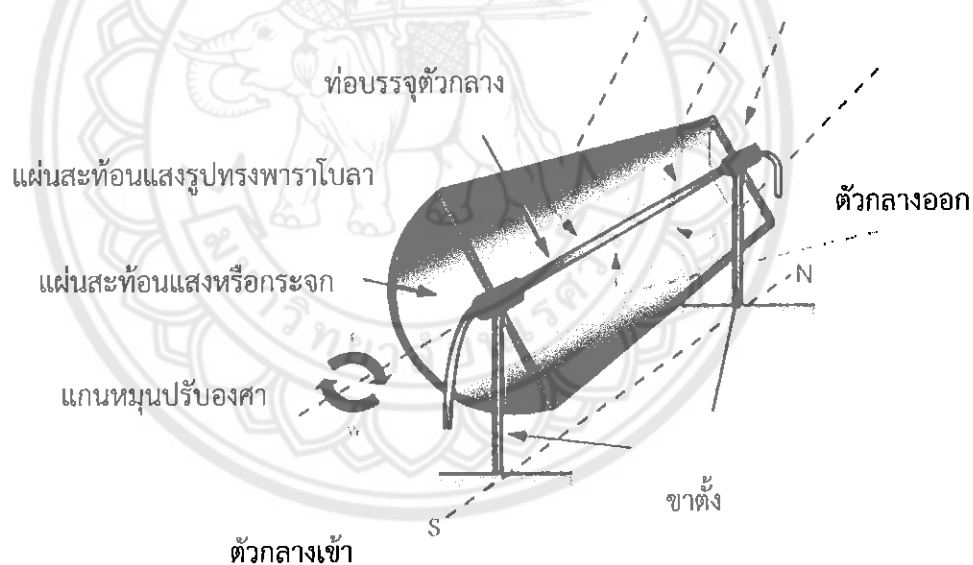
ตัวรับรังสีอาทิตย์ที่มีแผ่นสะท้อนแสง (Reflector) รูปทรงพาราโบลาช่วยรวมแสงอาทิตย์ไปยังจุดโฟกัส ณ ตำแหน่งที่ติดตั้งแนวท่อที่มีตัวกลางไหลผ่านทำให้ดูดกลืนความร้อนได้ในปริมาณสูงมาก โดยมีอุณหภูมิสูงถึง 290-400°C กรณีที่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง ถ้าติดตั้งตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลิก จำนวนมากพอ ความร้อนที่เกิดขึ้นจะทำให้น้ำกลายสภาพเป็นไอน้ำแรงดันสูงป้อนเข้าสู่โรงไฟฟ้าพลังความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไปตัวรับรังสีแบบรางพาราโบลิกยังสามารถออกแบบให้มีระบบติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าเพื่อรับแสงอาทิตย์จากรังสีตรงความเข้มสูงได้ตลอดทั้งวัน เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการแปรรูปพลังงานให้สูงขึ้นได้อีกด้วย ดังรูปที่ 2.7

### ข้อดีของตัวรับรังสีแบบพาราโบลา

- เหมาะกับการใช้ผลิตไอน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากอุณหภูมิที่ผลิตออกมาได้มีอุณหภูมิสูงถึง 290-400 °C
- สามารถออกแบบให้มีระบบติดตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าเพื่อรับแสงอาทิตย์จากรังสีตรงความเข้มสูงได้ตลอดทั้งวัน

### ข้อเสียของตัวรับรังสีแบบพาราโบลา

- สร้างยากและติดตั้งยาก
- มีต้นทุนในการสร้างสูง
- ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก
- ไม่เหมาะกับการใช้ในครัวเรือน เนื่องจากอุณหภูมิที่ผลิตออกมามีอุณหภูมิสูง

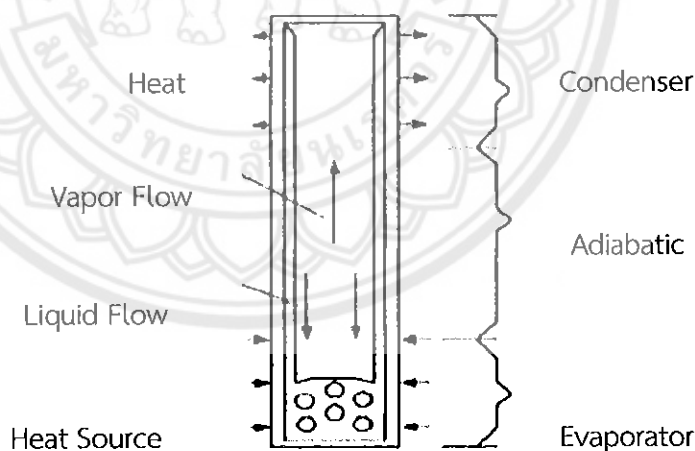


รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบของตัวรับรังสีแบบพาราโบลา [4]

สาเหตุที่เลือกใช้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ เนื่องจากมีราคาที่ถูก มีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่ำกว่า  $100^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเหมาะสำหรับการทำน้ำร้อนในครัวเรือน มีการติดตั้งที่สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น ติดบนหลังคาหรือติดเป็นส่วนหนึ่งของหลังคา ส่วนตัวรับรังสีแบบท่อแก้วสุญญากาศ มีราคาสูง ไม่สามารถติดตั้งบนหลังคาได้ และตัวรับรังสีแบบพาราโบลิก มีราคาสูง ติดตั้งยาก อุณหภูมิที่ผลิตออกมาได้มีอุณหภูมิสูงจึงไม่เหมาะกับการใช้ในครัวเรือน

## 2.2 ท่อความร้อน

ท่อความร้อน เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบปิดสองสถานะที่มีประสิทธิภาพสูงที่สามารถถ่ายเทความร้อนได้โดยไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอก ทำงานโดยใช้หลักการส่งถ่ายความร้อนจากความร้อนแฝงของสารทำงานภายในท่อ ซึ่งระเหยเมื่อได้รับความร้อนจากแหล่งให้ความร้อน แล้วถ่ายเทความร้อนให้กับสารรับความร้อนที่ต้องการจะถ่ายเทให้ เช่น น้ำหรืออากาศแล้วควบแน่นกลับเป็นของเหลวไหลย้อนกลับมายังส่วนทำระเหยอีกครั้ง เนื่องจากความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของสารทำงานมีค่าสูงมากจึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งโดยมีอุณหภูมิแตกต่างเล็กน้อย ท่อความร้อนแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือส่วนทำระเหย ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน ส่วนควบแน่น ดังรูปที่ 2.8

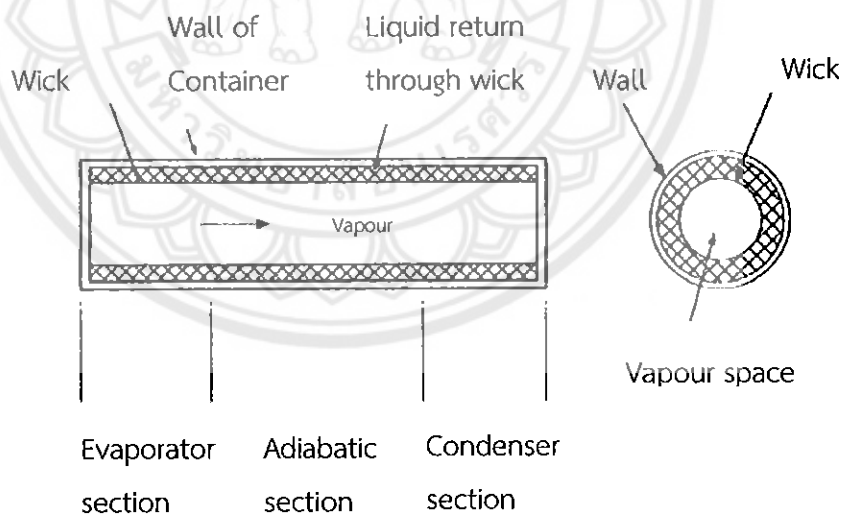


รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของท่อความร้อน [6]

ท่อความร้อนมีหลายชนิดถูกสร้างขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้งานแตกต่างกัน โดยอาจมีขนาดเล็กมาก นั่นคือมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 mm หรือมีขนาดใหญ่มาก และการเคลื่อนที่ของของเหลวควบแน่น กลับสู่ส่วนทำระเหยอาจจะอาศัยแรงคาпилลารี (Capillary force) แรงเนื่องจากความโน้มถ่วงของโลก (Gravity force) แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) แรงเนื่องจากแม่เหล็ก (Magnetic force) หรือแรงเนื่องจากการแพร่ (Osmotic force) และโดยทั่วไปตัวภาชนะบรรจุมักจะเป็น ทรงกระบอก เพื่อให้ง่ายต่อการออกแบบและการสร้าง แต่รูปทรงสี่เหลี่ยมหรือทรงกรวยก็มีการศึกษา เช่นกัน ชนิดของท่อความร้อนโดยทั่วไปมีดังนี้

### 2.2.1 ท่อความร้อนแบบธรรมดาที่มีวัสดุพรุน (Conventional heat pipe)

ท่อความร้อนแบบ ธรรมดาถูกคิดค้นขึ้นครั้งแรกโดย Gaugler ในปี ค.ศ.1944 ณ บริษัท General motors เพื่อใช้ในระบบการทำความเย็น ท่อความร้อนที่มีวัสดุพรุน มีลักษณะเป็น ท่อเหล็กสแตนเลสและมีวัสดุพรุนแบบตาข่ายติดอยู่ข้างในของผนังท่อและบรรจุของไหลทำงาน (Working fluid ) ในปริมาณเล็กน้อยที่สภาวะอิ่มตัวอยู่ข้างในของท่อ องค์ประกอบของท่อความร้อน แบบธรรมดา คือ ภาชนะบรรจุ (Container) ประกอบด้วยผนังท่อและปลายปิดทั้งสองด้าน โครงสร้าง วัสดุพรุน (Wick structure) และของไหลทำงาน (Working Fluid) ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ท่อความร้อนที่มีวัสดุพรุน [6]

หลักการทํางาน กระบวนการทํางานจะเริ่มต้นจากการนำความร้อนจากแหล่งความร้อนภายนอกผ่านผนังท่อและโครงสร้างวัสดุพรุนที่ส่วนทําระเหยสารทํางานจะระเหยกลายเป็นไอเนื่องจากผลต่างความดันไอ (Vapor pressure difference) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอผ่านส่วนไม่มีการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่น ไอจะควบแน่นและคายความร้อนให้กับแหล่งระบายความร้อนเป็นของเหลว หลังจากนั้นความดันคาпилลารี (Capillary pressure) ซึ่งเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสระหว่างของเหลวและไอ อันเนื่องมาจากค่าความตึงผิวของสารทํางานและพื้นผิวโค้ง (Menisci) ของหน้าสัมผัสจะทำหน้าที่ปั๊มของเหลวควบแน่นกลับไปยังส่วนทําระเหย

ข้อดีของท่อความร้อนแบบธรรมดาที่มีวัสดุพรุน

- สามารถทํางานในแนวราบได้ ก็คือ ส่วนทําระเหยวางตัวอยู่ในระดับเดียวกับส่วนควบแน่น

- ส่วนทําระเหยจะอยู่ต่ำหรือสูงกว่าส่วนควบแน่นก็ได้

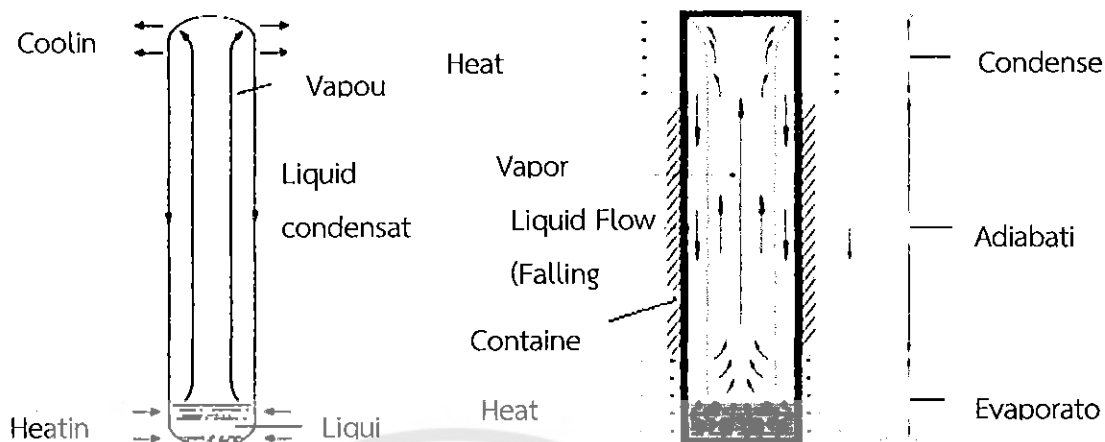
ข้อเสียของท่อความร้อนแบบธรรมดาที่มีวัสดุพรุน

- มีวิธีที่สร้างค่อนข้างยาก

- เกิดขีดจำกัดการไหลสวนทาง นั่นคือ หยดของเหลวจะหลุดจากวัสดุพรุน และถูกดึงเข้าไปในกระแสของไอที่ไหลไปยังส่วนควบแน่น ถ้าเกิดขึ้นมากก็จะทำให้ของเหลวที่ส่วนทําระเหยไม่เพียงพอ ทำให้ท่อความร้อนหยุดทํางานได้

## 2.2.2 เทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ (Two phase closed thermosyphon)

ลักษณะเป็นท่อความร้อนที่ปราศจากโครงสร้างวัสดุพรุนอยู่ภายในท่อ และอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการไหลเวียนของเหลวควบแน่น เทอร์โมไซฟอนอาจจะวางตัวอยู่ในแนวตั้งหรือแนวเอียง ตัวท่อเทอร์โมไซฟอนประกอบด้วย ส่วนทําระเหย ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน และส่วนควบแน่น โดยที่ส่วนทําระเหยต้องอยู่ต่ำกว่าส่วนควบแน่นเสมอเพราะต้องอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการทํางานของระบบ การทํางานในแนวตั้งจะมีการกระจายตัวของเหลวควบแน่นรอบผิวท่อส่วนทําระเหยได้ดีกว่าแนวเอียง ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ท่อความร้อนเทอร์โมไซฟอน [6]

หลักการทำงาน เมื่อสารทำงานที่ส่วนระเหยได้รับความร้อนที่ปลายด้านล่างของท่อจนของเหลวเดือดและระเหยกลายเป็นไอลอยขึ้นไปในส่วนควบแน่นที่เย็นกว่าไอจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนและควบแน่นกลายเป็นของเหลว ของเหลวที่ควบแน่นจะไหลกลับสู่ส่วนทำระเหยด้วยแรงดึงดูดของโลก

ข้อดีของเทอร์โมไซฟอน

- สามารถส่งถ่ายความร้อนปริมาณมากจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งได้ด้วยความแตกต่างของอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย
- มีค่าการนำความร้อนสูงมาก
- สร้างได้ง่ายกว่าท่อความร้อนที่ต้องบรรจุวัสดุพรุนไว้ภายใน

ข้อเสียของเทอร์โมไซฟอน

- ไม่สามารถทำงานได้ในทุกตำแหน่ง เพราะของเหลวควบแน่นจะไหลกลับไปที่ส่วนทำระเหยได้ด้วยความโน้มถ่วงของโลก ดังนั้นส่วนทำระเหยต้องอยู่ด้านล่างเท่านั้น
- สมรรถนะในการส่งถ่ายความร้อนจะลดลงเมื่อมุมทำงานของเทอร์โมไซฟอนเข้าใกล้แนวแกนระดับ



### 2.2.3 ท่อความร้อนแบบสั้น

ท่อความร้อนแบบสั้นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อความร้อนขนาดเล็กหรือระดับไมโครเมตร ซึ่งมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูง สร้างขึ้นจากท่อคาปิลลารียาวที่ขดเป็นโค้งเลี้ยว เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดความร้อนและแหล่งระบายความร้อน ภายในมีการดูดอากาศออกและเติมสารทำงานเข้าไปในท่อ สารทำงานภายในท่อจะเรียงตัวกันเป็นแท่งสลับกันระหว่างแท่งของเหลวและฟองไอ การถ่ายเทความร้อนจะเกิดได้โดยการไหลเวียนและการสั่นในแนวแกนของสารทำงานภายในท่อความร้อนร่วมกับการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำงาน ความสามารถในการถ่ายเทความร้อนจะดีขึ้นเนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสในการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น

ท่อความร้อนแบบสั้นจะประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักคือ ส่วนทำระเหยมีตำแหน่งการใช้งานอยู่ในตำแหน่งหรือพื้นที่ของแหล่งความร้อน ส่วนกันความร้อนและส่วนควบแน่นมีตำแหน่งการใช้งานอยู่ในส่วนที่ต้องการระบายความร้อนออก

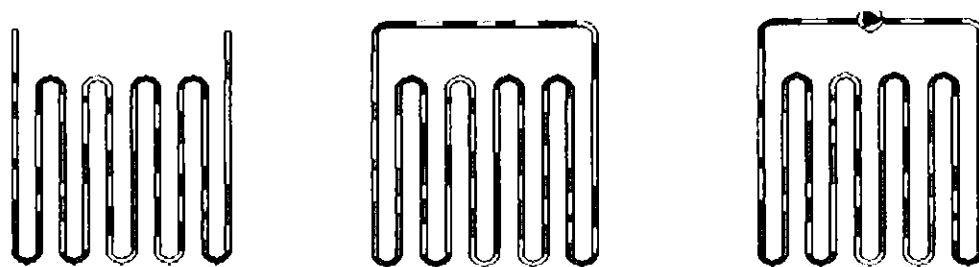
สาเหตุที่เลือกใช้ท่อความร้อนแบบสั้น เนื่องจากท่อความร้อนแบบสั้นมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนแบบธรรมดาที่มีวัสดุพอรุนและแบบเทอร์โมไซฟอน รวมถึงไร้ขีดจำกัดในการถ่ายเทความร้อน ท่อความร้อนแบบสั้นสามารถสร้างได้ง่ายเนื่องจากไม่มีวัสดุพอรุนอยู่ภายในท่อเมื่อเทียบกับท่อความร้อนแบบธรรมดาที่มีวัสดุพอรุน และสามารถทำงานได้ทุกสถานะเมื่อเทียบกับเทอร์โมไซฟอน ท่อความร้อนแบบสั้นมีทั้งหมด 3 ชนิด ดังนี้

- ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด สร้างจากท่อคาปิลลารียาวท่อเดียวที่มีการปิดปลายท่อทั้งสองข้างแยกจากกัน ในกรณีนี้การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของสารทำงานตามแนวแกนท่อเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยการสั่นจะถูกกระตุ้นโดยการผันผวนของคลื่นความดันอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากการเดือดของฟองในของไหลทำงาน ดังรูป 2.11.ก

- ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ สร้างจากจากท่อคาปิลลารียาวท่อเดียวที่มีการเชื่อมต่อปลายทั้งสองข้างเข้าด้วยกันเป็นวงรอบ การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของสารทำงานร่วมกับการไหลเวียนของสารทำงานผ่านโค้งเลี้ยวต่างๆ ในทิศทางใดทิศทางหนึ่ง ดังรูป 2.11.ข

- ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ มีลักษณะเป็นท่อคาปิลลารีขนาดเล็กขดกลับไปกลับมาปลายท่อทั้งสองด้านเชื่อมต่อกันเป็นวงรอบและติดตั้งวาล์วกันกลับ (Check valves) ไว้ตรงตำแหน่งส่วนกันความร้อนสำหรับควบคุมทิศทางการไหลของสารทำงานภายในท่อ เพื่อให้ให้มีทิศทางการไหลไปในทิศทางเดียวกัน การติดตั้งวาล์วกันกลับจะติดตั้งไว้ที่ตำแหน่งส่วนกันความร้อน เพราะเป็นส่วนที่มีการเคลื่อนที่และถ่ายเทความร้อนของสารทำงานภายในท่อเป็นหลัก

เมื่อเทียบกับส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น เป็นส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารทำงานมากกว่าการเคลื่อนที่ ดังรูป 2.11.ค



(ก) แบบส้นปลายปิด

(ข) แบบส้นวงรอบ

(ค) แบบส้นวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ

รูปที่ 2.11 ประเภทของท่อความร้อนแบบส้น [6]

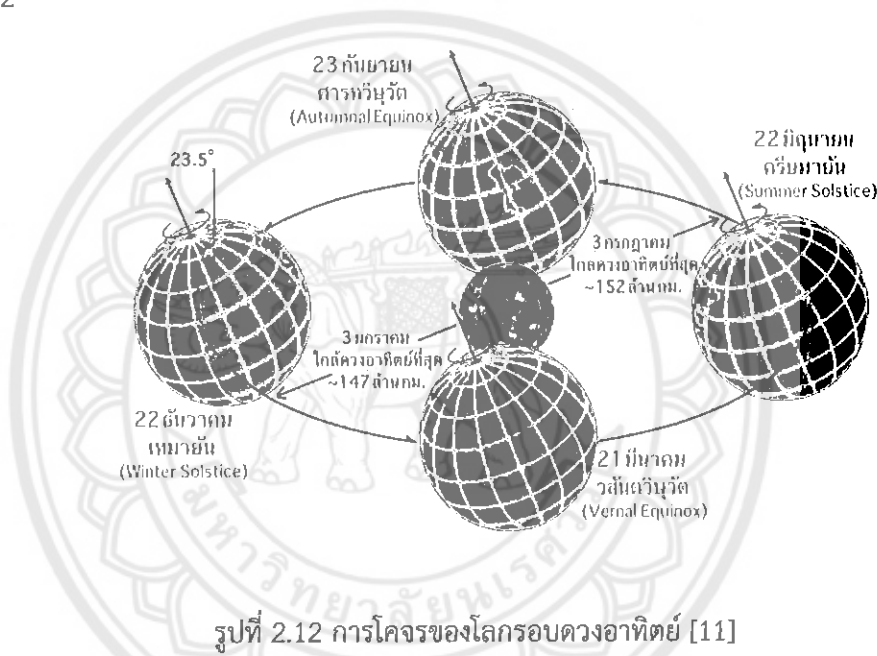
ข้อดีของท่อความร้อนแบบส้น

- สามารถใช้ในการถ่ายเทความร้อนระดับไมโครเมตร สามารถประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้
- ไม่ต้องใช้วัสดุพูนภายในท่อ ซึ่งไม่เหมาะสมกับขนาดของท่อความร้อนแบบส้น
- ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้รวดเร็ว เพราะเกิดการสูญเสียความร้อนระหว่างถ่ายเทความร้อนน้อยลง
- ถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น เพราะมีการพัฒนาให้พื้นที่สัมผัสในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น

สาเหตุที่เลือกใช้ท่อความร้อนแบบส้นวงรอบ เนื่องจากสารทำงานมีการเคลื่อนที่ได้เป็นวงรอบอย่างอิสระทำให้มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนแบบส้นชนิดปลายปิด แต่มีประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนรองลงมาจากท่อความร้อนแบบส้นชนิดวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ ซึ่งท่อความร้อนแบบส้นชนิดวงรอบที่มีวาล์วกันกลับนั้น ในส่วนของการติดตั้งวาล์วกันกลับติดตั้งได้ยาก ถ้าติดตั้งวาล์วกันกลับได้ไม่ดีจะทำให้วาล์วขวางทางการไหลของสารทำงาน ดังนั้นกลุ่มพวกเราจึงเลือกใช้ท่อความร้อนแบบส้นวงรอบ

### 2.3 ตำแหน่งการติดตั้งตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

เนื่องจากแกนโลกเอียงทำมุม  $23.5^{\circ}$  กับแนวตั้งในการโคจรรอบดวงอาทิตย์และการหมุนรอบตัวเอง จะทำให้แกนของโลกด้านหนึ่งจะเอนเข้าหาดวงอาทิตย์ ส่วนแกนอีกด้านหนึ่งจะเอนออกห่างจากดวงอาทิตย์เสมอ ผลจากการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์และการหมุนรอบตัวเองจะทำให้เกิด “ความผันแปรของระยะเวลากลางวันและกลางคืน” เนื่องจากประเทศไทยตั้งอยู่บริเวณใกล้ระหว่างเส้นรุ้ง (Latitude) ที่  $6^{\circ}$ - $19^{\circ}$  เหนือเส้นศูนย์สูตร จึงทำให้ได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อยจากความผันแปรของระยะเวลากลางวันและกลางคืน ประเทศจึงเหมาะแก่การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ [11]

การติดตั้งตัวรับรังสีแสงอาทิตย์นั้นควรติดตั้งตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ให้โดนแสงตลอดทั้งวัน ไม่ควรที่จะมีเงามาบังแสง หลีกเลี้ยงให้ไกลจากเงาต้นไม้หรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆ เพราะจะทำให้แผงผลิตไฟฟ้าได้ไม่เต็มที่ และควรติดตั้งตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ให้หันไปทางด้านทิศใต้ เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเองรอบเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นตำแหน่งที่อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรมากเท่าไร ก็จะมีมุมความเข้มแสงของดวงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้น ประเทศไทยอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรขึ้นมา จึงทำให้การติดตั้งตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จึงหันไปทางด้านทิศใต้ ซึ่งจะทำให้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์รับแสงได้ทั้งวัน

ความชันของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (Tilt angle) จะอ้างอิงจากแนวระนาบตาม องศาละติจูดของแต่ละพื้นที่ที่จะติดตั้ง จังหวัดพิษณุโลกตั้งอยู่ที่พิกัดละติจูดที่  $16.78^{\circ}$  44 ลิปดาเหนือ ลองจิจูดที่  $100^{\circ}$  16.4 ลิปดาตะวันออก ดังนั้นตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ควรติดตั้งทำมุม  $16^{\circ}$ - $18^{\circ}$  กับแนวระดับจึงจะสามารถรับแสงได้ดีที่สุด

### 2.3.1 ค่าคงที่แสงอาทิตย์

โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์โดยที่วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ไม่เป็นวงกลมจึงทำให้ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์มีค่าไม่เท่ากันที่เวลาใดๆโดยมีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ 1.7% ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกและดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ  $1.495 \times 10^{11}$  m ค่าคงที่รังสีแสงอาทิตย์ (Solar Constant) คือค่าความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าประมาณ  $1,367 \text{ W/m}^2$  หรือ  $432 \text{ Btu/ft}^2\text{h}$  บนพื้นผิวโลกจะมีค่าความร้อนประมาณ  $946.3 \text{ W/m}^2$

### 2.3.2 ประเภทของรังสีที่ผิวโลก

ประเภทของรังสีที่ตกกระทบบนพื้นโลกเรานั้นสามารถแบ่งออกดังนี้

1. รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) คือ รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกลงบนผิวตัวรับรังสี มีทิศทางแน่นอนที่เวลาใดเวลาหนึ่ง ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์
2. รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือ รังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนจากชั้นบรรยากาศของโลกและวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบพื้นผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า
3. รังสีรวม (Total or Global Radiation) คือ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบบนผิวรับแสง ในกรณีผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและรังสีกระจายจากผิวโลก

### 2.3.3 ลักษณะคลื่นพลังงานแสงอาทิตย์

การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์ที่มีความสำคัญต่อพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนแบ่งเป็น 2 ช่วงคลื่น

1. รังสีแสงอาทิตย์หรือรังสีคลื่นสั้น (Solar or Short-Wave Radiation) เป็นรังสีที่ปล่อยจากดวงอาทิตย์ มีความยาวคลื่นตั้งแต่  $0.3$  ถึง  $3.0 \mu\text{m}$  ซึ่งประกอบด้วยรังสีตรงหรือรังสีกระจาย
2. รังสีคลื่นยาว (Long-Wave Radiation) เป็นรังสีที่แผ่ออกจากแหล่ง ก่กำเนิดความร้อนที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมปกติจะมีความยาวคลื่นมากกว่า  $3.0 \mu\text{m}$  เช่น รังสีที่แผ่ออกจากชั้นบรรยากาศ ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ หรือวัตถุต่างๆที่อุณหภูมิปกติ

### 2.3.4 อุปกรณ์วัดพลังงานแสงอาทิตย์

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยอุปกรณ์วัดรังสีตรงรังสีกระจายรังสีรวมและชั่วโมงที่มีแดด

1. ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) เป็นอุปกรณ์วัดค่ารังสีรวม ปกติจะใช้วัดบนพื้นราบแต่อาจประยุกต์ใช้วัดรังสีกระจายได้โดยแหวนหรือจานบังเงา ดังรูปที่ 2.13.ก

2. ไพเฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer) เป็นอุปกรณ์วัดรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ มีส่วนประกอบของชุดตามดวงอาทิตย์เพื่อให้ผิวรับแสงตั้งฉากกับลำแสงจากดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ดังรูปที่ 2.13.ข



(ก) ไพรานอมิเตอร์และไพรานอมิเตอร์แบบติดแหวนบังเงา

(ข) ไพเฮลิโอมิเตอร์

รูปที่ 2.13 อุปกรณ์การวัดพลังงานแสงอาทิตย์ [13]

## 2.4. มาตรฐานการทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ ASHRAE Standard 93-77

ASHRAE Standard 93-77 (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering) [5] เป็นมาตรฐานที่ใช้หาสมการแสดงคุณสมบัติพื้นฐานสำหรับกำหนดประสิทธิภาพทางความร้อนของการทำงานของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่สามารถทดสอบได้ทั้งในร่ม (Indoor) และกลางแจ้ง (Outdoor) โดยสภาวะที่ใช้ทดสอบในโครงการนี้คือกลางแจ้งซึ่งเงื่อนไขดังนี้

- ค่าต่ำสุดของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ในสภาวะจะทำการวัดที่พื้นผิวดังฉากกับรังสีตรงของรังสีแสงอาทิตย์ต้องไม่น้อยกว่า  $790 \text{ W/m}^2$
- ค่าเปลี่ยนแปลงมากที่สุดของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ในการทดสอบจะทำการทดสอบในช่วงที่ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ ซึ่งค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ระนาบตั้งฉากจะต้องเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm 32 \text{ W/m}^2$  ในช่วง 10 นาที
- ค่าความเข้รังสีกระจาย จะทำการทดสอบเมื่อความเข้มรังสีกระจายเฉลี่ยบนระนาบของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ไม่เกิน 20% ของค่าความเข้มรังสีรวมบนระนาบรับรังสีของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ แต่ในการวิเคราะห์จะใช้ค่าความเข้มรังสีตรงและค่าความเข้มรังสีกระจาย
- ช่วงอุณหภูมิอากาศสภาวะแวดล้อม การวิเคราะห์ทั้งหมดจะใช้อุณหภูมิอากาศสภาวะแวดล้อมไม่เกิน  $30^\circ\text{C}$
- สภาวะของลม ในการทดลองค่าความเร็วเฉลี่ยของลมจะต้องอยู่ระหว่าง 2.2 – 4.5 m/s
- อัตราการไหลของของไหลผ่านตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะต้องคงที่ ค่าแนะนำของอัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ตัวเก็บรังสีสำหรับการทดสอบ ในกรณีของไหลเป็นของเหลวคือ  $0.02 \text{ kg/s.m}^2$
- ค่าการกระจายของอุณหภูมิของไหลขาเข้าที่ยอมรับได้ หาได้จากการกำหนดให้เป็น 0% , 30% , 60% , 90% ของค่า  $(T_{f,i} - T_a)$  ที่ได้จากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่กำหนดสำหรับการทดสอบและอุณหภูมิใช้งานสูงสุดที่แนะนำโดยบริษัทผู้ผลิตตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ หรืออาจใช้ค่าการกระจายของ  $(T_{f,i} - T_a)$  ณ ตำแหน่งที่ประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวรับลดลงไป 0% , 30% , 60% , 90% ของประสิทธิภาพสูงสุด
- สภาวะคงที่ ในการทดสอบของไหลที่ไหลผ่านตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะต้องมีอุณหภูมิกคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm 2 \%$  หรือ  $\pm 1.0^\circ\text{C}$  และอัตราการไหลคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm 0.0002 \text{ kg/s.m}^2$

### 2.4.1 ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์

จาก ASHRAE Standard 93-77 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้สมการแสดงคุณสมบัติพื้นฐานสำหรับการกำหนดประสิทธิภาพทางความร้อนของการทำงานของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ภายใต้เงื่อนไขที่สภาวะคงที่ มีความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

$$\eta_c = \left( \frac{A_a}{A_c} \right) F_R [(\tau\alpha)_e - \frac{U_L(T_i - T_a)}{I_t}] \quad (1)$$

$$\text{และ} \quad \eta_c = \frac{\dot{m}_c C_p (T_o - T_i)}{I_t A_c} \quad (2)$$

โดยที่	$\eta_c$	คือ ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์, (%)
	$\dot{m}_c$	คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล, (kg/s)
	$C_p$	คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล, (kJ/kg.K)
	$T_i$	คือ อุณหภูมิของของไหลขาเข้า, (°C)
	$T_o$	คือ อุณหภูมิของของไหลขาออก, (°C)
	$T_a$	คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, (°C)
	$A_a$	คือ พื้นที่ของแผงรับแสงอาทิตย์, (m <sup>2</sup> )
	$A_c$	คือ พื้นที่รับแสงอาทิตย์, (m <sup>2</sup> )
	$F_R$	คือ สัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์
	$U_L$	คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน, (W/m <sup>2</sup> .K)
	$I_t$	คือ ความเข้มแสง, (W/m <sup>2</sup> )
	$(\tau\alpha)_e$	คือ สัมประสิทธิ์การทะลุผ่านและดูดซับรังสีแสงอาทิตย์

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ P. Charoensawan และ P. Terdtoon (2008) [1] ได้ศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่วางตัวอยู่ในแนวระดับ สร้างท่อความร้อนจากท่อคาปิลลารีทองแดงและศึกษาผลของตัวแปรต่างๆ ประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเป็น 1 mm , 1.5 mm และ 2 mm ความยาวส่วนทำระเหยเป็น 50 mm และ 150 mm จำนวนโค้งเลี้ยวเป็น 5 , 11 , 16 และ 26 โดยสารทำงานที่ใช้ทดสอบเป็นน้ำและเอทานอลที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานต่างๆ คือ 30 , 50 และ 80% ทำการทดสอบที่อุณหภูมิส่วนทำระเหยตั้งแต่ 40°C ถึง 90°C จากการทดลองทั้งหมดพบว่า การเริ่มทำงานของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่วางตัวแนวระดับ จะขึ้นกับอุณหภูมิส่วนทำระเหยซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนโค้งเลี้ยว จำนวนโค้งเลี้ยววิกฤตจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อและสมบัติของสารทำงานซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิการทำงาน เมื่ออุณหภูมิเกิน 70°C จะมีจำนวนโค้งเลี้ยววิกฤตซึ่งหมายถึงจำนวนโค้งเลี้ยวต่ำสุดที่ท่อความร้อนสามารถทำงานได้ในแนวระดับของท่อขนาด 2 mm เป็น 11 โค้งเลี้ยว นอกจากนี้ยังพบว่าสามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิส่วนทำระเหยให้สูงขึ้น ลดความยาวส่วนทำระเหยหรือความยาวประสิทธิผลลง และเพิ่มจำนวนโค้งเลี้ยวมากขึ้น และพบว่าอัตราส่วนการเติมที่เหมาะสมสำหรับท่อความร้อนที่มีความยาวส่วนทำระเหย 150 mm คือ 30% ของปริมาตรทั้งหมดภายในท่อแต่สำหรับความยาวส่วนทำระเหย 50 mm จะเป็นทั้ง 30% และ 50% ของปริมาตรทั้งหมดภายในท่อ และน้ำเป็นสารทำงานที่เหมาะสมกับท่อความร้อนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเป็น 2 mm แต่ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อเป็น 1 mm สามารถใช้ได้ทั้งน้ำและเอทานอล

งานวิจัยของ T. Hudakorn และ P. Terdtoon (2010) [2] ได้ทำการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบโดยตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบทำจากแผ่นเหล็กเคลือบสังกะสีทาสีดำขนาด 2 m<sup>2</sup> ติดตั้งท่อความร้อนแบบส่นวงรอบเข้ากับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบทั้งหมด 5 ชุด ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบสร้างจากท่อทองแดง มีขนาดของส่วนทำระเหยยาว 1.0 m ส่วนควบแน่นยาว 0.17 m และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อความร้อนเป็น 1.0 mm จำนวนโค้งเลี้ยวทั้งหมด 15 โค้งเลี้ยว ใช้ R134a เป็นสารทำงานที่อัตราการเติมสารทำงาน 50% ของปริมาตรภายในทั้งหมดของท่อความร้อน ทำทดลองโดยให้อัตราการไหลของอากาศเป็น 0.021 , 0.082 และ 0.123 kg/s ส่งผลให้ค่าอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศต่อพื้นที่ผิวของตัวรับรังสีอยู่ในช่วง 0.0103-0.0616 kg/m<sup>2</sup>s ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเป็น 52.74-77.83% ในกรณีให้อัตราการไหลของอากาศเป็น 0.01125-0.01875 kg/m<sup>2</sup>s และพบว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบให้ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบที่ใช้เทอร์โมไซฟอนประมาณ 16.36–17.18% และในกรณีให้อัตราการไหลของอากาศเป็น 0.01125-0.01875 kg/m<sup>2</sup>s ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์โดยใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบให้ประสิทธิภาพสูงกว่าตัวรับรังสีแบบร่องตัววีและตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบประมาณ 1.83-17.02% และ 13.81–26.18% ตามลำดับ



งานวิจัยของ S. Rittidech และ S. Wannapakne (2006) [3] ทำการศึกษาเชิงการทดลอง สมรรถนะของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์โดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะ ประกอบด้วยแผ่นสังกะสีทาสีดำหนา 1.0 mm ถูกปิดด้วยแผ่นกระจกที่มีพื้นที่เป็น  $2 \times 0.97 \text{ m}^2$  ส่วน ทำระเหยจะยึดติดกับตัวรับรังสีและส่วนควบแน่นจะถูกสอดเข้าไปในถังเก็บน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายในของท่อทองแดงยาว 3.0 mm ท่อทองแดงถูกตัดเป็นหลายโค้งเลี้ยวตามจำนวนโค้งเลี้ยววิกฤต ซึ่งหมายถึงจำนวนโค้งเลี้ยวต่ำสุดที่ท่อความร้อนสามารถทำงานได้ในแนวระดับ ใช้ R134a เป็นสาร ทำงาน จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะแปรผันไปตามแต่ละ ช่วงเวลาของวัน ความเข้มข้นของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิบรรยากาศและอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวรับรังสี แสงอาทิตย์ พบว่าค่าประสิทธิภาพเป็น 62% ซึ่งใกล้เคียงกับประสิทธิภาพของระบบท่อความร้อนที่มี ราคาสูงกว่า ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิดยังมีข้อได้เปรียบที่ไม่มีภารกิจก่อร้อนและไม่เกิดการแข็งตัว ในช่วงฤดูหนาว

## 2.6 การวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน

ความคลาดเคลื่อนจากการทดลองนั้นเกิดจากความสามารถในการวัดของแต่ละอุปกรณ์ ดังนั้นการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน (Uncertainty analysis) จากผลการทดลอง สามารถคำนวณ ได้ดังสมการที่ 3 [14]

$$W_R = \left[ \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial R}{\partial x_i} W_i \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

โดยที่  $W_R$  คือ ผลรวมของค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด

$x_i$  คือ ตัวแปรอิสระของการวัดตัวที่  $i$

$R$  คือ ผลรวมของตัวแปรการคำนวณ

$W_i$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดที่  $i$

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 รายละเอียดขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 สํารวจและเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่ความร้อนแบบสํานวรอบตามทฤษฎี โดยศึกษาหลักการทํางาน ส่วนประกอบและศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและรวบรวมข้อมูลรายละเอียดต่างๆ ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่ความร้อนแบบสํานวรอบ

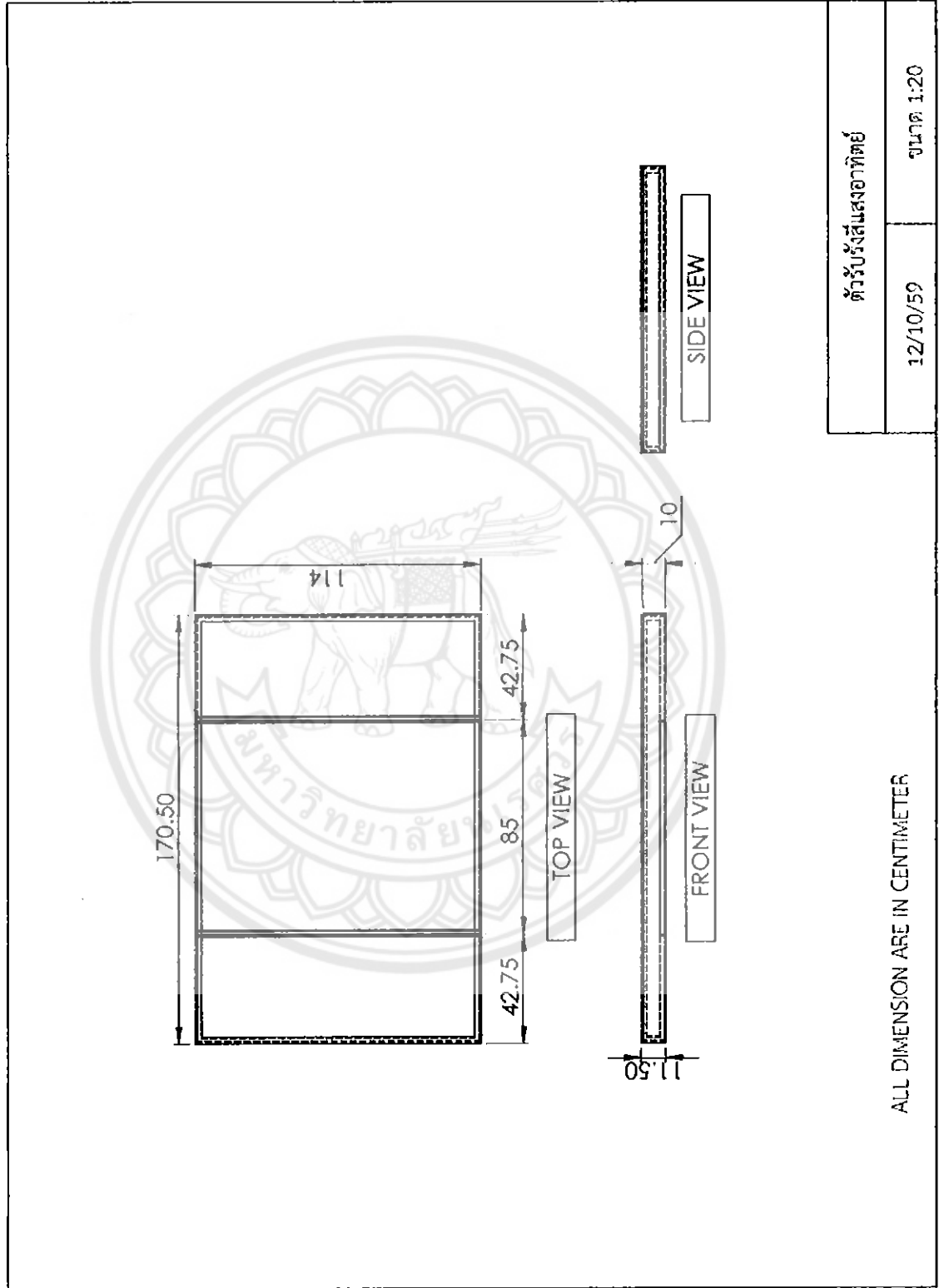
3.1.2 ออกแบบและสร้างตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ ฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์และชุดกําเนิดแสงเทียม

3.1.3 สร้างและติดตั้งท่ความร้อนแบบสํานวรอบในชุดทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่ความร้อนแบบสํานวรอบ

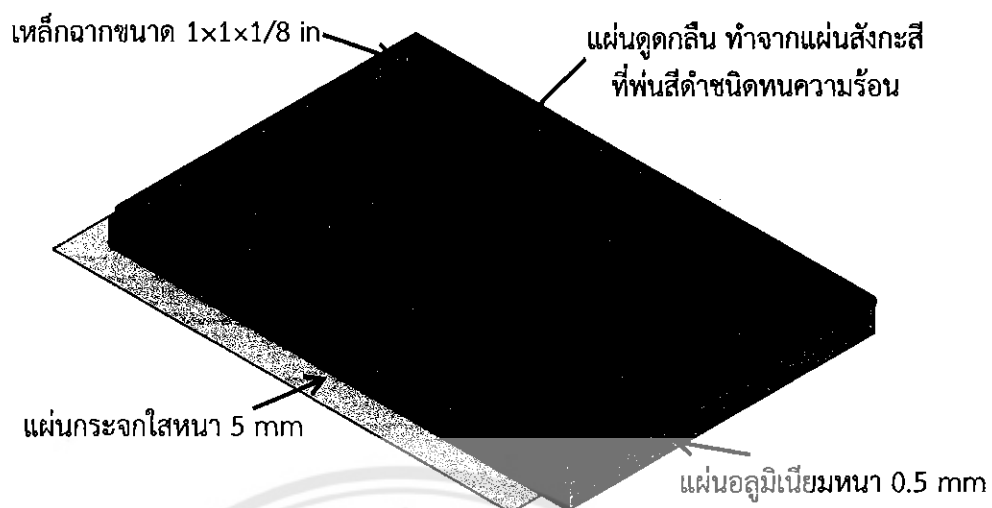
3.1.4 ทดสอบหาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่ความร้อนแบบสํานวรอบ

#### 3.2 การออกแบบและการสร้างตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ และชุดกําเนิดแสงเทียม

ในส่วนขั้นตอนนี้ได้ทํางานเขียนแบบภาพฉาย 2 มิติ ของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์และชุดกําเนิดแสงเทียม จากนั้นได้ทํางานเขียนแบบภาพไอโซเมตริก (Isometric) ของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์และชุดกําเนิดแสงเทียม และทํางานสร้างตามแบบที่เขียนขึ้น



รูปที่ 3.1 แสดงภาพฉาย 2 มิติ ของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



รูปที่ 3.2 แสดงภาพเขียนแบบไอโซเมตริกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



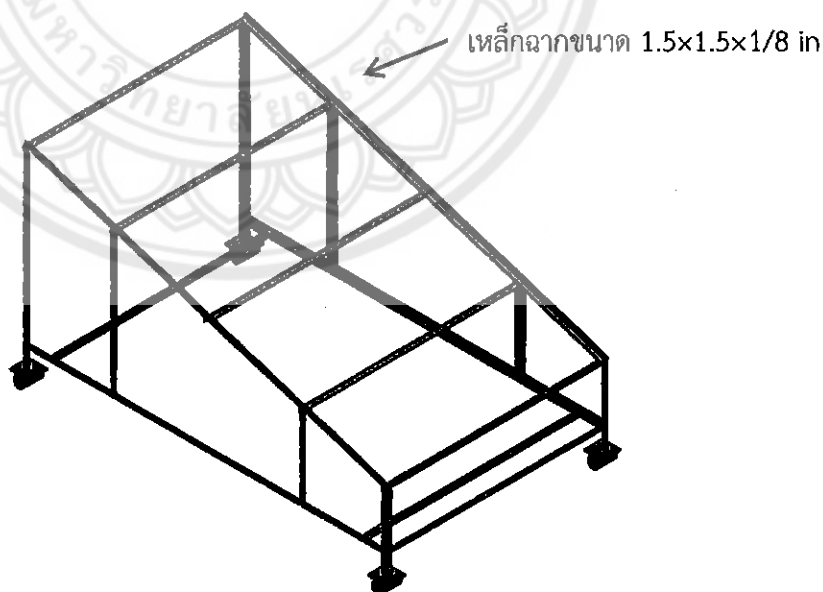
รูปที่ 3.3 แสดงภาพจริงของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

### 3.2.1 ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

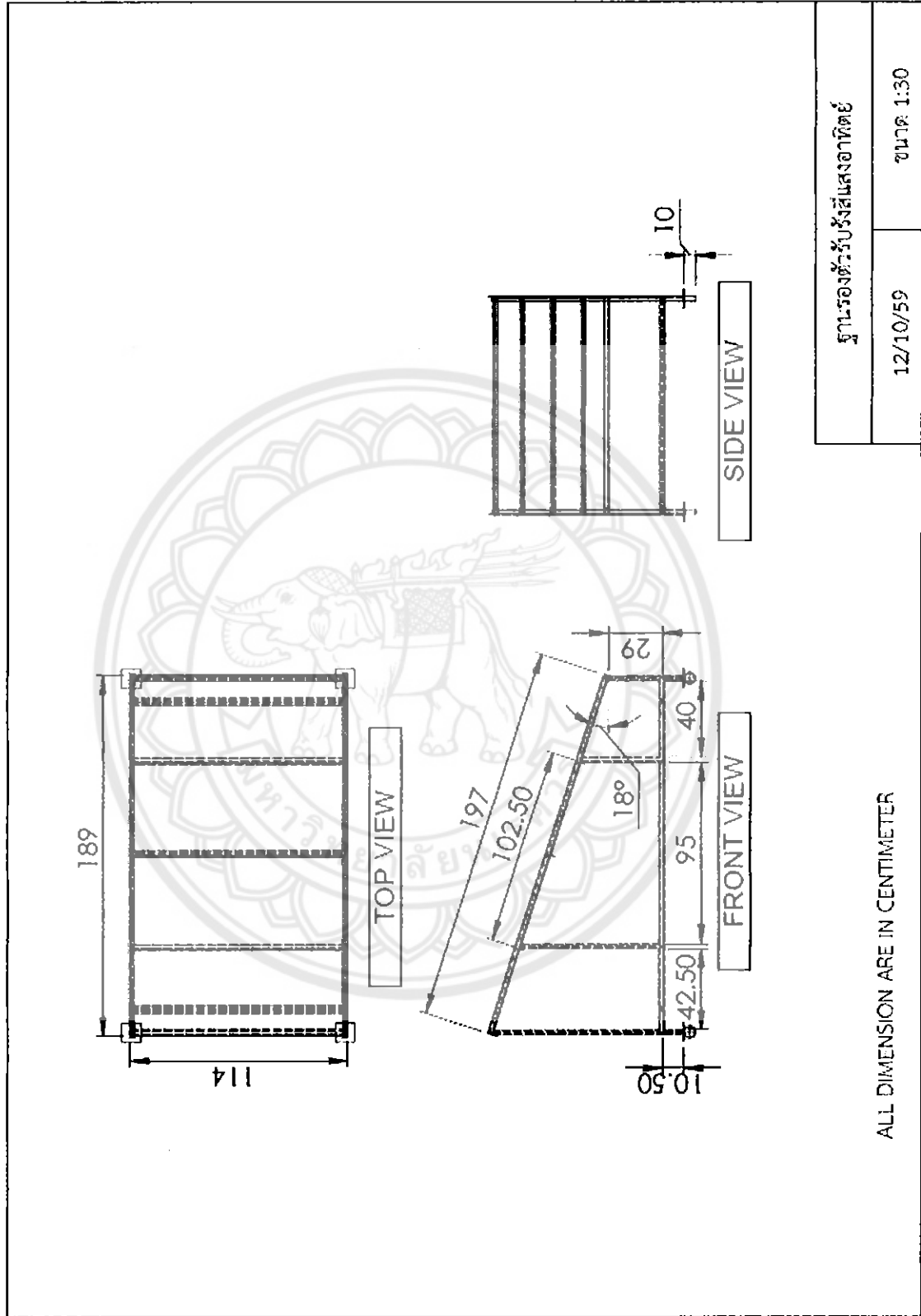
จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสร้างจากเหล็กฉากขนาด  $1 \times 1 \times 1/8$  in เชื่อมติดกันเป็นกล่องสี่เหลี่ยมกว้าง 107.5 cm ยาว 171.5 cm สูง 10 cm ปิดล้อมด้านข้างและด้านล่างด้วยแผ่นอลูมิเนียมหนา 0.5 mm ภายในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ประกอบด้วยฉนวนใยหินหนา 2.5 cm วางอยู่ด้านล่างสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นฉนวนความร้อน วางทับด้วยแผ่นสังกะสีขนาด  $1 \times 1.5 \times 0.001$  m พันด้วยลวดดำชนิดทนความร้อนทำหน้าที่เป็นตัวดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์และถูกปิดด้วยแผ่นกระจกใสหนา 5 mm แผ่นกระจกใสจะทำหน้าที่กักเก็บรังสีแสงอาทิตย์ซึ่งถูกพัฒนาจากเดิมที่ใช้แผ่นอะคริลิก (Acrylic) แต่แผ่นอะคริลิกมีปัญหาในด้านการทนความร้อน เมื่ออุณหภูมิของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์สูงขึ้นส่งผลให้แผ่นอะคริลิกเกิดการโค้งตัวจึงไม่สามารถใช้งานในการทดลองได้ รูปที่ 3.3 แสดงภาพจริงของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ได้สร้างขึ้น

### 3.2.2 ฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

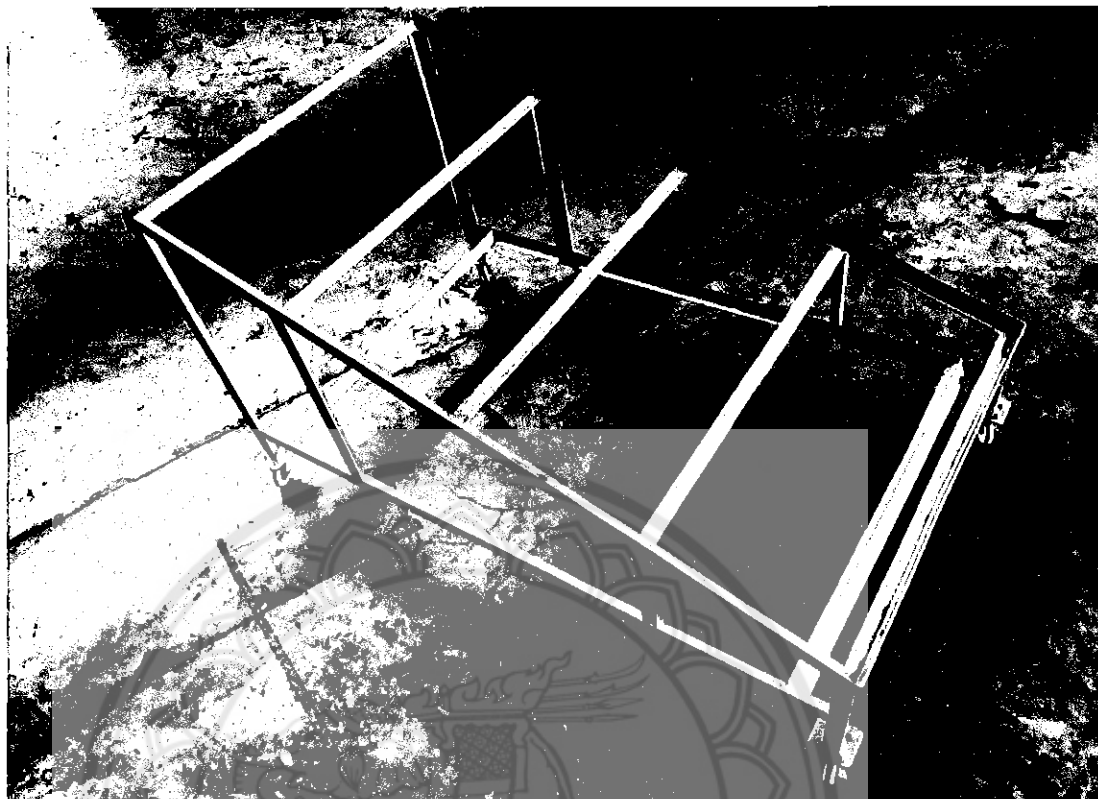
จากรูปที่ 3.4 ฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ สร้างจากเหล็กฉากขนาด  $1.5 \times 1.5 \times 1/8$  in นำมาเชื่อมติดกันเป็นโครงสร้างตามขนาดดังรูปที่ 3.5 ให้เหมาะสมกับการรองรับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบซึ่งทำมุมเอียง  $18^\circ$  กับแนวระนาบ และติดล้อทั้งหมด 4 ล้อ เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายและสะดวกในการติดตั้งชุดทดลอง รูปที่ 3.6 แสดงภาพจริงของฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่สร้างขึ้น



รูปที่ 3.4 แสดงภาพเขียนแบบไอโซเมตริกของฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



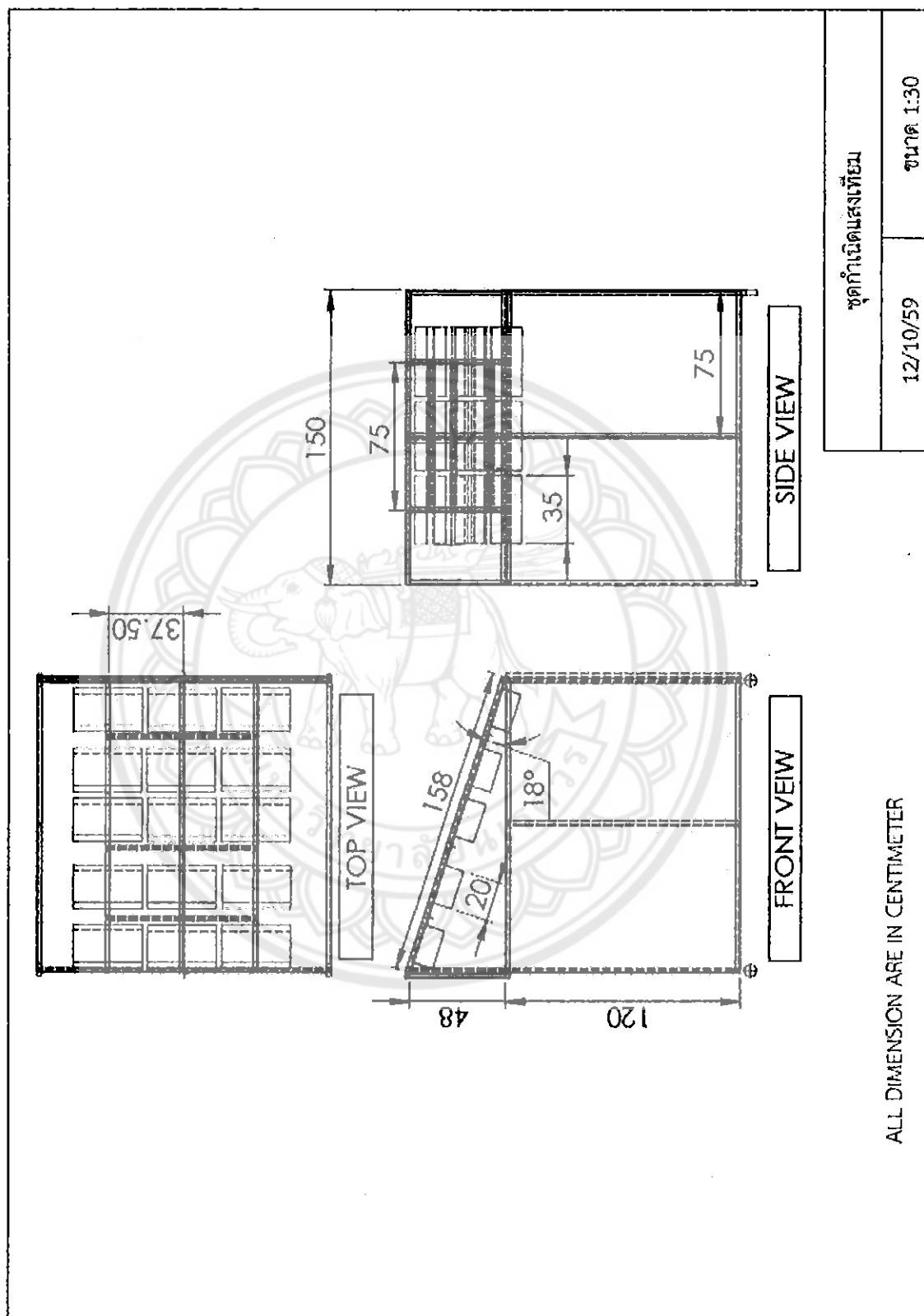
รูปที่ 3.5 แสดงภาพฉาย 2 มิติ ของฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



รูปที่ 3.6 แสดงภาพจริงของฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

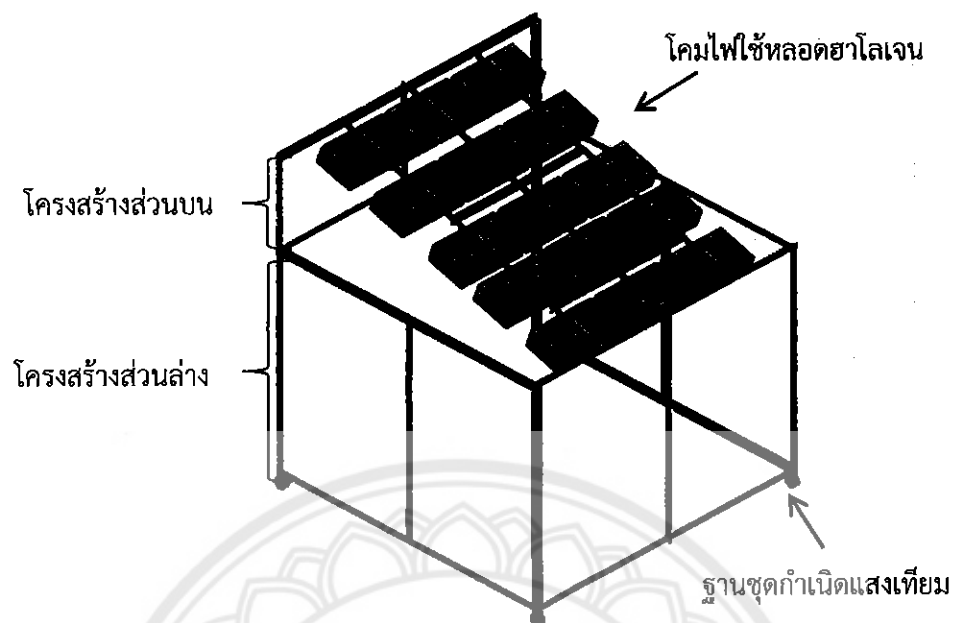
### 3.2.3 ชุดกำเนิดแสงเทียม

โครงสร้างของชุดกำเนิดแสงเทียมสร้างจากเหล็กฉากขนาด  $1.5 \times 1.5 \times 1/8$  in เชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้าง ดังรูปที่ 3.8 ติดล๊อตทั้งหมด 4 ล๊อต เพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้ง่ายและสะดวกในการติดตั้งชุดทดลอง ขนาดของโครงสร้างส่วนล่างมีความสูง 120 cm กว้าง 150 cm ยาว 150 cm ส่วนโครงสร้างส่วนบนเป็นโครงเหล็กฉากเชื่อมติดกันทำมุม  $18^\circ$  กับแนวระดับ เพื่อให้ขนานกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ จึงทำให้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ได้รับแสงเทียมในแนวตั้งฉาก ส่วนบนติดตั้งด้วยโคมไฟใช้หลอดฮาโลเจนเป็นแหล่งกำเนิดแสงเทียม ขนาดกำลังไฟฟ้า 1500 W จำนวน 15 หลอด โดยเรียงตัวเป็น 3 แถว แถวละ 5 หลอด ระบบไฟฟ้าควบคุมด้วยตัวปรับแรงดันไฟฟ้าที่ทำหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าซึ่งส่งผลถึงความเข้มแสงของชุดกำเนิดแสงเทียม ในการทดลองจะใช้ค่าแรงดันไฟฟ้าในช่วง ระหว่าง 65–125 Volts เนื่องจากชุดสวิตช์หรี่แสง (Dimmer switch) ของชุดกำเนิดแสงเทียมมักมีปัญหาที่ชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้ามีอุณหภูมิสูงและไม่สามารถควบคุมความเข้มแสงให้คงที่ได้ รูปที่ 3.9 แสดงภาพจริงของชุดกำเนิดแสงเทียมที่ได้สร้างขึ้น

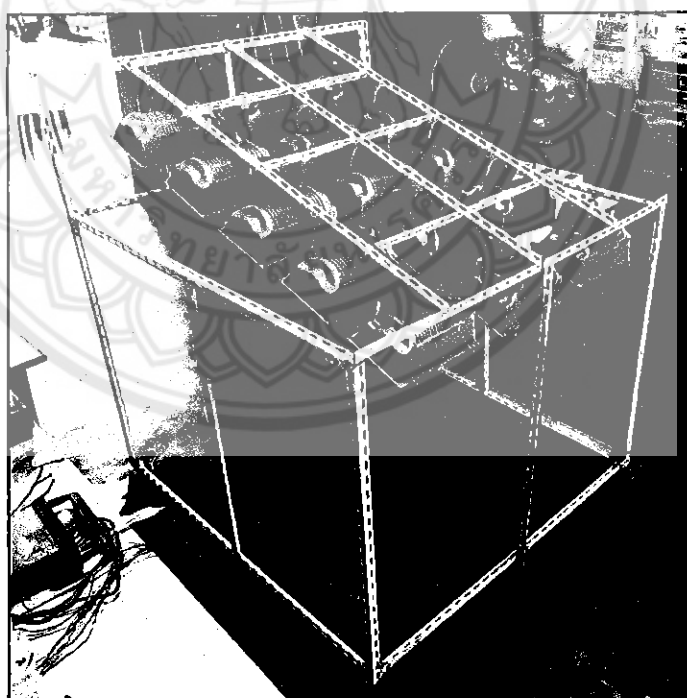


รูปที่ 3.7 แสดงภาพฉาย 2 มิติ ของชุดเก้าอี้เบ็ดแสลงเทียม

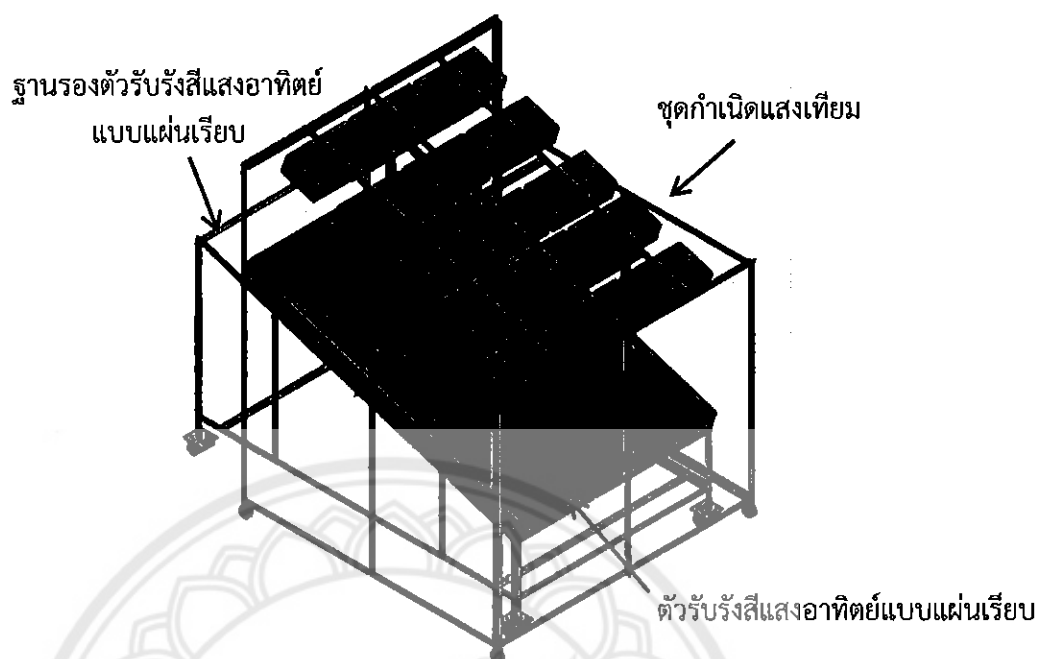




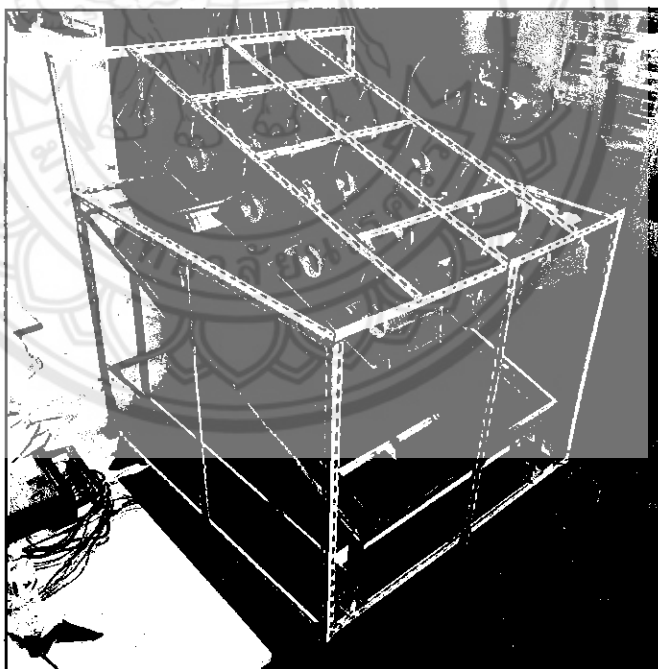
รูปที่ 3.8 แสดงภาพเขียนแบบไอโซเมตริกของชุดกำเนิดแสงเทียม



รูปที่ 3.9 แสดงภาพจริงของชุดกำเนิดแสงเทียม



รูปที่ 3.10 แสดงภาพเขียนแบบไอโซเมตริกของชุดทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



รูปที่ 3.11 แสดงภาพจริงของชุดทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

จากรูปที่ 3.10 และ 3.11 เป็นภาพแสดงการติดตั้งของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ อยู่บนฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่อยู่ในชุดกำเนิดแสงเทียม

### 3.3 สร้างและติดตั้งท่อความร้อนแบบส่นวงรอบในชุดทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ

#### 3.3.1 การสร้างท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ

3.3.1.1 นำท่อคาปิลลารีทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.8 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 mm มาขดเป็นวงรอบกล่องอลูมิเนียมด้วยจำนวนโค้งเล็ก 15, 20 และ 25 โค้งเล็ก โดยกล่องอลูมิเนียมที่ใช้มี 2 ขนาด คือ  $0.0075 \times 1 \times 0.025$  m และ  $0.0075 \times 1.5 \times 0.025$  m ซึ่งส่วนบนของกล่องอลูมิเนียมยึดติดกับท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 12.7 mm เพื่อใช้เป็นส่วนควบแน่นในการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ แสดงดังรูปที่ 3.12

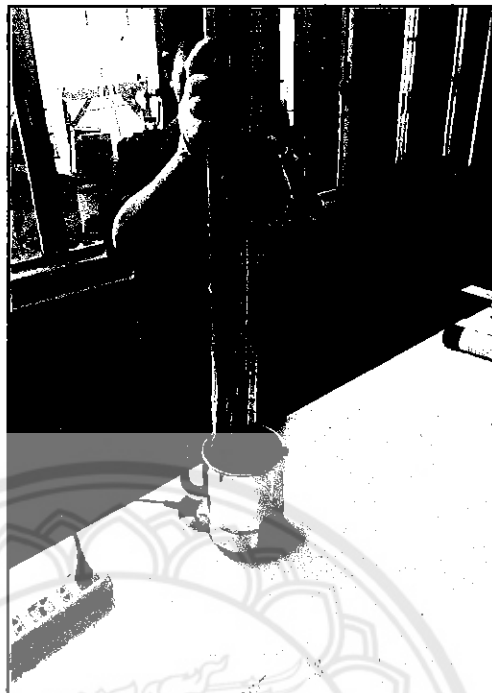


รูปที่ 3.12 แสดงการขดท่อทองแดงให้เป็นโค้งเล็กวงรอบกล่องอลูมิเนียม

3.3.1.2 เชื่อมปิดปลายท่อคาปิลลารีทองแดงเข้าด้วยกันให้เป็นวงรอบและเชื่อมติดกับข้อต่อที่ใช้สำหรับเติมสารทำงาน ทำการเติมสารทำงานโดยสารทำงานที่ใช้เป็นน้ำกลั่น อัตราการเติมสารทำงานจะเป็น 50% ของปริมาตรทั้งหมดภายในท่อความร้อนในแต่ละจำนวนโค้งแล้ว ก่อนการเติมสารทำงานต้องทำให้ภายในท่อทองแดงเป็นสุญญากาศโดยใช้ ปัมสุญญากาศ (Vacuum pump) แล้วจึงทำการเติมสารทำงาน แสดงดังรูปที่ 3.13 หลังจากนั้นจึงทำการเชื่อมปิดท่อความร้อน และตรวจสอบการทำงานของท่อความร้อนโดยใช้น้ำร้อนในการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.13 แสดงการเติมสารทำงานลงในท่อความร้อน



รูปที่ 3.14 แสดงการตรวจสอบการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

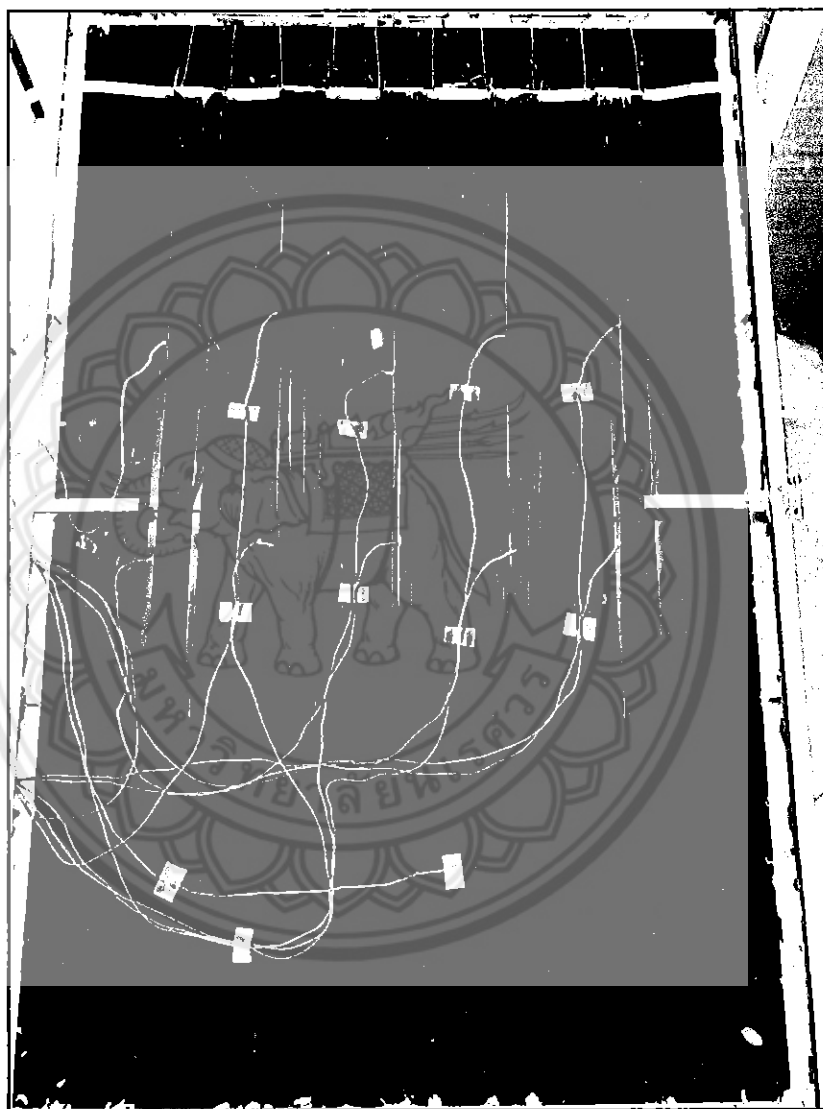
3.3.1.3 นำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ผ่านการตรวจสอบแล้วมาพ่นด้วยฮีตติ้งคาน  
ทความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสง แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 แสดงท่อความร้อนที่ถูกพ่นด้วยฮีตติ้งคานทความร้อน

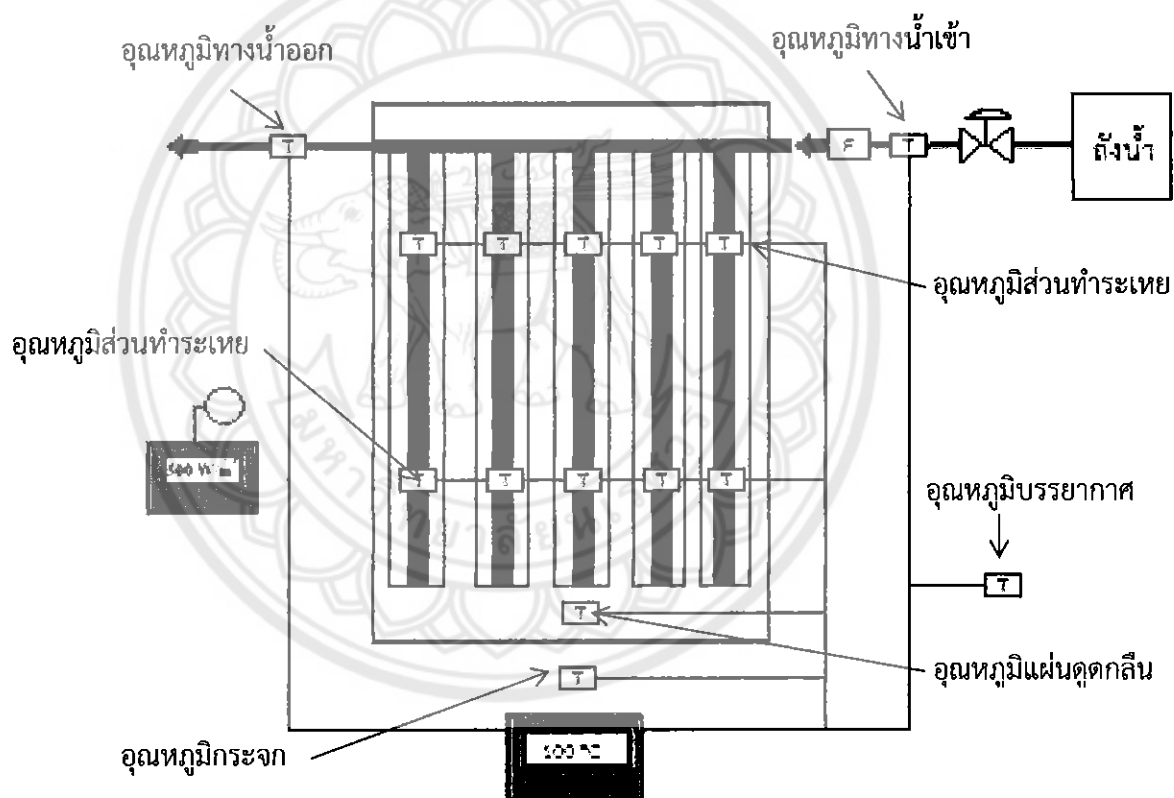
### 3.3.2 การติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

ขั้นตอนการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเพื่อทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในชุดทดสอบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

จากรูปที่ 3.16 นำท่อความร้อนแบบส้นวงรอบที่พันสี่ตำแหน่งบนความร้อนมาเรียงตัวบนแผ่นดुकกลืนรังสีของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่อยู่บนฐานรองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ นำสายยางซิลิโคน (Silicone tube) สวมเข้ากับท่อทองแดงที่ยึดติดกับส่วนบนของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบ เพื่อเป็นทางนำไหลผ่านเข้า-ออกในการแลกเปลี่ยนความร้อน จากนั้นทำการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ที่จุดทางเข้า-ออกของน้ำ ส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบส้นวงรอบ แผ่นดुकกลืน แผ่นกระจกและภายในห้อง เพื่อใช้วัดอุณหภูมิบรรยากาศ ตามตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 3.17 เพื่อวัดค่าอุณหภูมิและส่งไปแสดงที่จอแสดงผลของเครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิ จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์หาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส้นวงรอบ



รูปที่ 3.17 แสดงตำแหน่งการติดตั้งของสายเทอร์โมคัปเปิล

### 3.4 หลักการทำงานของระบบและตัวแปรในการทดสอบ

หลักการทำงานของระบบของชุดทดลองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ทำความร้อนแบบสั่นวงรอบ ซึ่งทำความร้อนจะทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มแสงจากชุดกำเนิดแสงเทียมให้กลายเป็นพลังงานความร้อน โดยพลังงานความร้อนจะถูกส่งถ่ายจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่น โดยสารทำงานภายในทำความร้อนแบบสั่นวงรอบและความร้อนที่ส่วนควบแน่นจะถูกถ่ายเทให้กับตัวกลางที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนซึ่งก็คือ น้ำ โดยน้ำจะไหลเวียนด้วยอัตราการไหลคงที่ เพื่อรับความร้อนจากทำความร้อนแบบสั่นวงรอบ และในการทดสอบระบบได้กำหนดตัวแปรในการทดสอบดังนี้

#### ตัวแปรควบคุม

- อัตราการไหลเข้าออกของน้ำตาม ASHRAE Standard 93-77 คือ  $0.02 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$
- อุณหภูมิที่ทางเข้าของน้ำอยู่ในช่วง  $27-31^{\circ}\text{C}$
- สารทำงานที่ใช้ คือ น้ำกลั่น เนื่องจากน้ำกลั่นมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ทำให้เติมลงในทำความร้อนได้ง่ายและไม่เป็นพิษ และอุณหภูมิการทำงานสูงสุดของการทดลองอยู่ที่ประมาณ  $90^{\circ}\text{C}$  ความดันไอการทำงานของน้ำกลั่นมีค่าประมาณ  $70.2 \text{ kPa}$
- ทำความร้อนแบบสั่นวงรอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเป็น  $1.5 \text{ mm}$  เพราะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของทำความร้อนที่มากที่สุดที่ทำให้น้ำกลั่นภายในทำความร้อนเกิดการเรียงตัวสลับกันระหว่างของเหลวกับฟองไอ ประมาณ  $5.4 \text{ mm}$

#### ตัวแปรต้น

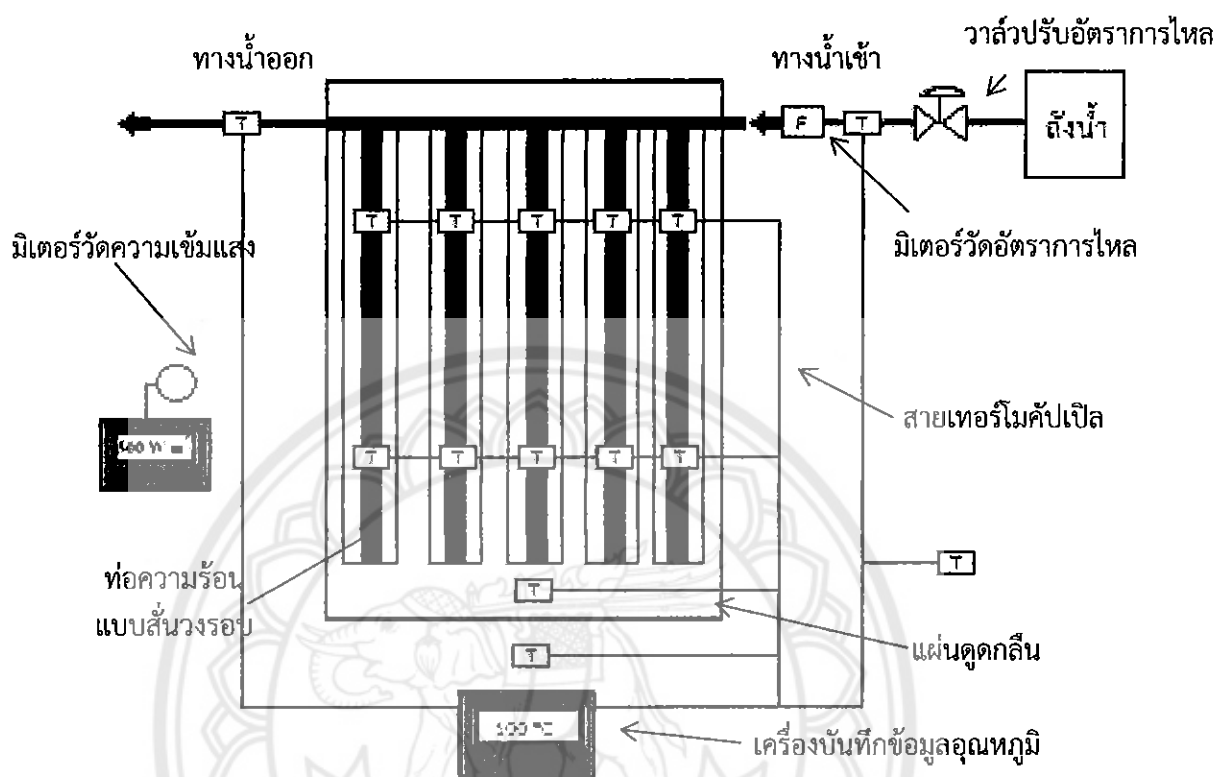
- จำนวนทำความร้อนแบบสั่นวงรอบคือ 5 และ 8 ท่อ
- ทำความร้อนแบบสั่นวงรอบมีความยาวส่วนทำระเหยเท่ากับ  $1 \text{ m}$  และ  $1.5 \text{ m}$
- ทำความร้อนแบบสั่นวงรอบมีจำนวนโค้งเลี้ยวเป็น 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว
- ความเข้มแสงที่ได้จากชุดกำเนิดแสงเทียมที่แรงดันไฟฟ้า  $65-125 \text{ Volts}$  จะมีค่าอยู่ในช่วง  $150-600 \text{ W/m}^2$

#### ตัวแปรตาม

- อุณหภูมิของน้ำร้อนขาออก
- อัตราความร้อนที่น้ำได้รับ
- ประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์



### 3.5 ขั้นตอนการทดลอง



รูปที่ 3.18 แสดงแผนผังของการทดลองและอุปกรณ์ต่างๆ

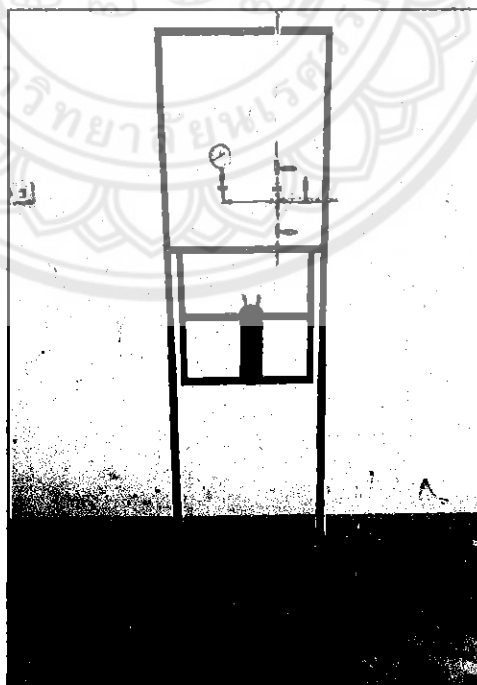
- ทำการติดตั้งชุดท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในจำนวนที่ต้องการทดสอบลงในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ แสดงดังรูปที่ 3.18
- ติดสายเทอร์โมคัปเปิลตามตำแหน่งที่ระบุไว้
- ปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบ โดยปรับให้มีอัตราการไหลคงที่ เท่ากับ  $0.02 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$
- จ่ายกระแสไฟเข้าสู่ระบบโดยปรับค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 65 Volt
- บันทึกผลการทดลอง โดยบันทึกค่าอุณหภูมิ อัตราการไหล ความเข้มแสง โดยจะบันทึกค่าทุกๆ 10 นาที เป็นระยะเวลา 30 นาที
- ปิดแผงควบคุมแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้แผงควบคุมแรงดันไฟฟ้าได้ระบายความร้อน
- ทำการทดลองซ้ำโดยปรับค่าแรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 80, 95, 110 และ 125 Volts
- ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ
- นำข้อมูลที่ได้จากการทดลอง ไปวิเคราะห์หาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ
- จากนั้นทำการทดลองโดยปรับค่าตัวแปรต่าง ๆ ให้ครบตามที่ต้องการศึกษา

### 3.6 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.6.1 ชุดเติมสารทำงานเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เติมสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อน ซึ่งประกอบด้วย ปั๊มสุญญากาศ (Vacuum pump) และ แท่นเติมสารทำงาน แสดงดังรูปที่ 3.19 และ 3.20 ตามลำดับ

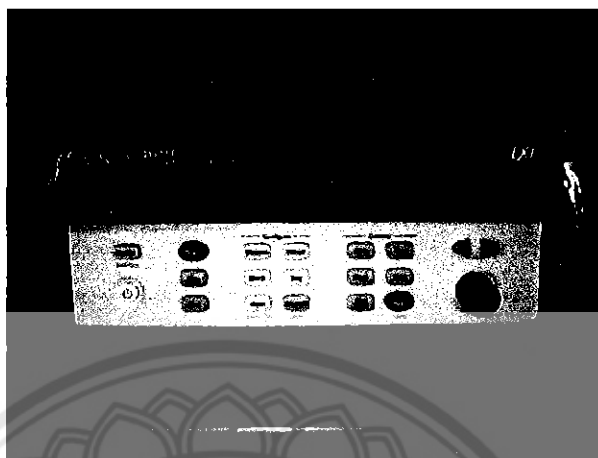


รูปที่ 3.19 แสดงภาพปั๊มสุญญากาศ



รูปที่ 3.20 แสดงภาพแท่นเติมสารทำงาน

3.6.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 34972A ขนาด 40 ช่องสัญญาณ มีความแม่นยำ  $\pm 0.0035^{\circ}\text{C}$  ช่วงการวัด  $-100^{\circ}\text{C}$  ถึง  $1200^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.21 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)

3.6.3 สายเทอร์โมคัปเปิล ยี่ห้อ OMEGA type K ชนิด Chromel-Alumel ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลมีช่วงการวัดอุณหภูมิ  $-40^{\circ}\text{C}$  ถึง  $1200^{\circ}\text{C}$  ความแม่นยำ  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 สายเทอร์โมคัปเปิล

3.6.4 ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ยี่ห้อ KIPP&ZONEN รุ่น SP Lite 2 มีค่าความไวต่อแสงเท่ากับ  $60\text{-}100 \mu\text{V/W/m}^2$  มีค่าความเข้มแสงสูงสุดที่วัดได้  $2000 \text{ W/m}^2$  แสดงดังรูปที่ 3.23 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความเข้มแสงที่ทำงานร่วมกับมัลติมิเตอร์ในการวัดและแสดงค่า โดยค่าที่อ่านได้จากมัลติมิเตอร์  $1 \text{ mV}$  จะมีค่าเทียบเท่า  $10 \text{ W/m}^2$



รูปที่ 3.23 ไพรานอมิเตอร์

3.6.5 มัลติมิเตอร์ (Multimeter) ยี่ห้อ EXTECH รุ่น MM560A ประเภท : Hand Held, PC Interface ความแม่นยำ :  $\pm 0.02 \%$  ขอบเขตแรงดันไฟฟ้า :  $500 \text{ mV}$  to  $1000 \text{ V}$  ขอบเขตความสามารถในการประจุกระแสไฟ :  $50 \text{ nF}$  to  $9999 \mu\text{F}$  แสดงดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 มัลติมิเตอร์

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

การวิเคราะห์ผลการทดลองของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบ สัณวงรอบนั้น ประกอบด้วย การเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของชุดกำเนิดแสงเทียบกับค่าความเข้ม แสงอาทิตย์จริง เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเข้มแสงที่ต่างกันของชุดกำเนิดแสงเทียบกับแสงอาทิตย์จริง และทำการวิเคราะห์ผล จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะทางความร้อนของต่อความร้อนแบบ สัณวงรอบ โดยมีการปรับ ความยาวส่วนทำระเหย จำนวนโค้งเลี้ยวและจำนวนท่อ ของต่อความร้อน แบบสัณวงรอบให้ แตกต่างกันและวิเคราะห์ผลเพื่อหา ความยาวส่วนทำระเหย จำนวนโค้งเลี้ยวและ จำนวนท่อ ที่เหมาะสมของต่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่ดีที่สุดในการใช้งานและเพื่อให้ได้ ประสิทธิภาพสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบสัณวงรอบ

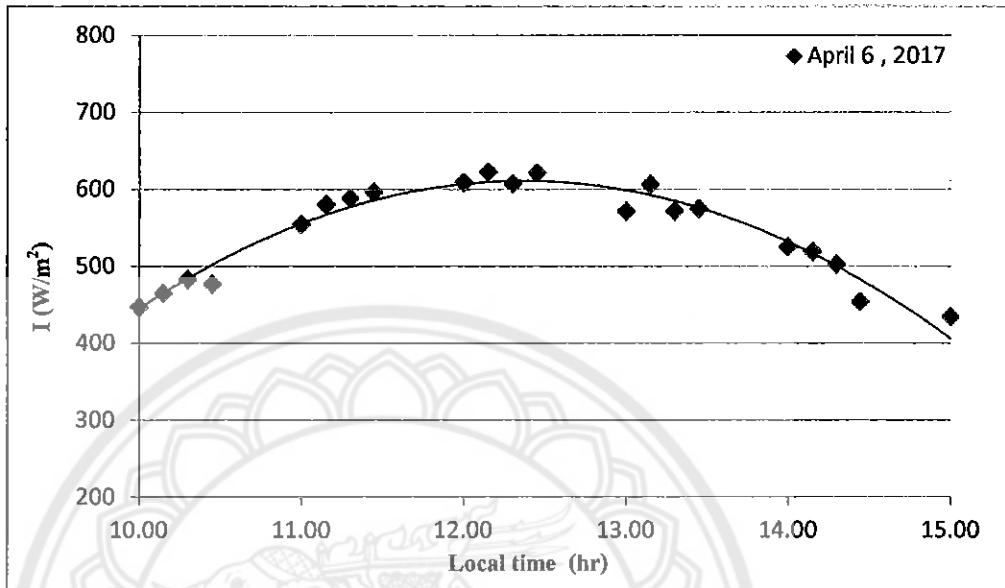
#### 4.1 การเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของชุดกำเนิดแสงเทียบกับค่าความเข้ม แสงอาทิตย์จริง

##### 4.1.1 แสงอาทิตย์จริง

##### 4.1.1.1 วิเคราะห์ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จริง

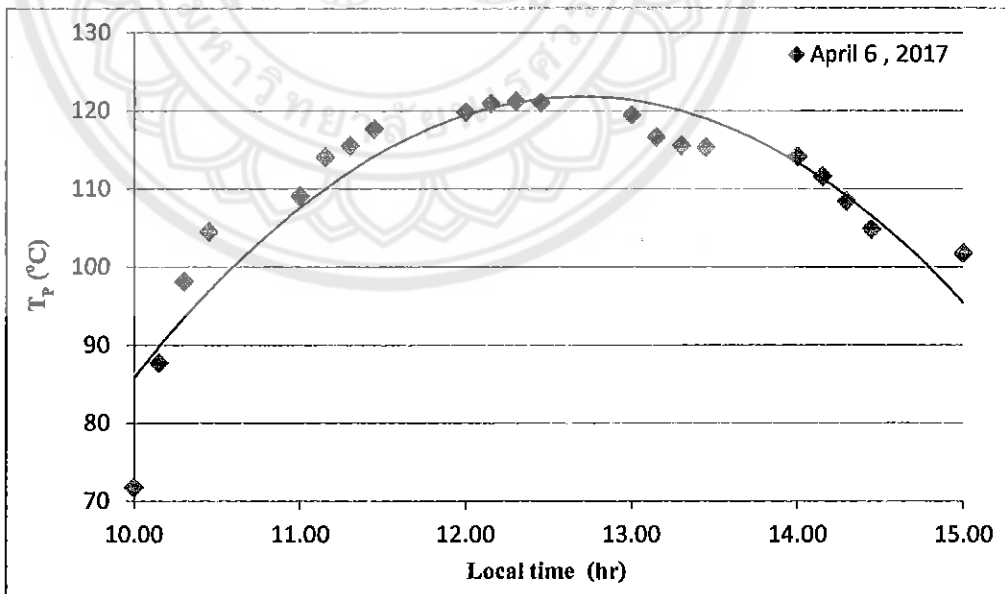
การเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ได้ทำในวันที่ 6 เมษายน 2560 ซึ่งทำการ บันทึกค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ช่วงเวลา 10.00 น. – 15.00 น. โดยมีการติดตั้งให้ตัวรับรังสี แสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบหันหน้าไปทางทิศใต้และเอียงทำมุม  $18^{\circ}$  กับแนวระดับ ผลการสอบเทียบ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ ที่ เวลา 10.00 น. จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ค่อนข้างต่ำ คือ  $446.7 \text{ W/m}^2$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นไป เรื่อย ๆ ไปจนถึงเวลา 12.15 น. จะมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุด คือ  $622.4 \text{ W/m}^2$  เพราะเป็น

ช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมากที่สุดและค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงเรื่อย ๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.00 น. ไปจนถึงเวลา 15.00 น.



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลา

#### 4.1.1.2 วิเคราะห์ค่าอุณหภูมิแผ่นดูดกลืน

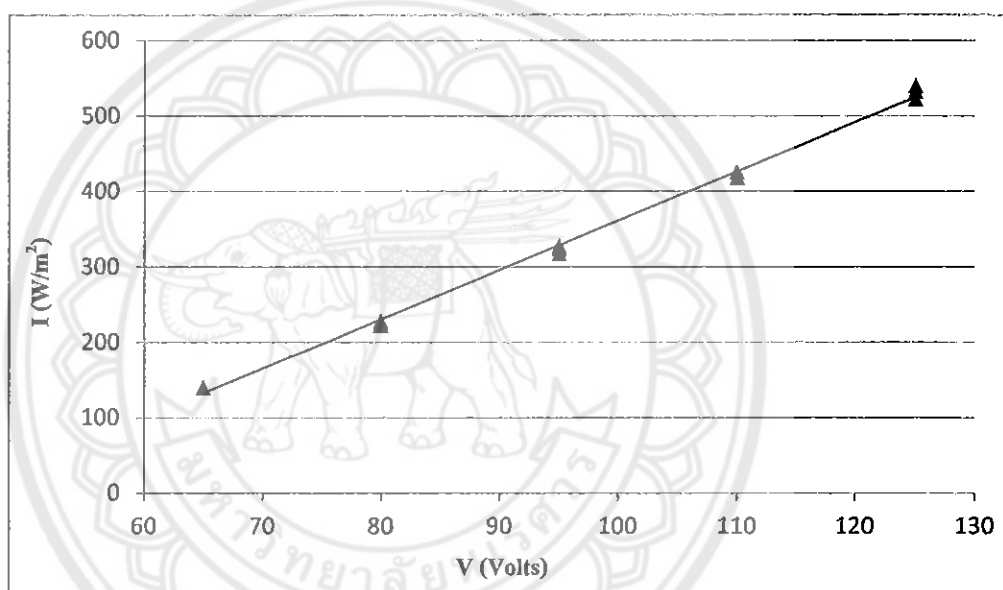


รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนเทียบกับเวลา

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ ที่เวลา 10.00 น. จะมีค่าอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนค่อนข้างต่ำ คือ  $71.8^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆ ไปจนถึงเวลา 12.30 น. มีค่าอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนสูงสุด คือ  $121.2^{\circ}\text{C}$  เพราะเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับตัวรับรังสี แสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมากที่สุดและค่าอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนจะเริ่มลดลงเรื่อย ๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 12.30 น. ไปจนถึงเวลา 15.00 น.

#### 4.1.2 แสงอาทิตย์เทียม

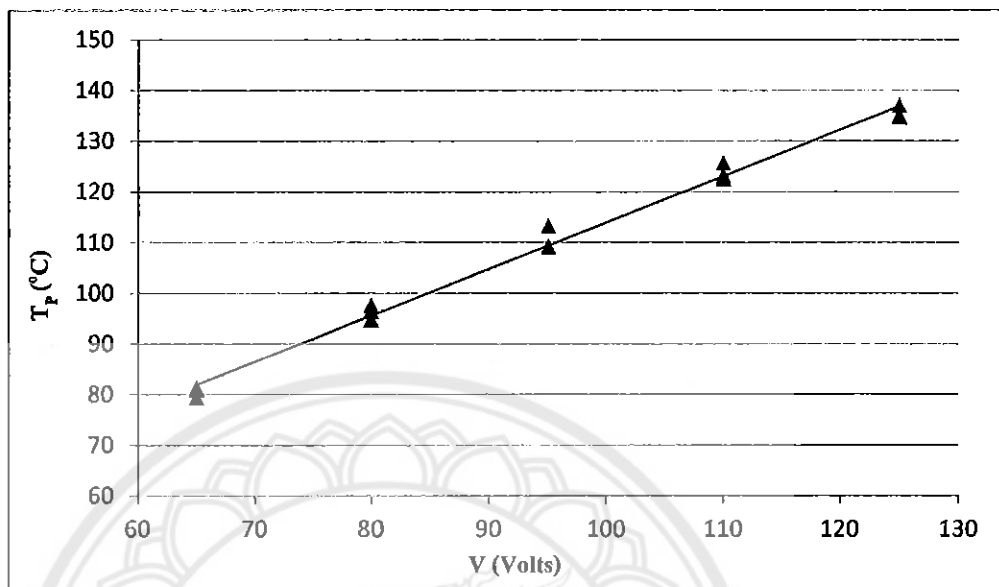
##### 4.1.2.1 วิเคราะห์ค่าความเข้มแสงอาทิตย์เทียม



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์เทียมเทียบกับแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงอาทิตย์เทียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นและกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ 65 Volt จะมีค่าความเข้มแสงประมาณ  $140 \text{ W/m}^2$  และที่ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นที่ 80, 95, 110 และ 125 Volts จะมีค่าความเข้มแสงประมาณ 220, 320, 425 และ  $520 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ

#### 4.1.2.2 วิเคราะห์ค่าอุณหภูมิแผ่นดุกกลืน



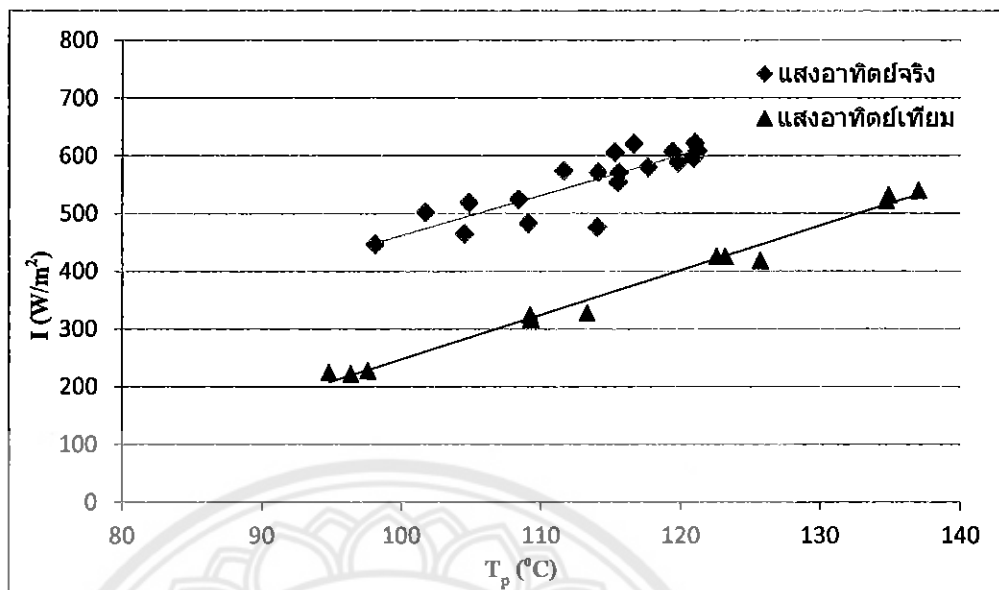
รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแผ่นดุกกลืนเทียบกับแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิแผ่นดุกกลืนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าแรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นและกราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง เนื่องจากค่าความเข้มแสงที่ได้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับเวลาแต่ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้ากราฟจึงมีลักษณะเป็นเส้นตรง โดยค่าแรงดันไฟฟ้าต่ำสุดที่ 65 Volt จะมีค่าอุณหภูมิแผ่นดุกกลืนประมาณ 80°C และที่ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นไป 80, 95, 110 และ 125 Volts จะมีค่าอุณหภูมิแผ่นดุกกลืนประมาณ 95, 110, 123 และ 135°C ตามลำดับ

#### 4.1.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความเข้มแสงอาทิตย์กับค่าอุณหภูมิแผ่นดุกกลืนระหว่างชุดกำเนิดแสงเทียบกับแสงอาทิตย์จริง

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิของแผ่นดุกกลืนมีค่าสูงขึ้นค่าความเข้มของแสงอาทิตย์จริงเทียบกับแสงอาทิตย์เทียมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและมีค่าแตกต่างกันน้อยลง โดยที่ค่าอุณหภูมิแผ่นดุกกลืนค่าเดียวกันชุดกำเนิดแสงเทียมมีค่าความเข้มแสงที่ต่ำกว่าแสงอาทิตย์จริง เมื่อพิจารณาสมการเส้นตรงของแสงอาทิตย์จริง พบว่ามีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยต่างกันเท่ากับ 35%



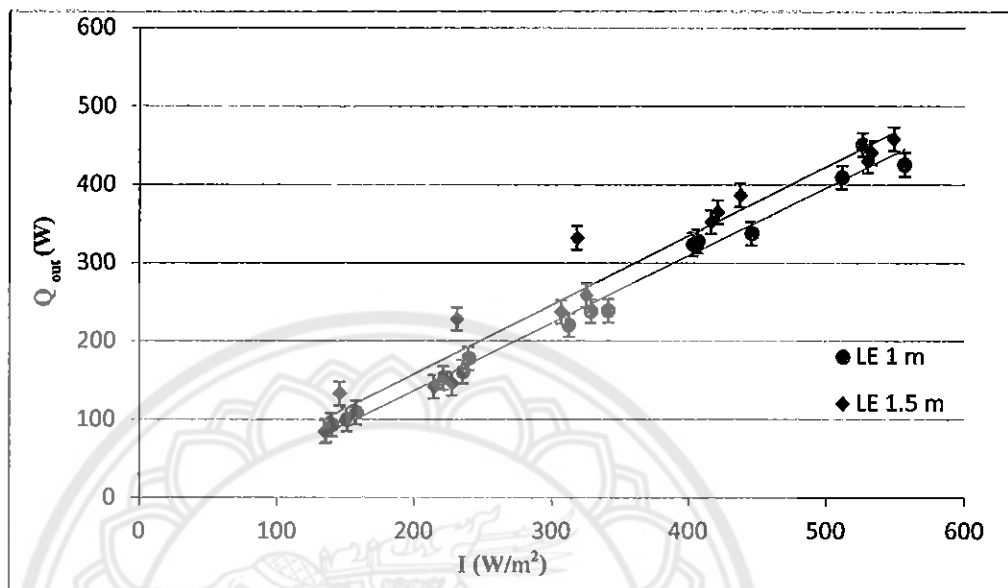


รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนของชุดกำเนิดแสงเทียมกับแสงอาทิตย์จริง

#### 4.2 ผลกระทบของความยาวส่วนทำระเหยที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ

การทดลองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหยเป็น 1 m และ 1.5 m เพื่อเปรียบเทียบค่าสมรรถนะทางความร้อนและความยาวส่วนทำระเหยที่เหมาะสมโดยใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15 โค้งเลี้ยวและจำนวนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ 5 ชุด ในการทดลองได้ผลดังนี้

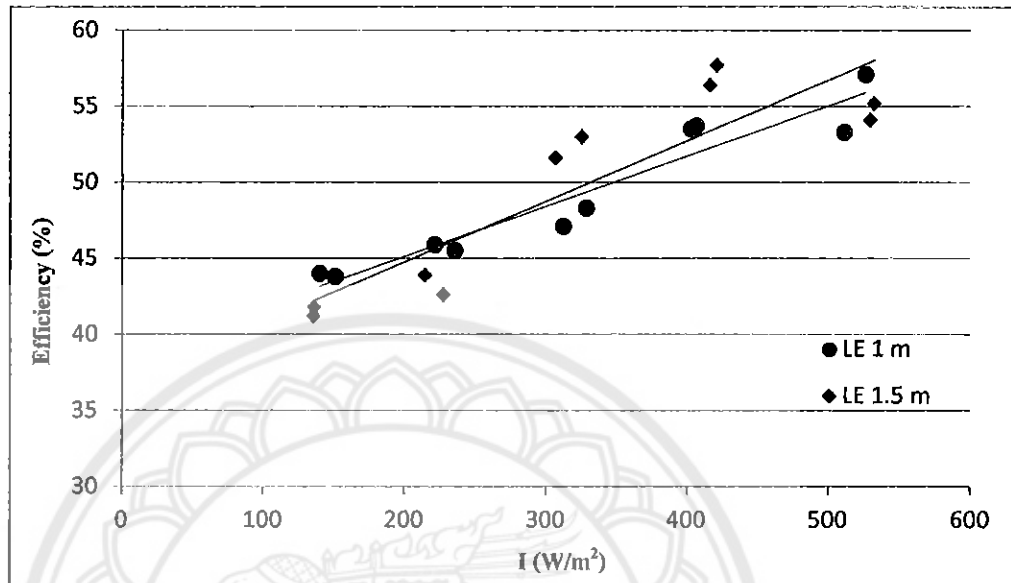
4.2.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และ 1.5 m



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหยเป็น 1 m และ 1.5 m

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของทั้ง 2 การทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มแสงมีค่ามากขึ้น และพบว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m นั้นที่ค่าความเข้มแสงสูงสุดมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 450 W และที่ความยาวส่วนทำระเหย 1.5 m นั้นที่ค่าความเข้มแสงสูงสุดมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 458 W เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาด (error bar) ของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการทดลอง มีค่าประมาณ  $\pm 15$  W พบว่าค่าความผิดพลาดของทั้ง 2 การทดลอง มีการซ้อนทับกันของข้อมูลที่ค่าความเข้มแสงเดียวกัน จึงสรุปได้ว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และ 1.5 m มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ใกล้เคียงกัน โดยตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1.5 m มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าเล็กน้อย ประมาณ 1.7%

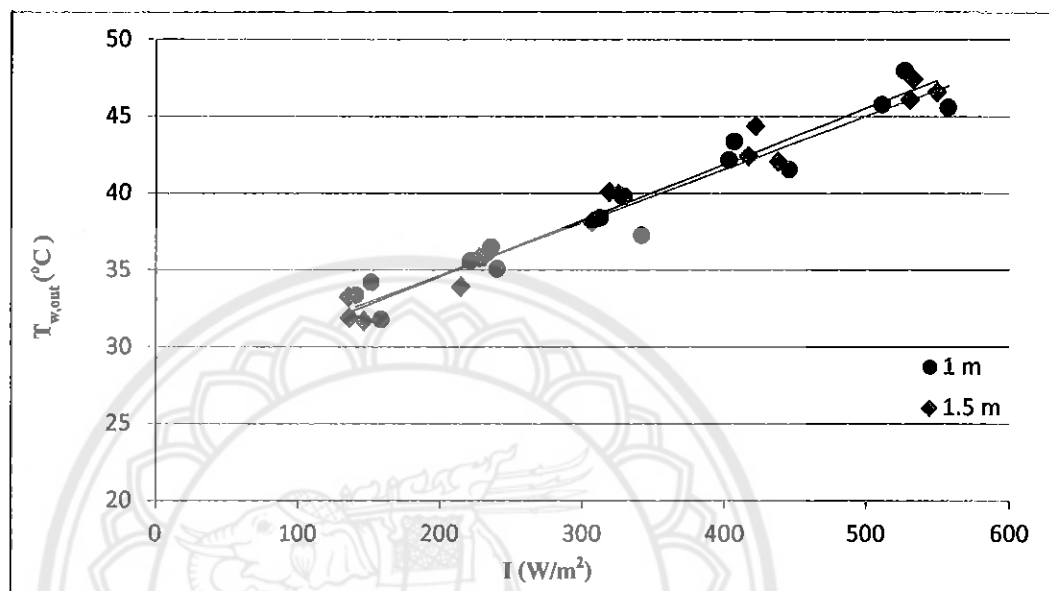
4.2.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และ 1.5 m



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหยเป็น 1 m และ 1.5 m

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของทั้ง 2 การทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มแสงมากขึ้น และพบว่าที่ค่าความเข้มแสงช่วง  $150\text{-}250 \text{ W/m}^2$  ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m จะมีค่าประสิทธิภาพมากกว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1.5 m โดยมากกว่าประมาณ 4.5% และที่ค่าความเข้มแสงช่วง  $300\text{-}500 \text{ W/m}^2$  ค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1.5 m จะมีค่าสูงกว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m โดยมากกว่าประมาณ 6% และเมื่อเทียบค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยที่ความเข้มแสงสูงสุด พบว่าค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของทั้ง 2 การทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยแตกต่างกันน้อยกว่าประมาณ 1%

4.2.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำขาออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้  
ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และ 1.5 m

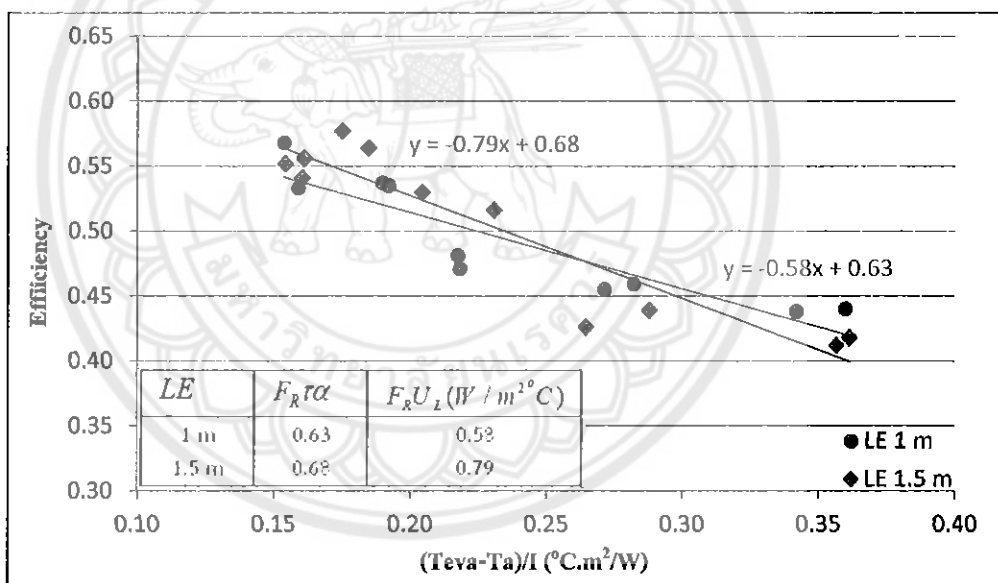


รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหยเป็น 1 m และ 1.5 m

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิน้ำขาออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้น ที่ค่าความเข้มแสงต่ำสุดประมาณ  $150 \text{ W/m}^2$  ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหยเป็น 1 m และ 1.5 m มีค่าอุณหภูมิน้ำขาออกเฉลี่ยเท่ากับ  $32.5^{\circ}\text{C}$  และ  $33^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นและสูงสุดประมาณ  $530 \text{ W/m}^2$  มีค่าอุณหภูมิน้ำขาออกเฉลี่ยเท่ากับ  $46.9^{\circ}\text{C}$  และ  $47^{\circ}\text{C}$  จากค่าอุณหภูมิน้ำขาออกพบว่าท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหยเป็น 1 m และ 1.5 m มีค่าอุณหภูมิน้ำขาออกที่ไม่แตกต่างกัน โดยท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหยเป็น 1.5 m มีค่าอุณหภูมิน้ำขาออกเฉลี่ยมากกว่า 0.2%

4.2.4 วิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ทำนายค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และ 1.5 m

จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากข้อมูลการทดลองของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบมีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และ 1.5 m จะได้ค่าความสามารถการดูดกลืนความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบซึ่งเป็นค่า  $F_R \tau \alpha$  หรือค่าจุดตัดบนแกน Y จากสมการเส้นตรง และเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบซึ่งเป็นค่า  $F_R U_L$  หรือค่าความชันของสมการเส้นตรง ได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับค่า  $(T_{\text{eva}} - T_a) / I$  ของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และ 1.5 m

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1.5 m มีค่าความสามารถการดูดกลืนความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนเท่ากับ 0.68 และ 0.79  $W/m^2 \cdot ^\circ C$  ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m ที่มีค่าความสามารถการดูดกลืนความร้อนและสูญเสียความร้อนเท่ากับ 0.63 และ 0.58  $W/m^2 \cdot ^\circ C$

ตามลำดับ ถึงแม้ว่าท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1.5 m จะมีค่าความสามารถการดูดกลืนความร้อนสูงกว่าท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m แต่ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1.5 m ก็มีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนมากกว่าด้วย จึงทำให้มีประสิทธิภาพและอัตราการถ่ายเทความร้อนใกล้เคียงกันกับท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความยาวส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบมีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนที่ของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อย อย่างไรก็ตามความยาวส่วนทำระเหยที่เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้สัมประสิทธิ์ค่าสูญเสียความร้อนเพิ่มขึ้น

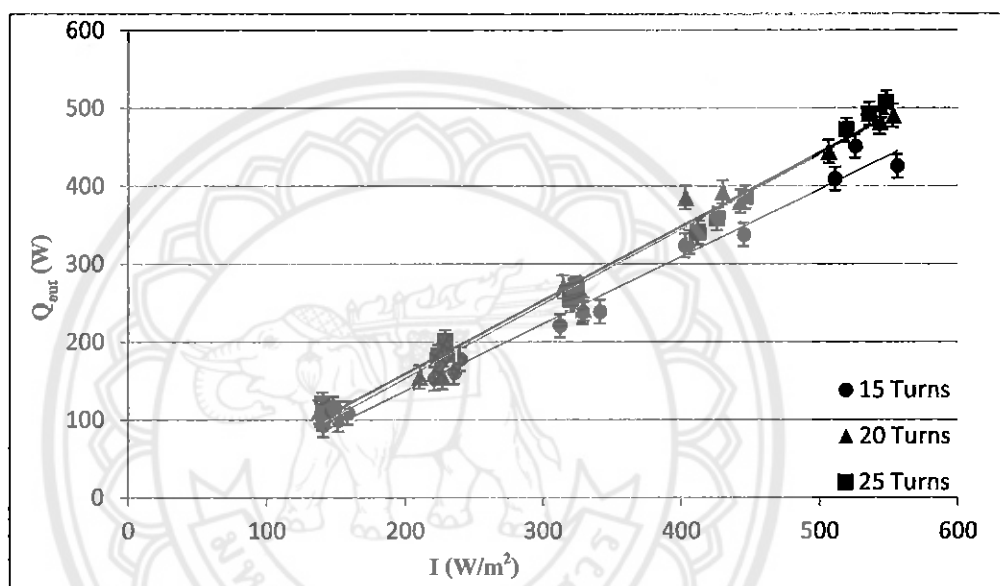
#### 4.3 ผลกระทบของจำนวนโค้งเลี้ยวที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ

จากการทดลองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และ 1.5 m ได้ผลสรุปว่าความยาวส่วนทำระเหยที่เหมาะสม คือ 1 m ดังนั้นจึงได้นำท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และจำนวนท่อความร้อน 5 ชุดมาทดลองต่อเพื่อศึกษาผลของจำนวนโค้งเลี้ยวที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบ โดยในการทดลองกำหนดให้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบมีจำนวนโค้งเลี้ยวเป็น 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว ได้ผลดังนี้

##### 4.3.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าที่ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15 โค้งเลี้ยว มีค่าต่ำที่สุดเพียง 450 W ที่ค่าความเข้มแสงสูงสุดประมาณ  $550 \text{ W/m}^2$  เมื่อเทียบกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 20 และ 25 โค้งเลี้ยว และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างจำนวนโค้งเลี้ยว 20 และ 25 โค้งเลี้ยว ที่ค่าความเข้มแสงสูงสุดพบว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั้นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 25 โค้งเลี้ยว

มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน 507 W ซึ่งสูงกว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 20 โค้งเลี้ยว ซึ่งมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน 490 W เมื่อพิจารณาค่าความผิดพลาด ของการทดลองทั้ง 2 พบว่ามีการซ้อนทับกันของข้อมูล จึงสรุปได้ว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 20 และ 25 โค้งเลี้ยว มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ใกล้เคียงกัน โดยต่ำกว่าประมาณ 3%

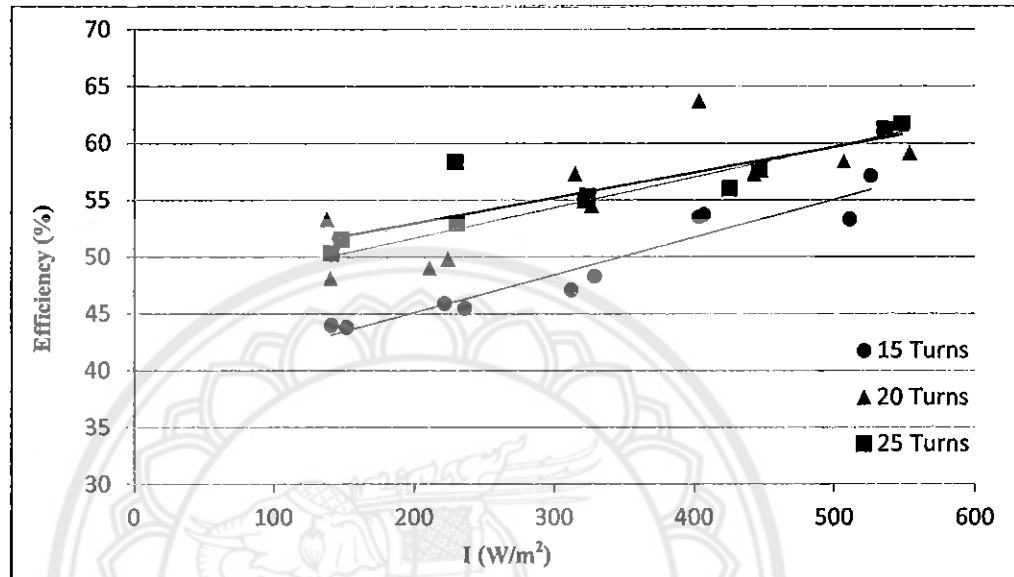


รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบกับความเข้มแสงของต่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว

4.3.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15 โค้งเลี้ยว มีค่าต่ำที่สุดอย่างเห็นได้ชัดที่ค่าความเข้มแสงเดียวกัน เมื่อเทียบกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 20 และ 25 โค้งเลี้ยว และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างจำนวนโค้งเลี้ยว 20 และ 25 โค้งเลี้ยว ที่ค่าความเข้มสูงสุดพบว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 25 โค้งเลี้ยว มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าตัวรับรังสี

แสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ทำความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 20 โค้งเลี้ยว เพียงเล็กน้อยประมาณ 3%



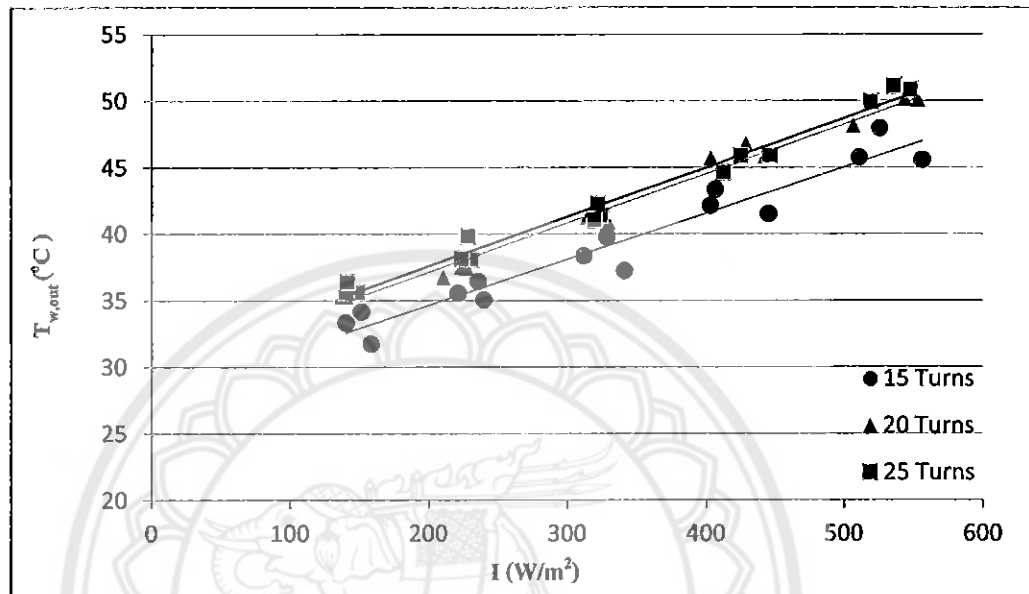
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว

4.3.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำขาออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าค่าอุณหภูมิน้ำขาออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงเมื่อค่าความเข้มแสงสูงขึ้น และจากกราฟพบว่าที่ค่าความเข้มแสงสูงสุดท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 25 โค้งเลี้ยว มีค่าอุณหภูมิน้ำขาออกเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ  $50.7^{\circ}\text{C}$  และท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15 และ 20 โค้งเลี้ยว มีค่าอุณหภูมิน้ำเฉลี่ยสูงสุดเพียง  $46.5^{\circ}\text{C}$  และ  $49.4^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 25 โค้งเลี้ยว ให้อุณหภูมิน้ำขาออกเฉลี่ยสูงสุด เมื่อเทียบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15 โค้งเลี้ยว โดยสูงกว่าประมาณ 8.3% แต่เมื่อเทียบกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 20 โค้งเลี้ยวแล้ว ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อน



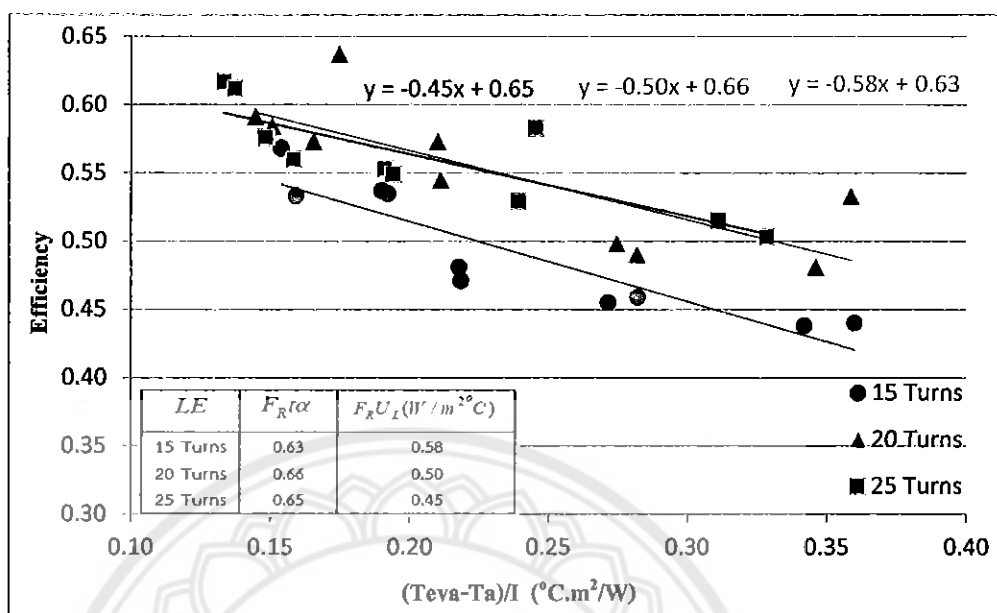
แบบสัณวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 25 โค้งเลี้ยว มีค่าอุณหภูมิน้ำขาออกเฉลี่ยสูงกว่าเพียงเล็กน้อย โดยมากกว่าประมาณ 2.5%



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว

4.2.4 วิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ทำนายค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว มีค่าความสามารถดูดกลืนความร้อนเท่ากับ 0.63, 0.66 และ 0.65 ตามลำดับ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนมีค่าเท่ากับ 0.58, 0.50 และ 0.45  $W/m^2^{\circ}C$  ตามลำดับ จากสมการเส้นตรงพบว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 20 โค้งเลี้ยว มีค่าความสามารถดูดกลืนความร้อนมากที่สุด เมื่อเทียบกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15 โค้งเลี้ยว โดยมากกว่าประมาณ 4.5% แต่มีค่าความสามารถดูดกลืนความร้อนมากกว่าเล็กน้อย เมื่อเทียบกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 25 โค้งเลี้ยว มากกว่าประมาณ 1.5%



รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับค่า  $(T_{eva}-T_a)/I$  ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว

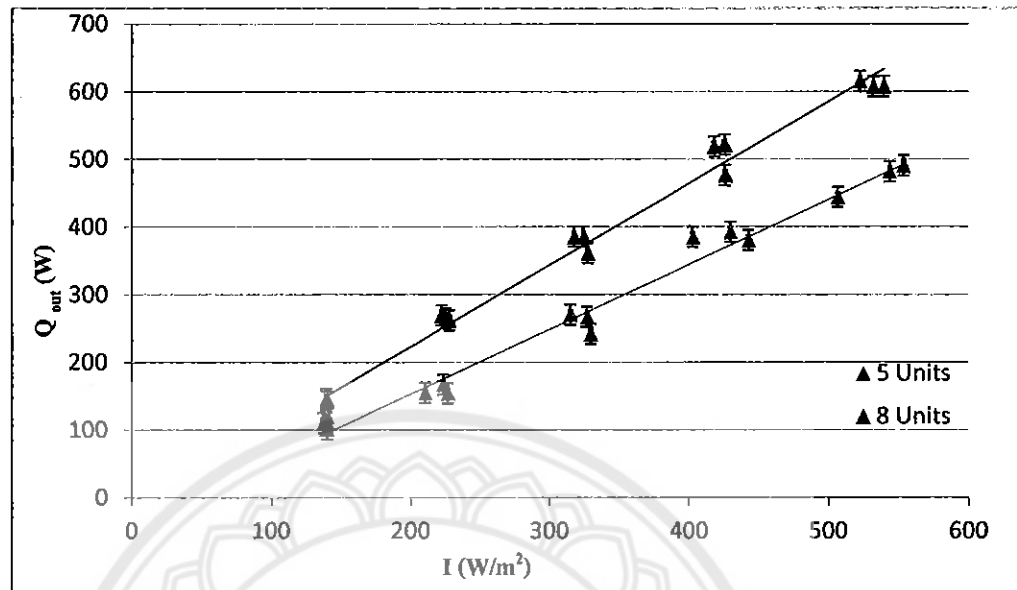
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบมีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบ สาเหตุที่ทำให้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 25 โค้งเลี้ยว มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพมากกว่าท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 20 โค้งเลี้ยว เล็กน้อย ถึงแม้ว่าท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 25 โค้งเลี้ยว มีค่าความสามารถดูดกลืนความร้อนน้อยกว่า แต่ก็มีความสัมพันธ์การสูญเสียความร้อนที่น้อยกว่าเช่นกัน เนื่องจากท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 20 โค้งเลี้ยว มีราคาต้นทุนการก่อสร้างที่ต่ำกว่า และพบว่าเมื่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพใกล้เคียงกับท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนโค้งเลี้ยว 25 โค้งเลี้ยว ดังนั้นจำนวนโค้งเลี้ยวของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่เหมาะสมของการทดลอง คือ 20 โค้งเลี้ยว

#### 4.4 ผลกระทบของจำนวนท่อที่มีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบ

จากการทดลองตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบ สามารถสรุปได้ว่าความยาวส่วนทำระเหยที่เหมาะสมของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบ คือ 1 m และจำนวนโค้งเลี้ยงที่เหมาะสมของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบ คือ 20 โค้งเลี้ยง ดังนั้นจึงได้นำท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีความยาวส่วนทำระเหย 1 m และจำนวนโค้งเลี้ยง 20 โค้งเลี้ยง มาทดลองต่อเพื่อศึกษาผลของจำนวนท่อที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบ โดยกำหนดให้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบมีจำนวนท่อเป็น 5 และ 8 ชุด ได้ผลดังนี้

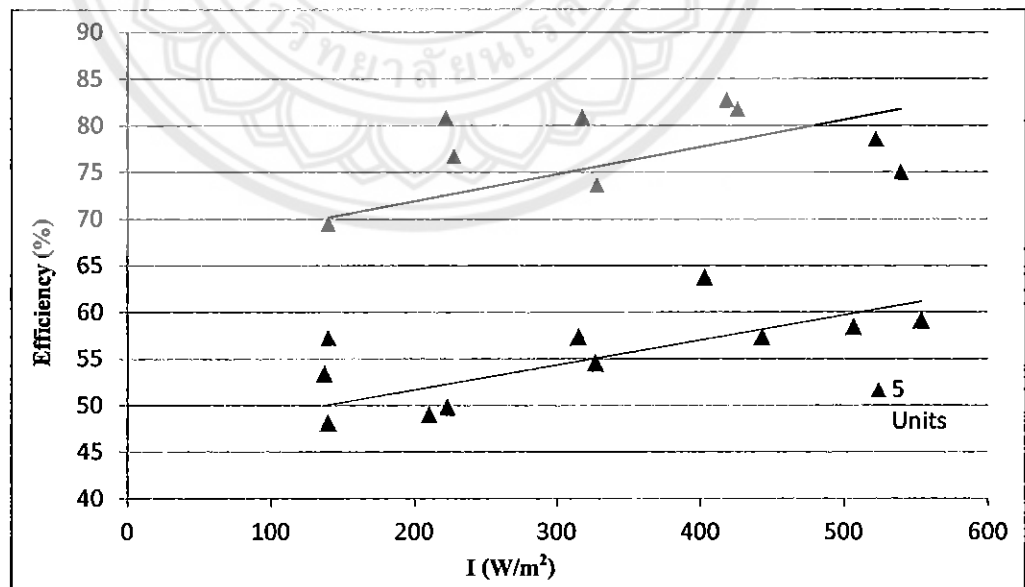
##### 4.4.1 วิเคราะห์เปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าค่าอัตราการถ่ายความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มแสงมีค่ามากขึ้นที่ค่าความเข้มแสงสูงสุดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนท่อ 8 ชุด มีค่าอัตราการถ่ายความร้อนเท่ากับ 607 W ซึ่งมากกว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 ชุด ที่มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 490 W อย่างเห็นได้ชัด โดยมากกว่าประมาณ 20% สาเหตุที่ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนท่อ 8 ชุด มีค่าอัตราการถ่ายความร้อนมากกว่าท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 ชุด คือ ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนท่อ 8 ชุด มีพื้นที่ดูดกลืนความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่วนทำระเหยและพื้นที่ผิวสัมผัสที่ส่วนควบแน่นในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำมากกว่าท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 ชุด



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด

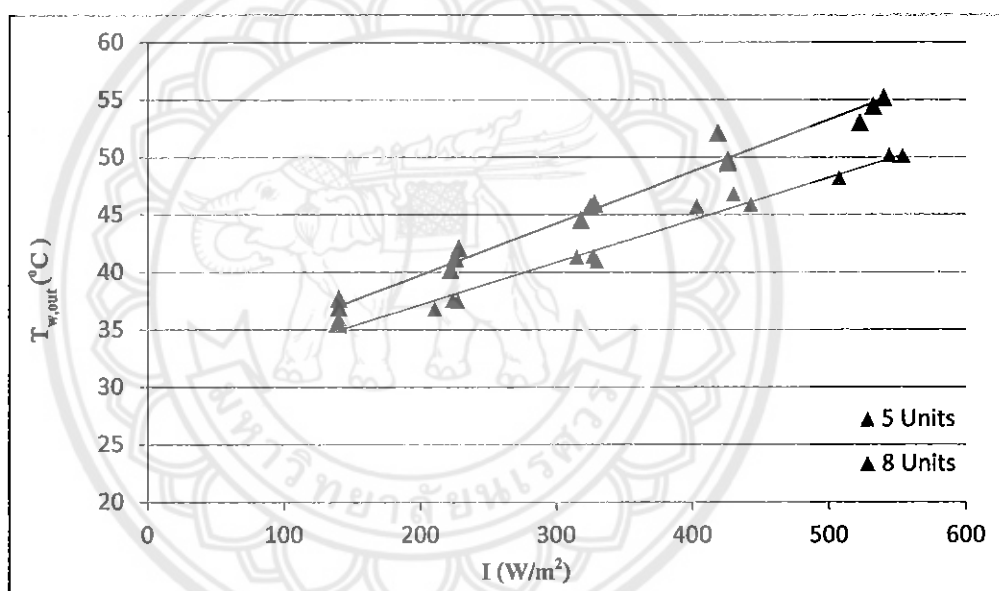
#### 4.4.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด



รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับความเข้มแสงของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าค่าประสิทธิภาพของทั้ง 2 การทดลองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มแสงมีค่าเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ค่าความเข้มแสงสูงสุดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 8 ชุด มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 75% ซึ่งสูงกว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 ชุด ที่มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 59%

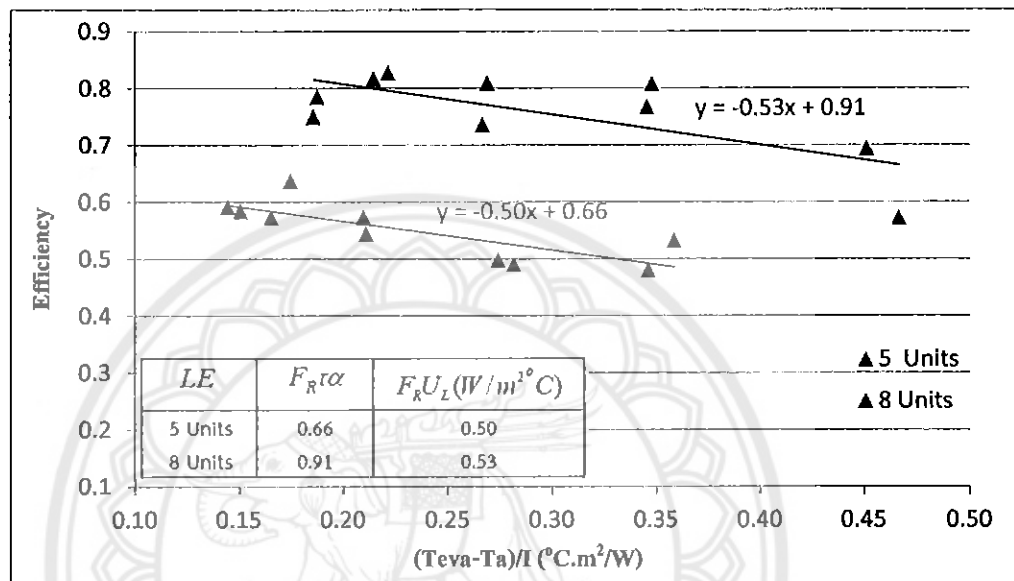
4.4.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำขาออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำขาออกเทียบกับความเข้มแสงของต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของน้ำขาออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อค่าความเข้มแสงมากขึ้น และจากกราฟพบว่าที่ค่าความเข้มแสงสูงสุดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 8 ชุด มีค่าอุณหภูมิน้ำขาออกเฉลี่ยสูงสุด 54.2 °C ซึ่งมากกว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 ชุด ที่มีค่าอุณหภูมิน้ำขาออกเฉลี่ยเพียง 49.5 °C โดยมากกว่าประมาณ 9%

4.4.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ทำนายค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด



รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเทียบกับค่า  $(T_{eva}-T_a)/I$  ของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 และ 8 ชุด

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 8 ชุด มีค่าความสามารถดูดกลืนความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนเท่ากับ 0.91 และ  $0.53 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$  ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 ชุด ที่มีค่าความสามารถดูดซับความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนเท่ากับ 0.66 และ  $0.50 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$  ตามลำดับ จากผลดังกล่าวจึงทำให้ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 8 ชุด มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพมากกว่าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 ชุด เพราะท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 8 ชุด มีพื้นที่ดูดกลืนความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ส่วนทำระเหยและพื้นที่ผิวสัมผัสที่ส่วนควบแน่นในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำมากกว่าท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่มีจำนวนท่อ 5 ชุด

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าจำนวนของท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อค่าประสิทธิภาพ อัตราการถ่ายเทความร้อน และอุณหภูมิน้ำร้อนขาออกของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบเพิ่มขึ้นด้วย

#### 4.5 เปรียบเทียบการผลทดลองกับงานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

จากผลการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ T. Hudakorn และ P. Terdtoon (2010) ซึ่งได้ใช้ท่อความร้อนแบบส่นวงรอบจำนวน 5 ชุด และความยาวส่วนทำระเหย 1 m เหมือนกัน แต่สารทำงานที่ใช้จะแตกต่างกัน โดยงานวิจัยของ T. Hudakorn และ P. Terdtoon ใช้สารทำความเย็น R-134a และงานวิจัยของปัจจุบันใช้น้ำกลั่น ที่อัตราการไหล  $0.02 \text{ kg/m}^2 \text{ s}$

	งานวิจัยปัจจุบัน	งานวิจัยของ T. Hudakorn และ P. Terdtoon
$F_R \tau \alpha$	0.63	0.67
$F_R U_L (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$	0.58	0.23

จากตารางจะเห็นได้ว่างานวิจัยของ T. Hudakorn และ P. Terdtoon มีค่าความสามารถการดูดกลืนความร้อนเท่ากับ 0.67 ซึ่งมากกว่างานวิจัยปัจจุบันที่มีค่าความสามารถการดูดกลืนความร้อนเท่ากับ 0.63 มากกว่าประมาณ 6% และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของงานวิจัยของ T. Hudakorn และ P. Terdtoon มีค่าเท่ากับ  $0.23 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  ซึ่งน้อยกว่างานวิจัยปัจจุบันที่มีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน  $0.58 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  น้อยกว่าประมาณ 60% และที่ค่า  $(T_{\text{eva}} - T_a)/I$  ช่วง  $0.1-0.4 \text{ } ^\circ\text{C.m}^2/\text{W}$  ของงานวิจัยของ T. Hudakorn และ P. Terdtoon และงานวิจัยปัจจุบัน มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับ 55-65% และ 43-57% ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพของงานวิจัยปัจจุบันมีค่าน้อยกว่า เพราะสารทำงานที่ใช้ต่างชนิดกันและพื้นที่รับแสงของงานวิจัยปัจจุบันมีค่าน้อยกว่า โดยพื้นที่รับแสงของงานวิจัยปัจจุบันมีค่าเท่ากับ  $1.5 \text{ m}^2$  แต่งานวิจัยของ T. Hudakorn และ P. Terdtoon มีพื้นที่รับแสงเท่ากับ  $2 \text{ m}^2$

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ที่ค่าอุณหภูมิแผ่นดูดกลืนค่าเดียวกันชุดกำเนิดแสงเทียมมีค่าความเข้มแสงที่ต่ำกว่าแสงอาทิตย์จริง โดยค่าความเข้มแสงเฉลี่ยต่ำกว่าประมาณ 35%

5.1.2 ความยาวส่วนทำระเหยของท่อความร้อนแบบสัณวงรอบมีผลค่อนข้างเล็กน้อยต่อสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบ และที่ค่าความเข้มแสงสูงสุดประมาณ  $530 \text{ W/m}^2$  ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่มีความยาวส่วนทำระเหยเท่ากับ 1 m และ 1.5 m มีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 55.2% และ 54.7% ตามลำดับ

5.1.3 จำนวนโค้งเลี้ยวมีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนที่ของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบและที่ค่าความเข้มแสงสูงสุดประมาณ  $540 \text{ W/m}^2$  ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ที่มีจำนวนโค้งเลี้ยวเท่ากับ 15, 20 และ 25 โค้งเลี้ยว มีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 55.2%, 58.8% และ 61.5% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาจากความผิดพลาดแล้วจะเห็นว่าที่จำนวนโค้งเลี้ยวเท่ากับ 20 และ 25 โค้งเลี้ยว มีค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

5.1.4 จำนวนท่อมีผลต่อสมรรถนะทางความร้อนที่ของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบและที่ค่าความเข้มแสงสูงสุดประมาณ  $535 \text{ W/m}^2$  ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบที่มีจำนวนท่อเท่ากับ 5 ชุด และ 8 ชุด มีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 58.8% และ 76.8% ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความยาวส่วนทำระเหยจำนวนโค้งเลี้ยวและจำนวนท่อที่เหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูงสุดของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสัณวงรอบ คือ 1 m 20 โค้งเลี้ยว และ 8 ท่อ ตามลำดับ โดยมีค่าอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ย อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย และประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ  $54^\circ\text{C}$ , 610 W และ 76.5% ตามลำดับ



## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรปรับปรุงชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้าของชุดกำเนิดแสงเทียมให้สามารถระบายความร้อนได้ดีขึ้น เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการทดลองให้มากขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการทดลองเป็นเวลานานจะทำให้ชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้าของชุดกำเนิดแสงเทียมมีอุณหภูมิสูงเกินไปส่งผลให้ชุดสวิตช์หรือแสง (Dimmer switch) ของชุดควบคุมแรงดันไฟฟ้าของชุดกำเนิดแสงเทียมไม่สามารถควบคุมความเข้มแสงให้คงที่ได้

5.2.2 ควรมีเครื่องมือสำหรับวัดและควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่มีมาตรฐาน เพื่อให้สามารถวัดควบคุมอัตราการไหลให้คงที่มากยิ่งขึ้น เช่น KELCO MF20 เป็นเครื่องมือควบคุมอัตราการไหลแบบหุ่น เหมาะสำหรับการควบคุมอัตราการไหลต่ำ

5.2.3 จากการทดลองเปรียบเทียบค่าความเข้มแสงของชุดกำเนิดแสงเทียมกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์จริง จะเห็นว่าชุดกำเนิดแสงเทียมให้ค่าความเข้มแสงน้อยกว่าแสงอาทิตย์จริงถึง 35% โดยเฉลี่ย เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบสันนวงรอบสูงขึ้น จึงควรพัฒนาชุดกำเนิดแสงเทียมให้ค่าความเข้มแสงใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์จริงมากที่สุด เช่น เปลี่ยนหลอดฮาโลเจนจากหลอด 1500 W ลดลงเหลือ 1000 W

## บรรณานุกรม

- [1] งานวิจัยของ P. Charoensawan และ P. Terdtoon (2008) เรื่อง การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่วางตัวอยู่ในแนวระดับ
- [2] งานวิจัยของ T. Hudakorn และ P. Terdtoon (2010) เรื่อง การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ
- [3] งานวิจัยของ S. Rittidech และ S. Wannapakne (2006) เรื่อง การศึกษาเชิงการทดลองสมรรถนะของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์โดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นปลายปิด
- [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2557) พลังงานแสงอาทิตย์. In กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, สารานุกรมพลังงานทดแทน (pp.20, 23, 42). กรุงเทพมหานคร, ประเทศไทย.
- [5] ปรินญาณีพนธ์ของ ทวีชัย เจนจบ และคณะ. “การศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ”. ปรินญาณีพนธ์ วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2555 .
- [6] D. A . Reay, P. A . Kew and R. J . McGlen, P. “Heat pipes” 6th ed. USA : Elsevier, (2014).
- [7] Solar Smile Knowledge. (2013). การยึดและการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ (ออนไลน์). แหล่งที่มา: <https://solarsmileknowledge.wordpress.com/tag/การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์>. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2559.
- [8] ปิยะนันท์ เจริญสุวรรณค์. (2555). เทคโนโลยีท่อความร้อน. พิษณุโลก : บริษัท โฟกัส พรินต์ติ้ง จำกัด.
- [9] วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 22 ฉบับที่ 3 ก.ย. - ธ.ค. 2555.
- [10] ปรินญาณีพนธ์ของนายอดุลสิทธิ์ นพคุณเรืองไชย และคณะ เรื่อง ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นทุนต่ำ. ปรินญาณีพนธ์ วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2552.
- [11] ปรินญาณีพนธ์ของนายกิตติภพ ย่างกุลไพโรจน์ และคณะ เรื่อง การพัฒนาสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วสุญญากาศชนิดท่อความร้อน. ปรินญาณีพนธ์ วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2554.

[12] ปริญญาานิพนธ์ของนายดำรงศักดิ์ ท้าวอินทร์ตะ และคณะ เรื่องเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวกักเก็บความร้อนแบบหลอดสุญญากาศที่มีเทอร์โมไซฟอน. ปริญญาานิพนธ์ วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2552.

[13] [http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Solar%20Energy/HTML/unit\\_01.htm](http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Solar%20Energy/HTML/unit_01.htm) [สืบค้นเมื่อ 2 ตุลาคม พ.ศ.2559]

[14] วิทยานิพนธ์ของนายชัยวัฒน์ วรรณโกษิตย์ เรื่อง เครื่องทำน้ำร้อนแบบผสมของพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนจากการเผาไหม้แกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2553.



ภาคผนวก ก

ตารางแสดงคุณสมบัติน้ำ

Temp. °C	Latent heat kJ/kg	Liquid density kg/m <sup>3</sup>	Vapor density kg/m <sup>3</sup>	Liquid Thermal Conductivity W/m°C	Liquid Viscos, Cp	Vapor Viscos, Cp	Vapor Press. Bar	Vapor Specific heat kJ/kg°C	Liquid Surface Tention N/m
20	2448	998.2	0.02	0.603	1.00	0.96	0.02	1.81	7.28
40	2402	992.3	0.05	0.630	0.65	1.04	0.07	1.89	6.96
60	2359	983.0	0.13	0.649	0.47	1.12	0.20	1.91	6.62
80	2309	972.0	0.29	0.668	0.36	1.19	0.47	1.95	6.26
100	2258	958.0	0.60	0.680	0.28	1.27	1.01	2.01	5.89
120	2200	945.0	1.12	0.682	0.23	1.34	2.02	2.09	5.50
140	2139	928.0	1.99	0.683	0.20	1.41	3.90	2.21	5.06
160	2074	909.0	3.27	0.679	0.17	1.49	6.44	2.38	4.66
180	2003	888.0	5.16	0.669	0.15	1.57	10.04	2.62	4.29
200	1967	865.0	7.87	0.659	0.14	1.65	16.19	2.91	3.89

## ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณการสร้างความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Regression) ของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบ  
แผ่นเรียบที่ใช้ต่อความร้อนแบบสันวงรอบโดยมีความยาวส่วนทำระเหย 1 m 20 โค้งเลี้ยว จำนวนท่อ 8 ชุด

$T_{eva}-T_a/l$ (X)	0.451	0.348	0.269	0.215	0.188	0.467	0.345	0.267	0.221	0.185
Efficiency (Y)	0.694	0.808	0.809	0.817	0.785	0.572	0.767	0.736	0.827	0.75

$\bar{x}=0.31$	$\bar{y}=0.76$
$\Sigma x=2.96$	$\Sigma y=7.57$
$\Sigma x^2=0.98$	$\Sigma y^2=5.78$
$\Sigma xy=2.19$	

จากสมการเชิงเส้น  $y = mx + c$

$$m = \frac{S_{xy}}{S_{xx}}, c = \bar{y} - m\bar{x}$$

$$\text{หาค่า } S_{xx} = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = 0.98 - \frac{2.96^2}{10} = 0.10$$

$$\text{หาค่า } S_{yy} = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 5.78 - \frac{7.57^2}{10} = 0.05$$

$$\text{หาค่า } S_{xy} = \sum xy - \frac{(\sum x)(\sum y)}{n} = 2.19 - \frac{2.96(7.57)}{10} = -0.05$$

$$\text{จะได้ } m = \frac{-0.05}{0.10} = -0.50$$

$$c = 0.76 - (-0.50)0.31 = 0.91$$

ดังนั้นจะได้สมการเชิงเส้น  $y = -0.50x + 0.91$

## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ

ชื่อ : นายทิวากร กาจันทร์  
 ภูมิลำเนา : 221 หมู่ 2 ต. ห้วยใหญ่ อ. เมือง จ. เพชรบูรณ์ 67000  
 วัน/เดือน/ปีเกิด : 17 ตุลาคม 2537  
 ประวัติการศึกษา : จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนฤทัยทิพย์  
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
 tiwleetween\_@hotmail.com

ชื่อ : นายธนกร แต่งก่อ  
 ภูมิลำเนา : 462/16 หมู่ที่ 8 ต. สมอแข อ. เมือง จ. พิษณุโลก 65000  
 วัน/เดือน/ปีเกิด : 2 พฤศจิกายน 2537  
 ประวัติการศึกษา : จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนจ่านกร้อง  
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
 benz\_tanakorn@hotmail.com

ชื่อ : นายวีรชัย แก้วฉัยยา  
 ภูมิลำเนา : 74 หมู่ที่ 14 ต. น้ำรอบ อ. ลานสัก จ. อุทัยธานี 61160  
 วัน/เดือน/ปีเกิด : 18 สิงหาคม 2537  
 ประวัติการศึกษา : จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนพานพิทยาคม  
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
 22.weerachai@gmail.com