



ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นทุนต่ำ  
LOW COST FLAT PLATE SOLAR COLLECTOR

นายอดุลสิทธิ์ นพคุณเรืองไชย รหัส 49380363  
นายพงษ์เทพ สวัสดิ์วงศ์ชัย รหัส 49381933  
นายอรรถวิทย์ ทิพยศ รหัส 49382015

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ.....
เลขทะเบียน..... 506742x e.2
เลขเรียกหนังสือ..... ๗๕
มหาวิทยาลัยนเรศวร ๐๑๖๐๗

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552



## ใบรับรองโครงการ

หัวข้อโครงการ : ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นทุนต่ำ  
 ผู้ดำเนินโครงการ : นายอดุลสิทธิ์ นพคุณเรืองไชย รหัสบัณฑิต 49380363  
 นายพงษ์เทพ สวัสดิ์วงศ์ชัย รหัสบัณฑิต 49381933  
 นายอรรถวิทย์ ทิพย์ศ รหัสบัณฑิต 49382015  
 อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี  
 อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม : ดร. อนันต์ พงศ์ธรกุลพานิช  
 ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล  
 ปีการศึกษา : 2552

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ อนุมัติให้โครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
 การศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงการ

.....กรรมการ  
 (รศ. ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี)

.....กรรมการ  
 (ดร. อนันต์ พงศ์ธรกุลพานิช)

.....กรรมการ  
 (อาจารย์นันทา ราชประดิษฐ์)

.....กรรมการ  
 (ดร. อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

หัวข้อโครงการ	: ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นทุนต่ำ
ผู้ดำเนินโครงการ	: นายอดุลสิทธิ์ นพคุณเรืองไชย รหัสนิติศ 49380363
	: นายพงษ์เทพ สวัสดิ์วงศ์ชัย รหัสนิติศ 49381933
	: นายอรรถวิทย์ ทิพยศ รหัสนิติศ 49382015
อาจารย์ที่ปรึกษา	: รศ. ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	: ดร.อนันต์ พงศ์ธรกุลพาณิช
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา	: 2552

### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำและทำการศึกษเปรียบเทียบวัสดุที่นำมาทำถนนวนสามชนิด คือ โฟมขาว ขี้เถ้า และกาบมะพร้าว โดยเน้นการใช้วัสดุราคาถูก ซึ่งสามารถหาได้ง่าย มีอยู่ทั่วไป ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นทุนต่ำที่ออกแบบ ประกอบด้วยแผ่นครอบหนึ่งชั้น ทำจากกระจกใสหนา 5 มิลลิเมตร และมีขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 2 ตารางเมตร แผ่นฉนวนกลืนรังสีทำจากสังกะสีลอนเล็กทาสีดำค้ำัน ประกอบกับสังกะสีแผ่นเรียบ ท่อย่อยเป็นท่อสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร จำนวนทั้งหมด 8 ท่อ ปลายท่อย่อย เชื่อมต่อกับท่อหลัก ซึ่งทำจากท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ฉนวนติดตั้งเฉพาะด้านล่างของแผง โดยฉนวนมีความหนาเฉลี่ย 38-50.8 มิลลิเมตร

จากการทดสอบตาม ASHRAE Standard 93-77 พบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ ต้นแบบที่ออกแบบ มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 48% - 50% โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดคือแบบที่ใช้กาบมะพร้าวเป็นฉนวน รองลงมาคือ แบบที่ใช้ขี้เถ้า และโฟมขาว ตามลำดับ อุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 44-48°C

สำหรับทอมผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน,  $F_R U_L$ , ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต้นแบบที่ใช้ขี้เถ้าเป็นฉนวนจะมีค่า  $F_R U_L = 1.99$  คงที่ สำหรับแบบที่ใช้โฟมขาว และกาบมะพร้าวเป็นฉนวน พบว่า  $F_R U_L$  มีค่าไม่คงที่

คือ  $F_R U_L = 1.434 + 0.60433(T_{fi} - T_a)$  และ  $F_R U_L = 1.850 + 0.4537(T_{fi} - T_a)$  ตามลำดับ

สรุปได้ว่าฉนวนขี้เถ้ามีความเหมาะสมกว่าฉนวนโฟมขาวและฉนวนกาบมะพร้าว เนื่องจากมีค่า  $F_R U_L$  ที่ต่ำที่สุด

**Project Title** : Low Cost Flat Plate Solar Collector

**Name** : Mr. Adunsit Nobphakhunrueangchai Student ID 49380363  
 Mr. Phongthep Sawudwongchai Student ID 49381933  
 Mr. Auttawit Tipyos Student ID 49382015

**Project Advisor** : Assoc. Prof. Dr. Mathanee Sanguansermsri

**Project Co-Advisor** : Dr. Anan Pongtomkulpanich

**Major** : Mechanical Engineering

**Department** : Mechanical Engineering

**Academic Year** : 2009

**Abstract**

The purpose of this project was to design flat plate solar collector with low cost concept and to compare efficiency of solar collector. Which were insulated by 3 different types of material, foam, and sawdust and coconut leaf sheath. Locally available and cheap. Material for reconstructing collector is the concept of low cost. The designed collector consists of glass with 5 mm thickness, 2 m<sup>2</sup> area of collector, black-painted zinc absorber plate attached with another zinc sheet, 8 partial tubes with 10 mm in diameter which the end of each partial tube linked with main pipe, insulating materials installed at the bottom of panel with 38-50.8 mm in average diameter.

From testing collectors as ASHRAE Standard 93-77, it was found that the designed collectors yielded maximum collector efficiency range from 48 to 50%. The maximum efficiency was obtained for coconut leaf sheath and the next one was sawdust and foam. By applying linear regression analysis with collector testing data, the collector characteristics,  $F_R U_L$ , for collectors having three different insulation materials were found. The collector insulated with sawdust yielded constant  $F_R U_L$  to be 1.99 while the values of  $F_R U_L$  for foam and coconut leaf sheath were not constant and gave the linear relation with temperature difference,  $(T_{fi} - T_a)$

As follows:  $F_R U_L = 1.434 + 0.60433(T_{fi} - T_a)$  and  $F_R U_L = 1.850 + 0.4537(T_{fi} - T_a)$  for foam and coconut leaf sheath, respectively. It was concluded that sawdust gives more suitable to be insulation material for low cost collector than foam and coconut leaf sheath due to lower  $F_R U_L$ .

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลือในด้านการให้คำแนะนำในการทำโครงการจาก รศ.ดร. มัทนี สงวนเสริมศรี และ ดร.อนันต์ พงษ์ธรกุลพานิช ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ให้คำปรึกษาแก่ผู้ดำเนินโครงการตลอดมา ผู้ดำเนินโครงการขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาให้ความร่วมมือและช่วยเหลือในการให้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบสำหรับทำโครงการนี้จนทำให้โครงการครั้งนี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อ.ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์ และ คุณรัฐพร เงินมีสีพร เจ้าหน้าที่ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาช่วยแนะนำวิธีการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ จนโครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้ดำเนินงานขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้ดำเนินโครงการอย่างสม่ำเสมอตลอดมา

นายอดุลสิทธิ์  
นายพงษ์เทพ  
นายอรรถวิทย์

นพคุณเรืองไชย  
สวัศศิวัจน์ชัย  
ทิพย์ศ

## สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงการ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญกราฟ	ญ
สารบัญสัญลักษณ์	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 งบประมาณที่ใช้	3
<b>บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	4
2.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	7
2.3 สมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	9
2.4 มาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ASHRAE Standard 93-77	15
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน</b>	
3.1 ศึกษาหลักการทํางาน ส่วนประกอบและทฤษฎีของ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	17
3.2 ศึกษาการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบและการเลือก ใช้วัสดุในการสร้าง	17
3.3 ออกแบบและสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	17
3.4 ทดสอบหาสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	18
3.5 วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบและสรุปผล	18
<b>บทที่ 4 การออกแบบและทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ</b>	
4.1 การออกแบบและสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	19
4.2 การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	26
<b>บทที่ 5 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์</b>	
5.1 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 1 (ใช้โฟมขาวเป็นฉนวนกันความร้อน)	30
5.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 2 (ใช้ซีลือบเป็นฉนวนกันความร้อน)	31
5.3 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 3 (ใช้ก้ามมะพร้าวเป็นฉนวนกันความร้อน)	33
<b>บทที่ 6 บทสรุป</b>	
6.1 สรุปผลโครงการ	35
6.2 ข้อเสนอแนะ	36
<b>บรรณานุกรม</b>	37

## สารบัญ(ต่อ)

หน้า

## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก รูปตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ออกแบบและแผนผังระบบทดสอบ	39
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพช่วงระยะเวลาหนึ่งของ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	47
ภาคผนวก ค ตารางข้อมูลคิบัติตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบทั้ง 3 แบบ	49

## ประวัติผู้จัดทำโครงการ

65





## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน	2
ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ	21
ตารางที่ 4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดของชุดทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	27
ตารางที่ 4.3 สภาพะที่ทำการทดสอบจริง	28
ตาราง ก.1 ตารางข้อมูลดิบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 1 (ใช้โฟมขาวเป็นฉนวนกันความร้อน)	50
ตาราง ก.2 ตารางข้อมูลดิบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 2 (ใช้ฉี้อลื้อเป็นฉนวนกันความร้อน)	56
ตาราง ก.3 ตารางข้อมูลดิบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 3 (ใช้กาบมะพร้าวเป็นฉนวนกันความร้อน)	61



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แผนที่ศึกษภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของโลก	5
รูปที่ 2.2 แผนที่ศึกษภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542)	6
รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบหลักของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	8
รูปที่ 2.4 สมดุลพลังงานบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์	9
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $\eta$ ) กับเทอม $(T_{f,i} - T_a)/G_i$	14
รูปที่ 4.1 ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ	19
รูปที่ 4.2 ภาพตัดตามแนวยาวแสดงส่วนประกอบของ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ	20
รูปที่ 4.3 แผ่นครอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์	22
รูปที่ 4.4 แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์	23
รูปที่ 4.5 ท่อของไหล	24
รูปที่ 4.6 ฉนวนกันความร้อน	25
รูปที่ 4.7 กรอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	25
รูปที่ 1 (ผก) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งบนแท่นทดสอบ	40
รูปที่ 2 (ผก) สภาพของฉนวนโฟมขาว	40
รูปที่ 3 (ผก) ฉนวนที่ทำจากกาบมะพร้าว	41
รูปที่ 4 (ผก) ฉนวนที่ทำจากขี้เถ้า	41
รูปที่ 5 (ผก) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ	42
รูปที่ 6 (ผก) มุมมองจากด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ	43
รูปที่ 7 (ผก) มุมมองจากด้านหน้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ	44
รูปที่ 8 (ผก) มุมมองจากด้านข้างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ	44

## สารบัญกราฟ

	หน้า
กราฟที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ช่วงขณะใด ขณะหนึ่ง ( $\eta_c$ ) กับเทอม $(T_{f,i} - T_a)/G_i$ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ 1	30
กราฟที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ช่วงขณะใด ขณะหนึ่ง ( $\eta_c$ ) กับเทอม $(T_{f,i} - T_a)/G_i$ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ 2	32
กราฟที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ช่วงขณะใด ขณะหนึ่ง ( $\eta_c$ ) กับเทอม $[(T_{f,i} - T_a)/G_i]$ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ 3	33



สารบัญสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$C_p$	ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล	J/kg °C
$F_R$	แฟกเตอร์การดึงความร้อน	-
$F'$	แฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี	-
$G_t$	รังสีอาทิตย์รวมทั้งตกกระทบลงบน ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	W/m <sup>2</sup>
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล	kg/s
$Q_u$	พลังงานความร้อนที่เป็นประโยชน์	W
$T_a$	อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม	°C
$T_{f,i}$	อุณหภูมิของของไหลที่ทางเข้า	°C
$T_{f,o}$	อุณหภูมิของของไหลที่ทางออก	°C
$T_p$	อุณหภูมิเฉลี่ยของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	°C
$U_L$	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	W/m <sup>2</sup> °C
$\eta$	ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์	-
$\eta_c$	ประสิทธิภาพชั่วขณะใดขณะหนึ่งของ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์	-
$(\tau\alpha)_c$	ผลคูณสัมประสิทธิ์การส่งผ่านและ การดูดกลืนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ประสิทธิภาพ	-

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

เนื่องด้วยในปัจจุบันทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยกำลังประสบปัญหาวิกฤติด้านพลังงาน การลดลงของปริมาณน้ำมันสำรองและก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักเป็นสิ่งที่บ่งชี้ให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าพลังงานกำลังจะหมดไปจากโลก อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของประชากรโลกส่งผลถึงความต้องการพลังงานที่เพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการนำเอาพลังงานทางเลือกอื่น อาทิเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมและน้ำซึ่งเป็นพลังงานที่หมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างไม่สิ้นสุด มาใช้ทดแทนและตอบสนองความต้องการพลังงานในปัจจุบัน

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ได้จากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ สามารถหมุนเวียนใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานสะอาดและปราศจากมลพิษ ประเทศไทยตั้งอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรซึ่งมีพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเป็นจำนวนมาก โดยมีค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ประมาณ  $18.2 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$  [1] ซึ่งสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานได้ในระดับอุตสาหกรรมและครัวเรือน เช่น การทำน้ำร้อน การผลิตกระแสไฟฟ้า การอบแห้ง ผัก ผลไม้ เป็นต้น

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีที่ใช้เก็บพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งในปัจจุบันมีการพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์มาอย่างต่อเนื่อง โดยมีความต้องการที่จะพัฒนาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้มีคุณสมบัติเก็บรังสีอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด และสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่เก็บได้เป็นพลังงานความร้อนที่เป็นประโยชน์ให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งวัสดุที่มีคุณสมบัติดีมักจะมีราคาที่สูงส่งผลให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีราคาสูง ทำให้การนำไปใช้ยังไม่เป็นที่แพร่หลายนัก นอกจากนี้การบริการหลังการขายยังเป็นไปได้อย่างยากลำบาก เนื่องจากตัวแทนจำหน่ายจะอยู่ที่ส่วนกลาง คือ กรุงเทพมหานคร

จากปัญหาดังกล่าว คณะผู้จัดทำโครงการจึงมีแนวคิดที่จะสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่มีราคาถูกและสามารถผลิตได้จากวัสดุที่หาได้ง่าย

### 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบโดยใช้วัสดุที่สามารถหาได้ง่ายและราคาถูก
- 1.2.2 เพื่อทดสอบหาค่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นแบบที่ออกแบบ

### 1.3 ขอบเขตของโครงการ

ทำการออกแบบและสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบต้นแบบโดยใช้วัสดุที่สามารถหาได้ง่าย มีราคาถูก และทำการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบตาม American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering (ASHRAE) Standard 93-77 ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยทำการเปลี่ยนจนวน 3 ชนิด คือ จนวนที่ทำจากโฟมขาว ขี้เลื่อย และกามมะพร้าว และใช้น้ำเป็นของไหลทำงาน

### 1.4 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

กิจกรรม	2552							2553	
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาทฤษฎี พร้อมหาข้อมูลตัวเก็บรังสีอาทิตย์									
2. ออกแบบและสร้าง ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ									
3. ทดสอบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77									
4. เปรียบเทียบวิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดลอง									
5. จัดทำปริญญานิพนธ์									

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ได้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นแบบที่สร้างจากวัสดุที่หาได้ง่าย ราคาถูก
- 1.5.2 ได้ข้อมูลสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ
- 1.5.3 ทราบหลักการทํางาน ส่วนประกอบและหลักการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

## 1.6 งบประมาณที่ใช้

### 1.6.1 ค่าอุปกรณ์

- กระจกใสธรรมดา	800 บาท
- สังกะสีลอนเล็ก	540 บาท
- ท่อสแตนเลสเกรด18-8	4,500 บาท
- กรอบไม้	1,000 บาท
- อื่นๆ	1,000 บาท

1.6.2 ค่าจัดทำรูปเล่มปริญญาบัตร 3,000 บาท

รวม 10,840 บาท



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หัวข้อนี้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานของแสงอาทิตย์และชนิดของรังสีอาทิตย์ ความรู้พื้นฐานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ ประกอบด้วยหลักการงานและทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนที่เกี่ยวข้อง และการทดสอบสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตาม ASHRAE Standard 93-97

#### 2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ [1]

แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่มีขนาดใหญ่ที่สุด เป็นพลังงานสะอาดและมีอยู่ทั่วไป แต่การนำมาใช้ประโยชน์อาจยังมีข้อจำกัดอยู่บ้าง เนื่องจากแสงอาทิตย์มีเฉพาะในตอนกลางวัน ตลอดจนมีความเข้มของแสงที่ไม่แน่นอนเพราะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและฤดูกาลที่เปลี่ยนไป แสงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ในดวงอาทิตย์ เมื่อแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงนอกชั้นบรรยากาศของโลก จะมีความเข้มของแสงโดยเฉลี่ยประมาณ  $1,350 \text{ W/m}^2$  แต่ว่าจะลงมาถึงพื้นโลก พลังงานบางส่วนต้องสูญเสียไปเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศต่างๆ ที่ห่อหุ้มโลก เช่น ชั้นโอโซน ชั้นไอน้ำ ชั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ความเข้มของแสงลดลงเหลือประมาณ  $1,000 \text{ W/m}^2$  หรือประมาณร้อยละ 70 ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่ง จะมีปริมาณสูงสุดเมื่อพื้นที่นั้นทำมุมตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ ดังนั้นหากต้องการให้พื้นที่ใดรับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดต่อวัน ก็จะต้องปรับพื้นที่รับแสงนั้นๆ ตามการเคลื่อนที่ของแสงอาทิตย์ ซึ่งจะเคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตกเสมอ นอกจากนั้น จากการที่โลกเอียง ทำให้ซีกโลกเหนือหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ในฤดูร้อน และเอียงซีกโลกใต้หันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ในฤดูหนาว ดังนั้นเราจึงต้องปรับมุมพื้นที่รับแสงนั้นๆ ในแนวเหนือใต้ (มุมก้มและมุมเงย) ให้สอดคล้องตามฤดูกาลด้วย เพื่อให้พื้นที่นั้นๆ รับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดตลอดทั้งปี พลังงานแสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ผ่านชั้นบรรยากาศมาสู่พื้น โลกนั้น ประกอบด้วยพลังงานจากรังสีของแสงที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นโลกโดยตรง และพลังงานจากรังสีของแสงที่เกิดจากการกระจายและสะท้อนภายในชั้นบรรยากาศสามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. รังสีตรง (Direct radiation หรือ Beam radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ทะลุผ่านชั้นบรรยากาศลงสู่พื้นโลก โดยไม่เกิดอันตรกิริยากับอะตอมของธาตุใดๆ ในชั้นบรรยากาศทำให้มีค่าความเข้มสูงเมื่อมาถึงพื้นโลก

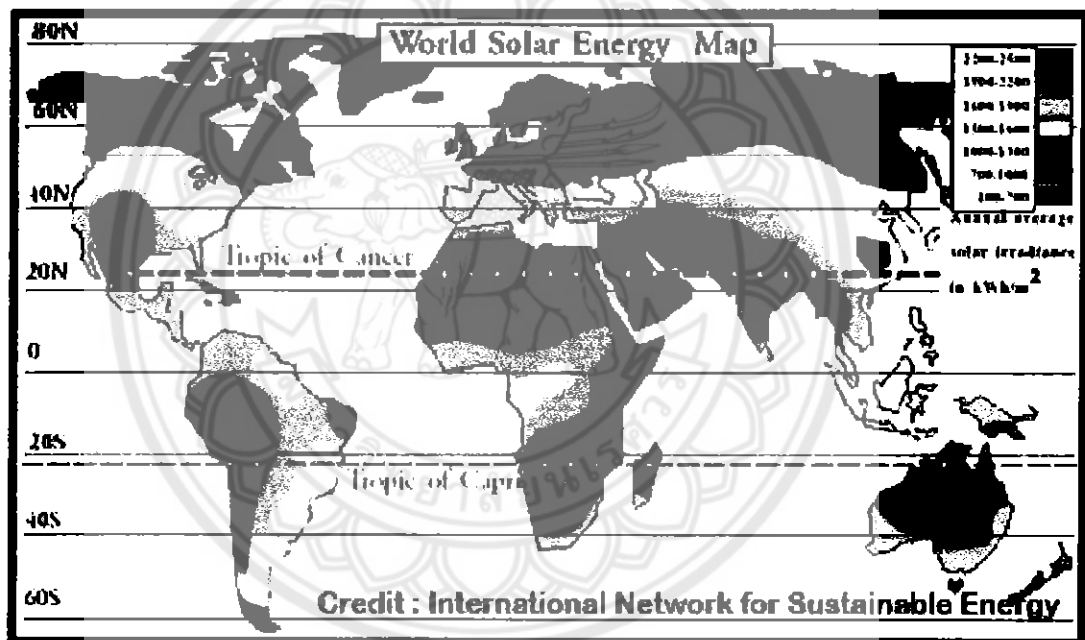
2. รังสีกระจาย (Diffuse radiation หรือ Scattered radiation) เป็นรังสีของพลังงานแสงอาทิตย์ที่เกิดการชนกันกับอะตอมของธาตุต่างๆ ในชั้นบรรยากาศ ทำให้เกิดการกระจายของ



แสงและบางส่วนสะท้อนลงสู่พื้นโลก ค่าความเข้มของแสงจากรังสีประเภทนี้จะน้อยกว่ารังสีตรง  
มาก

3. รังสีรวม (Total radiation หรือ Global radiation) คือ ผลรวมของรังสีตรงกับรังสีกระจาย  
สำหรับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบในแนวตั้งฉากบนพื้นที่ 1 หน่วย นอกชั้นบรรยากาศโลก  
เรียกว่า ค่าคงที่สุริยะ (Solar constant) มีค่าเท่ากับ  $1,367 \text{ W/m}^2$  ซึ่งค่าคงที่นี้แท้ที่จริงแล้วอาจมีการ  
ผันแปรได้ในช่วงประมาณ  $\pm 3.4\%$  ต่อปี

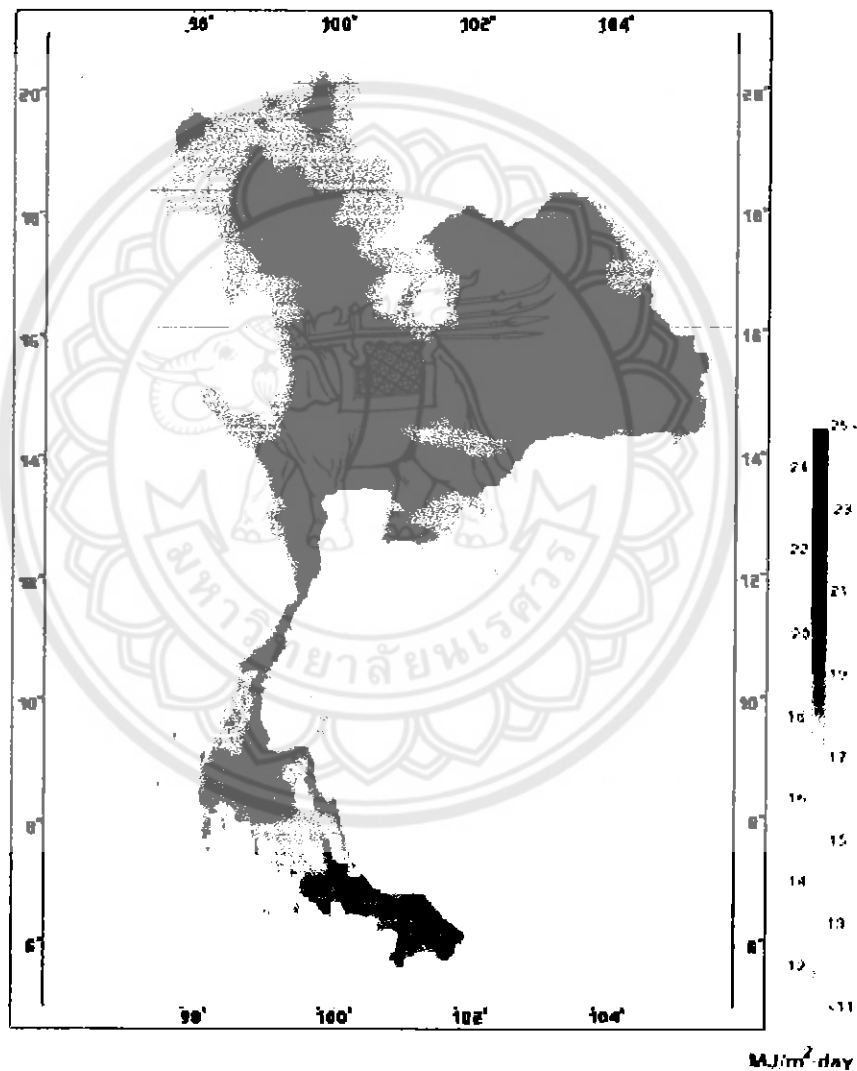
จากแผนที่ศึกษาภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของโลก ดังแสดงในรูปที่ 2.1 พบว่าการกระจาย  
ของความเข้มรังสีอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุม และตำแหน่งที่ตั้งของ  
ภูมิประเทศ



รูปที่ 2.1 แผนที่ศึกษาภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของโลก [2]

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรดังนั้นจึงมีปริมาณรังสีอาทิตย์ตก  
กระทบในปริมาณมาก จากแผนที่ศึกษาภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) [3] ดัง  
แสดงในรูปที่ 2.2 โดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานและคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร  
พบว่า การกระจายของความเข้ม รังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศ ได้รับ  
อิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่  
ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง  
 $20\text{-}24 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$  เมื่อพิจารณาแผนที่ศึกษาภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่

ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลางบางส่วน โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี  $19-20 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$  พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมด ได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี ในช่วง  $18-19 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$  จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่า มีค่าเท่ากับ  $18.2 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{day}$  จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.2 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) [3]

ในพื้นที่เขตภาคเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ ที่มีค่าอุณหภูมิอากาศต่ำสุดน้อยกว่า  $10^{\circ}\text{C}$  ในฤดูหนาว และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำกว่า  $28^{\circ}\text{C}$  บางช่วงเวลาในฤดูฝน มีประชากรที่อาศัยในเขต

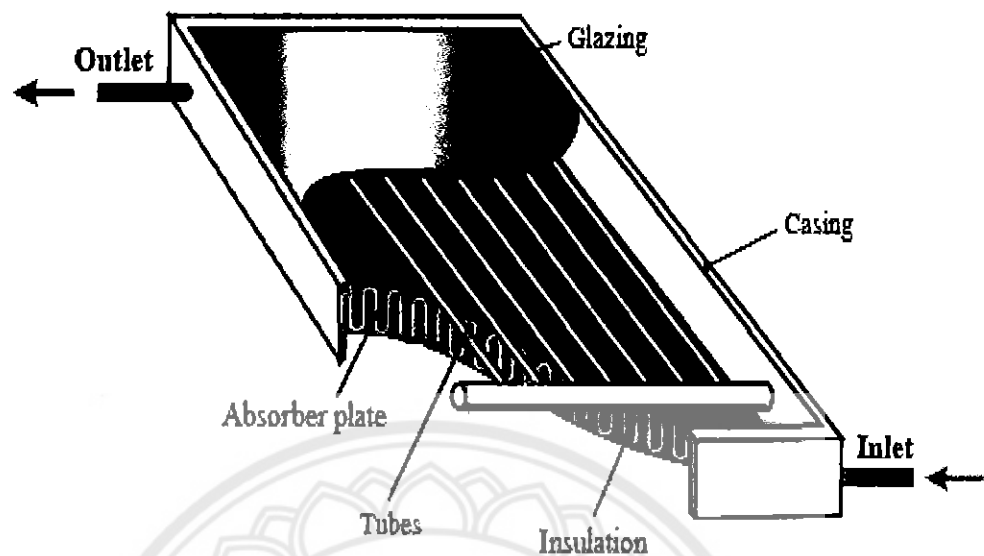
เทศบาลเพียง 5-8% คือจำนวน 5 แสนครัวเรือนโดยประมาณ [4] ที่ใช้เครื่องทำน้ำร้อนจากไฟฟ้า และก๊าซหุงต้ม และมีประชากรในชนบทบางส่วนใช้น้ำร้อนจากการต้มด้วยก๊าซหุงต้ม ก๊าซ ถ่าน และฟืน ซึ่งมีประมาณ 60% ที่ใช้ฟืนต้มน้ำร้อน

เครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้า ใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละวันประมาณ 6 kWh หรือประมาณ 21.6 MJ ต่อครัวเรือน หากประเมินการใช้เครื่องทำน้ำร้อนด้วยไฟฟ้าเมื่ออยู่ประมาณ 5% ของ ครัวเรือนทั้งหมดในภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ คือ ประมาณ 3.5 แสนครัวเรือนจะใช้ ไฟฟ้าถึงวันละประมาณ  $2.1 \times 10^6$  kWh คิดเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 1 พันล้านบาท/ปี [4]

## 2.2 ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collectors)

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทหนึ่ง ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อน เพื่อส่งถ่ายให้แก่ตัวกลางหรือของไหล ที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ของไหลที่นิยมใช้ได้แก่ น้ำ อากาศและน้ำมัน โดยทั่วไปตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบหลัก 5 ส่วน ได้แก่ แผ่นครอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์, แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์, ท่อของไหล, ฉนวนกันความร้อนและกรอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบเหมาะสมกับการใช้งานที่มีความต้องการอุณหภูมิอยู่ในช่วง 30-70 °C และงานที่ต้องใช้ความร้อนในช่วงฤดูหนาว

รูปที่ 2.3 แสดงส่วนประกอบหลักของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ [5] ซึ่งมีหลักการ ทำงาน ดังนี้เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์และทะลุผ่านแผ่นครอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์มากระทบกับแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ จะทำให้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงขึ้น และถ่ายเทความร้อนให้กับท่อของไหล บริเวณด้านล่างและด้านข้างของชุดท่อของไหลและแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์จะเป็นฉนวนกันความร้อนซึ่งจะช่วยลดการสูญเสียความร้อน โดยการนำ และแผ่นครอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะช่วยลดการสูญเสียความร้อน โดยการพา เมื่อท่อของไหลได้รับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ก็จะส่งถ่ายความร้อนไปยังของไหล โดยที่ของไหลจะถูกส่งเข้าไปยังตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ท่อทางเข้า (Inlet) และออกที่ท่อทางออก (Outlet)



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบหลักของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ [5]

รายละเอียดส่วนประกอบหลัก 5 อย่าง ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบมีดังต่อไปนี้

1) แผ่นครอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Transparent cover หรือ glazing) มีหน้าที่ช่วยลดการสูญเสียความร้อนอันเนื่องมาจากการพาความร้อนจากลมและลดการสะท้อนกลับของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบกับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ เพิ่มการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ อีกทั้งยังช่วยลดความเสียหายของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จากการชะล้างของน้ำฝนหรือลูกเห็บ โดยทั่วไปใช้กระจกใสแผ่นเดียวหรือหลายๆแผ่น หรือใช้พลาสติกใสที่แสงผ่านได้ดี

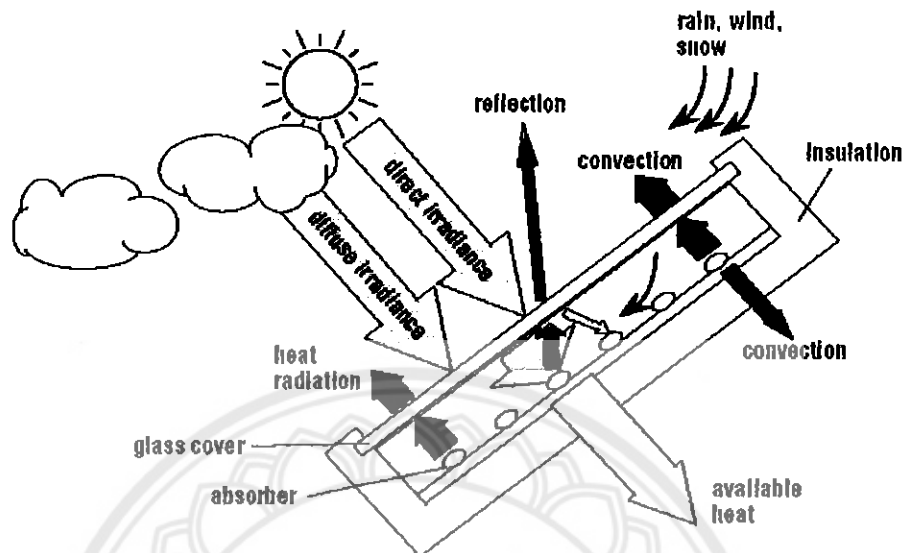
2) แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Absorber plate) เป็นตัวดูดกลืนรังสีอาทิตย์ พื้นผิวจะเคลือบด้วยสีดำด้านที่มีการดูดกลืนรังสีสูง อาจจะมีผิวด้วยสารเลือกรังสี (Selective surface) ซึ่งจะทำการดูดกลืนรังสีมีค่าที่สูงขึ้น โดยทั่วไปใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ทำมาจากทองแดงหรืออลูมิเนียม หรือสแตนเลส หรือเหล็กชุบสังกะสี หรือพลาสติกและยาง

3) ท่อของไหลหรือท่อผ่านความร้อน (Tubes หรือ passages) เป็นช่องที่ของไหลรับและพาความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์และนำไปใช้งาน โดยทั่วไปใช้ท่อทองแดงและท่ออลูมิเนียม

4) ฉนวนกันความร้อน (Insulation) เป็นฉนวนป้องกันการสูญเสียความร้อนจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งจะติดไว้ด้านล่างและด้านข้างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยทั่วไปใช้เป็นวัสดุที่สามารถทนความร้อนตั้งแต่  $200^{\circ}\text{C}$  ขึ้นไป เช่นใยแก้ว (Fiberglass) หรือโฟม (Foam) ที่มีความหนาแน่นสูง

5) กรอบ (Casing หรือ housing) กรอบรอบนอกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะช่วยป้องกันฝุ่น ความชื้น หรือ สิ่งต่างๆที่มีผลกระทบต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยทั่วไปใช้อลูมิเนียมหรือเหล็ก

### 2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวกับสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ



รูปที่ 2.4 สมดุลพลังงานบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ [6]

จากรูปที่ 2.4 ซึ่งแสดงสมดุลพลังงานความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ จะได้ว่า พลังงานความร้อนที่ถูกดูดกลืน โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานความร้อนที่เป็นประโยชน์กับพลังงานความร้อนที่สูญเสียออกไป [7] สามารถแสดงคังสมการที่ (1)

$$G_t A_c (\tau\alpha)_e = Q_u + U_L A_c (T_p - T_a) \quad (1)$$

- โดยที่  $Q_u$  คือ พลังงานความร้อนที่เป็นประโยชน์, W  
 $A_c$  คือ พื้นที่รับรังสีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์,  $m^2$   
 $G_t$  คือ รังสีอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์,  $W/m^2$   
 $(\tau\alpha)_e$  คือ ผลคูณสัมประสิทธิ์การส่งผ่านของแผ่นครอบ ( $\tau$ ) และการดูดกลืนของแผ่นดูดกลืน ( $\alpha$ ) ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ประสิทธิภาพ  
 $U_L$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์,  $W/m^2 \cdot ^\circ C$   
 $T_p$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของตัวเก็บรังสีอาทิตย์,  $^\circ C$   
 $T_a$  คือ อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม,  $^\circ C$

พลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์คือพลังงานความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของของไหลเพิ่มขึ้น สามารถแสดงดังสมการที่ (2)

$$Q_u = \dot{m}C_p(T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (2)$$

โดยที่  $\dot{m}$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหล, kg/s  
 $C_p$  คือ ค่าความร้อนจำเพาะของของไหล, J/kg °C  
 $T_{f,i}$  คือ อุณหภูมิของของไหลที่ทางเข้า, °C  
 $T_{f,o}$  คือ อุณหภูมิของของไหลที่ทางออก, °C

จากสมการที่ (1) ทำการจัดรูปสมการใหม่ สามารถแสดงดังสมการที่ (3)

$$Q_u = A_c[G_i(\tau\alpha)_e - U_L(T_p - T_o)] \quad (3)$$

เมื่อแทนค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของตัวเก็บรังสีด้วยอุณหภูมิของไหลทางเข้าต้องใส่แฟกเตอร์การคืนความร้อนลงในสมการที่ (3) แสดงดังสมการที่ (4)

$$Q_u = A_c[F_R G_i(\tau\alpha)_e - F_R U_L(T_{f,i} - T_o)] \quad (4)$$

เมื่อ  $F_R$  คือ แฟกเตอร์การคืนความร้อน ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานความร้อนที่ใช้ประโยชน์ได้จริงต่อพลังงานความร้อนที่เป็นประโยชน์เมื่ออุณหภูมิของตัวเก็บรังสีอาทิตย์คงที่เท่ากับอุณหภูมิของไหลที่เข้า แสดงดังสมการที่ (5)

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p}{A_c U_L} \left( 1 - \exp \left[ \frac{U_L F' A_c}{\dot{m}C_p} \right] \right) \quad (5)$$

เมื่อ  $F'$  คือ แฟกเตอร์ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสี ซึ่งเป็นอัตราส่วนของพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อพลังงานที่ได้รับ

ในสภาวะจริงผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนและสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์,  $F_R U_L$  ในสมการที่ (4) จะมีค่าไม่คงที่ เปลี่ยนแปลงตามผลต่างระหว่างอุณหภูมิของไหลขาเข้ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม สามารถเขียนให้อยู่ในเทอมของอุณหภูมิของไหลที่ทางเข้ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมได้ดังสมการที่ (6)

$$F_R U_L = C_1 + C_2(T_{f,i} - T_a) \quad (6)$$

โดยที่  $C_1$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนอันดับที่หนึ่ง  
 $C_2$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนอันดับที่สอง

เมื่อนำค่า  $F_R U_L$  จากสมการที่ (6) ไปแทนลงในสมการที่ (4) จะได้ค่าพลังงานความร้อนที่เป็นประโยชน์ดังสมการที่ (7)

$$Q_u = A_c [F_R G_r (\tau \alpha)_e - C_1(T_{f,i} - T_a) - C_2(T_{f,i} - T_a)^2] \quad (7)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ,  $U_L$  คือ ผลรวมของค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน ด้านข้าง และด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถแสดงได้ดังสมการ (8)

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (8)$$

โดยที่  $U_t$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์  
 $U_b$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์  
 $U_e$  คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนผ่านฉนวนด้านข้างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ สามารถแสดงอยู่ในรูปของผลรวมของความต้านทานทางความร้อนด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ แสดงดังสมการที่ (9)

$$U_t = \frac{q_{r,p-s}}{(T_p - T_a)} + \left[ \frac{1}{h_{c,p-c} + h_{r,p-c}} + \frac{1}{h_w + h_{r,c-s}} \right]^{-1} \quad (9)$$

โดยที่  $q_{r,p-s}$  คือ ค่าสุทธิการแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์  
ไปยังท้องฟ้า,  $W/m^2$

$h_{c,p-c}$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นดูดกลืน  
ไปยังแผ่นปิดใส (แผ่นครอบ),  $W/m^2\text{°C}$

$h_{r,p-c}$  คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นดูดกลืน  
ไปยังแผ่นปิดใส (แผ่นครอบ),  $W/m^2\text{°C}$

$h_w$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของแผ่นปิดใส (แผ่นครอบ),  $W/m^2\text{°C}$

$h_{r,c-s}$  คือ สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นปิดใส (แผ่นครอบ)  
ไปยังสิ่งแวดล้อม,  $W/m^2\text{°C}$

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่าง,  $U_b$  ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สามารถแสดงอยู่ในรูปของอัตราส่วนค่าการนำความร้อนของฉนวน,  $k$  ต่อความหนาของฉนวนด้านล่าง,  $L_b$  แสดงดังสมการ (10)

$$U_b = \frac{k}{L_b} \quad (10)$$

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนเนื่องจากฉนวนด้านข้าง,  $U_e$  สามารถแสดงอยู่ในรูปของอัตราส่วนผลคูณค่าการนำความร้อนของฉนวน,  $k$  กับพื้นที่ของฉนวนด้านข้าง,  $A_e$  ต่อผลคูณความหนาของฉนวนด้านข้าง,  $L_e$  กับพื้นที่ทั้งหมดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์,  $A_c$  แสดงดังสมการ (11)

$$U_e = \frac{kA_e}{L_e A_c} \quad (11)$$

ประสิทธิภาพชั่วขณะใดขณะหนึ่งของตัวเก็บรังสีอาทิตย์,  $\eta_c$  คืออัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อพลังงานรังสีอาทิตย์ทั้งหมดที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (12), (13) และ (14)

$$\eta_c = \frac{Q_u}{A_c G_t} = \frac{A_c [F_R G_t (\tau\alpha)_e - F_R U_L (T_{f,i} - T_a)]}{A_c G_t} \quad (12)$$



$$\eta_c = \frac{A_c [F_R G_i (\tau\alpha)_e - C_1 (T_{f,i} - T_a) - C_2 (T_{f,i} - T_a)^2]}{A_c G_i} \quad (13)$$

หรือ

$$\eta_c = \frac{\dot{m} C_p (T_{f,o} - T_{f,i})}{A_c G_i} \quad (14)$$

จากสมการที่ (12) และ (13) สามารถจัดรูปสมการใหม่ แสดงได้ดังสมการที่ (15) และ (16) ตามลำดับ

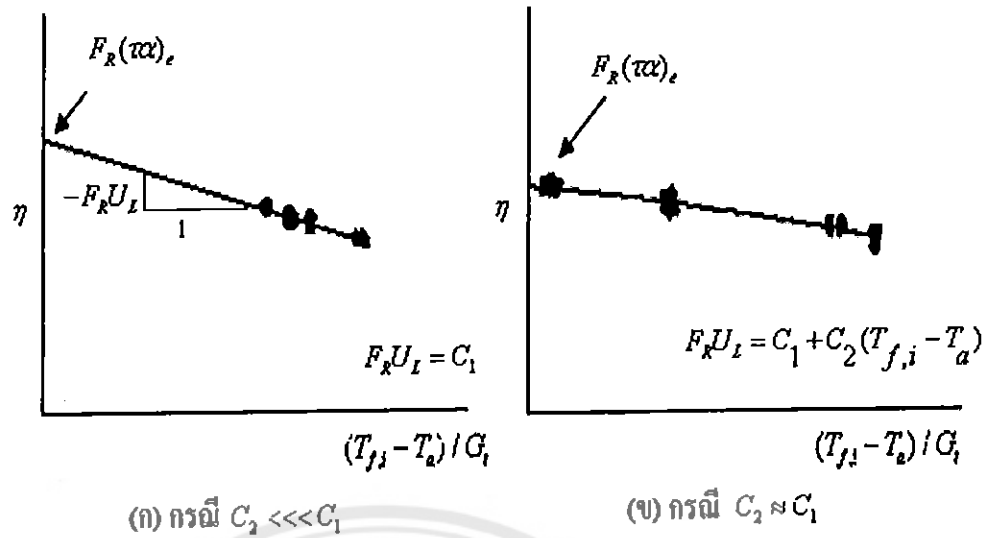
$$\eta_c = F_R (\tau\alpha)_e - F_R U_L [(T_{f,i} - T_a) / G_i] \quad (15)$$

$$\eta_c = F_R (\tau\alpha)_e - C_1 [(T_{f,i} - T_a) / G_i] - C_2 G_i [(T_{f,i} - T_a) / G_i]^2 \quad (16)$$

จากสมการที่ (16) เมื่อค่า  $C_2$  มีค่าน้อยกว่า  $C_1$  มากๆ ส่งผลให้เทอม  $C_2 G_i [(T_{f,i} - T_a) / G_i]^2$  มีค่าน้อยมากๆ และสามารถตัดออกได้ สมการประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะลดรูปเป็นสมการเส้นตรงดังต่อไปนี้

$$\eta_c = F_R (\tau\alpha)_e - C_1 [(T_{f,i} - T_a) / G_i] \quad (17)$$

จากสมการ (17) เมื่อนำไปเขียนกราฟโดยให้แกนนอนคือค่าของเทอม  $(T_{f,i} - T_a) / G_i$  และแกนตั้งคือค่าประสิทธิภาพช่วงขณะใดขณะหนึ่ง,  $\eta_c$  จะได้กราฟดังตัวอย่างในรูปที่ 2.5 (ก) กรณีที่ค่า  $C_2$  มีค่าใกล้เคียงกับค่า  $C_1$  จะไม่สามารถตัดเทอมของ  $C_2$  ออกได้ กราฟที่ได้จะเป็นกราฟเส้นโค้งดังตัวอย่างในรูปที่ 2.5 (ข)



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $\eta$ ) กับ เทอม  $(T_{f,i} - T_a) / G_i$

จากรูปที่ 2.5 จากทั้งสองกรณีพบว่าค่า  $F_R(\tau\alpha)_e$  เป็นค่าประสิทธิภาพสูงสุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ซึ่งเป็นระยะตัดแกน  $\eta$  ในกรณีที่ค่า  $C_2 \ll C_1$  ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.5 (ก) ผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์,  $-F_R U_L$  หรือ  $-C_1$  คือความชันของกราฟ และในกรณีที่ค่า  $C_2$  ใกล้เคียงกับ  $C_1$  ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.5 (ข) แล้ว  $-F_R U_L$  จะเท่ากับ  $-[C_1 + C_2(T_{f,i} - T_a)]$  ซึ่งเป็นค่าคุณลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดนั้นๆ สามารถได้จากการทดสอบบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ภายใต้สภาวะคงที่ ตามมาตรฐาน เช่น ASHRAE Standard 93-77 หรือ ISO เป็นต้น

ในการทดสอบหาสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ จะทำการเก็บข้อมูล อุณหภูมิของไหลทางเข้า อุณหภูมิของไหลทางออก อุณหภูมิของอากาศสิ่งแวดล้อม ค่ารังสีอาทิตย์และอัตราการไหลเชิงมวลของของไหล แล้วนำมาเขียนกราฟตามความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชั่วขณะใดขณะหนึ่ง  $\eta_c$  กับเทอม  $(T_{f,i} - T_a) / G_i$  ต่อไป

## 2.4 มาตรฐานการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ASHRAE Standard 93-77 [8]

โดยสภาพที่ใช้ทดสอบในโครงการนี้คือ กลางแจ้ง ซึ่งมีเงื่อนไขดังนี้

1. ค่าต่ำสุดของความเข้มรังสีอาทิตย์ ในการทดสอบจะทำการวัดที่พื้นที่ผิวตั้งฉากกับรังสีตรงของรังสีอาทิตย์ โดยค่าต่ำสุดของความเข้มรังสีอาทิตย์ต้องไม่น้อยกว่า  $790 \text{ W/m}^2$
2. ค่าเปลี่ยนแปลงมากที่สุดของความเข้มรังสีอาทิตย์ ในการทดสอบจะทำการทดสอบในช่วงที่ท้องฟ้าโปร่ง ไม่มีเมฆ ซึ่งค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ระนาบตั้งฉากจะต้อง เปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $32 \text{ W/m}^2$  ในช่วงเวลา 10 นาที
3. ค่าความเข้มรังสีกระจาย จะทำการทดสอบเมื่อรังสีกระจายเฉลี่ยบนระนาบของแผงรับรังสีอาทิตย์ไม่เกิน 20% ของค่าความเข้มรังสีรวมบนระนาบรับรังสีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยในการวิเคราะห์จะใช้ทั้งค่าความเข้มรังสีตรงและค่าความเข้มรังสีกระจาย
4. ช่วงของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม การวิเคราะห์ทั้งหมดจะใช้อุณหภูมิอากาศแวดล้อมไม่เกิน  $30 \text{ }^\circ\text{C}$
5. สภาพของลม ในการทดสอบค่าความเร็วเฉลี่ยของลมจะต้องอยู่ระหว่าง 2.2 ถึง 4.5 m/s
6. อัตราการไหลของของไหล อัตราการไหลของของไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะต้องคงที่ ค่าแนะนำของอัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่ตัวเก็บรังสีสำหรับการทดสอบ ในกรณีของไหลเป็นของเหลวคือ  $0.02 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$  กรณีที่ของไหลเป็นอากาศอัตราการไหลจะเป็น  $0.03 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$
7. ค่าการกระจายของอุณหภูมิของไหลขาเข้าที่ยอมรับได้ หาได้จากการกำหนดให้  $(T_{f,i} - T_a)$  เป็น 0, 30, 60, 90% ของค่าของ  $(T_{f,i} - T_a)$  ที่ได้จากอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่กำหนด สำหรับการทดสอบและอุณหภูมิใช้งานสูงสุดที่แนะนำ โดยบริษัทผู้ผลิตตัวเก็บรังสีอาทิตย์ หรืออาจใช้ค่าการกระจายของ  $(T_{f,i} - T_a)$  ณ ตำแหน่งที่ประสิทธิภาพทางความร้อนของตัวเก็บลดลงไป 0, 30, 60 และ 90% ของประสิทธิภาพสูงสุด
8. สภาพะคงที่ ในการทดสอบของไหลที่ไหลผ่านตัวเก็บรังสีอาทิตย์จะต้องมีอุณหภูมิขาเข้าคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 2% หรือ  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  และค่าอัตราการไหลคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $0.0002 \text{ kg/s}\cdot\text{m}^2$

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เผชิญ จันทร์สา และคณะ [9] ได้ศึกษา สักยภาพเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยพร้อมทั้งปัญหาและอุปสรรค ผลการศึกษาพบว่า การนำเทคโนโลยีการทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้นมีมายาวนานกว่า 20 ปีแล้ว แต่ยังไม่มีการนำไปใช้อย่างแพร่หลาย เนื่องจากเกิดปัญหาและอุปสรรคในเรื่องของการส่งเสริมการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย คือ 1) เงินทุนสูงเมื่อเทียบกับเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้า 2) ระยะเวลาคืนทุน

ยาว 3) ขาดการพิจารณาโดยผู้ออกแบบ วิศวกรและช่าง 4) ขาดการลงทุนวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ 5) ขาดการวางแผน นโยบายและมาตรการสนับสนุนจากทางรัฐ และเอกชน และ 6) ค่าพลังงานเชื้อเพลิงที่ไม่สะท้อนผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจ ดังนั้นในปี พ.ศ. 2548 กระทรวงพลังงานได้จัดทำแผนการใช้พลังงานหมุนเวียนให้ได้ 8% ภายในปี พ.ศ. 2554 และได้เริ่มโครงการวิจัยเพื่อสนับสนุนการประยุกต์ใช้พลังงานหมุนเวียนพร้อมทั้งแก้ปัญหาการขาดแคลนพลังงานในประเทศไทย ดังนั้นศักยภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จึงต้องถูกศึกษาประเมินภายใต้เงื่อนไขสภาวะอากาศและภูมิประเทศของไทย เพื่อจะได้เป็นแนวทางในการสร้างมาตรการและนโยบายด้านพลังงานหมุนเวียนต่อไป

จากปัญหาดังกล่าวคณะผู้จัดทำโครงการนี้จึงมีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่มีราคาถูก สามารถผลิตได้จากวัสดุที่หาได้ง่าย เพื่อที่จะนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อย่างแพร่หลายต่อไป

มานะ ศิริจรรยาและคณะ [10] ได้ทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบตาม AHSRAE Standard 93-77 จำนวน 3 บริษัท โดยแต่ละบริษัทมีการออกแบบและเลือกชนิดวัสดุที่เป็นส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าบริษัทผู้ผลิต เลือกใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติทางความร้อนที่ดีเพื่อให้ได้สมรรถนะที่สูงเช่น ใช้แผ่นดูดกลืนที่ทำจากทองแดงหรืออลูมิเนียม ท่อของไหลที่ทำจากท่อทองแดง และฉนวนที่ทำใยแก้วเป็นต้น ซึ่งส่งผลให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีราคาสูง

คณะผู้จัดทำโครงการ จึงมีแนวคิดที่จะใช้วัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่นทดแทนวัสดุที่มีราคาแพงในการสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ เพื่อให้มีราคาถูกลง และมีค่าสมรรถนะอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

จอมภพ แวศักดิ์ [11] ได้ศึกษา การหาสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ติดตั้งบนหลังคา โดยศึกษาอิทธิพลของมุมเอียงของตัวรับรังสีอาทิตย์ และจำลองการทดสอบตาม AHSRAE Standard 93-77 ที่มุมเอียง  $30^{\circ}$ - $60^{\circ}$  ผลปรากฏว่าอุณหภูมิที่แผ่นปีกและอุณหภูมิที่แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง  $50$ - $55^{\circ}\text{C}$  และ  $104$ - $116^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับโดยมีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ในช่วง  $58\%$ - $67\%$  หากมีการติดตั้งตัวรับรังสีอาทิตย์อย่างถูกวิธีและเหมาะสม ซึ่งควรจะมีการติดตั้งให้มีมุมเอียงเท่ากับละติจูดของสถานที่ติดตั้งแล้วจะทำให้ได้อุณหภูมิแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีค่าสูงกว่านี้และจะทำให้สมรรถนะเชิงความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์มีค่ามากกว่านี้อีกด้วย

ในโครงการนี้จึงทำการทดสอบโดยมีการ Tracking ติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ และปรับมุมเอียงให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลาเพื่อให้ได้ผลรวมของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบสูงสุด

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน คือ

- 1) ศึกษาหลักการทํางาน ส่วนประกอบและทฤษฎีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ
- 2) ศึกษาการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบและการเลือกใช้วัสดุในการสร้าง
- 3) ออกแบบและสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ
- 4) ทดสอบหาสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ
- 5) วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบและสรุปผล

รายละเอียดของแต่ละขั้นตอน มีดังต่อไปนี้

#### 3.1 ศึกษาหลักการทํางาน ส่วนประกอบและทฤษฎีของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

ในขั้นตอนแรกทำการศึกษหลักการทํางานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ โดยมี ส่วนประกอบหลักและหน้าที่ของแต่ละส่วนตลอดจนทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เช่น ประเภทของรังสีอาทิตย์ การถ่ายเทความร้อนในรูปแบบต่างๆ การสูญเสียความร้อนในส่วนต่างๆ และทำการศึกษ เ็ื่อนไขการทดสอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบตาม ASHRAE Standard 93-77

#### 3.2 ศึกษาการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบและการเลือกใช้วัสดุในการสร้าง

ในขั้นตอนนี้ทำการศึกษการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่มีจำหน่ายใน ปัจจุบันและวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบ ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ เช่น ส่วนประกอบหลักมีอะไรบ้าง มีความกว้าง ความยาวและมิติ เท่าไร ส่วนประกอบนั้นควรมีการเลือกใช้วัสดุชนิดไหน โดยการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุที่มีใน ท้องถิ่นว่ามีคุณสมบัติในการนำความร้อน การพาความร้อน และการทนความร้อนเป็นอย่างไรเป็น ดัน ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่ายมีราคาถูกมาใช้แทนวัสดุบางชนิดที่มีราคาแพงเพื่อเป็นการลด ต้นทุนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

#### 3.3 ออกแบบและสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

ในขั้นตอนนี้ทำการร่างแบบ โครงร่างและสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ โดยให้ตัว เก็บรังสีอาทิตย์มีขนาดและมิติเท่ากับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่มีจำหน่ายในปัจจุบันและ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร คือมีขนาดพื้นที่ภายใน 2 x 1 ตารางเมตร และ

ออกแบบให้สามารถถอดประกอบหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ ภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ เพื่อให้ง่ายต่อการปรับเปลี่ยนฉนวน ซึ่งฉนวนมีด้วยกันอยู่ 3 แบบ คือ โฟมขาว ขี้เถ้า และกาบมะพร้าว โดยใช้ทดสอบกับแท่นทดสอบ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

### 3.4 ทดสอบหาสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

ในขั้นตอนนี้จะทำการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบตาม American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering (ASHRAE) Standard 93-77 โดยทำการติดตั้งตัวเก็บรังสีอาทิตย์กับแท่นทดสอบให้ มีการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์และปรับมุมเอียงให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลาเพื่อให้ได้ผลรวมของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบสูงสุด ทำการติดตั้งไพรานอมิเตอร์วัดความเข้มของรังสีอาทิตย์ และทำการเก็บข้อมูล โดยใช้ Data Logger

### 3.5 วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบและสรุปผล

ในขั้นตอนนี้จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจริงมาคำนวณหาประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ แสดงผลข้อมูลในรูปแบบของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพชั่วขณะใดขณะหนึ่ง ( $\eta_c$ ) กับเทอม  $(T_{f,i} - T_a) / G_r$  เพื่อทำการเปรียบเทียบวิเคราะห์ผลและสรุปผลที่ได้จากข้อมูลในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

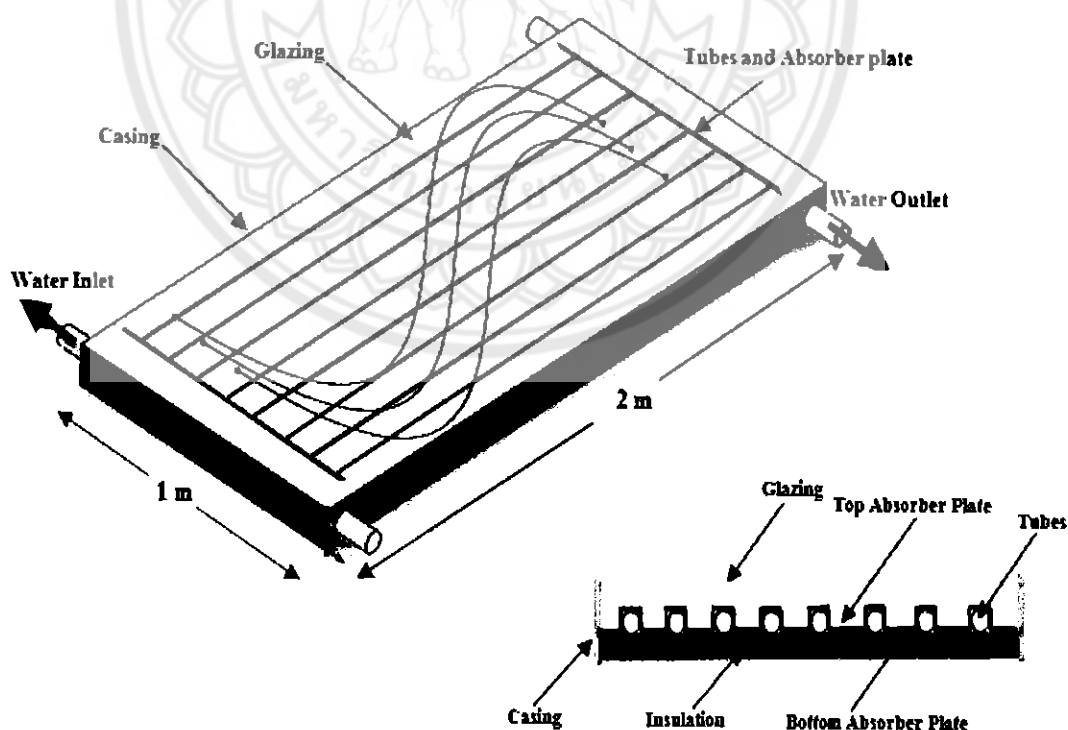
## บทที่ 4

### การออกแบบและทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดการออกแบบและการสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ  
ต้นทุนต่ำ การทดสอบตาม ASHRAE Standard 93-77 ตลอดจนวิธีการทดสอบและสภาวะที่ทดสอบ  
จริง ณ แท่นทดสอบของวิทยาลัยพลังงานทดแทน

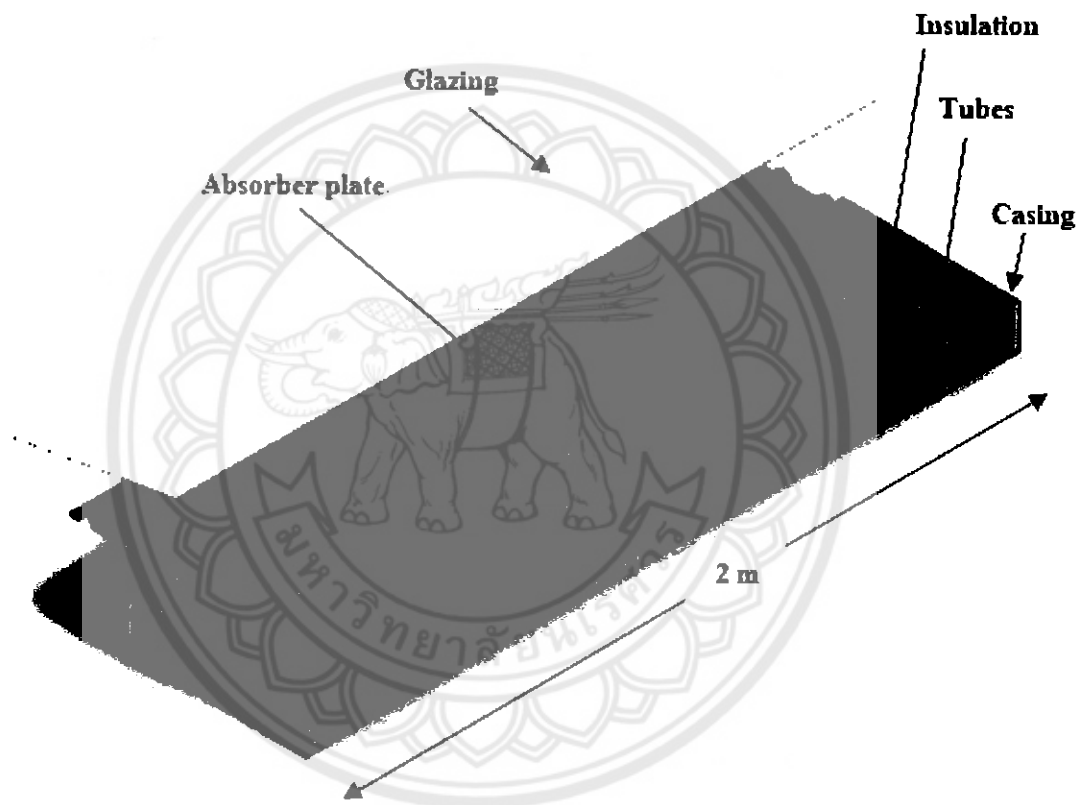
#### 4.1 การออกแบบและสร้างตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

จากการศึกษาตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่มีจำหน่ายในปัจจุบันและจากวิทยาลัย  
พลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พบว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่นิยมนำไปใช้มี  
ขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ภายใน  $2 \times 1$  ตารางเมตร โดยรายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆ คณะ  
ผู้จัดทำโครงการได้ทำการออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบให้มีขนาดตามมาตรฐานที่มีอยู่  
จริง ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน คือพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ภายใน  $2 \times 1$  ตารางเมตร และพื้นที่ของตัว  
เก็บรังสีอาทิตย์ทั้งหมดรวมกรอบด้วย  $1.076 \times 2.076$  ตารางเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.1, 4.2 และ  
ตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ

จากรูปที่ 4.1 แสดงลักษณะการวางตัวของส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ ด้านบนสุดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์คือแผ่นครอบที่ทำจากกระจกใส ถัดลงมาคือแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่ทำจากสังกะสีลอนเล็กวางทับบนชุดท่อของไหล ด้านล่างของชุดท่อของไหลคือสังกะสีแผ่นเรียบและฉนวนกันความร้อนตามลำดับ



รูปที่ 4.2 ภาพตัดตามแนวยาวแสดงส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ



ตารางที่ 4.1 ส่วนประกอบและรายละเอียดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ

ส่วนประกอบ	รายละเอียด
กรอบด้านนอก (Casing)	ไม้ขนาดความกว้าง 1.076 เมตร ความยาว 2.076 เมตร และสูง 0.11 เมตร
แผ่นครอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Glazing)	กระจกใสธรรมดา หนา 5 มิลลิเมตร ขนาด 2 x 1 ตารางเมตร
แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Absorber plate)	เลือกแผ่นสังกะสีลอนเล็กพันทับด้วยสีดำด้านมีขนาด 2 x 1 ตารางเมตร มีค่าการนำความร้อน $116 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ [12]
ท่อของไหล (Tubes)	เลือกใช้ท่อสแตนเลส เกรด (18-8) ซึ่งเป็นท่อที่มีอยู่ทั่วไปตามท้องตลาดโดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อหลัก 22 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อย่อย 10 มิลลิเมตร ความยาวท่อหลัก 1.2 เมตร ความยาวท่อย่อย 1.95 เมตร และมีค่าการนำความร้อน $16 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ [12]
ฉนวนกันความร้อน (Insulation)	- ฉนวนโฟมขนาด 2 x 1 ตารางเมตร หนา 38 มิลลิเมตร ค่าการนำความร้อน $0.0198\text{--}0.022 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ [13] - ฉนวนขี้เลื่อยขนาด 2 x 1 ตารางเมตร หนา 38-50.8 มิลลิเมตร ค่าการนำความร้อน $0.08 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ [14] - ฉนวนกาวมะพร้าวขนาด 2 x 1 ตารางเมตร หนา 38-50.8 มิลลิเมตร ค่าการนำความร้อน $0.061 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ [15]

รายละเอียดส่วนประกอบหลักของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ มีดังต่อไปนี้

1) แผ่นครอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Transparent cover หรือ Glazing)

สำหรับวัสดุที่จะนำมาใช้เป็นแผ่นครอบด้านบนนั้น จากการศึกษาพบว่าสามารถใช้ได้ทั้งกระจกใสธรรมดา (Clear glass) กระจกนิรภัย (tempered glass) และแผ่นพลาสติก เช่น โพลีคาร์บอเนต จากการศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ใช้แผ่นครอบจากวัสดุต่างๆ ของสมชาย และคณะ [13] พบว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้แผ่นครอบเป็น low iron tempered glass มีค่าประสิทธิภาพสูงกว่า กระจกใสธรรมดา และกระจกนิรภัยธรรมดา โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ใช้แผ่นครอบเป็น โพลีคาร์บอเนต จะให้ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมต่ำที่สุด

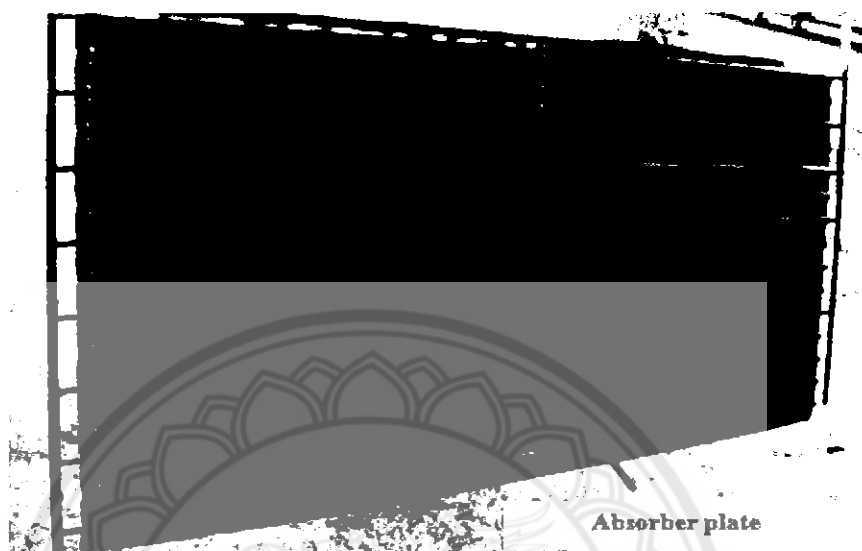
อย่างไรก็ตามเนื่องจากในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำ จึงเลือกใช้กระจกใสธรรมดาหนา 5 มิลลิเมตร ขนาด 2 x 1 ตารางเมตร เป็นแผ่นครอบ เนื่องจากมีราคาไม่สูง และสามารถหาซื้อได้ทั่วไป



รูปที่ 4.3 แผ่นครอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์

## 2) แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Absorber plate)

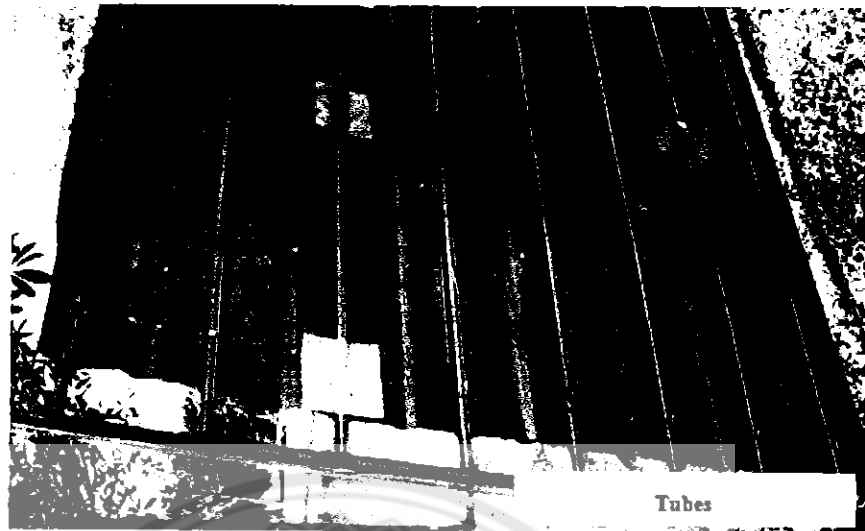
การดูดกลืนของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์มีผลต่อประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ นั่นคือหากมีการดูดกลืนที่สูงก็จะทำให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่สูง ดังนั้น จึงต้องเลือกแผ่นดูดกลืนรังสีที่มีคุณสมบัติการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่สูง ซึ่งโดยทั่วไปแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์จะทำจากวัสดุที่มีค่าการนำความร้อนสูง เช่น แผ่นทองแดง หรือแผ่นอลูมิเนียมที่ทาหรือพ่นด้วยสีดำด้าน เพื่อเพิ่มการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ให้มากขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีต้นทุนต่ำ จึงเลือกที่จะสร้างแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์จากแผ่นสังกะสีลอนเล็กพ่นด้วยสีดำด้านขนาด 2 x 1 ตารางเมตร เนื่องจากมีขนาดของลอนสังกะสีเล็กพอดีกับขนาดของท่อของไหล ทำให้ท่อของไหลและแผ่นดูดกลืนมีลักษณะการว่างประกบกันอย่างแนบชิดติดกันพอดีโดยไม่ต้องทำการเชื่อม ซึ่งในการว่างท่อของไหลกับแผ่นดูดกลืนนี้จะว่างท่อของไหลอยู่ข้างล่างแผ่นดูดกลืนและมีการมัดท่อของไหลให้ติดกับแผ่นดูดกลืนให้แน่นขึ้นด้วยเส้นลวดทำให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสในการแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น อีกทั้งยังมีราคาถูกกว่าแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ที่มีอยู่ทั่วไป



รูปที่ 4.4 แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์

### 3) ท่อของไหล (Tubes)

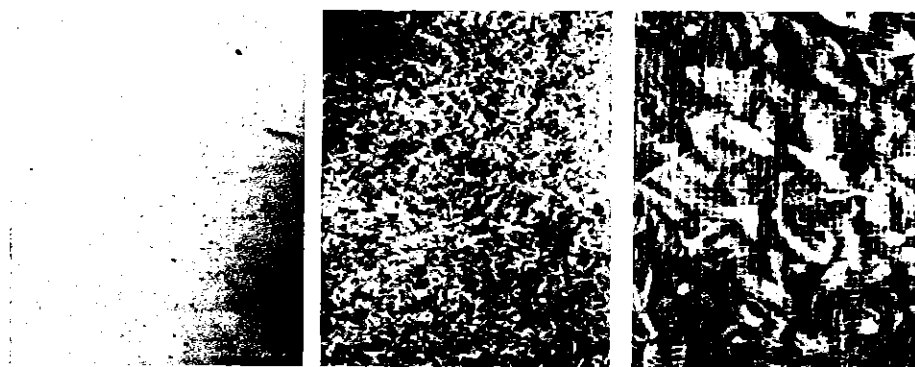
ท่อของไหลมีหน้าที่เป็นสื่อกลางในการรับความร้อนจากแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์และส่งถ่ายความร้อนให้แก่ของไหล ดังนั้นควรเลือกท่อที่ทำจากวัสดุที่มีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ดี เพื่อที่จะสามารถส่งถ่ายความร้อนจากแผ่นดูดกลืนไปยังของไหลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ท่อทองแดง และท่ออะลูมิเนียม อย่างไรก็ตามเนื่องจากในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำ จึงเลือกใช้ท่อสแตนเลส เกรด (18-8) ซึ่งเป็นท่อที่มีอยู่ทั่วไปตามท้องตลาด โดยใช้ท่อที่มีขนาดพอดีกับลอนของแผ่นสังกะสีลอนเล็ก คือ ท่อหลักมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ยาว 1.1 เมตร จำนวน 2 ท่อ ท่อย่อยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 1.95 เมตร จำนวน 8 ท่อ เนื่องจากสามารถทนความร้อนได้ดี ไม่เป็นสนิมและมีราคาที่ถูกกว่าท่อทองแดงและท่ออะลูมิเนียม อีกทั้งยังสามารถสั่งทำได้ที่ร้านสแตนเลสทั่วไป



รูปที่ 4.5 ท่อของไหล

#### 4) ฉนวนกันความร้อน (Insulation) [14], [15], [16]

ฉนวนกันความร้อนเป็นส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่จะช่วยลดการสูญเสียความร้อนบริเวณด้านล่างและด้านข้างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ซึ่งหากเลือกฉนวนที่มีสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนต่ำก็จะทำให้สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต่ำ และทำให้ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงขึ้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำ จึงเลือกใช้ โฟมขาว ขี้เลื่อย และกาบมะพร้าว มาทำเป็นฉนวนกันความร้อนเนื่องจากวัสดุเหล่านี้มีค่าการนำความร้อนต่ำ มีราคาถูกและหาได้ง่าย โดยฉนวนมีขนาดพื้นที่  $2 \times 1$  ตารางเมตร หนาเฉลี่ย 38-50.8 มิลลิเมตร ซึ่งคณะผู้จัดทำโครงการจะปูฉนวนเฉพาะบริเวณด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เนื่องจากบริเวณด้านข้างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีพื้นที่การสูญเสียความร้อนน้อยเมื่อเทียบกับพื้นที่การสูญเสียความร้อนด้านล่างและการคิดฉนวนที่ทำจากขี้เลื่อยกับกาบมะพร้าวยังทำได้ยาก อีกทั้งกรอบด้านข้างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ยังทำจากไม้แห้งหนา 38 มิลลิเมตร ซึ่งไม้แห้งมีคุณสมบัติการเป็นฉนวนกันความร้อนที่ดีอยู่แล้ว ผู้จัดทำโครงการจึงเลือกที่จะปูฉนวนเฉพาะบริเวณด้านล่างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์เท่านั้นซึ่งเป็นบริเวณที่มีการสูญเสียความร้อนมาก



ฟิมนขาว

ขี้เลื่อย

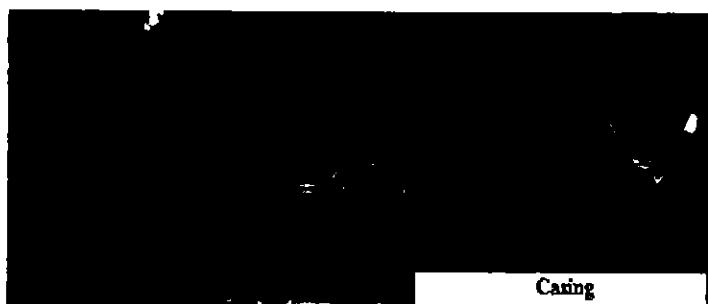
กามมะพร้าว

ร.ร.  
013607  
2552

รูปที่ 4.6 ผนวกกันความร้อน

### 5) กรอบ (Casing หรือ housing)

กรอบรอบนอกของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ จะทำหน้าที่ป้องกันฝุ่น ความชื้น หรือ สิ่งต่างๆที่มีผลกระทบต่อตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยทั่วไปใช้อลูมิเนียมหรือเหล็ก อย่างไรก็ตามเนื่องจากในโครงการนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำ จึงเลือกใช้ไม้แห้งเพื่อสร้างกรอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ เนื่องจากต้องการความแข็งแรง สามารถทนต่อภาระที่กระทำได้และราคาถูกกว่าอะลูมิเนียม สามารถสร้างได้โดยผู้ที่มีความรู้ในงานไม้หรือช่างไม้ทั่วไป โดยกรอบไม้ที่ออกแบบแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนฝาปิดกรอบและส่วนกระบะ ไม้ที่ใช้ทำฝาปิดกรอบมีหน้ากว้าง 40 มิลลิเมตร หนา 38 มิลลิเมตร และไม้ที่ใช้ทำกระบะมีหน้ากว้าง 70 มิลลิเมตร หนา 38 มิลลิเมตร เมื่อนำทั้งสองส่วนมาประกบกันจะได้กรอบไม้ที่มีขนาดความสูง 0.11 เมตร และมีขนาดพื้นที่ภายใน 2 x 1 ตารางเมตร พื้นที่ทั้งหมดรวมกรอบด้วย 1.076 x 2.076 ตารางเมตร สุดท้ายมีการติดหูจับเพื่อให้ง่ายในการเปิดปิดฝาครอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ด้วย



รูปที่ 4.7 กรอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

## 4.2 การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

โครงการนี้ทำการทดสอบหาสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ โดยใช้ระบบชุดแทนทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบกลางแจ้ง ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ชุดแทนทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบนี้มีส่วนประกอบหลักๆ คือชุดแทนวางตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่สามารถปรับให้แสงตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตั้งฉากกับรังสีอาทิตย์ตลอดเวลา, ชุดระบบวงจรน้ำไหลสามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำได้และชุดบันทึกข้อมูล

### 4.2.1 วิธีการทดสอบ [รายละเอียดแสดงดังภาคผนวก ข]

ขั้นตอนการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

- 1) ทำการเปิดวาล์ว HV1 เพื่อปล่อยน้ำเข้าสู่ระบบเมื่อน้ำเต็มระบบแล้ว ให้เปิดวาล์ว HV4 เพื่อไล่อากาศในระบบออก แล้วปิดวาล์ว HV4 และทำการปิดวาล์ว HV1
- 2) ทำการเปิดน้ำเข้าระบบ Heat exchanger แล้วทำการเปิด AC Power supply breaker, solar tracker controller breaker, and Heat exchanger breaker
- 3) ทำการเปิด Data logger ทั้ง 2 เครื่อง โดยเครื่องที่ 1 จะบันทึกค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ทุกๆ 2 วินาที ส่วนเครื่องที่ 2 บันทึกค่าอุณหภูมิน้ำขาเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ทุกๆ 2 วินาที จากนั้นเปิด Solar tracker controller และเครื่องคอมพิวเตอร์
- 4) ทำการเปิดปั๊ม Pump breaker เปิดโปรแกรม solar collector testing system
- 5) ตั้งค่าอัตราการไหลอยู่ที่  $0.04 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$
- 6) กำหนดเวลาความถี่ในการเก็บข้อมูล โดยไปเปิดที่โปรแกรม solar collector testing system เลือกที่ Setup → Scan interval ตั้งการบันทึกค่าทุกๆ 5 วินาที
- 7) เริ่มทำการเก็บข้อมูล โดยไปที่โปรแกรม solar collector testing system เลือก Start force scans
- 8) หากต้องการเพิ่มอุณหภูมิน้ำขาเข้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ให้เปิด Heater breaker แล้ว หากต้องการลดอุณหภูมิให้เปิด Cooling Unit

#### 4.2.2 ขั้นตอนการปิดระบบทดสอบ

- 1) การหยุดการเก็บข้อมูลของ โปรแกรม Solar collector testing system โดยเลือก System → Stop force scan
- 2) เลือก View → Data Explorer → Search เลือกข้อมูลที่เก็บแล้ว กด Export Data
- 3) ปิด โปรแกรม Solar collector testing system
- 4) ปิด Pump breaker, AC Power supply breaker, solar tracker controller breaker, Heat exchanger breaker
- 5) เปิดวาล์ว HV4 เพื่อปล่อยน้ำออกจากระบบ และ Heat Exchanger

ตารางที่ 4.2 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดของชุดทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

รายการอุปกรณ์และเครื่องมือวัด	หน้าที่
ไพรมอมิเตอร์ (ยี่ห้อ KIPP&ZONENDELFT/HOLLAN)	วัดความเข้มรังสีอาทิตย์
ชุดวัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม	วัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม
เกจวัดความดัน	วัดความดันของน้ำ
อุปกรณ์วัดอัตราการไหล	วัดอัตราการไหลของน้ำ
Solar tracker controller (ยี่ห้อ EGIS)	ติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์และปรับมุมเอียงให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ตลอดเวลา
ปั๊มน้ำ (ยี่ห้อ CONERGY)	สูบน้ำจากถังน้ำเข้าไปให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์
ฮีตเตอร์ (ยี่ห้อ KITZ KELMO AC200V)	เพิ่มอุณหภูมิของน้ำขาเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์
ชุดอุปกรณ์ทำความเย็น (Cooling Unit)	ลดอุณหภูมิของน้ำขาเข้าตัวเก็บรังสีอาทิตย์
วาล์ว 3 ทาง	ควบคุมทิศทางการไหลและอัตราการไหล
ชุดเครื่องอ่านและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger ยี่ห้อ Agilent )	อ่านและบันทึกข้อมูลส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์
ถังเก็บน้ำขนาด 20 ลิตร	เก็บน้ำร้อนที่ไหลเวียนในวงจร

#### 4.2.3 สภาพะจริงที่ใช้ในการทดสอบ

เนื่องจากสภาพแวดล้อมของประเทศไทยทำให้มีข้อจำกัดบางอย่างที่ทำให้การทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบนี้แตกต่างไปจากที่ ASHRAE Standard 93-77 กำหนดรายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สภาพะที่ทำการทดสอบจริง

ASHRAE 93-77	สภาพทดสอบจริง	เหตุผล
อุณหภูมิอากาศแวดล้อมไม่เกิน 30 °C	มากกว่าหรือเท่ากับ 30°C ในบางช่วง	ทำการทดลองในช่วง เดือน ก.พ. - มี.ค. /2553
ค่าความเร็วลมเฉลี่ยจะต้องอยู่ระหว่าง 2.2 และ 4.5 m/s	ไม่มีการเก็บค่าความเร็วลม	ไม่คิดผลของความเร็วลม
ค่าการกระจายอุณหภูมิของของไหลขา เข้าไม่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม	อุณหภูมิเริ่มต้นต้อง มากกว่าหรือเท่ากับค่า อุณหภูมิแวดล้อมแล้ว เพิ่มขึ้นครั้งละ 2-3 °C	ไม่มีข้อมูลอุณหภูมิใช้ งานสูงสุด
ควรมีการบันทึกค่าความดันของน้ำที่ เปลี่ยนแปลงเมื่อของไหลไหลผ่านตัว เก็บรังสีอาทิตย์	ไม่มีการบันทึกค่าความดัน ที่เปลี่ยนแปลง	ไม่คิดผลของความดันที่ เปลี่ยนแปลง

#### 4.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลหาค่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

- นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Microsoft office Excel โดยการจัดเรียงข้อมูลต่างๆ
- ทำการตัดข้อมูลที่มีค่าน้อยกว่ามาตรฐานกำหนด เช่น ข้อมูลช่วงความเข้มรังสีน้อยกว่า  $790 \text{ W/m}^2$
- นำข้อมูล  $C_p$ ,  $\dot{m}$ ,  $A_c$ ,  $T_c$ ,  $T_{f,i}$  และ  $G_t$  แทนค่าเพื่อหาประสิทธิภาพช่วงระยะเวลาใดขณะหนึ่งของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
- ทำการตัดข้อมูลของค่าประสิทธิภาพช่วงระยะเวลาใดขณะหนึ่งของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีค่าคลาดเคลื่อน เช่น ค่าที่มากกว่า 1 หรือน้อยกว่าศูนย์และทำการตัดข้อมูลค่าที่ติดลบ
- เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพตัวเก็บรังสีอาทิตย์ช่วงระยะเวลาใดขณะหนึ่ง ( $\eta_c$ ) กับเทอม  $(T_{f,i} - T_c)/G_t$



- 6) หาสมการเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่าง  $(\eta_c)$  กับเทอม  $(T_f - T_d)/G$ , โดยใช้ (linear least-square regression) และหาค่า  $R^2$  อาจทำการตัดจุดข้อมูลที่มีการกระจายออกเพื่อให้ค่า  $R^2$  ค่าสูงขึ้น จากสมการเส้นแนวโน้มที่ได้สามารถสรุปพารามิเตอร์ที่บ่งชี้ค่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้ เช่น ค่าประสิทธิภาพสูงสุด จากค่าตัดแกน และผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนและสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน  $(F_r U_r)$  จากค่าความชันของเส้นแนวโน้ม



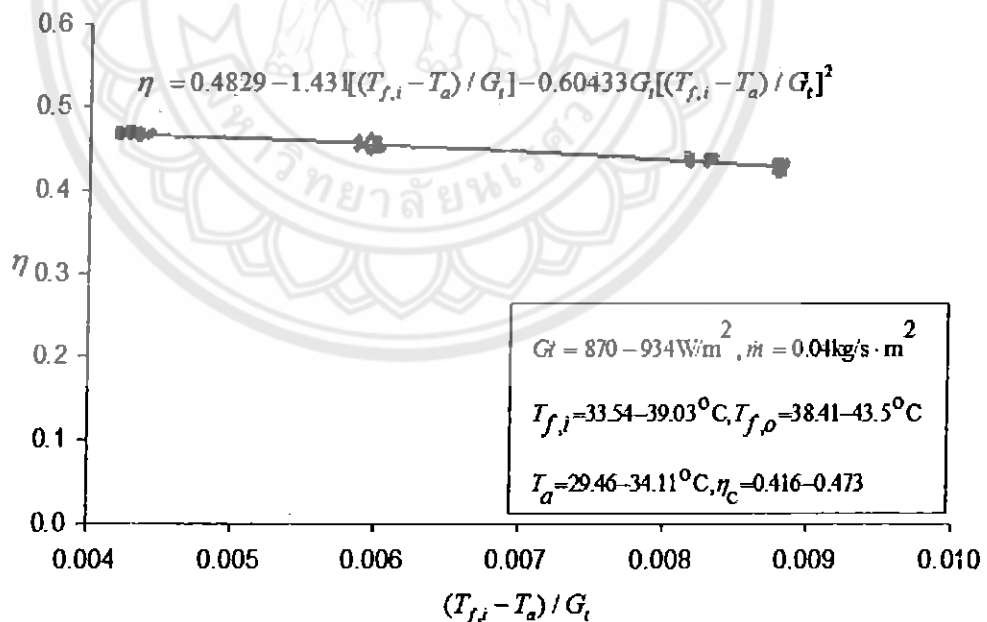
## บทที่ 5

### ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

การทดสอบเพื่อหาค่าสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบต้นทุนต่ำที่ออกแบบ โดยใช้ฉนวนกันความร้อนด้านล่างของแผงตัวเก็บรังสีต่างกัน 3 ชนิด คือ โฟมขาว ขี้เถ้า และกาบมะพร้าว ใช้การทดสอบแบบกลางแจ้ง ตามมาตรฐาน ASHRAE Standard 93-77 โดยใช้แทนทดสอบของวิทยาลัยพลังงานทดแทน สรุปผลการทดสอบได้ดังต่อไปนี้

#### 5.1 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 1 ใช้โฟมขาวเป็นฉนวนกันความร้อน

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นทุนต่ำแบบที่ 1 ซึ่งใช้โฟมขาวเป็นฉนวนกันความร้อนด้านล่างของแผง ได้ทำการทดสอบเมื่อวันที่ 16-28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2553 เวลา 09.00-15.30 น. ผลการทดสอบแสดงในกราฟที่ 5.1



กราฟที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $\eta$ ) กับเทอม  $(T_{f,i} - T_a) / G_t$  ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ 1

จากผลการทดสอบที่แสดงในกราฟที่ 5.1 ภายใต้สภาวะการทดสอบที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ มีค่า 870-934 W/m<sup>2</sup> (เฉลี่ย 902 W/m<sup>2</sup>) อุณหภูมิอากาศแวดล้อมวัดได้เท่ากับ 29.46 - 31.11°C เมื่ออุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าแปรผันในช่วง 33.54-39.03°C พบว่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ 1 ซึ่งใช้โฟมขาวเป็นฉนวน มีค่าลดลง เมื่อเทอม  $(T_{f,i} - T_a) / G_i$  มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงได้ตามสมการความสัมพันธ์ ดังต่อไปนี้

$$\eta = 0.4829 - 1.431[(T_{f,i} - T_a) / G_i] - 0.60433G_i[(T_{f,i} - T_a) / G_i]^2 \quad (5.1)$$

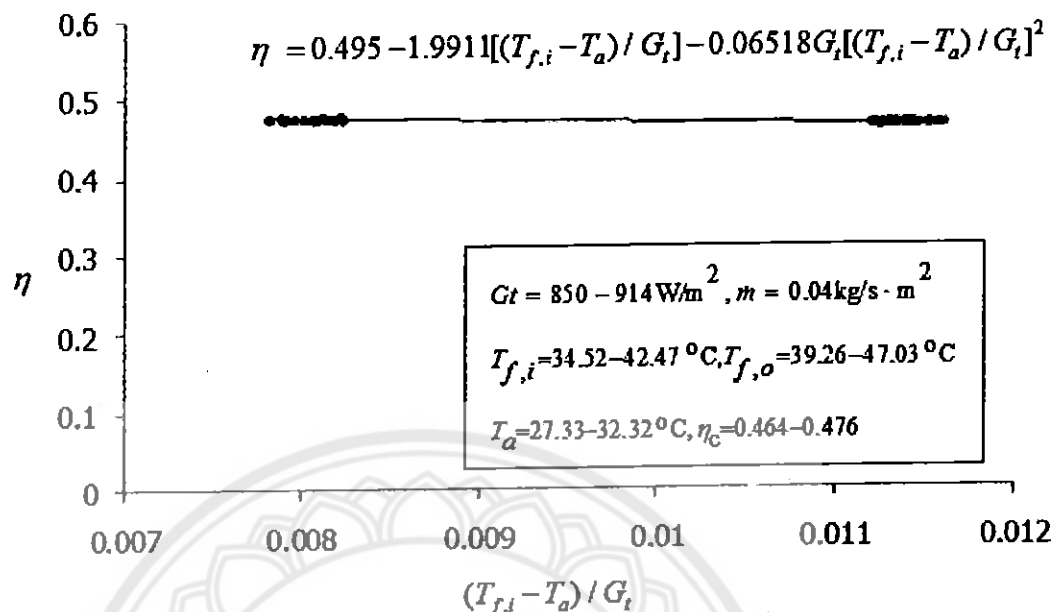
จากสมการสมรรถนะทางความร้อนข้างต้น สรุปได้ว่าประสิทธิภาพสูงสุด (เทอม  $F_R(\tau\alpha)_c$ ) ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ 1 นี้มีค่าเท่ากับ 48.29% โคประสิทธิภาพช่วงขณะใดขณะหนึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 41.6% - 47.3% ผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ( $F_R U_L$ ) แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$F_R U_L = 1.434 + 0.60433(T_{f,i} - T_a) \quad \text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.2)$$

จากสมการ (5.2) จะเห็นได้ว่าสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นทุนต่ำที่ออกแบบ โดยใช้โฟมขาวเป็นฉนวน ผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ( $F_R U_L$ ) มีค่าไม่คงที่ โดยจะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าของผลต่างของอุณหภูมิน้ำขาเข้ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม  $(T_{f,i} - T_a)$  และ  $F_R U_L$  จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อผลต่างของอุณหภูมิน้ำขาเข้ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม  $(T_{f,i} - T_a)$  มีค่าเพิ่มขึ้น จากสมการ (5.2) พบว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม  $(T_{f,i} = T_a)$  จะได้ค่าต่ำสุดของเทอม  $F_R U_L$  เท่ากับ 1.434 W/m<sup>2</sup> °C

## 5.2 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 2 ใช้ฉนวนเป็นฉนวนกันความร้อน

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นทุนต่ำแบบที่ 2 ซึ่งใช้ฉนวนเป็นฉนวนกันความร้อนด้านล่างของแผง ได้ทำการทดสอบเมื่อวันที่ 5-8 มีนาคม พ.ศ. 2553 เวลา 09.00-15.30 น ผลการทดสอบแสดงในกราฟที่ 5.2



กราฟที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $\eta$ )  
กับเทอม  $(T_{f,i} - T_a) / G_t$  ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ 2

จากผลการทดสอบที่แสดงในกราฟที่ 5.2 ภายใต้สภาวะการทดสอบที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ มีค่า 850-914  $\text{W/m}^2$  (เฉลี่ย 882  $\text{W/m}^2$ ) อุณหภูมิอากาศแวดล้อมวัดได้เท่ากับ 27.33-32.32  $^{\circ}\text{C}$  เมื่อ อุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าแปรผันในช่วง 34.52-42.47  $^{\circ}\text{C}$  พบว่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบ ที่ 2 ซึ่งใช้ขี้เถ้าเป็นฉนวน มีค่าลดลง เมื่อเทอม  $(T_{f,i} - T_a) / G_t$  มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงได้ความสัมพันธ์ ดังต่อไปนี้

$$\eta = 0.495 - 1.991[(T_{f,i} - T_a) / G_t] - 0.06518 G_t [(T_{f,i} - T_a) / G_t]^2 \quad (5.3)$$

จากสมการสมรรถนะทางความร้อนข้างต้น สรุปได้ว่าประสิทธิภาพสูงสุด (เทอม  $F_R(\tau\alpha)_e$ ) ของตัว เก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ 2 นี้มีค่าเท่ากับ 49.50% โดยประสิทธิภาพชั่วขณะใดขณะหนึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 46.4% -47.6% ผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ( $F_R U_L$ ) แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$F_R U_L = 1.991 + 0.06518(T_{f,i} - T_a) \quad \text{W/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (5.4)$$

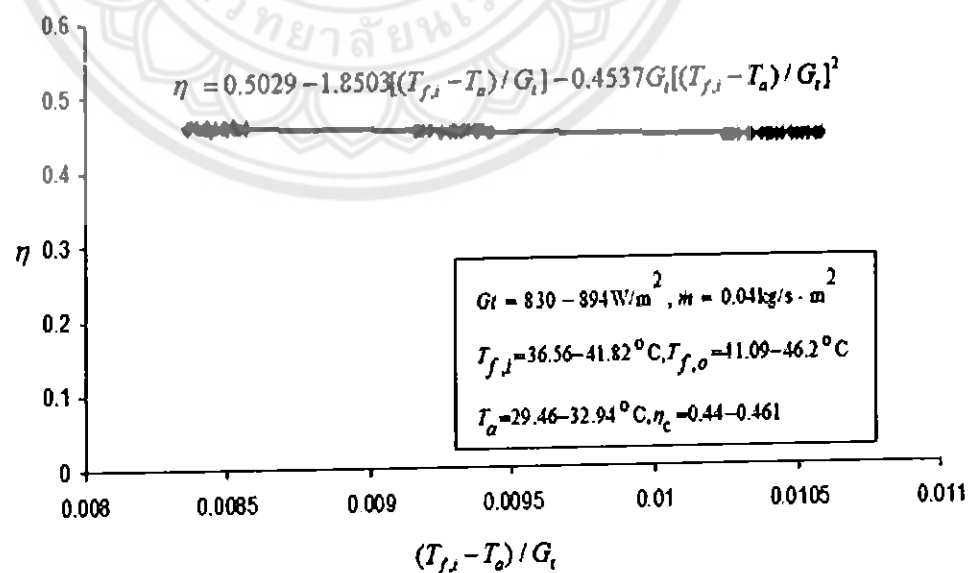
จากสมการ (5.4) จะเห็นว่าอยู่ในกรณีที่ว่า  $C_2 \lll C_1$  ดังนั้นผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ( $F_R U_L$ ) สามารถตัดเทอม  $C_2$ ทิ้งไปได้ ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$F_R U_L = 1.991 \quad \text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.5)$$

จากสมการ (5.5) จะเห็นได้ว่าสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบคั่นทุนต่ำที่ออกแบบ โดยใช้ซี่เลื่อยเป็นฉนวน ผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ( $F_R U_L$ ) มีค่าไม่คงที่ โดยจะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าของผลต่างของอุณหภูมิน้ำขาเข้ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ( $T_{f,i} - T_a$ ) และ  $F_R U_L$  จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อผลต่างของอุณหภูมิน้ำขาเข้ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ( $T_{f,i} - T_a$ ) มีค่าเพิ่มขึ้น จากสมการ (5.5) พบว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ( $T_{f,i} = T_a$ ) จะได้ค่าต่ำสุดของเทอม  $F_R U_L$  เท่ากับ  $1.991 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$

### 5.3 ผลการทดสอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 3 ใช้กาบมะพร้าวเป็นฉนวนกันความร้อน

ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบคั่นทุนต่ำแบบที่ 3 ซึ่งใช้กาบมะพร้าวเป็นฉนวนกันความร้อนด้านล่างของแผง ได้ทำการทดสอบเมื่อวันที่ 11-14 มีนาคม พ.ศ. 2553 เวลา 09.00-15.30 น ผลการทดสอบแสดงในกราฟที่ 5.3



กราฟที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ( $\eta$ ) กับเทอม  $[(T_{f,i} - T_a) / G_i]$  ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ 3

จากผลการทดสอบที่แสดงในกราฟที่ 5.3 ภายใต้อุณหภูมิการทดสอบที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ มีค่า 830-894 W/m<sup>2</sup> (เฉลี่ย 862 W/m<sup>2</sup>) อุณหภูมิอากาศแวดล้อมวัดได้เท่ากับ 29.46-32.94 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำที่ทางเข้าแปรผันในช่วง 36.56-41.82 °C พบว่าประสิทธิภาพของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ 3 ซึ่งใช้กามมะพร้าวเป็นฉนวน มีค่าลดลง เมื่อเทอม  $(T_{f,i} - T_o) / G_i$  มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงได้ตามสมการความสัมพันธ์ ดังต่อไปนี้

$$\eta = 0.5029 - 1.8503[(T_{f,i} - T_o) / G_i] - 0.4537G_i[(T_{f,i} - T_o) / G_i]^2 \quad (5.6)$$

จากสมการสมรรถนะทางความร้อนข้างต้น สรุปได้ว่าประสิทธิภาพสูงสุด (เทอม  $F_R(\tau\alpha)_c$ ) ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบที่ 3 นี้มีค่าเท่ากับ 50.29% โดยประสิทธิภาพช่วงระยะเวลาหนึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 44% -46.1% ผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ( $F_R U_L$ ) แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$F_R U_L = 1.850 + 0.4537(T_{f,i} - T_o) \quad \text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (5.7)$$

จากสมการ (5.7) จะเห็นได้ว่าสำหรับตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นทุนต่ำที่ออกแบบ โดยใช้กามมะพร้าวเป็นฉนวน ผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม ( $F_R U_L$ ) มีค่าไม่คงที่ โดยจะมีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าของผลต่างของอุณหภูมิน้ำขาเข้า กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ( $T_{f,i} - T_o$ ) และ  $F_R U_L$  จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อผลต่างของอุณหภูมิน้ำขาเข้า กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ( $T_{f,i} - T_o$ ) มีค่าเพิ่มขึ้น จากสมการ (5.7) พบว่า เมื่ออุณหภูมิน้ำขาเข้าเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ( $T_{f,i} = T_o$ ) จะได้ค่าต่ำสุดของเทอม  $F_R U_L$  เท่ากับ 1.850 W/m<sup>2</sup> °C

## บทที่ 6

### บทสรุป

#### 6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อออกแบบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่มีต้นทุนในการสร้างต่ำ โดยเน้นการใช้วัสดุราคาถูก ซึ่งสามารถหาได้ง่าย มีอยู่ทั่วไป เช่น กระจกใส แผ่นสังกะสี และซีลีเนียม เป็นต้น โดยได้ออกแบบให้สร้างและประกอบได้ง่าย สามารถทำได้ด้วยตนเอง หรือโดยช่างในท้องถิ่น ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นทุนต่ำต้นแบบที่สร้างขึ้น ประกอบด้วยแผ่นครอบหนึ่งชั้น ทำจากกระจกใสหนา 5 มิลลิเมตร และมีขนาดพื้นที่รับรังสีอาทิตย์ 2 ตารางเมตร แผ่นดูดกลืนรังสีทำจากสังกะสีลอนเล็กทาสีดำด้าน ประคบกับสังกะสีแผ่นเรียบ ภายในช่องว่างของลอนสังกะสีแต่ละลอน บรรจุท่อน้ำย่อยหนึ่งท่อ เป็นท่อกสแตนเลส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ท่อย่อยนี้มีจำนวนทั้งหมด 8 ท่อ ปลายท่อย่อย เชื่อมต่อกับท่อหลัก ซึ่งทำจากท่อสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ฉนวนติดตั้งเฉพาะด้านข้างของแผง โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบวัสดุที่นำมาทำฉนวนสามชนิด คือ โฟมขาว ซีลีเนียม และกาบมะพร้าว ชั้นของฉนวนมีความหนาเฉลี่ย 38-50.8 มิลลิเมตร

จากการทดสอบตาม ASHRAE Standard 93-77 สำหรับการทดสอบกลางแจ้ง สรุปได้ว่า ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบต้นแบบที่สร้างขึ้น มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 48% – 50% โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ให้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดคือแบบที่ใช้กาบมะพร้าวเป็นฉนวน รองลงมาคือ แบบที่ใช้ซีลีเนียม และ โฟมขาว ตามลำดับ อุณหภูมิน้ำสูงสุดที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันอยู่ในช่วง 44-48°C

สำหรับเทอมผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน,  $F_R U_L$ , ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ต้นแบบที่ใช้ซีลีเนียมเป็นฉนวนจะมีค่า  $F_R U_L = 1.99$  คงที่ สำหรับแบบที่ใช้โฟมขาว และกาบมะพร้าวเป็นฉนวน พบว่า  $F_R U_L$  มีค่าไม่คงที่ โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงเป็นเชิงเส้นกับค่าของเทอมผลต่างของอุณหภูมิน้ำขาเข้าและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม,  $(T_{f,i} - T_a)$  จากการทดสอบพบว่าเมื่อใช้โฟมขาวเป็นฉนวน ค่าของ  $F_R U_L$  จะตอบสนองต่อค่า  $(T_{f,i} - T_a)$  ที่เปลี่ยนแปลงเร็วกว่าฉนวนกาบมะพร้าว โดยค่าของเทอม  $F_R U_L$  ของฉนวนโฟมขาว จะเพิ่มขึ้นสูงกว่าฉนวนกาบมะพร้าว สำหรับช่วง  $(T_{f,i} - T_a)$  หนึ่งๆ และ โฟมขาวยังเกิดการเสีรูปร่างเมื่ออุณหภูมิของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มีค่าสูง

อย่างไรก็ตามเมื่อค่าของ  $(T_{f,i} - T_o)$  ต่ำกว่า  $3^\circ\text{C}$  ฉนวนโฟมจะมีค่า  $F_R U_L$  ต่ำกว่าฉนวนกาบมะพร้าว เมื่อ

$(T_{f,i} - T_o)$  มากกว่า  $3^\circ\text{C}$  ค่าของ  $F_R U_L$  ของฉนวนโฟมขาวจะมีค่าสูงกว่าของฉนวนกาบมะพร้าว สรุปได้ว่าฉนวนซีลีอ้อมีความเหมาะสมกว่าโฟมขาวและกาบมะพร้าว เนื่องจากมีค่า  $F_R U_L$  ที่ต่ำที่สุด และมีค่าคงที่

ต้นทุนในการสร้าง (ค่าวัสดุและค่าแรง) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบดัดแบบ ประมาณ 4,000 บาทต่อตารางเมตร โดยตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่จำหน่ายตามท้องตลาด มีราคา ประมาณ 6,000 บาทต่อตารางเมตร และมีประสิทธิภาพสูงสุดตั้งแต่ 60 % ขึ้นไป [17] ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบดัดแบบที่สร้างขึ้นช่วยลดต้นทุนลดได้ประมาณ 2,000 บาทต่อตารางเมตร คิดเป็นต้นทุนที่ลดลง 33 % ของราคาท้องตลาด

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษา ทดลองเพิ่มเติม เช่น ความหนาของชั้นฉนวนที่เหมาะสมสำหรับวัสดุแต่ละชนิด การออกแบบฉนวนที่เป็นวัสดุผสม เช่น ซีลีอ้อมและ โฟม เป็นต้น รวมทั้งการศึกษาวัสดุอื่นๆ ในท้องถิ่นเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดัดแบบให้สูงขึ้น โดยให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และลดค่าผลคูณของแฟกเตอร์การดึงความร้อนกับสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนลง โดยยังคงมีต้นทุนที่ต่ำกว่าราคาท้องตลาด



## บรรณานุกรม

- [1] พลังงานแสงอาทิตย์, สืบค้นจาก  
[http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/bose/document/solar\\_energy.pdf](http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/bose/document/solar_energy.pdf)
- [2] แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของโลก, สืบค้นจาก  
[http://sunflowercosmos.org/climate\\_change/climate\\_change\\_home/inhabited\\_2.html](http://sunflowercosmos.org/climate_change/climate_change_home/inhabited_2.html)
- [3] แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542), สืบค้นจาก  
[http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/bose/document/solar\\_energy.pdf](http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/bose/document/solar_energy.pdf)
- [4] ค่าการใช้พลังงานเครื่องทำน้ำร้อน, สืบค้นจาก  
<http://www.eppo.go.th/vrs/VRS44-07-Solar.html>
- [5] รูปส่วนประกอบหลักของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ  
<http://t1.gstatic.com/images?q=tbn:fdihgfvCT5tpAM>
- [6] รูปสมมูลพลังงานบนตัวเก็บรังสีอาทิตย์, สืบค้นจาก  
<http://www.volker-quaschnig.de/articles/fundamentals4/figure1.gif>
- [7] John A. Duffie, William A. Beckman. (2006). solar engineering of thermal processes. (3<sup>rd</sup> ED). Hoboken N.J.: Wiley.
- [8] ASHRAE STANDARD 1986, ANSI/ASHRAE 93-1986: Method of testing to determine the thermal performance of solar collector, Atlanta, ASHRAE, Inc.
- [9] เจริญ จันทร์สา และคณะ ได้ศึกษา ศักยภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย, สืบค้นจาก  
[http://aster.spu.ac.th/file/user/49/49/upload/paper/pachean\\_1.pdf](http://aster.spu.ac.th/file/user/49/49/upload/paper/pachean_1.pdf)
- [10] มานะ ศิริจรรยา และคณะ ได้ทำการศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบตาม AHSRAE Standard 93-77
- [11] จอมภพ แวศักดิ์, บททความวิจัย เรื่อง การหาสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ติดตั้งบนหลังคา, สืบค้นจาก  
[http://www.engineer.msu.ac.th/CD\\_Conference/conference/Me\\_net17/full\\_paper/tf/TF063.pdf](http://www.engineer.msu.ac.th/CD_Conference/conference/Me_net17/full_paper/tf/TF063.pdf)
- [12] ค่าการนำความร้อนของสังกะสี, สืบค้นจาก  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal\\_conductivity](http://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_conductivity)
- [13] การศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ใช้แผ่นกรอบจากวัสดุต่างๆ ของสมชาย และคณะ

[14] ค่าการนำความร้อนของ โฟมขาว, สืบค้นจาก

<http://th.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080626194854AACMi2F>

[15] ค่าการนำความร้อนของซีเมนต์, สืบค้นจาก

[www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html)

[16] ค่าการนำความร้อนของกามมะพร้าว, สืบค้นจาก

<http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsidt=16241193>

[17] ราคาตามท้องตลาดของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ, สืบค้นจาก

Solar Thermal Research Unit วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร





ภาคผนวก ก

รูปตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ออกแบบและแผนผังระบบทดสอบ



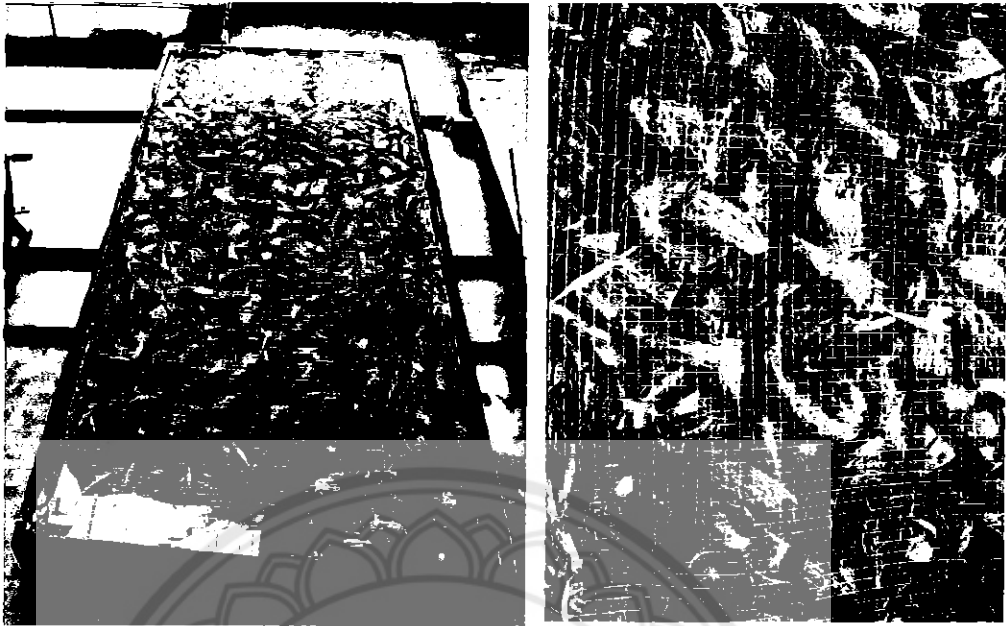
รูปที่ 1(ผก) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่ติดตั้งบนแท่นทดสอบ



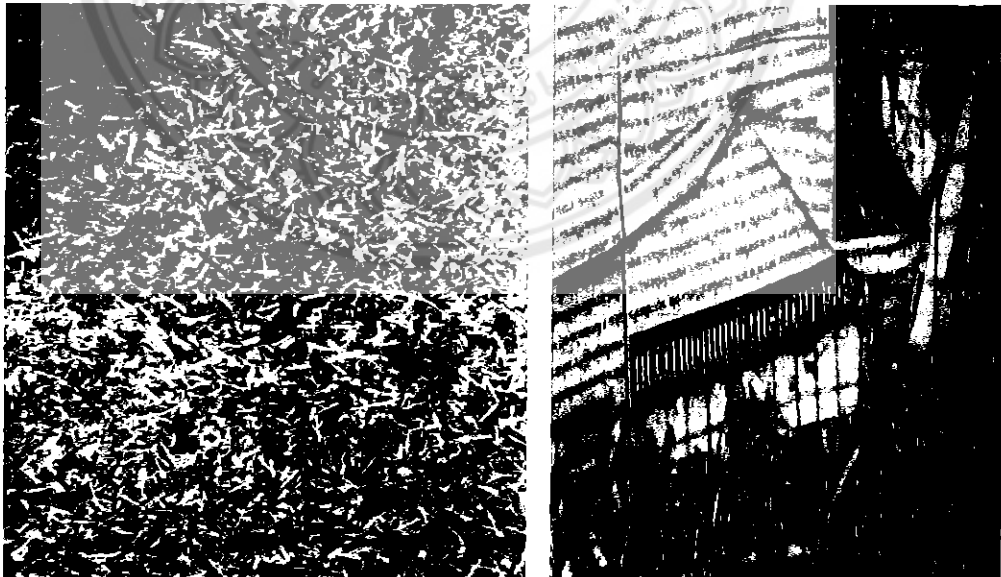
ก่อนการทดสอบ

หลังการทดสอบ

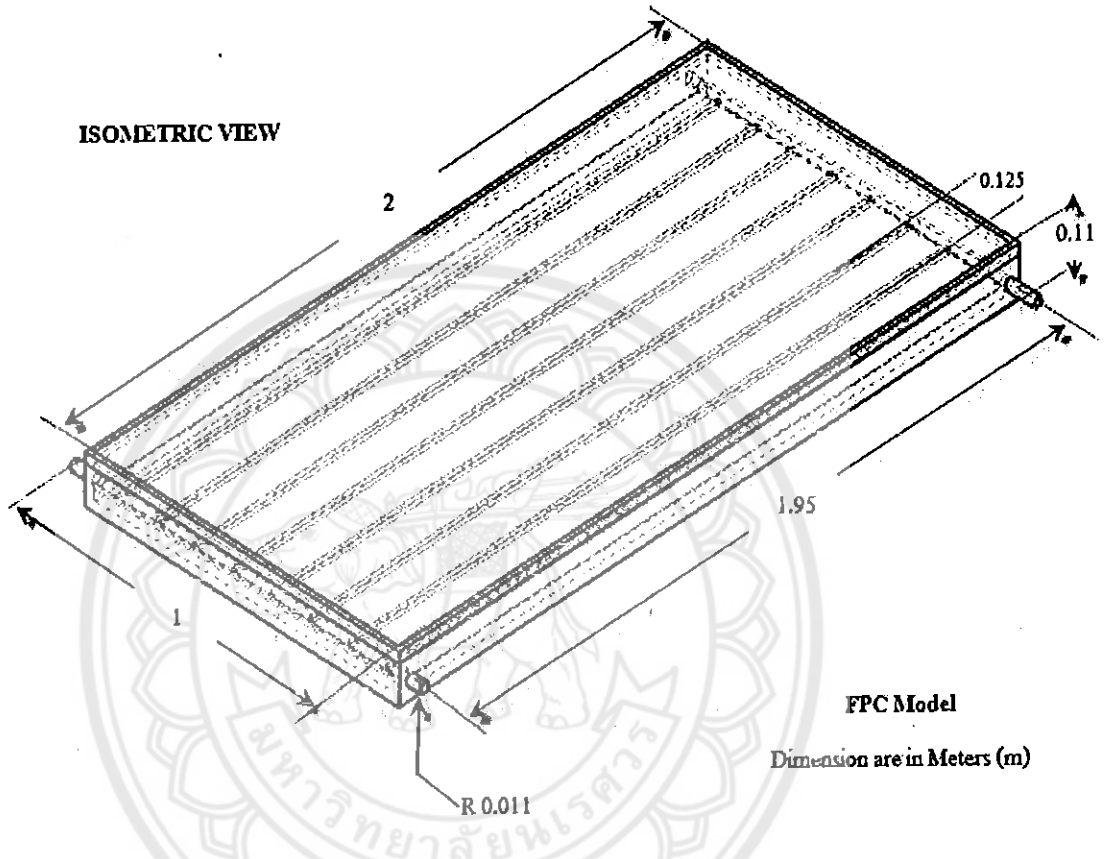
รูปที่ 2 (ผก) สภาพของฉนวน โฟมขาว



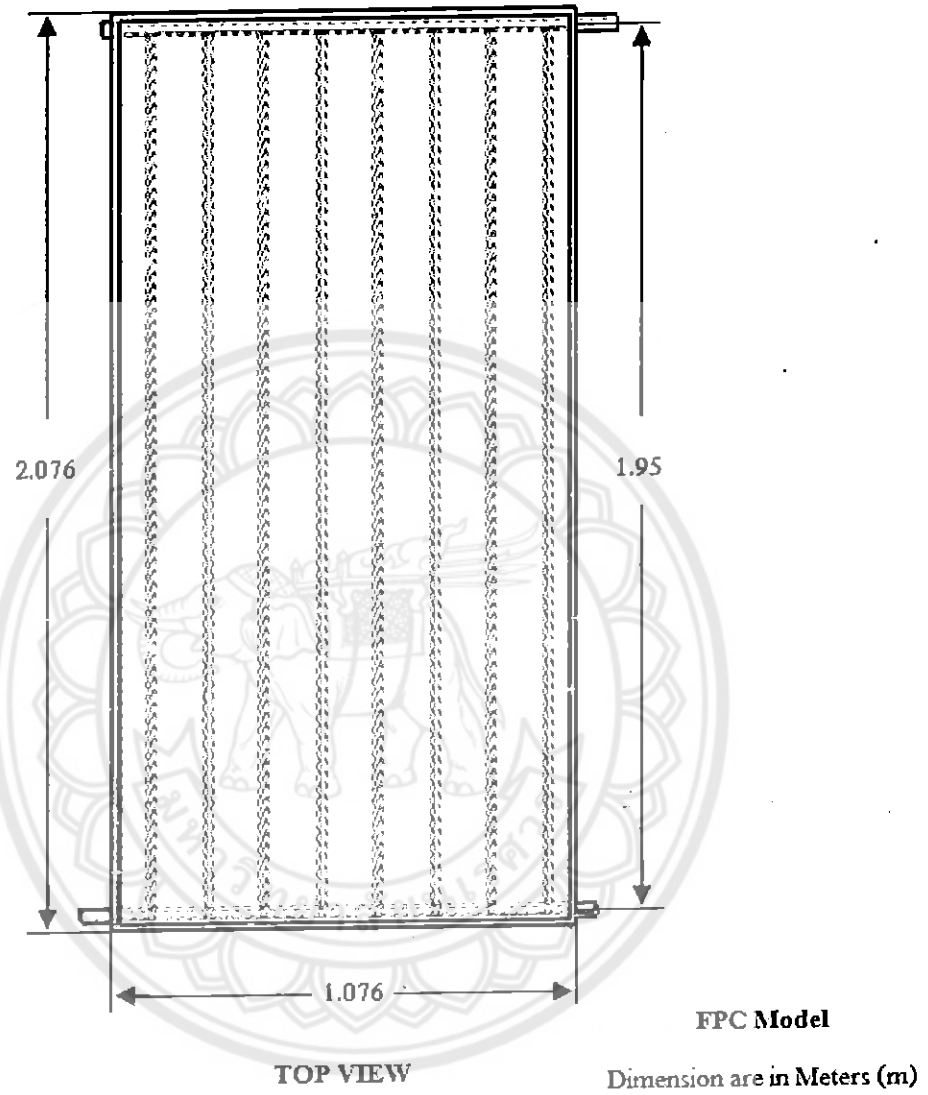
รูปที่ 3 (ผก) ฉนวนที่ทำจากกาบมะพร้าว



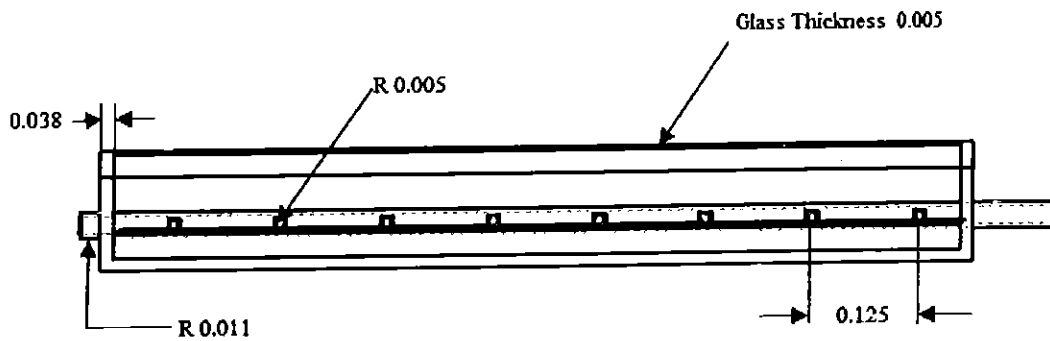
รูปที่ 4 (ผก) ฉนวนที่ทำจากขนแกะ



รูปที่ 5 (ผก) ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ



รูปที่ 6 (ผก) มุมมองจากด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ

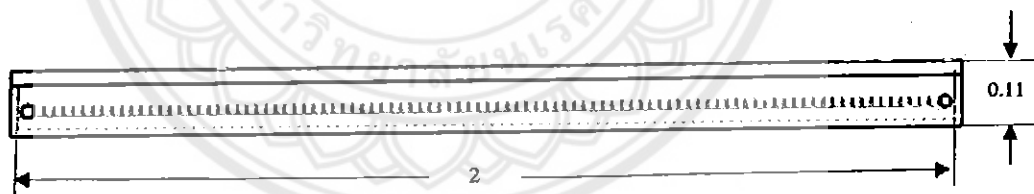


FRONT VIEW

FPC Model

Dimension are in Meters (m)

รูปที่ 7 (ผก) มุมมองจากด้านหน้าของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ



SIDE VIEW

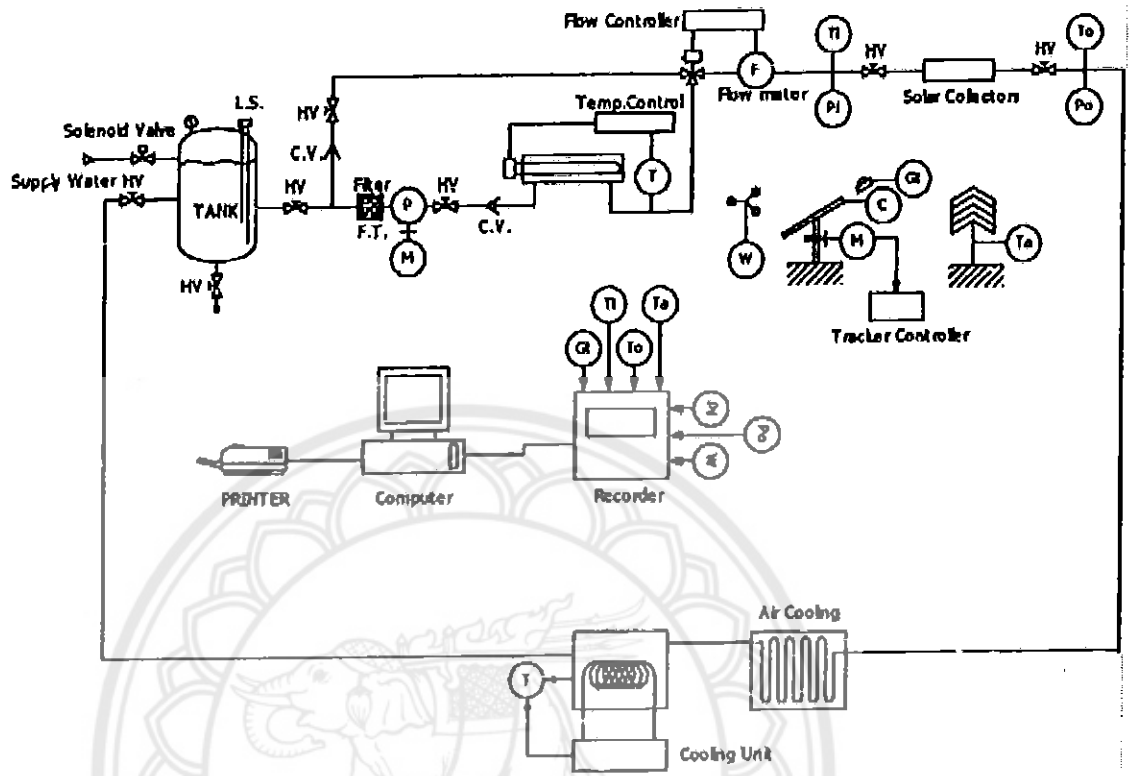
FPC Model

Dimension are in Meters (m)

รูปที่ 8 (ผก) มุมมองจากด้านข้างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบที่ออกแบบ



## แผนผังระบบทดสอบ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

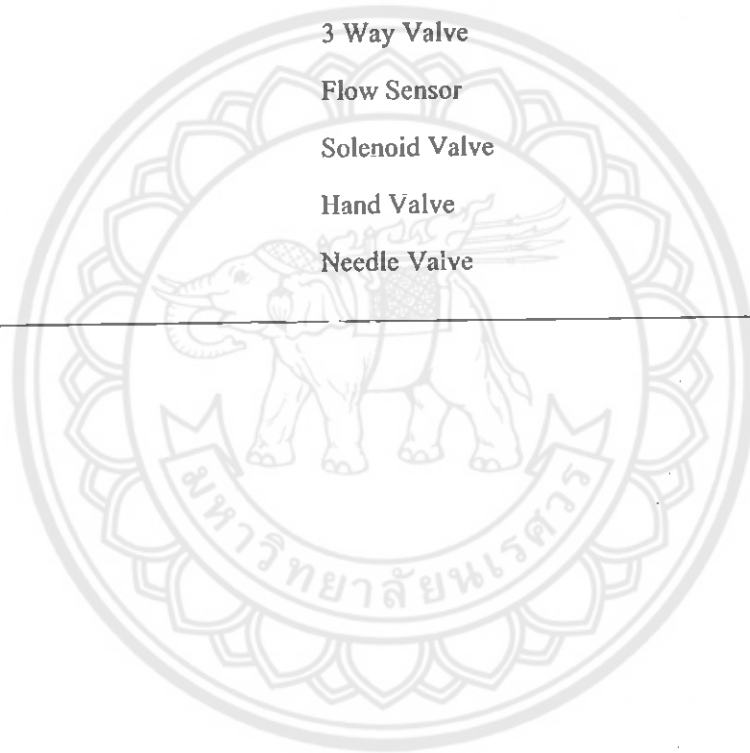


### ความหมายสัญลักษณ์

- C : Solar Collector
- C.V. : Check valve
- F : Flow transducer
- F.T. : Water filter
- $G_c$  : Solar radiation on collector plane
- HV : Hand valve
- L.S. : Level switch control
- M : AC motor drive pump P : Water pump
- Pi : Pressure transducer inlet
- Po : Pressure transducer outlet
- T : Temperature heating control
- Ta : Ambient temperature
- Ti : Inlet temperature
- To : Outlet temperature
- W : Wind speed

**Component List**

<b>Designation</b>	<b>Description</b>	<b>Property's/Comments</b>
B01	Level Sensor	
B02	Tank	
B03	Pump	
B04	Motor	
B05	Pressure Switch	
B06	Pressure gate	
B07	Heater	
B08	3 Way Valve	
B09	Flow Sensor	
S.V	Solenoid Valve	
H.V	Hand Valve	
N.V	Needle Valve	





## ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพชั่วขณะใดขณะหนึ่งของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ

จากข้อมูลที่ได้จากการทดสอบตาม ASHRAE Standard 93-77 สามารถนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพชั่วขณะใดขณะหนึ่งได้ดังนี้

ประสิทธิภาพชั่วขณะใดขณะหนึ่งของตัวเก็บรังสีอาทิตย์,  $\eta_c$  คืออัตราส่วนของพลังงานความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อพลังงานรังสีอาทิตย์ทั้งหมดที่ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ได้รับ

$$\text{แสดงดังสมการที่ 14 คือ } \eta_c = \frac{\dot{m}C_p(T_{f,o} - T_{f,i})}{A_c G_t} ; \text{ เมื่อ } C_p = 4,187 \text{ J/kg } ^\circ\text{C}$$

ข้อมูลในการทดสอบแสดงดังตาราง

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
932	0.039	29.85	33.51	38.61	0.0039	0.446
933	0.040	29.87	33.51	38.62	0.0039	0.458
931	0.040	29.83	33.51	38.59	0.0040	0.456

จากข้อมูลในตาราง แทนค่าลงในสมการที่ 14 สามารถแสดงตัวอย่างการคำนวณได้ดังนี้

$$\eta_{c,932} = \frac{0.039(4,187)(38.61 - 33.51)}{2(932)} = 0.446 = 44.68\%$$

สรุป จากการคำนวณดังกล่าว สามารถนำไป เขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพชั่วขณะใดขณะหนึ่ง,  $\eta_c$  กับเทอมของ  $(T_{f,i} - T_a) / G_t$  ได้



## ภาคผนวก ก.1

ตารางข้อมูลดิบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 1 ใช้โฟมขาวเป็นฉนวน

Solar irr ( $G_t$ ) = 870-934 W/m <sup>2</sup>	Module area ( $A_c$ ) = 2 m <sup>2</sup>
Flow rate ( $\dot{m}$ ) = 0.039-0.044 kg/s·m <sup>2</sup>	Specific heat capacity ( $C_p$ ) = 4187 J/kg °C

\* อุณหภูมิของ  $T_a$ ,  $T_{f,i}$ ,  $T_{f,o}$  หน่วยเป็น (°C)      \*\* Efficiency ( $\eta_c$ )

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	( $\eta_c$ )
870	0.041	31.49	39.50	43.88	0.0092	0.432
870	0.042	31.54	39.44	43.85	0.0091	0.440
870	0.041	31.42	39.49	43.88	0.0093	0.427
871	0.041	31.37	39.39	43.88	0.0092	0.442
871	0.042	28.50	31.30	35.69	0.0032	0.438
871	0.040	28.68	30.56	34.98	0.0022	0.421
872	0.041	31.37	39.40	43.85	0.0092	0.440
872	0.040	28.64	30.77	35.23	0.0024	0.431
872	0.041	31.09	39.63	43.94	0.0098	0.422
873	0.041	29.96	35.18	44.44	0.0060	0.912
873	0.042	28.33	31.50	36.01	0.0036	0.453
873	0.043	31.32	39.20	43.86	0.0090	0.475
874	0.041	31.08	40.18	44.01	0.0104	0.372
874	0.041	31.39	39.37	44.07	0.0091	0.464
874	0.042	28.35	31.50	36.00	0.0036	0.450
874	0.040	31.11	40.60	44.06	0.0109	0.329
875	0.041	31.12	40.74	44.08	0.0110	0.326
875	0.041	31.11	39.65	43.93	0.0098	0.421
875	0.042	31.05	39.73	44.00	0.0099	0.433
876	0.042	31.49	39.38	44.30	0.0090	0.488
876	0.041	31.28	39.21	43.88	0.0090	0.452
876	0.042	31.08	39.21	44.00	0.0093	0.480

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
877	0.040	28.52	30.88	35.32	0.0027	0.424
877	0.040	29.92	35.31	44.59	0.0062	0.894
877	0.042	31.42	39.47	44.92	0.0092	0.540
878	0.041	31.21	41.17	44.11	0.0113	0.284
878	0.042	31.30	39.20	43.85	0.0090	0.461
878	0.041	31.20	39.20	43.83	0.0091	0.453
879	0.041	31.50	39.75	44.07	0.0094	0.425
879	0.041	29.69	34.40	40.42	0.0054	0.590
879	0.042	28.37	31.48	35.99	0.0035	0.448
879	0.041	31.49	39.39	44.32	0.0090	0.485
880	0.041	31.08	40.55	44.62	0.0108	0.400
880	0.040	31.11	39.76	43.94	0.0098	0.401
880	0.042	31.17	39.28	44.52	0.0092	0.518
881	0.042	31.09	39.75	43.93	0.0098	0.414
881	0.041	31.12	39.26	44.38	0.0092	0.495
881	0.042	31.38	40.12	44.76	0.0099	0.461
882	0.040	31.08	39.24	44.32	0.0092	0.482
882	0.042	31.08	39.24	44.27	0.0092	0.497
882	0.042	31.17	39.20	43.81	0.0091	0.460
883	0.042	31.46	39.41	44.62	0.0090	0.512
883	0.041	31.22	39.40	44.78	0.0093	0.526
883	0.042	31.04	39.46	44.13	0.0095	0.467
884	0.042	31.16	40.51	44.48	0.0106	0.391
884	0.041	31.29	39.29	43.79	0.0091	0.438
884	0.042	28.40	31.47	35.98	0.0035	0.451
885	0.041	31.10	39.30	44.46	0.0093	0.503
885	0.041	29.53	34.94	44.67	0.0061	0.941
885	0.042	30.16	35.37	40.02	0.0059	0.461
898	0.041	30.07	34.91	38.66	0.0054	0.361

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
898	0.041	30.81	39.55	45.67	0.0097	0.590
898	0.041	30.80	43.06	47.48	0.0136	0.422
899	0.041	29.75	33.54	38.41	0.0042	0.467
899	0.041	31.11	38.98	43.48	0.0088	0.431
899	0.041	29.73	33.56	38.49	0.0043	0.469
901	0.041	31.06	38.98	43.47	0.0088	0.431
901	0.041	31.05	39.01	43.48	0.0088	0.428
902	0.042	31.07	39.02	43.49	0.0088	0.433
902	0.041	31.06	39.02	43.49	0.0088	0.423
902	0.040	29.47	34.89	39.74	0.0060	0.446
904	0.041	29.65	34.95	39.80	0.0059	0.458
904	0.040	29.60	34.94	39.79	0.0059	0.451
904	0.041	31.09	39.00	43.48	0.0088	0.429
905	0.041	29.73	33.55	38.50	0.0042	0.463
905	0.041	29.70	33.55	38.50	0.0043	0.467
906	0.041	29.48	34.91	39.76	0.0060	0.455
906	0.040	29.47	34.91	39.75	0.0060	0.447
906	0.041	29.75	33.55	38.48	0.0042	0.471
906	0.041	29.50	34.93	39.75	0.0060	0.452
907	0.041	29.74	33.55	38.49	0.0042	0.467
907	0.041	29.86	33.67	38.62	0.0042	0.468
907	0.041	30.88	38.40	43.10	0.0083	0.439
908	0.041	30.66	38.66	43.20	0.0088	0.425
908	0.040	30.83	38.35	43.05	0.0083	0.431
908	0.040	29.49	34.87	39.73	0.0059	0.451
909	0.040	29.53	34.87	39.73	0.0059	0.451
909	0.040	31.04	39.02	43.49	0.0088	0.416
910	0.041	29.56	34.94	39.78	0.0059	0.455
911	0.041	29.47	34.88	39.74	0.0059	0.462



Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
911	0.040	30.68	38.65	43.20	0.0088	0.420
911	0.041	31.00	39.03	43.50	0.0088	0.418
912	0.042	30.67	38.66	43.20	0.0088	0.433
912	0.041	29.82	33.66	38.63	0.0042	0.463
912	0.041	30.68	38.70	43.23	0.0088	0.423
913	0.041	30.67	38.73	43.28	0.0088	0.430
913	0.041	30.81	38.83	43.39	0.0088	0.423
913	0.041	29.63	33.55	38.48	0.0043	0.463
913	0.041	30.80	38.82	43.39	0.0088	0.433
914	0.040	29.56	35.01	39.82	0.0060	0.445
914	0.041	30.68	38.72	43.25	0.0088	0.427
914	0.040	30.79	38.41	43.11	0.0083	0.435
915	0.041	30.67	38.71	43.24	0.0088	0.424
915	0.041	30.86	38.32	43.06	0.0082	0.441
915	0.042	30.68	38.70	43.23	0.0088	0.432
915	0.041	29.69	33.65	38.62	0.0043	0.468
916	0.041	29.69	33.54	38.51	0.0042	0.463
916	0.041	30.68	38.71	43.24	0.0088	0.422
916	0.041	30.67	38.72	43.26	0.0088	0.426
917	0.042	29.93	33.97	38.89	0.0044	0.465
917	0.041	29.68	33.55	38.50	0.0042	0.463
917	0.040	30.69	38.72	43.27	0.0088	0.419
918	0.041	29.50	35.04	39.80	0.0060	0.449
918	0.041	29.51	35.02	39.81	0.0060	0.447
918	0.040	30.80	38.29	43.03	0.0082	0.436
919	0.041	30.41	40.04	47.60	0.0105	0.708
919	0.041	28.99	31.96	36.74	0.0032	0.444
919	0.042	29.71	34.69	39.59	0.0054	0.462
920	0.042	30.00	33.97	38.90	0.0043	0.471

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
920	0.041	30.84	38.29	43.04	0.0081	0.443
920	0.041	30.66	38.76	43.32	0.0088	0.425
921	0.042	29.51	35.04	39.88	0.0060	0.461
921	0.041	29.98	33.95	39.00	0.0043	0.466
921	0.041	30.65	38.79	43.37	0.0088	0.430
922	0.042	30.83	38.49	43.15	0.0083	0.438
922	0.040	29.73	33.80	38.95	0.0044	0.464
922	0.041	30.69	38.77	43.36	0.0088	0.429
923	0.042	30.58	38.27	42.94	0.0083	0.440
923	0.041	29.52	35.04	39.87	0.0060	0.453
923	0.041	30.72	38.42	43.10	0.0083	0.439
924	0.041	29.84	33.82	38.91	0.0043	0.468
924	0.042	30.58	38.74	43.30	0.0088	0.428
925	0.042	30.61	38.27	42.95	0.0083	0.439
925	0.041	29.58	33.63	38.61	0.0044	0.464
925	0.039	29.84	33.95	39.22	0.0044	0.469
926	0.041	29.99	33.95	39.01	0.0043	0.473
926	0.041	30.55	38.27	42.95	0.0083	0.437
926	0.041	30.59	38.27	42.97	0.0083	0.439
927	0.041	30.70	38.27	42.96	0.0082	0.431
927	0.041	30.55	38.27	42.96	0.0083	0.437
927	0.041	30.54	38.27	42.97	0.0083	0.435
927	0.041	30.70	38.28	42.98	0.0082	0.436
928	0.041	30.54	38.27	42.96	0.0083	0.438
928	0.042	30.78	38.49	43.14	0.0083	0.438
928	0.041	29.63	33.62	38.60	0.0043	0.464
929	0.041	29.99	33.95	39.06	0.0043	0.471
929	0.041	29.61	33.63	38.62	0.0043	0.464
929	0.042	29.53	35.05	39.81	0.0059	0.446

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
930	0.041	30.67	38.25	42.95	0.0082	0.436
930	0.040	29.82	33.96	39.12	0.0044	0.466
930	0.042	30.66	38.25	42.95	0.0082	0.438
930	0.041	29.98	33.96	39.08	0.0043	0.471
931	0.040	29.67	33.58	38.82	0.0042	0.468
931	0.041	30.66	38.28	43.04	0.0082	0.440
931	0.041	30.65	38.25	42.94	0.0082	0.436
933	0.040	30.65	38.27	43.04	0.0082	0.430
933	0.040	30.66	38.28	43.04	0.0082	0.430



## ภาคผนวก ก.2

ข้อมูลดิบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 2 ใช้ซีเลียมเป็นฉนวน

Solar irr ( $G_t$ ) = 850-914 W/m <sup>2</sup>	Module area = 2 m <sup>2</sup>
Flow rate ( $\dot{m}$ ) = 0.040-0.044 kg/s·m <sup>2</sup>	Specific heat capacity ( $C_p$ ) = 4187 J/kg °C

\* อุณหภูมิของ  $T_a$ ,  $T_{f,i}$ ,  $T_{f,o}$  หน่วยเป็น (°C)\*\* Efficiency ( $\eta_c$ )

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	( $\eta_c$ )
850	0.042	29.65	42.55	47.02	0.0152	0.457
850	0.042	29.81	42.68	47.16	0.0151	0.461
850	0.042	29.59	42.52	46.98	0.0152	0.456
851	0.042	29.35	42.24	46.68	0.0151	0.463
851	0.043	31.94	41.63	45.99	0.0114	0.464
851	0.042	29.52	42.48	46.97	0.0152	0.466
852	0.043	29.55	42.16	46.63	0.0148	0.468
852	0.042	29.90	42.75	47.23	0.0151	0.464
852	0.042	29.66	42.42	46.90	0.0150	0.459
852	0.042	29.84	42.68	47.14	0.0151	0.461
853	0.042	29.48	42.29	46.74	0.0150	0.459
853	0.042	29.79	42.69	47.18	0.0151	0.466
853	0.043	29.84	42.68	47.16	0.0150	0.468
854	0.043	30.01	42.82	47.29	0.0150	0.466
854	0.042	29.71	42.36	46.86	0.0148	0.457
854	0.042	30.06	42.87	47.32	0.0150	0.457
855	0.042	29.93	42.78	47.23	0.0150	0.457
855	0.042	30.02	42.82	47.29	0.0150	0.463
855	0.043	29.77	43.17	47.55	0.0157	0.458
856	0.043	29.77	43.18	47.55	0.0157	0.459
856	0.043	30.12	43.79	48.10	0.0160	0.456
856	0.043	30.15	42.94	47.43	0.0149	0.467

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
857	0.043	29.86	43.34	47.76	0.0157	0.463
857	0.042	29.88	43.44	47.83	0.0158	0.454
857	0.042	30.01	42.96	47.47	0.0151	0.463
858	0.043	30.04	43.32	47.72	0.0155	0.457
858	0.043	30.04	43.07	47.53	0.0152	0.464
858	0.043	29.91	43.29	47.67	0.0156	0.459
859	0.042	29.88	43.39	47.83	0.0157	0.454
859	0.043	30.00	43.00	47.48	0.0151	0.466
859	0.043	30.01	42.98	47.49	0.0151	0.471
860	0.042	30.25	43.83	48.13	0.0158	0.443
860	0.043	29.82	43.72	48.02	0.0162	0.445
860	0.042	29.91	43.40	47.84	0.0157	0.456
860	0.044	29.74	43.61	47.94	0.0161	0.458
861	0.042	29.75	43.23	47.56	0.0157	0.443
861	0.043	30.14	43.80	48.12	0.0159	0.446
861	0.043	29.91	43.40	47.84	0.0157	0.461
862	0.042	29.85	43.72	48.01	0.0161	0.442
862	0.043	29.94	43.41	47.85	0.0156	0.459
862	0.042	29.85	43.70	48.01	0.0161	0.440
863	0.043	30.22	43.93	48.14	0.0159	0.440
863	0.042	30.01	43.05	47.53	0.0151	0.452
863	0.043	30.04	43.06	47.54	0.0151	0.465
864	0.042	29.74	43.61	47.95	0.0161	0.442
864	0.043	30.26	43.88	48.12	0.0158	0.445
864	0.043	30.22	43.92	48.14	0.0158	0.442
865	0.043	29.77	43.65	47.96	0.0161	0.448
865	0.043	32.27	42.00	46.52	0.0112	0.465
865	0.042	32.25	42.06	46.62	0.0113	0.464
865	0.043	29.75	43.64	47.95	0.0160	0.450

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
866	0.043	30.29	43.84	48.13	0.0156	0.445
866	0.043	29.84	43.70	48.00	0.0160	0.450
866	0.043	29.75	43.51	47.86	0.0159	0.447
867	0.044	29.75	43.65	47.96	0.0160	0.456
867	0.043	29.80	43.53	47.87	0.0158	0.452
867	0.044	29.75	43.58	47.89	0.0159	0.454
868	0.042	29.69	43.56	47.88	0.0160	0.440
868	0.042	29.75	43.51	47.86	0.0158	0.443
868	0.043	32.03	41.94	46.45	0.0114	0.464
877	0.043	32.13	41.96	46.48	0.0112	0.465
877	0.042	32.19	42.18	46.78	0.0114	0.465
877	0.042	32.27	42.16	46.76	0.0113	0.465
877	0.043	32.21	42.20	46.78	0.0114	0.464
880	0.043	32.25	42.17	46.76	0.0113	0.464
880	0.041	28.76	35.77	40.60	0.0080	0.475
886	0.043	32.16	42.36	46.98	0.0115	0.464
886	0.043	32.22	42.47	47.03	0.0116	0.464
886	0.042	32.15	42.36	46.99	0.0115	0.464
887	0.042	32.13	42.35	47.00	0.0115	0.465
887	0.043	32.13	42.35	46.99	0.0115	0.465
887	0.043	32.12	42.43	47.01	0.0116	0.464
890	0.042	29.17	36.43	41.30	0.0082	0.475
890	0.043	32.19	42.37	46.98	0.0114	0.465
890	0.043	32.12	42.30	46.94	0.0114	0.465
890	0.043	32.18	42.39	46.99	0.0115	0.465
893	0.043	32.12	42.28	46.85	0.0114	0.464
893	0.043	32.22	42.24	46.83	0.0112	0.464
894	0.043	32.18	42.39	46.99	0.0114	0.464
894	0.043	32.19	42.33	46.99	0.0113	0.465

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
894	0.042	28.13	35.35	40.17	0.0081	0.475
895	0.042	29.05	36.40	41.27	0.0082	0.475
895	0.042	27.62	34.89	39.72	0.0081	0.475
895	0.044	32.15	42.27	46.84	0.0113	0.464
898	0.043	32.20	42.26	46.85	0.0112	0.464
898	0.042	27.42	34.68	39.49	0.0081	0.474
898	0.042	27.40	34.68	39.49	0.0081	0.474
902	0.042	27.50	34.84	39.70	0.0081	0.475
902	0.042	28.47	35.58	40.48	0.0079	0.475
902	0.042	28.52	35.67	40.57	0.0079	0.475
904	0.042	28.87	36.31	41.20	0.0082	0.475
904	0.042	28.50	35.57	40.47	0.0078	0.475
905	0.043	27.92	35.22	40.02	0.0081	0.474
906	0.041	27.30	34.75	39.60	0.0082	0.453
906	0.041	27.79	35.19	39.99	0.0082	0.453
906	0.042	28.33	35.55	40.42	0.0080	0.470
906	0.042	30.77	39.83	44.38	0.0100	0.445
907	0.042	28.50	35.50	40.36	0.0077	0.465
907	0.042	28.53	35.71	40.60	0.0079	0.469
907	0.043	29.48	36.75	41.53	0.0080	0.469
908	0.041	28.47	35.51	40.37	0.0077	0.462
908	0.040	28.33	35.54	40.41	0.0079	0.452
908	0.041	29.31	37.78	42.61	0.0093	0.456
909	0.042	28.49	35.50	40.37	0.0077	0.470
909	0.041	29.44	36.73	41.56	0.0080	0.456
909	0.043	31.56	40.73	45.19	0.0101	0.436
910	0.041	31.31	40.60	45.29	0.0102	0.442
910	0.042	29.32	37.76	42.55	0.0093	0.464
910	0.042	28.71	36.27	41.15	0.0083	0.469

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
911	0.042	31.60	40.74	45.20	0.0100	0.433
911	0.041	30.44	39.30	44.21	0.0097	0.467
911	0.043	31.63	40.76	45.18	0.0100	0.432
912	0.042	30.14	39.04	43.89	0.0098	0.467
912	0.041	28.53	35.67	40.56	0.0078	0.460
912	0.042	30.79	39.83	44.38	0.0099	0.436





## ภาคผนวก ค.3

ข้อมูลดิบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบแบบที่ 3 ใช้กานะพร้าวเป็นฉนวน

Solar irr ( $G_t$ ) = 830-894 W/m <sup>2</sup>	Module area ( $A_c$ ) = 2 m <sup>2</sup>
Flow rate ( $\dot{m}$ ) = 0.040-0.042 kg/s · m <sup>2</sup>	Specific heat capacity ( $C_p$ ) = 4187 J/kg °C

\* อุณหภูมิของ  $T_a$ ,  $T_{f,i}$ ,  $T_{f,o}$  หน่วยเป็น (°C)      \*\* Efficiency ( $\eta_c$ )

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
830	0.040	29.10	36.33	40.80	0.0087	0.451
830	0.040	30.00	36.91	41.40	0.0083	0.456
830	0.041	29.33	35.57	39.99	0.0075	0.460
831	0.040	29.27	36.26	40.73	0.0084	0.454
831	0.040	30.08	36.80	41.37	0.0081	0.460
831	0.041	29.58	36.68	41.25	0.0085	0.469
832	0.041	32.74	42.08	46.25	0.0112	0.426
832	0.041	32.79	42.07	46.25	0.0112	0.427
832	0.040	32.70	42.07	46.23	0.0113	0.422
833	0.040	29.97	36.97	41.52	0.0084	0.460
833	0.040	29.97	36.97	41.52	0.0084	0.460
833	0.041	29.32	36.27	40.73	0.0083	0.454
834	0.040	32.76	41.92	46.31	0.0110	0.441
834	0.041	29.33	36.30	40.77	0.0084	0.454
834	0.042	32.68	42.06	46.27	0.0113	0.438
835	0.040	29.40	36.62	41.16	0.0086	0.458
835	0.040	32.66	42.06	46.26	0.0112	0.423
835	0.040	29.37	36.51	40.99	0.0085	0.453
835	0.040	29.65	36.73	41.29	0.0085	0.461
836	0.041	29.99	36.76	41.33	0.0081	0.468
836	0.040	29.81	37.01	41.58	0.0086	0.457
836	0.040	29.72	36.74	41.29	0.0084	0.460

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a)/G_t$	$(\eta_c)$
837	0.040	29.52	36.67	41.25	0.0085	0.458
837	0.040	29.57	36.67	41.25	0.0085	0.459
839	0.040	29.46	36.64	41.20	0.0086	0.459
839	0.040	29.52	36.65	41.21	0.0085	0.458
839	0.040	29.88	37.07	41.65	0.0086	0.457
840	0.040	29.97	37.03	41.60	0.0084	0.458
840	0.041	29.92	36.99	41.53	0.0084	0.460
841	0.040	29.86	37.06	41.65	0.0086	0.459
841	0.040	29.97	37.09	41.66	0.0085	0.458
842	0.040	30.00	37.09	41.68	0.0084	0.458
842	0.040	29.88	37.07	41.64	0.0085	0.458
844	0.041	29.87	37.06	41.63	0.0085	0.459
844	0.040	30.03	37.14	41.75	0.0084	0.459
844	0.040	30.01	37.14	41.75	0.0084	0.457
846	0.041	32.94	41.82	46.18	0.0105	0.442
846	0.041	32.92	41.82	46.18	0.0105	0.440
847	0.041	29.86	37.04	41.62	0.0085	0.459
847	0.040	30.06	37.21	41.87	0.0084	0.461
848	0.040	30.11	37.22	41.86	0.0084	0.460
848	0.041	32.84	41.80	46.20	0.0106	0.440
855	0.040	30.71	38.62	43.21	0.0093	0.451
856	0.040	32.71	41.66	46.15	0.0104	0.441
859	0.040	32.83	41.64	46.14	0.0103	0.441
859	0.040	32.72	41.66	46.16	0.0104	0.440
860	0.040	32.81	41.62	46.11	0.0102	0.441
860	0.041	32.79	41.72	46.17	0.0104	0.441
860	0.040	32.53	41.50	46.02	0.0104	0.440
861	0.040	32.81	41.64	46.14	0.0103	0.440
866	0.040	30.50	38.66	43.31	0.0094	0.450

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a) / G_t$	$(\eta_c)$
866	0.040	32.43	41.55	46.09	0.0105	0.440
866	0.040	32.67	41.57	46.10	0.0103	0.441
867	0.041	32.79	41.71	46.18	0.0103	0.441
867	0.040	32.55	41.56	46.09	0.0104	0.442
867	0.041	32.62	41.58	46.10	0.0103	0.441
868	0.040	32.61	41.58	46.10	0.0103	0.440
868	0.041	32.61	41.58	46.10	0.0103	0.441
868	0.040	32.42	41.54	46.06	0.0105	0.440
877	0.041	31.00	39.04	43.78	0.0092	0.457
877	0.040	31.29	40.22	44.74	0.0102	0.436
877	0.041	31.56	40.31	44.83	0.0100	0.445
878	0.041	31.27	40.07	44.61	0.0100	0.445
878	0.041	31.46	40.43	44.92	0.0102	0.437
878	0.041	31.36	40.19	44.70	0.0101	0.435
879	0.041	31.45	40.20	44.70	0.0099	0.434
879	0.040	31.64	40.82	45.44	0.0104	0.442
879	0.040	31.87	40.95	45.47	0.0103	0.431
880	0.041	31.91	41.11	45.58	0.0105	0.431
880	0.040	31.37	39.93	44.48	0.0097	0.433
880	0.041	31.69	40.80	45.41	0.0103	0.445
881	0.040	31.35	39.93	44.47	0.0097	0.431
881	0.040	31.25	40.56	45.03	0.0106	0.428
881	0.041	31.96	41.12	45.59	0.0104	0.431
882	0.041	32.24	41.14	45.60	0.0101	0.432
882	0.040	31.09	40.17	44.68	0.0103	0.432
882	0.040	31.44	40.44	44.97	0.0102	0.433
884	0.041	31.18	40.54	45.03	0.0106	0.430
884	0.040	31.26	40.12	44.68	0.0100	0.436
884	0.040	30.63	38.93	43.63	0.0094	0.448

Solar irr ( $G_t$ )	Flow rate ( $\dot{m}$ )	$T_a$	$T_{f,i}$	$T_{f,o}$	$(T_{f,i} - T_a)/G_t$	$(\eta_c)$
885	0.041	31.77	40.65	45.12	0.0100	0.430
885	0.041	31.19	39.87	44.41	0.0098	0.438
885	0.041	31.15	39.88	44.41	0.0099	0.440
886	0.042	31.27	40.48	44.99	0.0104	0.443
886	0.041	31.17	39.87	44.42	0.0098	0.442
886	0.041	31.17	39.87	44.41	0.0098	0.444
887	0.040	31.76	40.87	45.41	0.0103	0.430
887	0.041	31.05	39.09	43.82	0.0091	0.454
887	0.040	31.31	40.52	45.03	0.0104	0.430
888	0.041	31.30	40.52	45.04	0.0104	0.432
888	0.041	31.05	39.09	43.81	0.0091	0.460
888	0.041	31.22	40.53	45.03	0.0105	0.438
889	0.041	31.09	39.90	44.43	0.0099	0.434
889	0.041	31.23	40.54	45.03	0.0105	0.429
889	0.041	31.00	39.00	43.71	0.0090	0.453
890	0.040	31.16	39.83	44.37	0.0097	0.431
890	0.040	31.06	39.05	43.80	0.0090	0.446
890	0.040	31.35	40.50	45.00	0.0103	0.424
891	0.042	31.30	39.79	44.40	0.0095	0.452
891	0.041	31.07	39.39	44.02	0.0093	0.447
891	0.041	31.07	39.39	44.03	0.0093	0.442
892	0.040	31.13	39.78	44.38	0.0097	0.432
892	0.040	30.71	38.94	43.65	0.0092	0.441
892	0.041	30.99	39.75	44.36	0.0098	0.438
893	0.040	30.96	38.99	43.68	0.0090	0.440
893	0.040	30.91	39.29	43.96	0.0094	0.437
893	0.042	31.10	39.17	43.90	0.0090	0.461
894	0.040	30.99	39.14	43.85	0.0091	0.444
894	0.041	31.04	39.18	43.89	0.0091	0.447

## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ

- ชื่อ นาย อุดลสิทธิ์ นพคุณเรืองไชย  
 ภูมิลำเนา เลขที่ 94 หมู่ 2 ต. เข็กน้อย อ. เขาค้อ จ. เพชรบูรณ์  
 ประวัติการศึกษา จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนแคมป์สนวิทยาคม  
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ชื่อ นายพงษ์เทพ สวัสดิ์วงศ์ชัย  
 ภูมิลำเนา 4 หมู่ 8 ต. หนองสูงใต้ อ. หนองสูง จ. มุกดาหาร  
 ประวัติการศึกษา จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนคำชะอีวิทยาคาร  
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ชื่อ นาย อรรถวิทย์ ทิพย์ศ  
 ภูมิลำเนา 45/1 หมู่ 7 ต. นาเกลือ อ. เวียงสา จ. น่าน  
 ประวัติการศึกษา จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร  
 ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมเครื่องกล  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร