



# รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อน  
แบบสั่นวงรอบ

Flat Plate Solar Water Heater with Closed-Loop Oscillating  
Heat Pipes

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- |                                |                   |
|--------------------------------|-------------------|
| 1. นางสาวปิยะนันท์ เจริญสวรรค์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |
| 2. นายวานุทธิ์ ภมร             | คณะวิศวกรรมศาสตร์ |

เข้ารับการอนุมัติ มหาวิทยาลัยนเรศวร

วันที่ ๒๕๖๔ ๓๐ กันยายน ๒๕๖๔

เลขที่รับแบบ ๑๐๔๑๐๖๘

เขตเรียนกันน้ำดี ๓ ๗๓

๙๑๑

๒๕๖๑

๒๕๖๑

สนับสนุนโดย  
งบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ)  
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๑

## Executive Summary

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบและสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ห่อความร้อนแบบสั่นง่วงรอบ หลังจากนั้นได้ทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบใหม่ที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ โดยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นี้จะประกอบด้วยตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ห่อความร้อนแบบสั่นง่วงรอบ และถังเก็บน้ำร้อนตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบมีขนาด  $2.1 \times 1.2 \text{ m}^2$  มีแผ่นกระจกใสปิดอยู่ด้านบน ภายในบรรจุห่อความร้อนแบบสั่นง่วงรอบซึ่งติดตั้งอยู่บนแผ่นดูดกลืนรังสีที่มีสีดำ และมีแผ่นฉนวนกันความร้อนปิดอยู่ด้านล่างของแผ่นดูดกลืนรังสี ห่อความร้อนแบบสั่นง่วงรอบแต่ละห่อจะสร้างขึ้นจากห่อค่าปีโลลาเรทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและภายนอกเป็น  $1.5 \text{ mm}$  และ  $2.8 \text{ mm}$  ตามลำดับ โดยนำห่อค่าปีโลลาเรทองแดงมาหันรอบห่ออะลูมิเนียมหน้าตัดสีเหลืองผึ้งผ้าและห่อหองแดงให้ได้จำนวน 20 ห้องเลี้ยว ส่วนทำระ夷ของห่อความร้อนจะหันอยู่บนห่ออะลูมิเนียมหน้าตัดสีเหลืองและมีความยาวท่ากับ  $1 \text{ m}$  ขณะที่ส่วนควบแน่นจะพันรอบห่อหองแดงซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น  $12.7 \text{ mm}$  โดยมีน้ำไหลผ่านภายในห่อหองแดงนี้ไปยังถังเก็บน้ำร้อน สารทำงานภายในห่อความร้อนคือน้ำกลั่นที่อัตราส่วนการเติมสารทำงานเป็น 50% ของปริมาตรภายในห่อหอง ถังเก็บน้ำบรรจุน้ำปริมาณ  $50 \text{ L}$  และออกแบบระบบหลีกน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบไฮโลเวียนตามธรรมชาติซึ่งเป็นระบบที่น้ำสามารถไหลเวียนได้เองโดยอาศัยแรงดึงดูด

ทำการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 โดยตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบทันหน้าไปทางทิศใต้เอียงทำมุม  $18^\circ$  จากแนวระดับ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนตัวรับรังสี ความร้อนที่ถูกเก็บไว้ในแผ่นดูดกลืนรังสีจะถ่ายเทให้แก่สารทำงานภายในส่วนทำระ夷ของห่อความร้อนแบบสั่นง่วงรอบ และมีการถ่ายเทความร้อนออกจากสารทำงานที่ส่วนควบแน่นของห่อความร้อนให้แก่น้ำที่กำลังไหลผ่านภายในห่อหองแดง เมื่อน้ำได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้มีความหนาแน่นลดลงและถอยตัวสูงขึ้นไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่ห้มฉนวนอย่างดี ในขณะเดียวกันน้ำบริเวณด้านล่างของถังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและมีความหนาแน่นสูงกว่าจะไหลจากถังมาแทนที่น้ำร้อนในตัวรับรังสีอาทิตย์ จากปรากฏการณ์นี้จะทำให้น้ำในถังมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นเรื่อยๆ ในขณะทำการทดลองจะวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิที่ส่วนต่างๆ คือ อากาศแวดล้อม ผิวกระจก ผิวดูดกลืนรังสี ห่อความร้อน และอุณหภูมน้ำในถังเก็บ หลังจากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำและประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จากการทดสอบพบว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ห่อความร้อนแบบสั่นง่วงรอบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุดคือ  $61.9^\circ\text{C}$  และมีประสิทธิภาพสูงสุด  $35.9\%$  ณ ค่าความเข้มแสงสูงสุด  $633.3 \text{ W/m}^2$

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยร่อง เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ห่อความร้อนแบบสั่น วงรอบ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน (แบบปกติ) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 และได้รับความอนุเคราะห์เกี่ยวกับสถานที่ในการทำวิจัย และ อุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ จากทางภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย นเรศวร โดยได้ดำเนินการวิจัย ณ ห้องวิจัยห่อความร้อนและระบบความร้อน อาคารปฏิบัติการ วิศวกรรมเครื่องกล คณะผู้ดำเนินโครงการขอขอบพระคุณอย่างสูง และขอบคุณ นางสาววรรณคณา วงศ์ชากอร ที่ช่วยเหลืองานทางด้านการจัดทำเอกสารต่างๆ มา ณ ที่นี้ด้วย



## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบ สร้าง และทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ห่อความร้อนแบบสั่นงรอบ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ห่อความร้อนแบบสั่นงรอบ และถังเก็บน้ำ ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบมีขนาด  $2.1 \times 1.2 \text{ m}^2$  เอียงทำมุม  $18^\circ$  จากแนวระดับ ภายในตัวรับรังสีมีการติดตั้งห่อความร้อนแบบสั่นงรอบจำนวน 17 ห่อ ห่อความร้อนสร้างจากห่อคากีฬารีซองเด้งที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน  $1.5 \text{ mm}$  20 โค้งเลี้ยว และใช้ไนก้าลันเป็นสารทำงานที่อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% ของปริมาตรห้องหมกภายในห่อความร้อน ถังเก็บน้ำบรรจุน้ำปริมาณ 50 L และออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบให้เลี้ยงตามธรรมชาติ จากการทดสอบพบว่าเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ห่อความร้อนแบบสั่นงรอบที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงสุดคือ  $61.9^\circ\text{C}$  และมีประสิทธิภาพสูงสุด 35.9% ณ ค่าความเข้มแสงสูงสุด  $633.3 \text{ W/m}^2$



## Abstract

This research aims to design, construct and investigate the thermal performance of the flat plate solar water heater with closed-loop oscillating heat pipes. The solar water heater consisted of the flat plate solar collector, the closed-loop oscillating heat pipes and the water storage tank. The flat plate collector was  $2.1 \times 1.2 \text{ m}^2$  in size with the inclination angle of  $18^\circ$  from horizontal axis. The seventeen closed-loop oscillating heat pipes were installed within the collector. Each heat pipe was made of the copper capillary tube with 1.5 mm inside diameter and its number of turns was 20. It was added with the distilled water at the 50% filling ratio of total internal tube volume. The storage tank contained the 50 L of water. The solar water heater operated as the passive system. It was found from the experimental results that the flat plate solar water heater with closed-loop oscillating heat pipes developed can produce the hot water at the maximum temperature of  $61.9^\circ\text{C}$ . Moreover the maximum efficiency of 35.9% was obtained at the maximum solar intensity of  $633.3 \text{ W/m}^2$ .

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ช
Abstract	ค
สารบัญ	ง
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.4 ขอบข่ายของการวิจัย	3
1.5 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.6 ผลที่ได้รับจากโครงการวิจัย	4
<b>บทที่ 2 ทฤษฎี</b>	
2.1 พลังงานแสงอาทิตย์	5
2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	6
2.3 ตัวรับรังสีอาทิตย์	7
2.4 ห้องความร้อน	10
2.5 มาตรฐานการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์	14
<b>บทที่ 3 การออกแบบ สร้าง และทดสอบ</b>	
3.1 การออกแบบและสร้างตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ฐานรอง ตัวรับรังสีอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อนและฐานรองถังเก็บน้ำร้อน	16
3.2 การสร้างและติดตั้งห้องร้อนแบบสั่นง珑ในชุดทดสอบ ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	22
3.3 หลักการทำงานของระบบและตัวแปรในการทดสอบ	24
3.4 ขั้นตอนการทดสอบ	26
3.5 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด	27

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	
4.1 การทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งที่ 1 วันที่ 10 เมษายน 2561	29
4.2 การทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งที่ 2 วันที่ 20 เมษายน 2561	33
4.3 การทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งที่ 3 วันที่ 21 เมษายน 2561	37
4.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์	42
<b>บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการทดลอง	44
5.2 ข้อเสนอแนะ	44
<b>บรรณานุกรม</b>	45
<b>ภาคผนวก</b>	
คำขอรับอนุสิทธิบัตร เรื่อง แผงทำความร้อนรังสีอาทิตย์แบบชุดท่อความร้อน	47
เลขที่คำขอ 1903002175	

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปัจจุบันมีการกล่าวถึงปัญหาโลกร้อน (Global warming) มาจากนี้ โดยพบว่าการเกิดสภาพเรือนกระจก (Greenhouse effect) มีความสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานเป็นอย่างยิ่ง สาเหตุที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เพราะพลังงานเกือบทั้งโลกมาจากการผลิตของฟอสซิล ซึ่งเป็นสาเหตุความแปรปรวนสภาพอากาศโลก จากวิกฤตการณ์ดังกล่าวทำให้เกิดผลกระทบไปทั่วโลก ดังนั้นจึงได้รณรงค์ให้มีการลดการใช้พลังงานและส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานใต้พิภพ พลังงานชีวมวล และพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่ง พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่คุ้มต่อการใช้งาน เพราะเป็นพลังงานที่ไม่ต้องสูญเสียสิ่งใดเพื่อได้มา และเป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษ โดยเฉพาะในประเทศไทยซึ่งมีภูมิประเทศอยู่บริเวณเด่น ศูนย์สูตรและมีค่าเฉลี่ยความชื้นรังสีอาทิตย์รวมค่อนข้างสูงประมาณ  $18.2 \text{ MJ/m}^2\text{-day}$  [23] จึงมี การประยุกต์ใช้อย่างมากมาย แต่ที่น่าสนใจก็คือ เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar water heater) ซึ่งน้ำร้อนมีความจำเป็นต่อการใช้งานสูง เช่น ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง อุตสาหกรรมอาหาร โรงพยาบาล โรงแรม สถานบริการ และที่อยู่อาศัย ประสิทธิภาพการทำงานของ เครื่องจะขึ้นอยู่กับตัวรับรังสีอาทิตย์ (Solar collector) ซึ่งมีหลายชนิดคือ แบบรวมศูนย์ (Focusing solar collector) แบบแผ่นเรียบ (Flat plate solar collector) และแบบห่อสูญญากาศ (Evacuated tube solar collector) [23] จากการเปรียบเทียบทั้ง 3 ชนิดพบว่า แบบรวมศูนย์ เหมาะสมสำหรับใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น เครื่องกำเนิดไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า แต่ใช้พื้นที่ในการรับรังสีแสงอาทิตย์มากและมีราคาต้นทุนสูง แบบแผ่นเรียบจะสร้างขึ้นได้ง่ายและราคาถูกกว่าแบบอื่น แต่ เกิดการสูญเสียความร้อนมาก ทำให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบห่อสูญญากาศ จึงเหมาะสมสำหรับใช้งานที่ อุณหภูมิต่ำ เช่น เครื่องทำน้ำร้อน ส่วนแบบห่อสูญญากาศจะสามารถผลิตน้ำร้อนได้จำนวนมากและ ได้อุณหภูมิสูงเกิน  $100^\circ\text{C}$  เนื่องจากเป็นห่อแก้วสองชั้นและระหว่างห้องแก้วเป็นสูญญากาศจึงสามารถ ลดการสูญเสียความร้อนจากแผงรังสีได้ อย่างไรก็ตาม ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบห่อสูญญากาศจะ สร้างได้ยากกว่าและมีราคาสูงกว่าแบบแผ่นเรียบ ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อห้องแก้วชั้นในที่เคลือบด้วยสารดูด ซับรังสีอาทิตย์เกิดการแตกร้าว สภาพสูญญากาศก็จะหายไปและประสิทธิภาพของตัวรับรังสีชนิดนี้ก็ จะลดลงอย่างมากจึงไม่สามารถใช้งานได้อีก ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาและพัฒนาสมรรถนะ ทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ

การถ่ายเทความร้อนจากผิวดูดซับรังสี (Absorber plate) ภายใต้ตัวรับรังสีอาทิตย์ อาจจะ ส่งผ่านให้แก่น้ำร้อนโดยตรง แต่มีข้อเสียคือ ในกรณีตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ คุณภาพของน้ำจะไม่ ค่อยดีเนื่องจากการเกิดตะกรันในห้องน้ำและเกิดการรั่วซึ่น สำหรับกรณีตัวรับรังสีแบบห่อสูญญากาศ จะเกิดปัญหาท่อแตกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างกะทันหันและของไหลไม่เหลวเรียน บริเวณก้นท่อในห้องน้ำที่มีขนาดใหญ่และเส้นผ่านศูนย์กลางเล็ก [18] ดังนั้นจึงมีการประยุกต์ใช้ห้องร้อน (Heat pipe) เป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายความร้อนจากผิวดูดซับมายังน้ำร้อนแทน เนื่องจากเป็นอุปกรณ์

ส่งถ่ายความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถส่งถ่ายความร้อนปริมาณมากผ่านพื้นที่หน้าตัดเล็กๆ ตามระยะทางที่ต้องการ โดยไม่ต้องอาศัยกำลังงานป้อนเข้าสู่ระบบ ทำการออกแบบและสร้างได้ง่าย ท่อความร้อนที่นำมาใช้ส่วนใหญ่เป็นชนิดเทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ (Two-phase closed thermosyphon) ที่อาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการให้ผลวิบานของสารทำงานภายในห้อง [7, 14-16, 19] ท่อความร้อนที่มีโครงสร้างวัสดุพูรุน (Heat pipe with wick structure) ที่อาศัยแรงค่าปีลคลารีที่เกิดจากวัสดุพูรุนในการให้ผลวิบานของสารทำงานเหลว [4-6, 22] นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed-loop oscillating heat pipe) ในตัวรับรังสีอาทิตย์ด้วย [3] ซึ่งเป็นท่อความร้อนชนิดใหม่ที่พัฒนาขึ้นเพื่อกำจัดขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อความร้อนทั่วไป เช่น ขีดจำกัดค่าปีลคลารีซึ่งเกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างวัสดุพูรุน (Wick structure) ไม่สามารถนำของเหลวควบแน่นให้ย้อนกลับมารับความร้อนได้อาย่างพอเพียงและสม่ำเสมอ ขีดจำกัดการดึงของเหลวกลับซึ่งเกิดจากผลของการให้ผลส่วนทางระหว่างไอและของเหลวที่บริเวณหน้าสัมผัสของเหลว-ไอ และขีดจำกัดการเดือด ข้อดีของท่อความร้อนชนิดนี้คือ สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูง สร้างขึ้นได้ง่าย โดยสร้างจากห่อค่าปีลคลารีขนาดเล็กระดับมิลลิเมตรหรือเดียวที่นำมาตัดโค้งชุดไปมา ระหว่างแหล่งความร้อนและแหล่งรับความร้อนเกิดเป็นโค้งเลี้ยวขึ้น (Meandering turn) ซึ่งสามารถตัดโค้งตัวห่อให้เหมาะสมกับงานได้ตามต้องการและสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนได้โดยการเพิ่มจำนวนโค้งเลี้ยว อาย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนชนิดนี้ยังอยู่ในช่วงการพัฒนาและมีงานวิจัยค่อนข้างน้อยมาก งานวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นการงานวิจัยพื้นฐานถึงหลักการทำงาน คุณลักษณะทางความร้อนและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ซึ่งพบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อคุณลักษณะทางความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ คือ จำนวนโค้งเลี้ยว เส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้อง ความยาวส่วนทำระหว่าง อัตราส่วนการเติมสารทำงาน ชนิดของสารทำงาน หมุนเวียนการทำงาน อุณหภูมิการทำงาน และความร้อนป้อนเข้าสู่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ [24] งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการออกแบบ สร้าง และทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

## 1.2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาพัฒนาสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบในการผลิตน้ำร้อนมือย่าง ต่อเนื่อง เช่น การปรับปรุงกระบวนการแคลปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำงานตัวกลาง (Absorbing medium) ที่นำความร้อนจากผิวดูดซับมาถ่ายเทให้กับน้ำในถังเก็บ [21] การใช้ของเหลว nano (Nanofluid) เป็นสารทำงานตัวกลางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวรับรังสี [9] เนื่องจากสารทำงานตัวกลางไม่มีการเปลี่ยนสถานะจึงเป็นการถ่ายเทความร้อนสัมผัส (Sensible heat) ซึ่งมีปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับค่าความร้อน latent (Latent heat) จึงมีการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์นำความร้อนจากผิวดูดซับมาให้แก่น้ำ โดยสารทำงานภายในห้องความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนสถานะขณะที่ถ่ายความร้อน อย่างไรก็ตามท่อความร้อนที่นำมาใช้ในตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบมักจะเป็นแบบท่อๆ ไปนั่นคือ เทอร์โมไซฟอนแบบปิดสองสถานะ [7, 14-16, 19] ซึ่งอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการ

ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าแบบแผ่นห้องน้ำอย่างมาก [2] จึงมีการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนที่มีวัสดุพิเศษ เช่น อลูมิเนียม หรือสแตนเลส ซึ่งสามารถลดความเสียหายของห้องน้ำได้มากกว่าห้องน้ำทั่วไป แต่ต้องคำนึงถึงความต้านทานไฟฟ้าของห้องน้ำ [22] สำหรับห้องน้ำที่ต้องการประหยัดพลังงานและลดต้นทุน การใช้ห้องน้ำแบบติดตั้งต่ำๆ หรือห้องน้ำต่ำๆ สามารถช่วยลดการใช้พลังงานและลดต้นทุนได้มาก [23] สำหรับห้องน้ำที่ต้องการประหยัดพลังงานและลดต้นทุน ควรเลือกห้องน้ำที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน เช่น ห้องน้ำอัตโนมัติที่ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า หรือห้องน้ำที่มีระบบควบคุมอัตโนมัติที่สามารถปรับเปลี่ยนระดับของห้องน้ำตามความต้องการได้ [24] สำหรับห้องน้ำที่ต้องการประหยัดพลังงานและลดต้นทุน ควรเลือกห้องน้ำที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน เช่น ห้องน้ำอัตโนมัติที่ไม่ต้องใช้ไฟฟ้า หรือห้องน้ำที่มีระบบควบคุมอัตโนมัติที่สามารถปรับเปลี่ยนระดับของห้องน้ำตามความต้องการได้ [24]

### 1.3 วัสดุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 ออกแบบ และสร้าง ต้นแบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสันวงรอบ

1.3.2 ทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสันวงรอบที่สร้างขึ้น

### 1.4 ขอบข่ายของการวิจัย

1.4.1 ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบให้ผลลัพธ์ตามธรรมชาติ (Passive system)

1.4.2 ถังเก็บน้ำร้อนมีขนาดความจุ 50 ลิตร อุณหภูมิน้ำร้อนที่ผลิตได้ต่อวันไม่ต่ำกว่า  $60^{\circ}\text{C}$

1.4.3 ท่อความร้อนชนิดสันแบบวงรอบสร้างจากท่อค้าปีลารีทองแดง (Copper capillary tube)

1.4.4 ทำการทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 [23]

### 1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและบททวนเอกสารอ้างอิงทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยและจำเป็นสำหรับการออกแบบ สร้าง ทดสอบ และวิเคราะห์ผล

1.5.2 ออกแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Passive system โดยมีขนาดถังเก็บน้ำร้อน 50 ลิตร

1.5.3 ออกแบบตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นงروبเพื่อให้ได้ อุณหภูมน้ำร้อนตามที่ต้องการ

1.5.4 ทำการสร้างระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย ท่อความร้อนแบบสั่นงروب ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ถังเก็บน้ำร้อน ระบบหยอดน้ำร้อน

1.5.5 ทำการทดสอบสมรรถนะทางความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนที่สร้างขึ้น ตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของระบบ

1.5.6 วิเคราะห์ผลและสรุปผลการทดสอบ

1.5.7 เผยแพร่ผลงานวิจัยและเขียนรายงานสรุป

### 1.6 ผลที่ได้รับจากโครงการวิจัย

1.6.1 ได้ต้นแบบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นงروب

1.6.2 ความเข้าใจเกี่ยวกับสมรรถนะทางความร้อนของระบบผลิตน้ำร้อนที่สร้างขึ้น เนื่องจาก อิทธิพลของตัวแปรต่างๆ เช่น ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ สภาพอากาศแวดล้อม

1.6.3 ความก้าวหน้าเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นงروبในตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบเพื่อการผลิตน้ำร้อน ซึ่งจะเป็นองค์ความรู้ในการวิจัยร่วมกับผู้ประกอบการภาคธุรกิจหรือ วิสาหกิจขนาดต่อไป

1.6.4 ได้อนุสิทธิบัตรเรื่อง แผงทำความร้อนรังสีอาทิตย์แบบขาดท่อความร้อน ซึ่งอยู่ระหว่างดำเนินการขอรับอนุสิทธิบัตร เลขที่คำขอ 1903002175 ดังแสดงในภาคผนวก

## บทที่ 2

### ทฤษฎี

#### 2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ [23]

โลกโครงการดวงอาทิตย์โดยทั่งโครงการของโลกรอบดวงอาทิตย์ไม่เป็นวงกลม ด้วยเหตุนี้ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จึงมีค่าไม่เท่ากันที่เวลาใดๆ โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงประมาณ 1.7% ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกและดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ  $1.495 \times 10^{11} \text{ m}$  ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วยเนื้อที่บนโลกที่เวลาต่างกันจึงมีค่าไม่เท่ากัน ค่าคงที่แสงอาทิตย์ (Solar Constant) คือค่าความเข้มของรังสีอาทิตย์ที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าประมาณ  $1,367 \text{ W/m}^2$

##### 2.1.1 ประเภทของรังสีที่ผิวโลก

- รังสีตรง (Beam or Direct radiation) คือ รังสีที่มาจากการดูดซับโดยตรงและตกลงบนผิวโลก ไม่ใช้ทางแฉ่ง่อนอนที่เวลาใดเวลาหนึ่ง ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวตรงสำหรับแสงอาทิตย์

- รังสีกระจาย (Diffuse radiation) คือ รังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนจากบรรยายกาศของโลกและวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบพื้นผิวโลก รังสีกระจายนี้มาจากการทุกทิศทางของท้องฟ้า

- รังสีรวม (Total or Global radiation) คือ ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายที่ตกกระทบบนผิวโลก ในกรณีที่ผิวโลกเป็นพื้นเรียบ รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและผิวโลก เรียกรังสีรวมนี้ว่า Total radiation สำหรับกรณีที่ผิวโลกเป็นพื้นราบ รังสีรวมจะมาจากครึ่งท้องฟ้าไม่มีส่วนที่มาจากผิวโลก เรียกรังสีรวมในกรณีนี้ว่า Global radiation

##### 2.1.2 ลักษณะคลื่นพลังงานแสงอาทิตย์

การแบ่งรังสีแสงอาทิตย์ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนแบ่งเป็น 2 ช่วงคลื่น ดังรูปที่ 2.1 นั่นคือ

- รังสีแสงอาทิตย์หรือรังสีคลื่นสั้น (Solar or Short-Wave Radiation) เป็นรังสีที่ปล่อยจากดวงอาทิตย์ มีความยาวคลื่นตั้งแต่  $0.3 \mu\text{m}$  ถึง  $3.0 \mu\text{m}$  ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจาย

- รังสีคลื่นยาว (Long-Wave Radiation) เป็นรังสีที่แผ่ออกจากแหล่งกำเนิดความร้อนที่อุณหภูมิสูงแล้วล้อมปกติ ดังรูปที่ 2.1 จะมีความยาวคลื่นมากกว่า  $3.0 \mu\text{m}$  เช่น รังสีที่แผ่ออกจากบรรยายกาศ ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ หรือวัตถุต่างๆ ที่อุณหภูมิปกติ

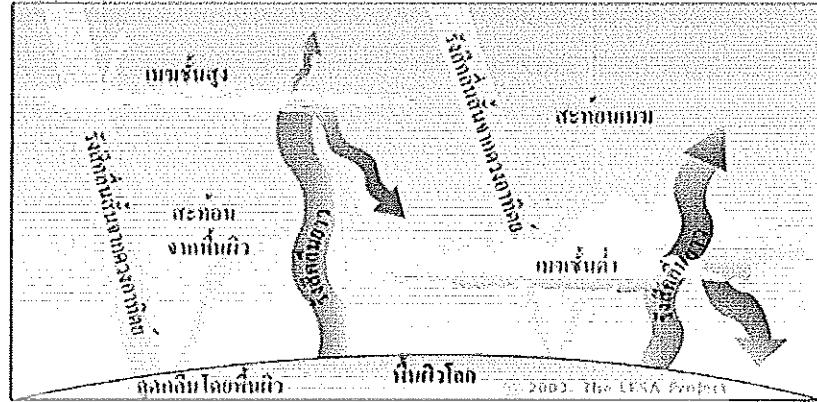
##### 2.1.3 อุปกรณ์วัดพลังงานแสงอาทิตย์

อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวัดพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย

- ไพรานอมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์วัดค่ารังสีรวม ปกติจะใช้วัดบนพื้นราบแต่อาจประยุกต์ใช้วัดรังสีกระจายได้โดยติดเหนียงหรือจากบังเงา ดังรูปที่ 2.2

- ไฟเซลโลมิเตอร์ เป็นอุปกรณ์วัดรังสีตรงจากดวงอาทิตย์

- เครื่องบันทึกแดด เป็นอุปกรณ์วัดจำนวนช่วงโน้มที่มีแดด



รูปที่ 2.1 แสดงลักษณะรังสีคืนสันและรังสีคืนยาว [13]



รูปที่ 2.2 ไพรานอมิเตอร์ [23]

## 2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar water heater) [25]

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ตัวกักเก็บความร้อน หรือตัวรับรังสีอาทิตย์ (Solar collector) และถังเก็บน้ำร้อน (Storage tank) ในบางระบบอาจมีปั๊มน้ำเพื่อควบคุมการไหลของน้ำในระบบ (Active system) หรืออาจไม่ใช้ปั๊มน้ำ โดยการให้ผลวิ่ยนตามธรรมชาติของน้ำจะอาศัยแรงดึงดูดของน้ำเป็นหลัก (Passive system) ดังแสดงในรูปที่ 2.3

2.2.1 ตัวรับรังสีอาทิตย์ จะมีรูปร่างลักษณะเป็นกล่อง กรอบหรืออาจเป็นห้องๆ หนึ่ง ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านลงมาให้เป็นพลังงานความร้อน แล้วส่งผ่านพลังงานความร้อนที่ได้ให้กับน้ำที่หลอยู่ในห่อ มีส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้

- แผงปอร์เช่เป็นผ้าด้านที่รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ สามารถใช้วัสดุปอร์เช่ได้ คือในการทำผ้าด้านนี้ เช่น แผ่นกระดาษหรือแผ่นอะคริลิกใส โดยสามารถผลิตและหาซื้อด้วยตัวเอง มีความแข็งแรง ทนทานต่อการแตกร้าวและการขีดข่วนได้ดีพอสมควร เมื่อแสงอาทิตย์ส่องผ่านกระจกและตากกระหบบแผ่นดูดซับความร้อน แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งคุณสมบัติเด่นของกระจก คือ ยอมให้แสงผ่านได้ง่ายแต่เป็นจำนวนความร้อนที่ดี ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นในเครื่องทำน้ำร้อนจะถูกกักเก็บไว้

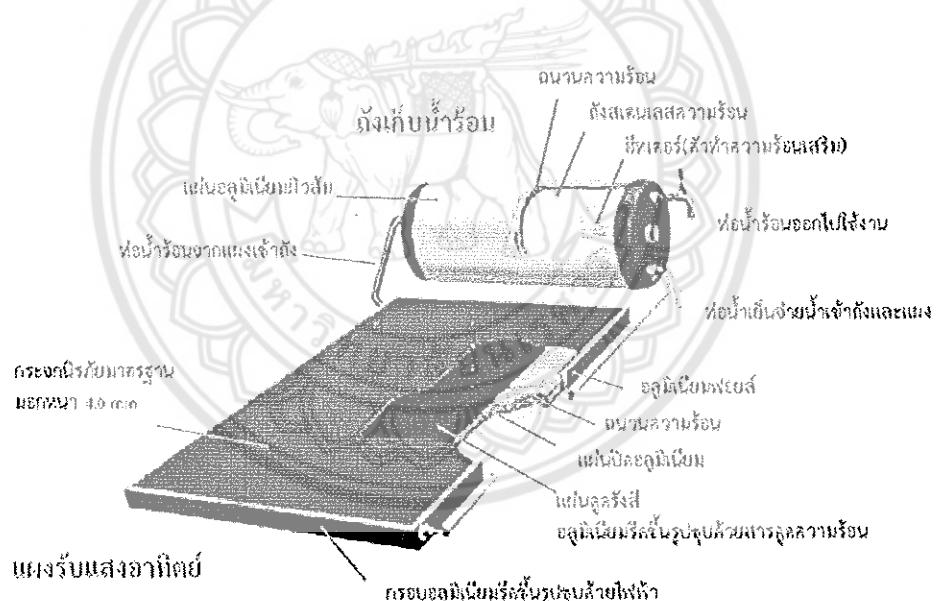
- แผ่นดูดซับความร้อน เป็นแผ่นโลหะสีดำหรือสีเทา อาจเรียกว่ามวลกักเก็บความร้อน หรือ Thermal mass เนื่องจากวัตถุสีดำหรือสีเทา จะมีความสามารถในการดูดซับความร้อนสูง และ

โลหะจะมีสมบัตินำความร้อนได้ดี วัตถุที่เป็นตัวคัดซับมีความจำเป็นมากในการทำน้ำร้อนด้วยพลังแสงอาทิตย์ เนื่องจากหากปราศจากตัวคัดซับจะทำให้ระบบการทำความร้อนไม่สามารถผลิตความร้อนมาให้เพียงพอต่อการทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิตามที่ต้องการได้

- จำนวนกันความร้อน มีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนที่คัดซับไปรั่วไหลออกจากเครื่อง เนื่องจากฉนวนกันความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่บังกันไม่ให้ความร้อนภายในเครื่องทำงานอย่างร้อนร่าว์ให้หลอกมาภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า จึงถือว่าฉนวนกันความร้อนเป็นอุปกรณ์สำคัญในเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

- ระบบต่อ เป็นช่องทางนำความร้อนที่กักเก็บไว้ออกไปใช้งานโดยผ่านตัวกลาง เช่น น้ำ ในการทำน้ำร้อนไปใช้งาน ต้องมีระบบต่อน้ำเพื่อนำน้ำร้อนไปยังถังเก็บหรืออุปกรณ์ที่ต้องการใช้ความร้อนจากน้ำร้อน ส่วนใหญ่เป็นท่อโลหะซึ่งมีสมบัตินำความร้อนที่ดี

2.2.2 ถังเก็บน้ำร้อน เป็นถังแบบปิดนิยมทำด้วยสแตนเลสอย่างดีที่ไม่เป็นสนิม และมีฉนวนหุ้มป้องกันการสูญเสียความร้อนโดยปิดทับด้วยแผ่นอลูมิเนียม อาจมีการติดตั้งอิฐเตอร์ในถังเพื่อใช้เป็นตัวทำความร้อนเสริม



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Passive system [25]

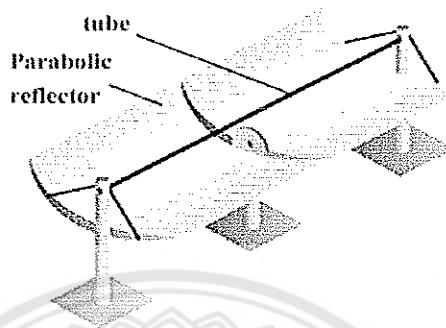
### 2.3 ตัวรับรังสีอาทิตย์หรือตัวกักเก็บความร้อน (Solar collector) [23]

โดยทั่วๆ ไป ตัวกักเก็บความร้อนแยกได้เป็น 3 ประเภท คือ แบบรวมศูนย์ (Concentrating collector) แบบห่อสูญญากาศ (Evacuated-tube collector) และแบบแผ่นเรียบ (Flat-plate collector)

#### 2.3.1 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมศูนย์

จะมีลักษณะเป็นกระจะที่มีรูปทรงโค้งแบบพาราโบลิกดังรูปที่ 2.4 เพื่อทำหน้าที่สะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์ให้มาร่วมที่ต่อ ซึ่งท่อจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวคัดซับและเป็นท่อที่บรรจุสารสำหรับ

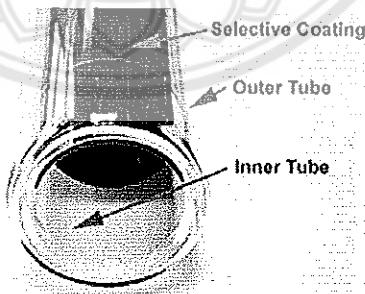
แลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อถ่ายเทไปยังอุปกรณ์อื่นๆ อีกต่อไป โดยแบบรวมศูนย์จะใช้พื้นที่ในการรับรังสีแสงอาทิตย์มากและใช้ต้นทุนในการสร้างสูง



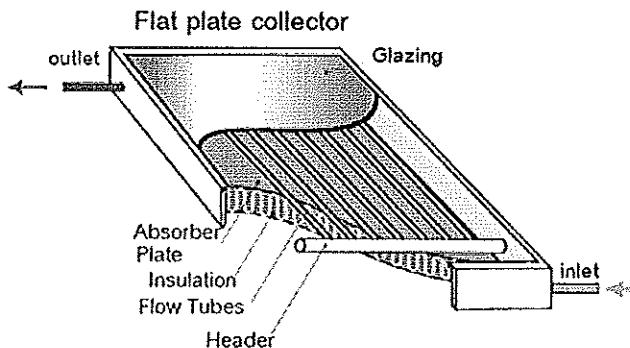
รูปที่ 2.4 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบรวมศูนย์ [12]

### 2.3.2 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบห่อสูญญากาศ

ห่อแก้วสูญญากาศจะเป็นหลอดแก้ว 2 ชั้น ดังรูปที่ 2.5 โดยชั้นนอกเป็นหลอดแก้วใส เพื่อให้รังสีด่างอาทิตย์สามารถผ่านได้ ส่วนชั้นในทำหน้าที่เป็นตัวคูดซับ ซึ่งจะถูกเคลือบด้วยสารคูดรับรังสีแบบพิเศษที่มีคุณลักษณะดูดซับพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดี และมีการสูญเสียความร้อนจากการแร่รังสีน้อย สำหรับช่องว่างระหว่างชั้นหลอดแก้วจะมีลักษณะเป็นสูญญากาศซึ่งเป็นอนุวนอย่างดี สามารถป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการนำและการพาความร้อนได้มาก เมื่อห่อสูญญากาศได้รับรังสีแสงอาทิตย์ ก็จะเกิดการสูญเสียจากการสะท้อนของผิวหลอดห้องด้านนอกและด้านใน แล้วเก็บความร้อนด้วยสารคูดซับรังสีที่เคลือบอยู่ในหลอดแก้วชั้นใน



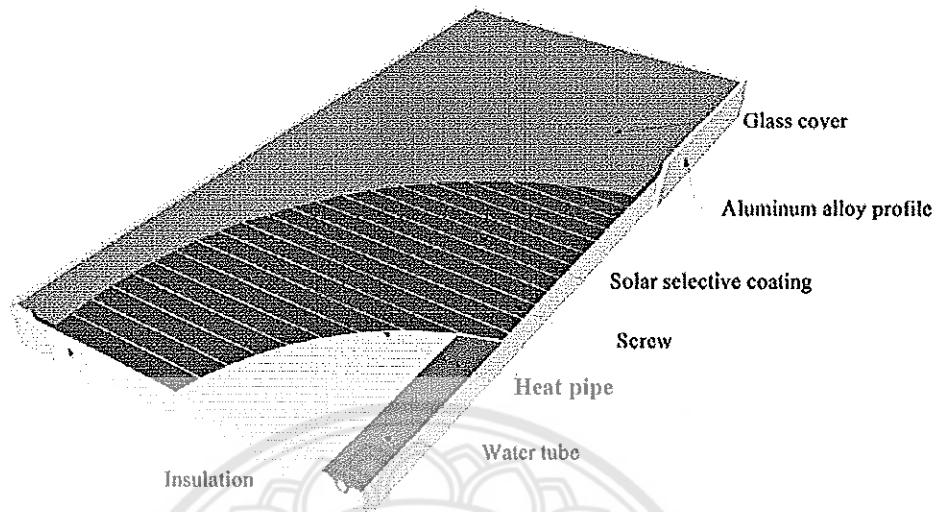
รูปที่ 2.5 ห่อสูญญากาศ [11]



รูปที่ 2.6 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ [10]

### 2.3.3 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

ได้มีการออกแบบตัวรับรังสีชนิดนี้ขึ้นเพื่อใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ  $100^{\circ}\text{C}$  โดยทำหน้าที่รับรังสีรวม (Total radiation) ที่ตกกระทบและไม่จำเป็นต้องมีระบบติดตามดวงอาทิตย์ มีกลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อนและไม่ต้องการการบำรุงรักษามาก ส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการผลิตน้ำร้อน ทำความร้อนภายในอาคาร ระบบปรับอากาศ และกระบวนการที่ใช้ความร้อนในอุตสาหกรรม เป็นต้น ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมีลักษณะเป็นกล่องโลหะดังรูปที่ 2.6 โดยมีฝาครอบเป็นกระจก (Glazing) หรือพลาสติกช่วยลดการสูญเสียความร้อนของสุบรรณาการโดยการพาและแผ่รังสี และมีฉนวนกันความร้อน (Insulation) อยู่ที่ด้านล่างเพื่อลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการนำ เมื่อแสงอาทิตย์ที่เป็นคลื่นยาวส่องผ่านกระจกจะเกิดการหักเหจนเป็นคลื่นสั้นที่มีพลังงานสูงและตกกระทบลงบนตัวคุดชับ (เมื่อนปะก្យการณ์เรือนกระจก) ตัวคุดชับ (Absorber plate) เป็นแผ่นที่มีสีดำหรือคล้ำเพื่อคุดกลืนพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และส่งผ่านความร้อนให้แก่น้ำที่เหลวในท่อพลาสติกในกล่องโลหะเพื่อรับความร้อน อย่างไรก็ตามในกรณีนี้ คุณภาพของน้ำจะไม่ค่อยดีเนื่องจากการเกิดของตะกรันในท่อน้ำและเกิดการร้าวซึ่น ทำให้แนวเกิดการเสียหายและใช้งานไม่ได้ในที่สุด เพื่อแก้ปัญหานี้จึงได้มีการนำเทคโนโลยีท่อความร้อน (Heat Pipe) เข้ามาช่วยเป็นแรงที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น [5] เรียกว่า "Flat plate heat pipe collector" หรือตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้เทคโนโลยีท่อความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยท่อความร้อนจะเป็นตัวนำความร้อนจากผิวคุดชับมาให้แก่น้ำอีกทีหนึ่ง เนื่องจากภายในท่อความร้อนจะบรรจุของเหลวอิมตัวไว้ปริมาณหนึ่งที่สามารถถ่ายเทได้แม้ในอุณหภูมิต่ำ เมื่อแผ่นคุดชับรังสีได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ของเหลวทัวนี้จะระเหยเป็นไอเหลวขึ้นไปยังส่วนบนของท่อความร้อน เมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนของไอกับน้ำ ไอก็จะควบแน่นเป็นของเหลวและไหลกลับลงมาตามผิวด้านในท่อความร้อนเพื่อรับความร้อนที่ตัวรับรังสีอาทิตย์อีกครั้งเป็นวัฏจักรเรื่อยไป



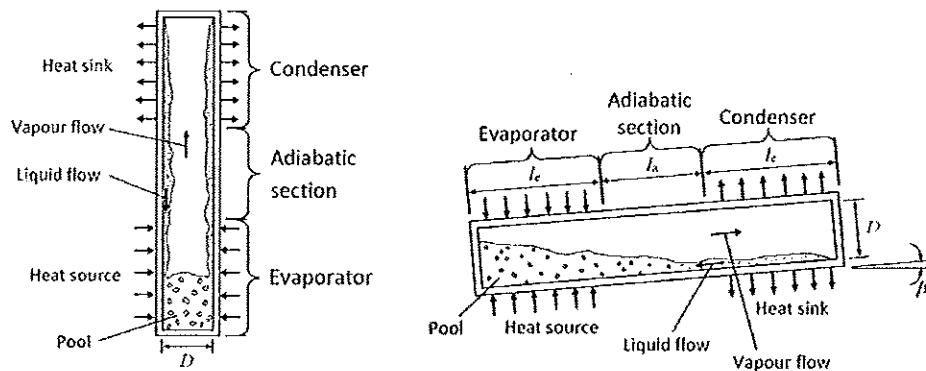
รูปที่ 2.7 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้เทคโนโลยีท่อความร้อน [5]

## 2.4 ท่อความร้อน (Heat pipe) [24]

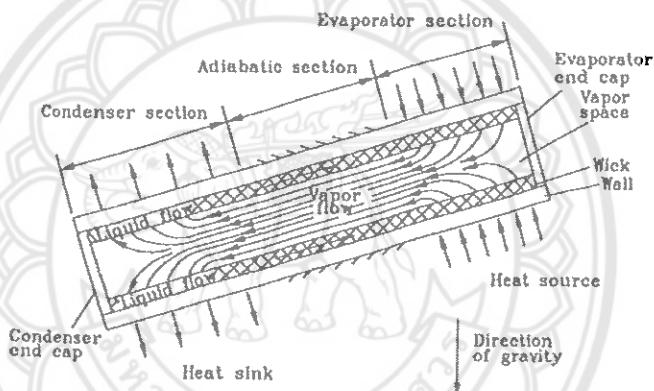
ท่อความร้อน เป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายความร้อนชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูง ข้อดีของการใช้ท่อความร้อนเมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ส่งถ่ายความร้อนชนิดอื่นๆ คือ สามารถส่งถ่ายความร้อนปริมาณมากผ่านพื้นที่ห้าตัดเล็กๆ ตามระยะทางที่ต้องการ โดยไม่ต้องอาศัยกำลังงานป้อนเข้าสู่ระบบ ทำการออกแบบและสร้างได้ง่าย และมีค่าอุณหภูมิติดลงจากปลายด้านหนึ่งถึงอีกด้านหนึ่งน้อย หลักการทำงานจะอาศัยการระเหยและการควบแน่นของสารทำงานที่บรรจุอยู่ภายในท่อ ท่อความร้อนมีหลายชนิดแบ่งตามกรรมวิธีการดึงของเหลวกลับสู่ส่วนทำระเหยและลักษณะรูปทรง

### 2.4.1 เทอร์โมไชฟอนแบบปิดสองสถานะ (Two-phase closed thermosyphon)

เทอร์โมไชฟอนแบบปิดสองสถานะ คือท่อความร้อนชนิดหนึ่งที่อาศัยเฉพาะแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อนำของเหลวควบแน่นให้กลับมา�ังส่วนทำระเหย (Evaporator) เป็นท่อความร้อนที่มีการประยุกต์ใช้มากในประเทศไทย เช่น การดึงความร้อนจากก๊าซไออกไซรอนที่ปล่อยทิ้งในการบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมกลับมาใช้ใหม่ ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ และการประยุกต์พัฒนาในระบบการปรับอากาศ เป็นต้น ข้อดีของท่อความร้อนชนิดนี้คือ ปราศจากวัสดุพруนภายในท่อ สร้างขึ้นได้ง่าย ราคาถูก และมีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูง โดยปกติเทอร์โมไชฟอนอาจจะวางตัวอยู่ในแนวตั้งหรือแนวเอียงดังแสดงในรูปที่ 2.8 ตัวท่อเทอร์โมไชฟอนประกอบด้วย ส่วนทำระเหย ส่วนไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Adiabatic) และส่วนควบแน่น (Condenser) โดยที่ส่วนทำระเหยต้องอยู่ต่ำกว่าส่วนควบแน่นเสมอ เพราะต้องอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกในการทำงานของระบบ การทำงานในแนวตั้งจะมีการกระจายตัวของของเหลวควบแน่นรอบพิวิท่อส่วนทำระเหยได้ดีกว่าแนวเอียง โดยเฉพาะที่มุมเอียงน้อยกว่า  $50^\circ$  เพียบกับแนวระดับ และจะมีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าด้วย



รูปที่ 2.8 เทอร์มิโซฟอนวงตัวในแนวตั้งและแนวเอียง [2]



รูปที่ 2.9 ท่อความร้อนที่ทำงานโดยอาศัยแรงค่าปีลลารี [8]

#### 2.4.2 ท่อความร้อนที่มีโครงสร้างวัสดุพรุน (Heat pipe with wick structure)

ท่อความร้อนที่ทำงานโดยอาศัยแรงค่าปีลลารี (Capillary-driven heat pipe) โดยการติดตั้งวัสดุพรุน (Wick) ที่ผิวด้านในของผนังท่อ ลักษณะดังรูปที่ 2.9 วัสดุพรุนจะสร้างแรงดันค่าปีลลารีที่ใช้ดึงของเหลวควบแน่นกลับสู่ส่วนทำราชาย จึงสามารถทำงานได้เมื่อส่วนทำราชายอยู่ในระดับเดียวกับก้นท่อหรือต่ำกว่าส่วนควบแน่น แต่ถ้าพื้นที่จำกัดสมรรถนะการทำงานถูกจำกัดโดยอัตราการเกิดขึ้นท่อความร้อนชนิดนี้ ที่พบมากที่สุดคือ ขีดจำกัดค่าปีลลารี (Capillary limit) ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างวัสดุพรุนไม่สามารถนำของเหลวทำงานกลับมาอย่างส่วนทำราชายได้เพียงพอ ทำให้เกิดการแห้ง (Dry out) ขึ้นที่ผนังท่อและวัสดุพรุน และเมื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ท่อความร้อนก็จะเกิดการเสียหายได้ (Burn out)

#### 2.4.3 ท่อความร้อนแบบสั่นวนรอบ (Closed-loop oscillating heat pipe, CLOHP)

ท่อความร้อนแบบสั่น (Pulsating or Oscillating heat pipe, OHP) เป็นวิวัฒนาการล่าสุดของเทคโนโลยีเกี่ยวกับท่อความร้อน ซึ่งมีการคิดค้นขึ้นครั้งแรกเมื่อประมาณ 20 ปีที่แล้ว โดยพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในท่อความร้อนทั่วไป ที่พบบ่อยคือ

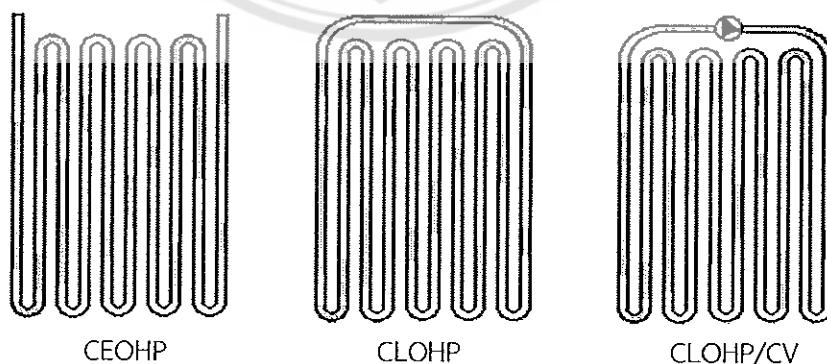
ขีดจำกัดค่าปัลสารีซึ่งเกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างวัสดุพูนไม่สามารถนำของเหลวไหลย้อนกลับมายังส่วนทำร้ายได้อย่างพอเพียงและสม่ำเสมอ และขีดจำกัดการตึงของเหล็กลับซึ่งเกิดจากผลของการไหลสวนทางระหว่างไหลและของเหลวที่บริเวณหน้าสัมผัสของเหลว-ไหล ส่วนขีดจำกัดอื่นๆ เช่น ขีดจำกัดการเดือด ขีดจำกัดความหนืด และขีดจำกัดความเร็วเสียง ข้อดีของท่อความร้อนชนิดนี้คือ สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูง สร้างขึ้นได้จ่าย และสามารถติดต่อตัวท่อให้เหมาะสมกับงานได้ตามต้องการ ดังนั้นในช่วงที่ผ่านมาจึงมีการค้นคว้าวิจัยเกี่ยวกับท่อความร้อนชนิดนี้อย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปสามารถแบ่งประเภทของท่อความร้อนแบบสั้นได้ 3 ชนิดตามโครงสร้างของท่อ ดังรูปที่ 2.10

- ท่อความร้อนแบบสั้นปลายปิด (Closed-end oscillating heat pipe, CEOHP) สร้างจากท่อค่าปัลสารียาวท่อเดี่ยวที่มีการปิดปลายท่อทั้งสองข้างแยกจากกัน ในกรณีนี้การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของสารทำงานตามแนวแกนท่อเพียงอย่างเดียวเท่านั้น โดยการสั่นจะถูกกระตุ้นโดยการผันผวนของคลื่นความตันอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากการเดือดแบบฟองในของไหลทำงาน

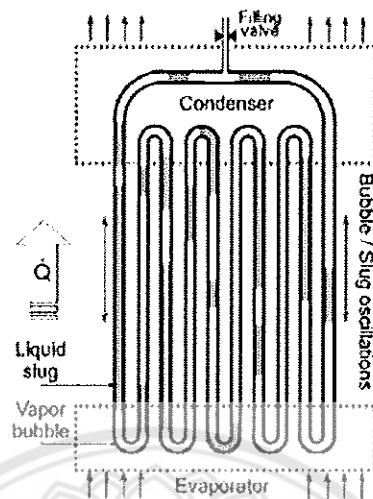
- ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (Closed-loop oscillating heat pipe, CLOHP) สร้างจากท่อค่าปัลสารียาวท่อเดี่ยวที่มีการเชื่อมต่อปลายท่อทั้งสองข้างเข้าด้วยกันเป็นวงรอบ ในกรณีนี้การถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของสารทำงานร่วมกับการไหลเวียนของสารทำงานผ่านโค้ง เสี้ยวต่างๆ ในทิศทางเดียวกัน

- ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ (Closed-loop oscillating heat pipe with check valves, CLOHP/CV) คือท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่มีการติดตั้งวาล์วกันกลับไว้ในวงจรตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของสารทำงานไปในทิศทางเดียวกัน

อย่างไรก็ตาม จากการเบรี่ยนเทียน OHP ทั้งสามชนิดนี้แล้วพบว่า ท่อความร้อนชนิดสั้นแบบวงรอบหรือ CLOHP มีพลังความร้อนที่สูง สามารถสร้างขึ้นได้จ่าย และสามารถทำงานได้ไม่ร้าว ตัวท่อจะวางตัวเอียงทำมุมได้ เทียบกับแนวระดับ



รูปที่ 2.10 ประเภทของท่อความร้อนแบบสั้น [24]



รูปที่ 2.11 การจัดเรียงตัวของสารทำงานภายในห้องร้อนแบบสั่นงารอบ [24]

CLOHP จะสร้างจากห้องร้อนค่าปิลลารียาวๆ (Capillary tube) ท่อเดี่ยวที่นำมานิดด์โค้งๆไปมาระหว่างแหล่งความร้อนและแหล่งระบายความร้อนเกิดเป็นโค้งเลี้ยวขึ้น (Meandering turn) โดยปราศจากวัสดุพูนและบรรจุสารทำงานบริเวณหนึ่งไว้ภายใน โดยสารทำงานภายในห้องร้อนจะเกิดการจัดเรียงตัวในรูปแท่งของเหลว (Liquid slug) และแท่งหรือฟองไอ (Vapor plug/bubble) สลับกันไปตลอดความยาวของห้องร้อนเรียกว่า Slug train ดังรูปที่ 2.11 ดังนั้นกระบวนการทำงานเพื่อส่งถ่ายความร้อนจึงแตกต่างจากห้องร้อนแบบธรรมดากลไกพื้นฐานในการถ่ายเทความร้อนคือ การเคลื่อนที่กลับไปกลับมาหรือแบบสั่นของสารทำงานร่วมกับการเปลี่ยนสถานะของสารทำงาน นั่นคือ เมื่อส่วนทำระเหยได้รับความร้อน สารทำงานเหลวจะเกิดการระเหยกล้ายเป็นไอ ทำให้ฟองไอในส่วนทำระเหยมีขนาดใหญ่ขึ้นและมีความดันไอเพิ่มขึ้น จึงเกิดแรงดันสารทำงานในรูปแท่งของเหลวและฟองไอให้เหลวไปยังส่วนควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า เรียกแรงนี้ว่า แรงขับ (Driving force) หลังจากนั้นฟองไอจะเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวที่ส่วนควบแน่นนี้ และช่วยเพิ่มผลต่างความดันระหว่างสองส่วนนี้ เนื่องจากห้องร้อนค่าปิลลารีเป็นห้องเดี่ยวที่ขาดไปมาระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นยิ่งส่วนควบแน่น จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของแท่งของเหลวและฟองไออีกจำนวนหนึ่งผ่านโค้งเลี้ยวmany ส่วนทำระเหยและเกิดการระเหยของสารทำงานซึ่งกัน จึงทำให้ความดันไอเพิ่มสูงขึ้นและเกิดแรงย้อนกลับ (Restoring force) ซึ่งจะดันสารทำงานให้เหลวย้อนกลับไปยังส่วนควบแน่นอีกครั้ง จากผลของแรงขับและแรงย้อนกลับที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน จึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบสั่นของสารทำงานตามแนวแกนท่อนนี้เอง นอกจากนี้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องร้อนต้องมีผลต่อการจัดเรียงตัวของสารทำงานอยู่ในรูปแท่งของเหลวและฟองไอด้วย โดยที่จะต้องมีขนาดเล็กเพียงพอจึงสามารถเกิดการจัดเรียงตัวของสารทำงานในรูปแบบนี้ขึ้นได้ นั่นคือ

$$D_{\max} < 2 \sqrt{\frac{\sigma_1}{(\rho_1 - \rho_v)g}} \quad (2.1)$$

โดยที่  $D_{\max}$  คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในสูงสุดของห้อง (m)

$\sigma_l$  คือค่าความตึงผิวของเหลว (N/m)

$\rho_l$  คือความหนาแน่นของเหลว ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\rho_v$  คือความหนาแน่นของไอน้ำ ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$g$  คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

โดยทั่วไปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในห้องจะอยู่ในช่วง 0.5 mm ถึง 3 mm ซึ่งง่ายต่อการตัดห้องให้ได้รูปด้วย นอกจากรูปนี้ นิยามของอัตราส่วนการเติมสารทำงานของห้องความร้อนชนิดนี้ ( $F$ ) จะแตกต่างจากห้องความร้อนทั่วๆ ไป คืออัตราส่วนระหว่างปริมาตรของไฟล์ทำงาน ( $V_1$  ( $\text{m}^3$ )) ต่อปริมาตรภายในห้องหมด นั่นคือ

$$F = \frac{V_1}{Al_t} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $A$  คือพื้นที่หน้าตัดภายในห้องความร้อน ( $\text{m}^2$ )  $l_t$  คือความยาวทั้งหมดของห้องความร้อน (m) และอัตราส่วนการเติมความมีค่ามากกว่า 50% ของปริมาตรภายในห้อง

## 2.5 มาตรฐานการทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์ ASHRAE 93-77 [23]

เป็นวิธีที่มาตรฐานในการวัดสมรรถนะของตัวรับรังสีอาทิตย์ สามารถทดสอบได้ทั้งในร่ม (Indoor) และกลางแจ้ง (Outdoor) และของไฟล์ที่ใช้เป็นได้ทั้งของเหลวและอากาศ ใช้สำหรับกำหนดประสิทธิภาพทางความร้อนของการทำงานของตัวรับรังสีอาทิตย์

### 2.5.1 เงื่อนไขการทดสอบ มีดังนี้

- ค่าเปลี่ยนแปลงมากที่สุดของความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ในการทดสอบจะทำการทดสอบ ในช่วงที่ห้องฟ้าไปร่อง ไม่มีเมฆ ซึ่งค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ระนาบตั้งฉากค่อนข้างคงที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm 32 \text{ W}/\text{m}^2$  ในช่วงเวลา 10 นาที

- ช่วงอุณหภูมิอากาศสภากาชาดต่ำสุด การวิเคราะห์ทั้งหมดจะใช้อุณหภูมิอากาศสภากาชาดต่ำสุดไม่เกิน  $30^\circ\text{C}$

- สภากาชาดต่ำ ในการทดสอบของไฟล์ที่ไฟล์เข้าตัวรับรังสีอาทิตย์จะต้องมีอุณหภูมิกที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm 2\%$  หรือ  $\pm 1.0^\circ\text{C}$  และค่าอัตราการให้ความร้อนที่หรือเปลี่ยนแปลงไม่เกิน  $\pm 0.0002 \text{ kg}/\text{s} \cdot \text{m}^2$  ค่าแนะนำของอัตราการให้ความร้อนที่ห้องที่ต้องการทดสอบ กรณีที่ของไฟล์เป็นของเหลวคือ  $0.02 \text{ kg}/\text{s} \cdot \text{m}^2$  กรณีที่ของไฟล์เป็นอากาศอัตราการให้ความร้อนที่ห้องจะเป็น  $0.03 \text{ kg}/\text{s} \cdot \text{m}^2$

- สภากาชาดต่ำ ในการทดสอบของลม จึงต้องมีความเร็วเฉลี่ยของลมจะต้องอยู่ระหว่าง  $2.2\text{--}4.5 \text{ m}/\text{s}$

### 2.5.2 หลักสำคัญของการทดสอบตามมาตรฐาน ASHRAE 93-77 มีดังนี้

- ป้อนของไฟล์ที่ควบคุมอุณหภูมิในช่วงที่ต้องการเข้าตัวรับรังสีอาทิตย์

- วัดความเข้มรังสีอาทิตย์ (Solar Intensity) ด้วยไฟรานอมิเตอร์ที่วางตัวบนระนาบเดียวกับตัวรับรังสีอาทิตย์

- วัดอัตราการให้ความร้อน คืออุณหภูมิของไฟล์ตรงทางเข้าและทางออก และอุณหภูมิสภากาชาดต่ำสุด

นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณ ความร้อนที่ใช้ประโยชน์ได้หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ของไอลได้รับ ( $Q_{out}$ ) หรืออัตราการถ่ายเทความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ ( $Q_u$ ) นั้นคือ

$$Q_u = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (2.3)$$

โดยที่  $\dot{m}$  คืออัตราการไหลเชิงมวลของของไอล (kg/s)

$c_p$  คือความร้อนจำเพาะของของไอล (J/kg-K)

$T_o$  คืออุณหภูมิของของไอลขาออก (°C)

$T_i$  คืออุณหภูมิของของไอลขาเข้า (°C)

แสดงถึงสมรรถนะทางความร้อนของตัวรับรังสีอาทิตย์ที่ทำงานภายใต้สภาวะคงตัว ซึ่งสามารถเขียนได้ใหม่ดังนี้

$$Q_u = A_c F_R [I_T(\tau\alpha) - U_L(T_i - T_a)] \quad (2.4)$$

โดยที่  $A_c$  คือพื้นที่รับแสง ( $m^2$ )

$F_R$  คือตัวแปรการส่งผ่านความร้อนของตัวรับรังสี (Collector heat removal factor)

$I_T$  คือความเข้มแสง ( $W/m^2$ )

$\tau\alpha$  คือค่าการส่งผ่าน (Transmissivity) และการดูดกลืน (Absorptivity)

$U_L$  คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนของตัวรับรังสี ( $W/m^2\text{-K}$ )

$T_a$  คืออุณหภูมิอากาศแวดล้อม (°C)

และสามารถคำนวณหาประสิทธิภาพชั่วขณะ ( $\eta_i$ ) ได้เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการถ่ายความร้อนที่ของไอลได้รับต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ได้รับ ( $Q_{in}$ ) นั้นคือ

$$\eta_i = \frac{Q_u}{Q_{in}} = \frac{Q_u}{A_c I_T} = F_R (\tau\alpha) - \frac{F_R U_L (T_i - T_a)}{I_T} \quad (2.5)$$

และ  $\eta_i = \frac{\dot{m}c_p(T_o - T_i)}{A_c I_T} \quad (2.6)$

ในยูโรปการทดสอบอาจจะใช้  $T_{aver}$  ซึ่งคืออุณหภูมิเฉลี่ยของของไอลตรงทางเข้าและทางออกแทน  $T_i$  ในสมการที่ (2.4) และ (2.5)

### บทที่ 3

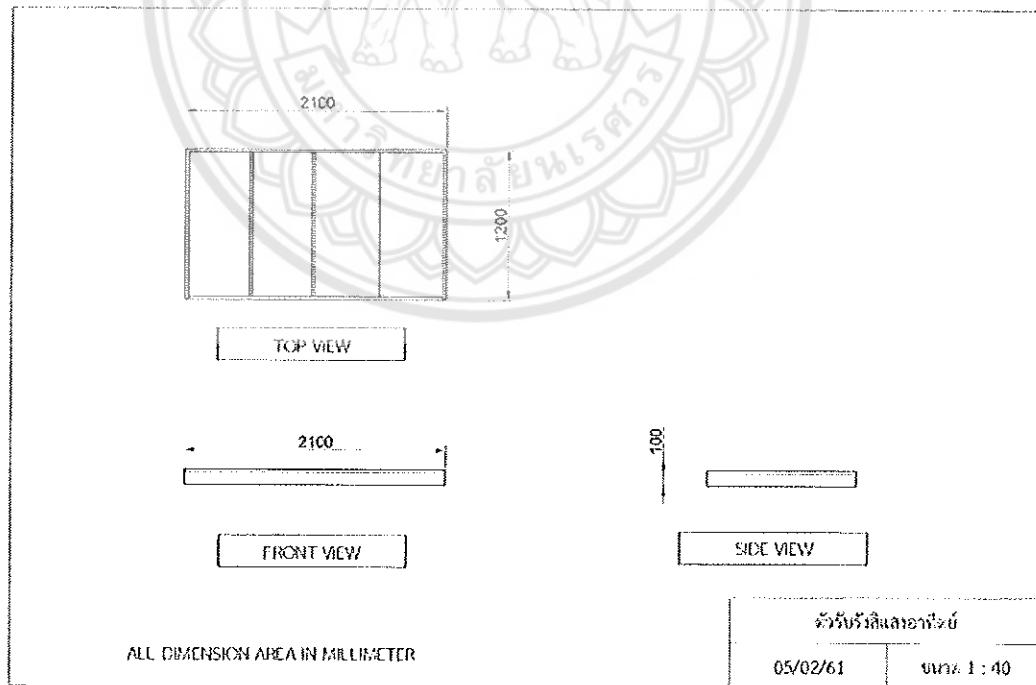
#### การออกแบบ สร้าง และทดสอบ

##### 3.1 การออกแบบและสร้างตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ฐานรองตัวรับรังสีอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อนและฐานรองถังเก็บน้ำร้อน

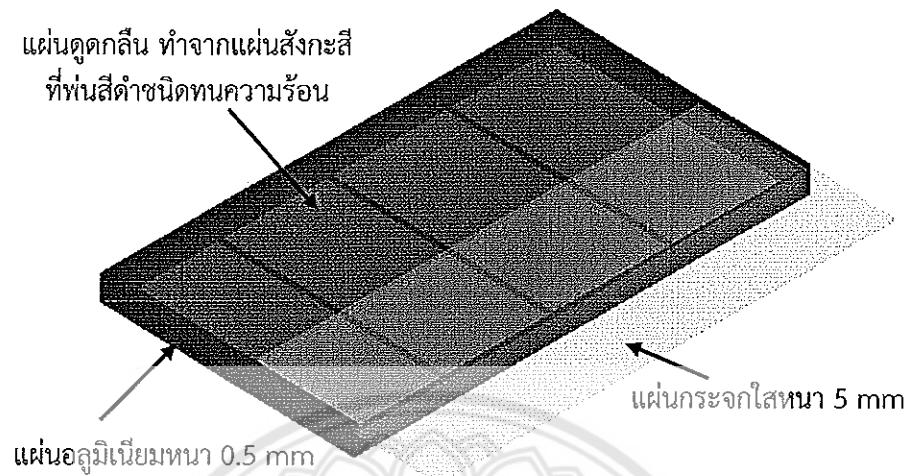
ในส่วนขั้นตอนนี้ได้ทำการออกแบบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ฐานรองตัวรับรังสีอาทิตย์ ถังเก็บน้ำร้อนและฐานรองถังเก็บน้ำร้อน และได้เขียนแบบภาพพิเศษ 2 มิติและภาพไอโซเมต릭 (Isometric) หลังจากนั้นจึงทำการสร้างตามแบบที่เขียนขึ้น

###### 3.1.1 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

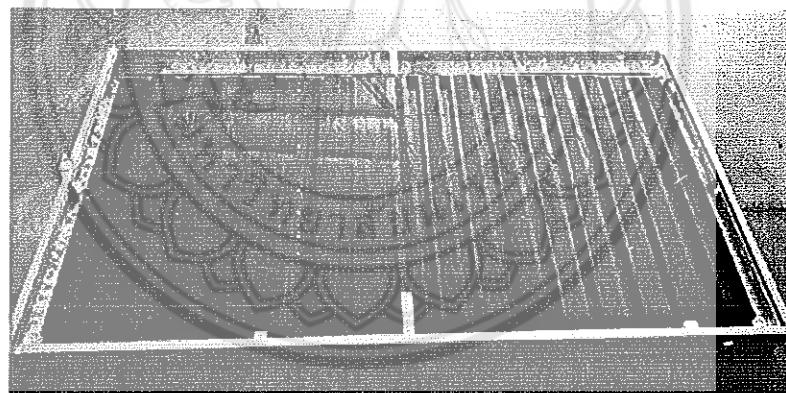
จากรูปที่ 3.1 และ 3.2 ตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสร้างจากเหล็กจากขนาด  $1 \times 1 \times 1/8$  in เชื่อมติดกันเป็นกล่องสี่เหลี่ยมกว้าง 210 cm ยาว 120 cm สูง 10 cm ปิดล้อมด้านข้าง และด้านล่างด้วยแผ่นอลูมิเนียมหนา 0.5 mm ภายในตัวรับรังสีอาทิตย์ประกอบด้วยถุงวนไยเชรามิก หนา 2.5 cm วางอยู่ด้านล่างสุดของตัวรับรังสีอาทิตย์ทำหน้าที่เป็นถุงวนความร้อน วางทับด้วยแผ่นสังกะสีขนาด  $2.1 \times 1.2 \times 0.001$  m พื้นด้วยสีดำชนิดทนความร้อนทำหน้าที่เป็นตัวคูดกลืนรังสี แสงอาทิตย์และปิดด้านบนด้วยแผ่นกระจกใสหนา 5 mm แผ่นกระจกจะทำหน้าที่กักเก็บรังสี แสงอาทิตย์ รูปที่ 3.3 แสดงภาพจริงของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ได้สร้างขึ้น



รูปที่ 3.1 แสดงภาพพิเศษ 2 มิติ ของตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



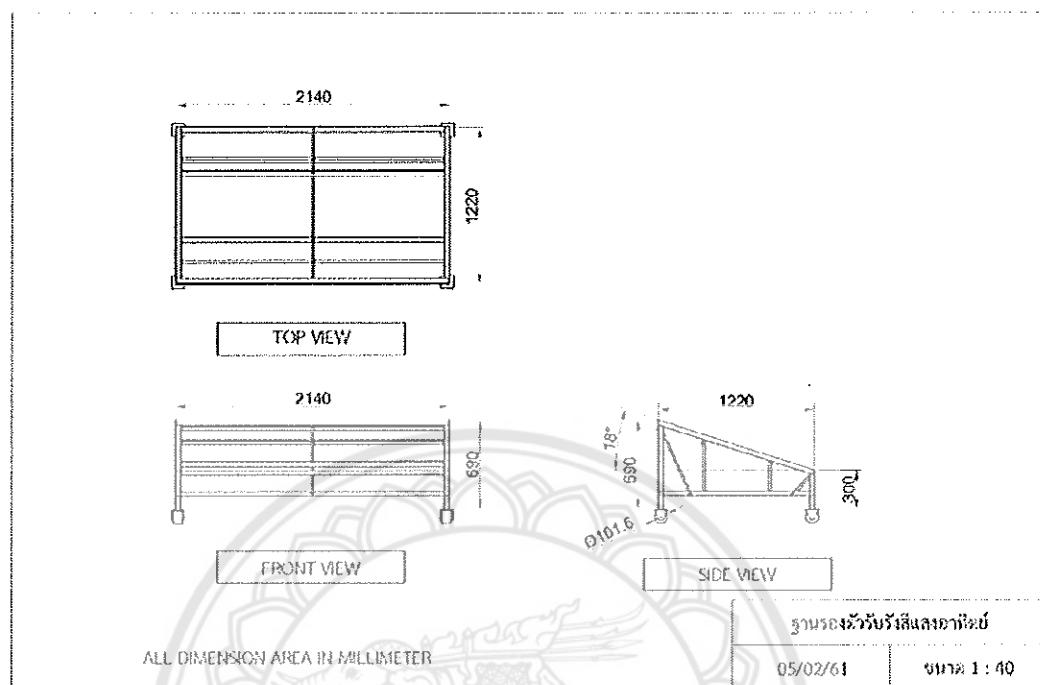
ຮູບທີ 3.2 ແສດງກາພເຂົ້ານແບບໄອໂຊເມຕຣິກຂອງຕົວຮັບຮັກສີອາທິຕິຍີແບບແຜ່ນເຮັບ



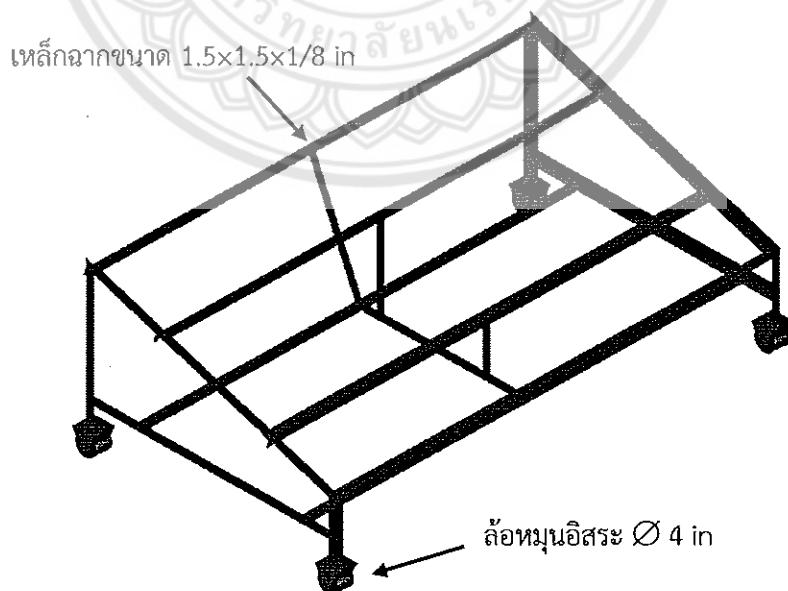
ຮູບທີ 3.3 ແສດງກາພຈົງຂອງຕົວຮັບຮັກສີອາທິຕິຍີແບບແຜ່ນເຮັບ

### 3.1.2 ຫຼານຮອງຕົວຮັບຮັກສີອາທິຕິຍີແບບແຜ່ນເຮັບ

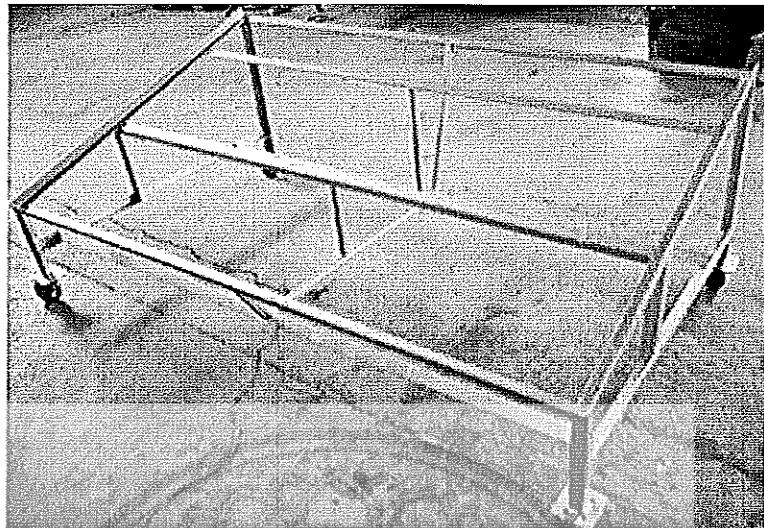
ຈາກຮູບທີ 3.4 ຫຼານຮອງຕົວຮັບຮັກສີອາທິຕິຍີແບບແຜ່ນເຮັບ ສ້າງຈາກເຫຼັກຈາກນາດ  $1.5 \times 1.5 \times 1/8$  in ນຳມາເຂົ້ມຕິດກັນເປັນໂຄງສ້າງຕາມນາດດັ່ງຮູບທີ 3.5 ໃຫ້ເໜີມສົມກັບກາຮອງຮັບຕົວຮັບຮັກສີອາທິຕິຍີແບບແຜ່ນເຮັບທີ່ໃໝ່ມູມເອີ້ງ  $18^\circ$  ກັນແນວຮະນານ ແລະຕິດລ້ອທັ້ງໝົດ 4 ລ້ອ ເພື່ອໃຫ້ສາມາຄເຄີ່ອນຍ້າຍໄດ້ຈ່າຍແລະສະດວກໃນກາຮັດຕິດຕັ້ງຊຸດທດລອງ ຮູບທີ 3.6 ແສດງກາພຈົງຂອງຫຼານຮອງຕົວຮັບຮັກສີອາທິຕິຍີແບບແຜ່ນເຮັບທີ່ສ້າງເປັນ



รูปที่ 3.4 แสดงภาพชาย 2 มิติ ของฐานรองตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



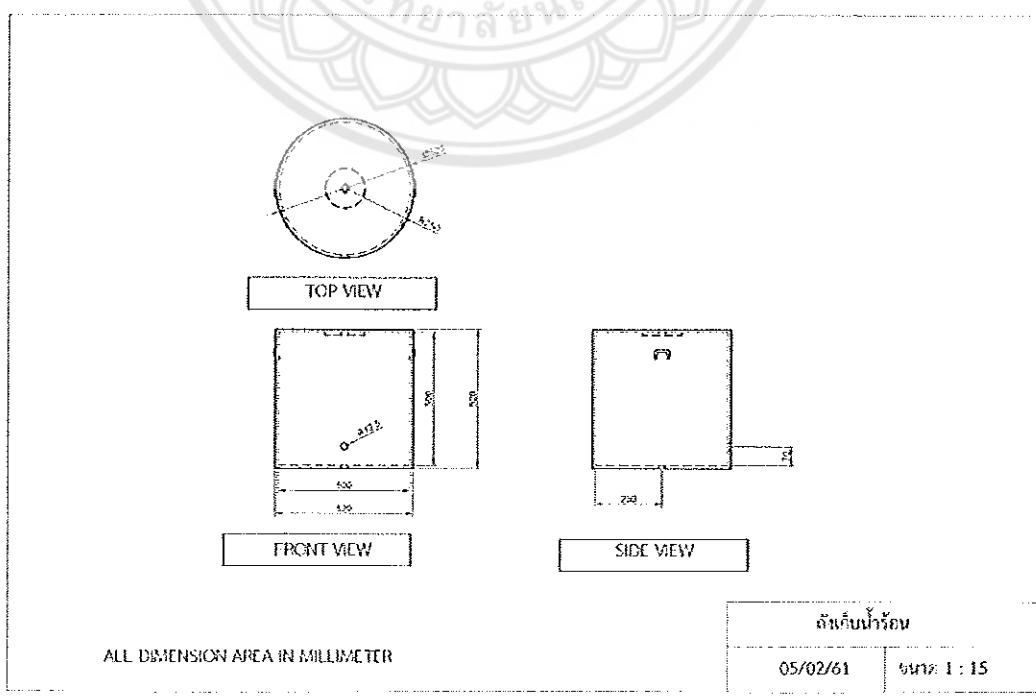
รูปที่ 3.5 แสดงภาพเขียนแบบไอโซเมต릭ของฐานรองตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



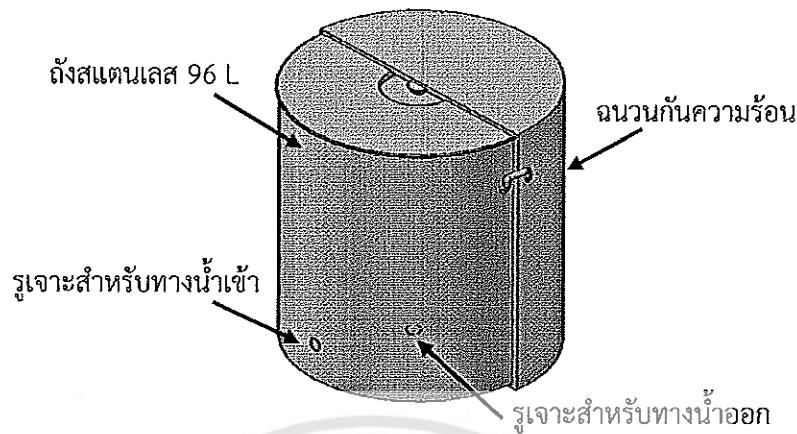
รูปที่ 3.6 แสดงภาพจริงของฐานรองตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

### 3.1.3 ถังเก็บน้ำร้อน

จากรูปที่ 3.7 และ 3.8 ถังเก็บน้ำร้อนทำจากวัสดุอลูมิเนียม มีขนาด 96 L ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 cm ความสูง 50 cm เจาะรูสำหรับน้ำเข้าสูงจากก้นถัง 7 cm เจาะรูสำหรับน้ำออกที่กึ่งกลางของก้นถังและหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากถังเก็บน้ำร้อน รูปที่ 3.9 แสดงภาพจริงของถังเก็บน้ำร้อน



รูปที่ 3.7 แสดงภาพพื้นที่ 2 มิติ ของถังเก็บน้ำร้อน



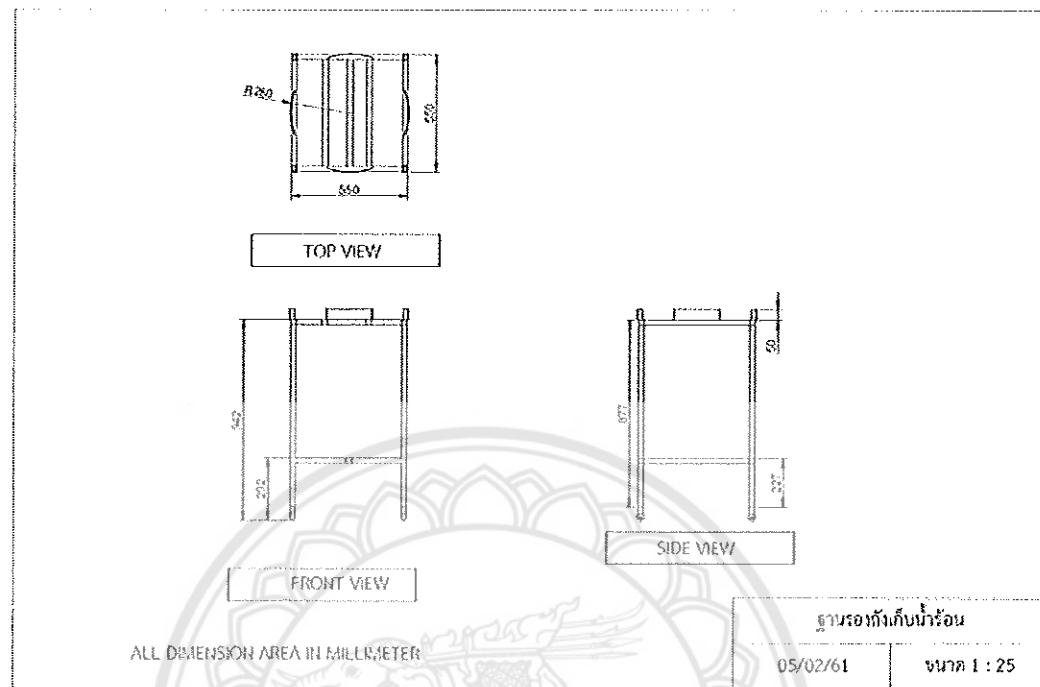
รูปที่ 3.8 แสดงภาพเชิงแบบไอโซเมต릭ของถังเก็บน้ำร้อน



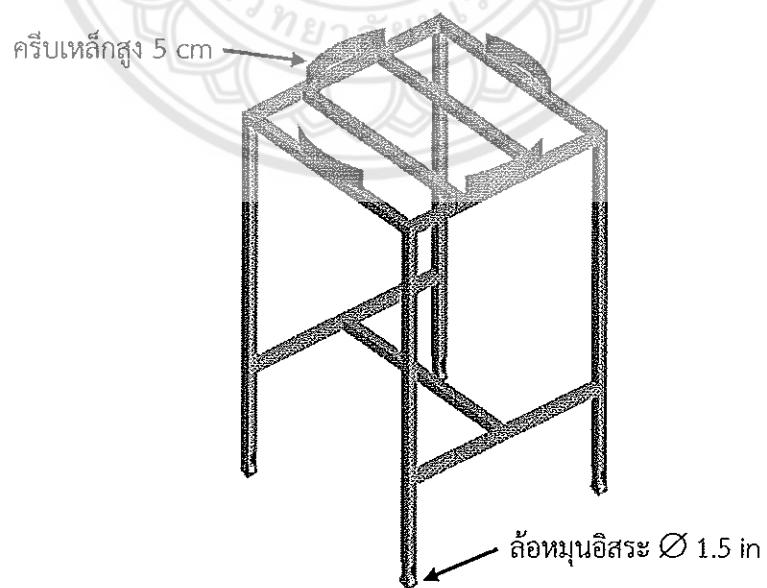
รูปที่ 3.9 แสดงภาพจริงของถังเก็บน้ำร้อน

#### 3.1.4 ฐานรองถังเก็บน้ำร้อน

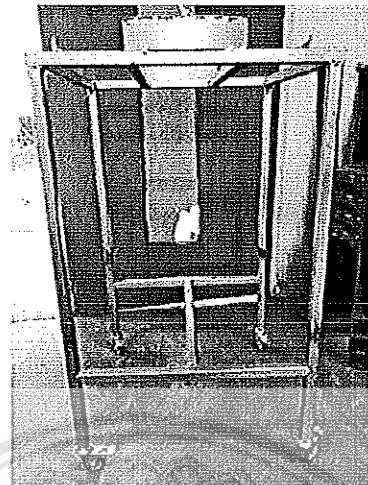
จากรูปที่ 3.10 และ 3.11 ฐานรองถังเก็บน้ำร้อนสร้างจากเหล็กกล่องขนาด  $1 \times 1 \times 0.0472$  m<sup>3</sup> เชื่อมต่อกันเป็นรูปโครงสร้างให้เหมาะสมสำหรับการรองรับน้ำหนักถังเก็บน้ำร้อนที่บรรจุน้ำ 50 L และติดเครื่องเหล็กสูง 5 cm เพื่อเป็นตัวกันตกของถัง ขนาดของโครงสร้างมีความสูง 94.2 cm กว้าง 55 cm ยาว 55 cm ติดล้อทั้งหมด 4 ล้อเพื่อให้สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก รูปที่ 3.12 แสดงภาพจริงของฐานรองถังเก็บน้ำร้อน



รูปที่ 3.10 แสดงภาพราย 2 มิติ ของฐานรองตั้งเก็บน้ำร้อน



รูปที่ 3.11 แสดงภาพเขียนแบบไอโซเมต릭ของฐานรองตั้งเก็บน้ำร้อน

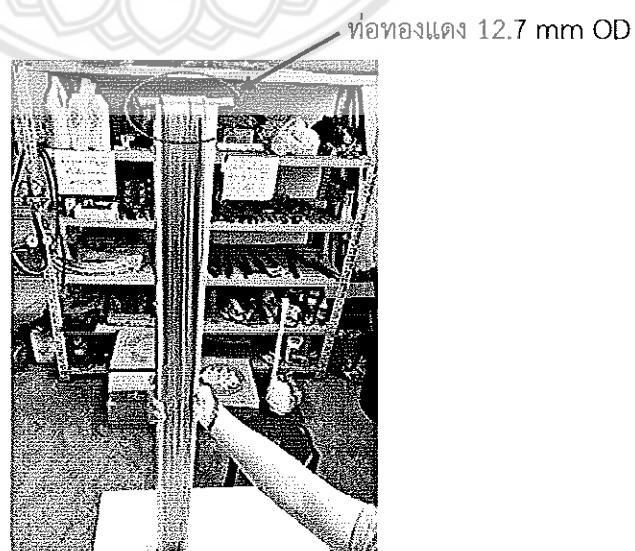


รูปที่ 3.12 แสดงภาพจริงของฐานรองตั้งเก็บน้ำร้อน

### 3.2 การสร้างและติดตั้งห่อความร้อนแบบสันวงรอบในชุดทดสอบตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

#### 3.2.1 การสร้างห่อความร้อนแบบสันวงรอบ

3.2.1.1 นำท่อค้าปีลารีท่องแสงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 2.8 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.5 mm มาขดเป็นวงรอบกล่องอลูมิเนียมจำนวน 20 รอบ โดยยกกล่องอลูมิเนียมที่ใช้มีขนาด คือ  $0.075 \times 1 \times 0.025$  m ซึ่งส่วนบนของกล่องอลูมิเนียมยึดติดกับห่อท่องแสงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 12.7 mm เพื่อใช้เป็นส่วนควบแน่นในการแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับน้ำของห่อความร้อนแบบสันวงรอบ แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 แสดงการขดห่อท่องแสงให้เป็นโถงเลี้ยวรอบกล่องอลูมิเนียม

3.2.1.2 เชื่อมปิดปลายท่อคากีลาร์ทองแดงเข้าด้วยกันให้เป็นวงรอบและเชื่อมติดกับข้อต่อที่ใช้สำหรับเติมสารทำงาน ทำการเติมสารทำงานโดยสารทำงานที่ใช้เป็นน้ำกลั่น อัตราการเติมสารทำงานจะเป็น 50% ของปริมาตรทั้งหมดภายในท่อความร้อน ก่อนการเติมสารทำงานต้องทำให้ภายในท่อห้องแดงเป็นสูญญากาศโดยใช้ ปั๊มสูญญากาศ (Vacuum pump) แล้วจึงทำการเติมสารทำงาน แสดงดังรูปที่ 3.14 หลังจากนั้นจึงทำการเชื่อมปิดท่อความร้อนและตรวจสอบการทำงานของท่อความร้อนโดยใช้น้ำร้อนในการทดสอบ แสดงดังรูปที่ 3.15

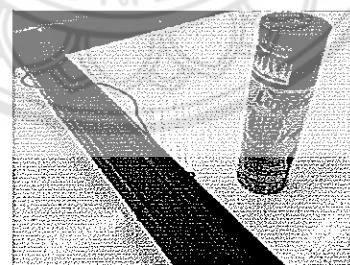


รูปที่ 3.14 แสดงการเติมสารทำงานลงในท่อความร้อน



รูปที่ 3.15 แสดงการตรวจสอบการทำงาน

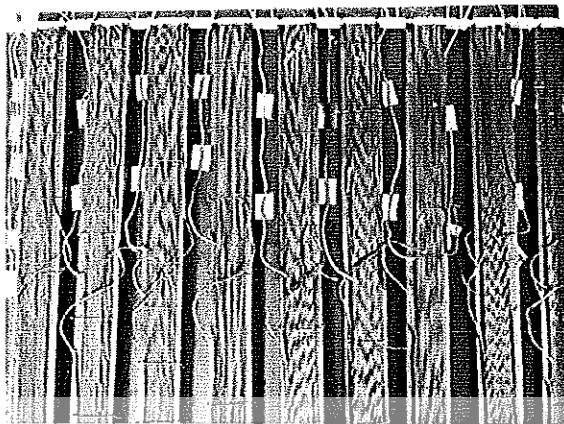
3.2.1.3 นำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ผ่านการตรวจสอบแล้วมาพ่นด้วยสีดำเนินดินทนความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดกลืนแสง แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 แสดงท่อความร้อนที่ถูกพ่นด้วยสีดำเนินดินทนความร้อน

### 3.2.2 การติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

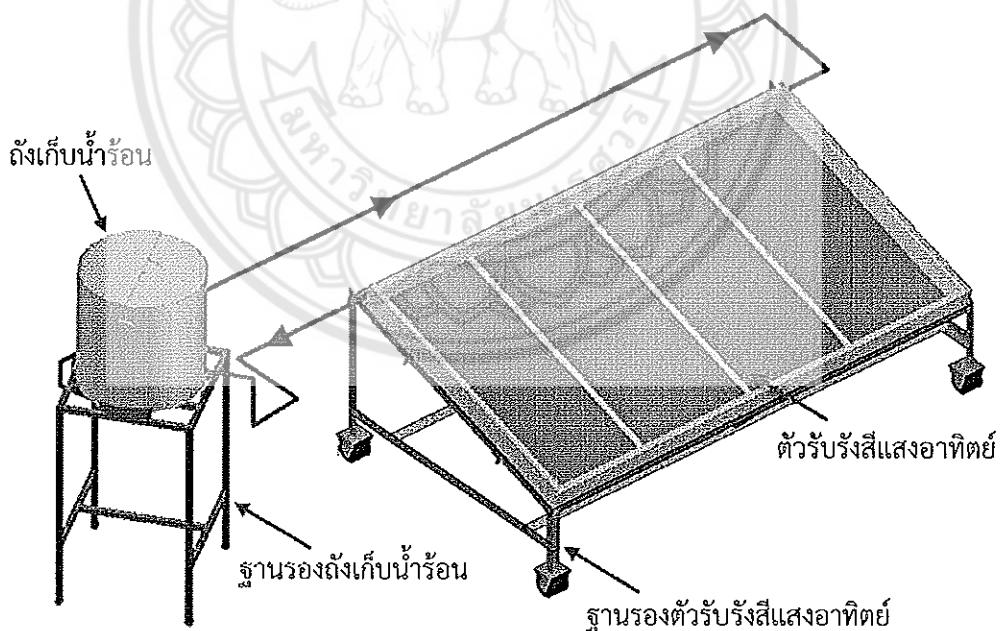
การติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบแสดงดังรูปที่ 3.17 นำท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่พ่นสีดำเนินดินทนความร้อนมาเรียงตัวบนแผ่นดูดกลืนรังสีของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบ และนำสายยางซิลิโคน (Silicone tube) สวมเข้ากับท่อห้องแดงที่ยึดติดกับส่วนบนของท่อความร้อนเพื่อเป็นทางน้ำไหลผ่านเข้า-ออกในระบบ



รูปที่ 3.17 แสดงการติดตั้งห่อความร้อนแบบสั่นงรอบในตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

### 3.3 หลักการทำงานของระบบและตัวแปรในการทดสอบ

#### 3.3.1 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระบบน้ำให้เลี้ยงตามธรรมชาติ



รูปที่ 3.18 แสดงภาพเขียนแบบไอโซเมทริกของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ห่อความร้อนแบบสั่นงรอบที่ระบบน้ำให้เลี้ยงตามธรรมชาติ

๓ ๔  
๙๑  
ป๖๒๑๙  
๑๕๖๑

1041068

25



สำนักหอสมุด

๓๐.๑.๒๕๖๑



รูปที่ 3.19 แสดงภาพจริงของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นง่วงรอบที่ระบบน้ำให้หลวมตามธรรมชาติ

ระบบน้ำให้หลวมตามธรรมชาติ (Passive solar water heating system) เป็นระบบที่น้ำสามารถให้หลวมได้เองโดยการอาศัยแรงดึงดูด ไม้ลักษณะดังรูปที่ 3.18 และ 3.19 โดยที่น้ำเมื่อให้หลวมสู่ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะได้รับความร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นน้ำจะมีความหนาแน่นลดลงและลอยตัวสูงขึ้นไปถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในถังเก็บน้ำร้อนที่หุ้มชั้นนอกอย่างต่อเนื่องเดียว กันน้ำบริเวณด้านล่างของถังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและมีความหนาแน่นสูงกว่าจะไหลจากถังมาแทนที่น้ำร้อนในตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ จากปรากฏการณ์นี้จะทำให้น้ำในถังมีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงขึ้นเรื่อยๆ

### 3.3.2 ตัวแปรในการทดสอบ

#### 3.3.2.1 ตัวแปรควบคุม

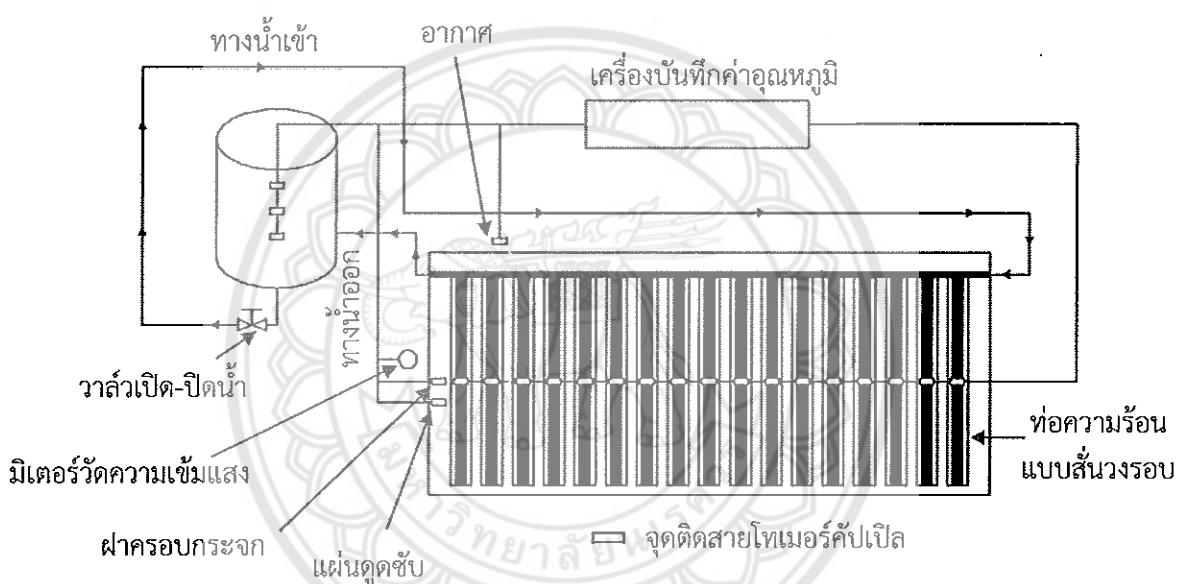
- สารทำงานที่ใช้ คือ น้ำกลั่น
- ท่อความร้อนแบบสั่นง่วงรอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเป็น 1.5 mm
- จำนวนท่อความร้อนแบบสั่นง่วงรอบคือ 17 ท่อ
- ท่อความร้อนแบบสั่นง่วงรอบมีความยาวส่วนท่าระเหยเท่ากับ 1 m
- ท่อความร้อนแบบสั่นง่วงรอบมีจำนวนโค้งเดี้ยวเป็น 20 โค้งเดี้ยว
- ปริมาณน้ำในถังเก็บ 50 L
- ระบบการให้หลวมของน้ำเป็นแบบไฟฟ้าตามธรรมชาติ
- ดำเนินการทดสอบ ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก โดยตัวรับรังสีแสงอาทิตย์เอียงทำมุม  $18^\circ$  จากแนวระดับ

### 3.3.2.2 ตัวแปรที่ต้องการศึกษา ประกอบด้วย

- อุณหภูมิส่วนต่างๆ ประกอบด้วย ท่อความร้อน แผ่นดูดกลืนรังสี แผ่นกระจก
- อุณหภูมิเฉลี่ยน้ำในถัง
- อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับ
- ประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อน

## 3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบระบบเครื่องทำน้ำร้อนที่สร้างขึ้นมีขั้นตอนดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.20 การทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระบบบัน้ำให้เลี้ยงตามธรรมชาติ

3.4.1 นำเครื่องออกมาติดตั้งการทดลองโดยหันหน้าแผงรับรังสีไปทางทิศใต้เพื่อให้ได้รับรังสีอาทิตย์ตลอดทั้งวัน

3.4.2 ทำการติดสายเทอร์โมคัปเปิลที่ท่อความร้อน แผ่นดูดกลืน แผ่นกระจก อากาศและล้อม และอุณหภูมน้ำในถังเก็บน้ำร้อน ตามตำแหน่งแสดงดังรูปที่ 3.20 เพื่อวัดค่าอุณหภูมิและส่งไปแสดงที่จอแสดงผลของเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ

3.4.3 ติดตั้งเครื่องวัดความเข้มแสงหรือไฟранอมิเตอร์ (Pyranometer) ที่ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ สำหรับวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 3.20

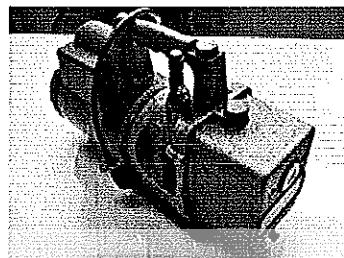
3.4.4 เริ่มการทดสอบโดยการเปิดวาล์วน้ำเข้าและขากลับให้มากสุด

3.4.5 ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ ความเข้มแสง ทุกๆ 15 นาที ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ~ 16.30 น.

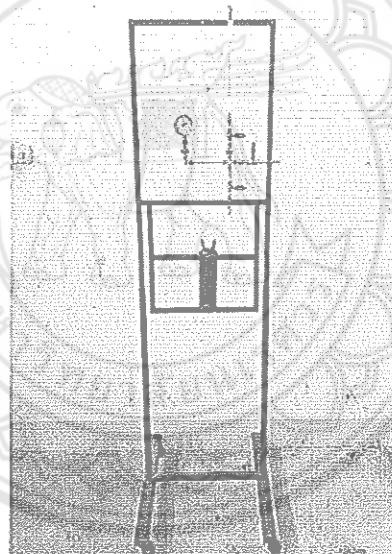
3.4.6 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หา อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับ และประสิทธิภาพของ เครื่องทำน้ำร้อนที่สร้างขึ้น

### 3.5 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.5.1 ชุดเติมสารทำงานเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เติมสารทำงานเข้าสู่ห้องความร้อน ซึ่งประกอบด้วย ปั๊มสูญญากาศ (Vacuum pump) และ แท่นเติมสารทำงาน แสดงดังรูปที่ 3.21 และ 3.22 ตามลำดับ

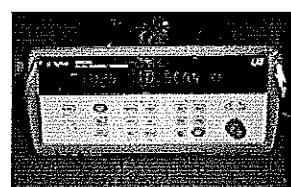


รูปที่ 3.21 แสดงภาพปั๊มสูญญากาศ



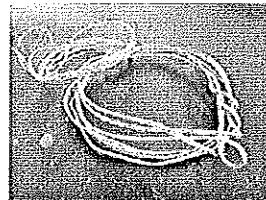
รูปที่ 3.22 แสดงภาพแท่นเติมสารทำงาน

3.5.2 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (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 3.23



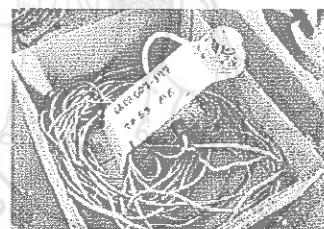
รูปที่ 3.23 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ

3.5.3 สายเทอร์โมคัปเปิล ยี่ห้อ OMEGA ชนิด K ทำจากวัสดุ Chromel-Alumel ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ  $-40^{\circ}\text{C}$  ถึง  $1200^{\circ}\text{C}$  ความแม่นยำ  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 3.24



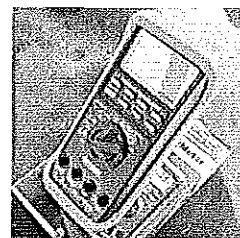
รูปที่ 3.24 สายเทอร์โมคัปเปิล

3.5.4 ไฟรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ยี่ห้อ KIPP&ZONEN รุ่น SP Lite 2 มีค่าความไวต่อแสงเท่ากับ  $60\text{--}100 \mu\text{V}/\text{W/m}^2$  มีค่าความเข้มแสงสูงสุดที่ได้ 2000  $\text{W/m}^2$  แสดงดังรูปที่ 3.25 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความเข้มแสงที่ทำงานร่วมกับมัลติมิเตอร์ในการวัดและแสดงค่า โดยค่าที่อ่านได้จากมัลติมิเตอร์ 1 mV จะมีค่าเทียบเท่า  $10 \text{ W/m}^2$



รูปที่ 3.25 ไฟรานอมิเตอร์

3.5.5 มัลติมิเตอร์ (Multimeter) ยี่ห้อ EXTECH รุ่น MM560A ประเภท: Hand Held, PC Interface ความแม่นยำ:  $\pm 0.02\%$  ขอบเขตแรงดันไฟฟ้า: 500 mV to 1000 V แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 มัลติมิเตอร์

## บทที่ 4

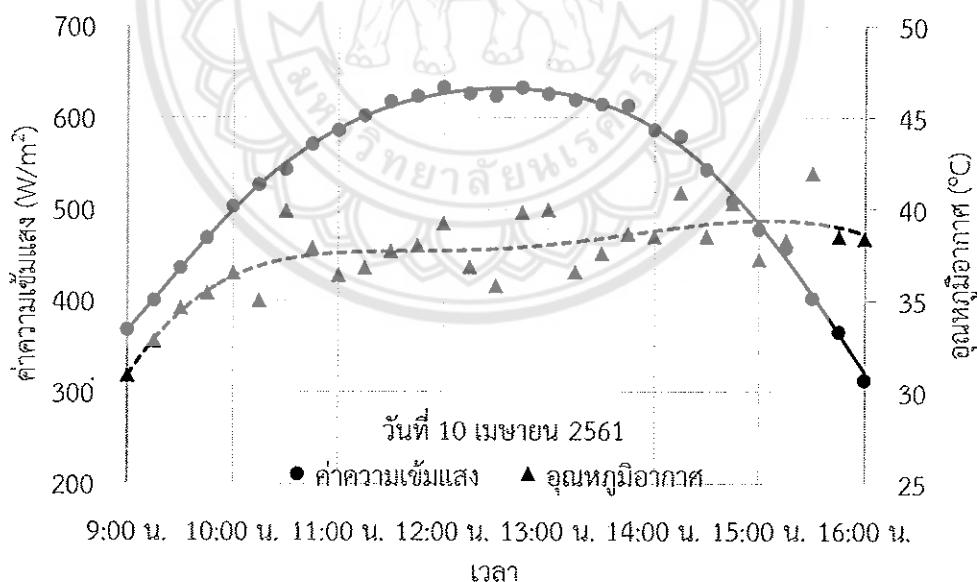
### ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

#### 4.1 การทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งที่ 1 วันที่ 10 เมษายน 2561

##### 4.1.1 ความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

- ค่าความเข้มแสง จากผลการทดลองที่ได้พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูประฆังกว่า ที่เวลา 9.00 น. ความเข้มแสงมีค่าค่อนข้างต่ำ คือ  $368.2 \text{ W/m}^2$  และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 12.00 น. ซึ่งให้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุด คือ  $633.3 \text{ W/m}^2$  เพราะเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งตระหง่าน แสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมากที่สุด และค่าความเข้มแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.00 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. ซึ่งให้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำที่สุด คือ  $312.9 \text{ W/m}^2$  แสดงดังรูปที่ 4.1

- อุณหภูมิอากาศ พบร้ากราฟมีความชันเพิ่มขึ้นช่วงเวลา 9.00 น. ไปจนถึงเวลา 10.30 น. ที่เวลา 9.00 น. มีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ  $30.9^\circ\text{C}$  และช่วงเวลา 10.30 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. มีค่าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตลอดเวลา เนื่องจากมีลมตามด้วยอุณหภูมิเฉลี่ยที่  $38.4^\circ\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศเทียบกับเวลา (วันที่ 10 เมษายน 2561)

#### 4.1.2 อุณหภูมิส่วนต่างๆ ของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของท่อความร้อน แผ่น Absorber และกระจกแปรผันตามค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ซึ่งกราฟมีลักษณะเป็นรูประฆังกว้างเมื่อกันทั้งหมด แตกต่างกันที่อุณหภูมิของแต่ละส่วนไม่เท่ากัน เมื่อจากเป็นวัสดุที่แตกต่างกัน แต่อุณหภูมิของท่อความร้อนและแผ่น Absorber จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันมากแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจะเริ่มคงที่ เมื่อความเข้มแสงมีค่าต่ำลง โดย

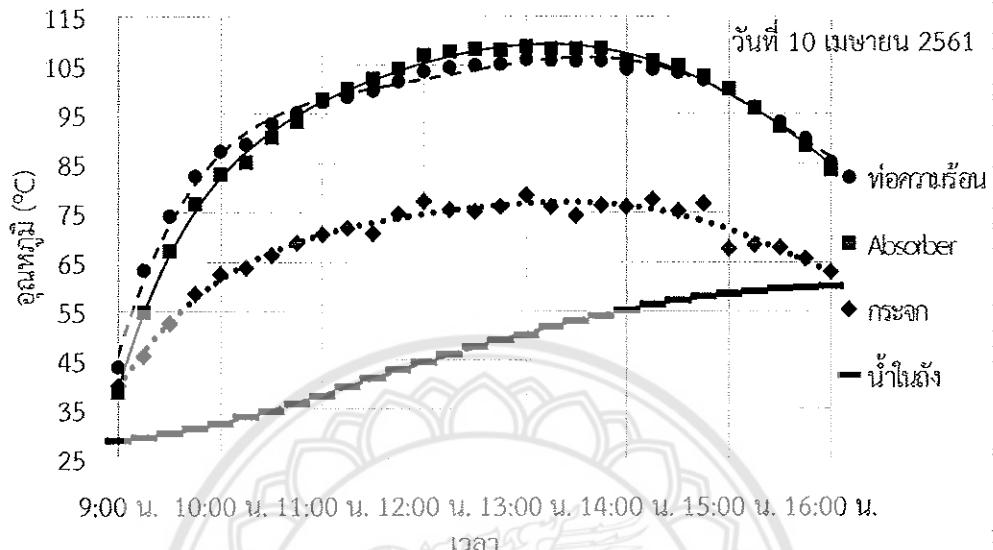
- ท่อความร้อน พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูประฆังกว้าง ที่เวลา 9.00 น. มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ  $43.6^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 13.00 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด คือ  $106.3^{\circ}\text{C}$  เพราะเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มากที่สุด และค่าอุณหภูมิท่อความร้อนจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.00 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. แสดงดังรูปที่ 4.2

- แผ่น Absorber พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูประฆังกว้าง ที่เวลา 9.00 น. มีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ  $38.5^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 13.00 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงที่สุด คือ  $108.9^{\circ}\text{C}$  เพราะเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มากที่สุด และค่าอุณหภูมิแผ่น Absorber จะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.00 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. แสดงดังรูปที่ 4.2

- กระจก พบร้าว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูประฆังกว้าง ที่เวลา 9.00 น. มีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ  $39.9^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 13.00 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงที่สุด คือ  $78.7^{\circ}\text{C}$  เพราะเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มากที่สุด และค่าอุณหภูมิกระจกจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.00 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. แสดงดังรูปที่ 4.2

- น้ำในถัง พบว่ากราฟของอุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ที่เวลา 9.00 น. มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ  $28.7^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 16.00 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด คือ  $61.9^{\circ}\text{C}$  เมื่อจากน้ำได้รับการถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะสะสมพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงลักษณะกราฟที่เริ่มจะคงที่ เพราะความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าลดลง แสดงดังรูปที่ 4.2

อุณหภูมิอากาศมีผลต่ออุณหภูมิส่วนต่างๆ ของเครื่องทำน้ำร้อนค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับความเข้มแสงอาทิตย์ จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงเวลา 13.00 น. ถึง 15.30 น. อุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งค่าความเข้มแสงอาทิตย์ลดลงและอุณหภูมิเฉลี่ยของท่อความร้อน แผ่น Absorber และกระจกลดลงด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงมีอิทธิพลมากกว่าอุณหภูมิอากาศ และหากอุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำหรือมีลมพัดผ่านจะส่งผลต่อการสูญเสียความร้อนของน้ำในถัง เมื่อจากการสูญเสียความร้อนของระบบทำน้ำร้อนไปยังอากาศ

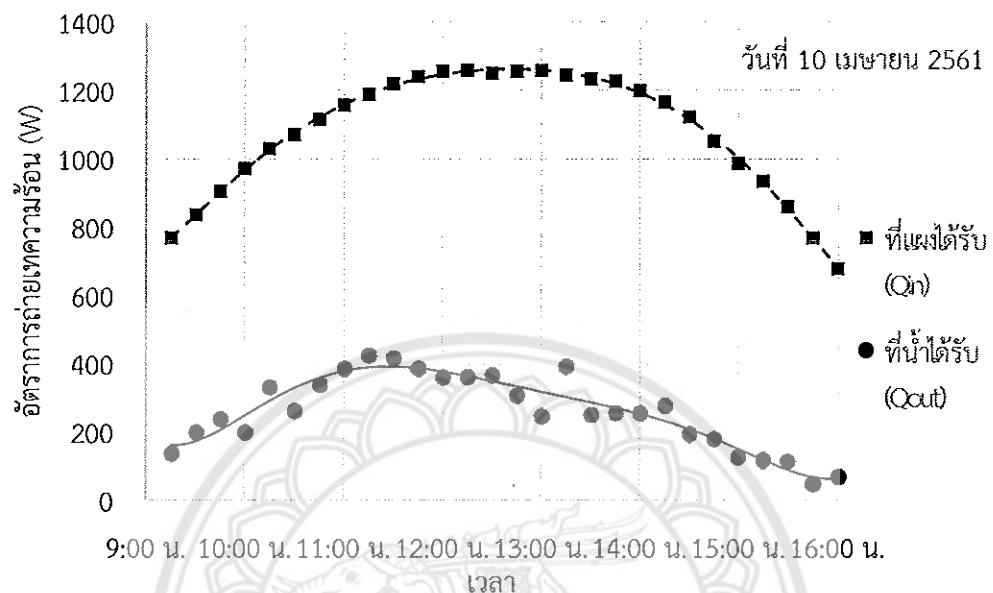


รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับเวลา (วันที่ 10 เมษายน 2561)

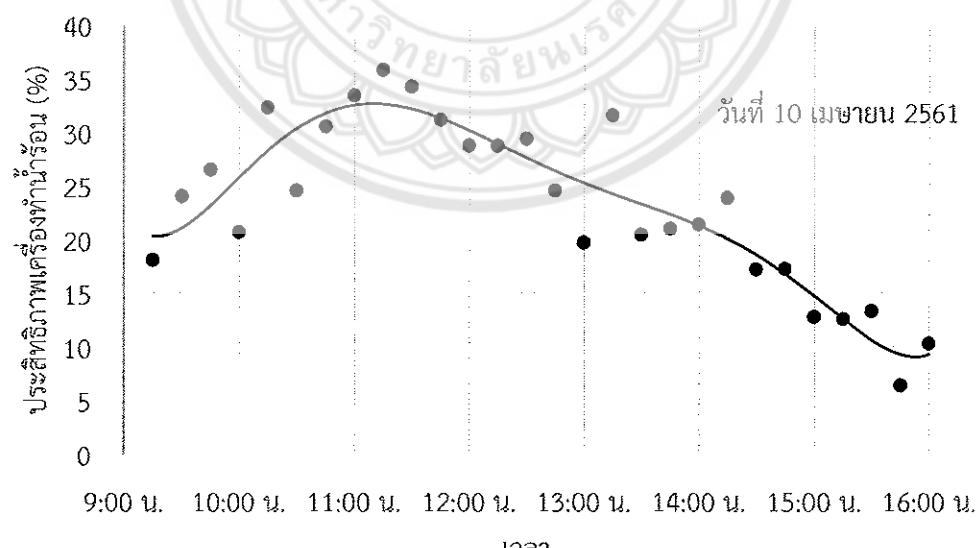
#### 4.1.3 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับเปรียบเทียบกับที่แผงรับรังสีอาทิตย์ได้รับ

- อัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงได้รับ พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูประฆังกว่า และแปรผันตามค่าความเข้มแสง ที่เวลา 9.15 น. มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนคือ 768.4 W และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด คือ 1259.9 W ที่เวลา 12.15 น. และค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลงเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 16.00 น. มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ 678.8 W แสดงดังรูปที่ 4.3

- อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับ พบว่ากราฟมีลักษณะแนวโน้มเป็นรูประฆังกว่า มีค่าแปรผันตามอัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงได้รับ แต่มีค่าน้อยกว่าและค่ากระจายสูงต่ำสลับกันเนื่องจาก เป็นการให้แบบระบบไฟล์วีนตามธรรมชาติทำให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ไม่ดีนัก และกราฟอัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับมีเส้นแนวโน้มลดลงไวกว่ากราฟอัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงได้รับ เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงได้รับใช้ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ต่างกันในช่วงเวลา 15 นาที ในการคำนวณ แต่อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับใช้ค่าอุณหภูมน้ำในถังที่ต่างกันในช่วงเวลา 15 นาที ในการคำนวณ ที่เวลา 9.15 น. มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน คือ 139.6 W และค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นไปจนถึงเวลา 11.15 น. มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุด คือ 426.5 W จากนั้น อัตราการถ่ายเทความร้อนจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงเวลา 16.00 น. โดยมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำที่สุด อยู่ที่ 49.5 W ที่เวลา 15.45 น. แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทขายร้อนเทียบกับเวลา  
(วันที่ 10 เมษายน 2561)



รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อนเทียบกับเวลา  
(วันที่ 10 เมษายน 2561)

#### 4.1.4 ประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณ พบว่าลักษณะกราฟมีแนวเป็นรูปราชันคัว ค่าประสิทธิภาพรายสูงที่สลับกัน และแปรผันตามอัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับ ค่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ที่เวลา 9.15 น. ถึง 11.15 น. ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดอยู่ที่ 35.9% และลดลงถึงเวลา 16.00 น. ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพต่ำที่สุดที่เวลา 15.45 น. คือ 6.4% แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศเทียบกับเวลา  
(วันที่ 20 เมษายน 2561)

### 4.2 การทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งที่ 2 วันที่ 20 เมษายน 2561

#### 4.2.1 ความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

- ค่าความเข้มแสง ผลการทดลองที่ได้พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูปราชันคัว ค่าความเข้มแสงจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ไปจนถึงเวลา 12.15 น. ซึ่งมีค่าความเข้มแสงสูงที่สุด คือ  $637.1 \text{ W/m}^2$  หลังจากนั้นค่าความเข้มแสงจะเริ่มลดลง จนถึงเวลา 16.00 น. ซึ่งค่าความเข้มแสงต่ำที่สุด คือ  $170.6 \text{ W/m}^2$  เมื่อจากสภาพอากาศวันที่ 20 เมษายน 2561 ค่อนข้างมีเมฆมากเป็นบางเวลาจึงทำให้บางช่วงเวลาที่ทำการทดลองค่าความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นสูงสลับกันเป็นบางช่วงเวลา แสดงดังรูปที่ 4.5

- อุณหภูมิอากาศ พบร้ากราฟมีความชันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยช่วงเวลา 9.00 น. ไปจนถึงเวลา 10.30 น. ที่เวลา 9.15 น. มีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ  $30.6^\circ\text{C}$  และช่วงเวลา 10.30 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. มีค่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงเล็กน้อย เนื่องจากมีลมตะวันออกเฉียงใต้ความเร็วลม  $10-25 \text{ km/hr}$  ช่วยในการ

พากความร้อน และกราฟอุณหภูมิค่อนข้างจะเป็นเส้นตรงสลับกับเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ที่เวลา 14.00 น. มีค่า อุณหภูมิสูงที่สุด คือ  $41.0^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 4.5

#### 4.2.2 อุณหภูมิส่วนต่างๆ ของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของท่อความร้อน แผ่น Absorber และกระเจาแปรผันตามค่าความเข้ม แสงอาทิตย์ ซึ่งกราฟมีเส้นแนวโน้มลักษณะเป็นรูประฆังกว่าและมีค่ากระจาจายสูงต่ำสลับกันเหมือนกัน ทั้งหมด แตกต่างกันที่อุณหภูมิของแต่ละส่วนไม่เท่ากัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่แตกต่างกัน แต่อุณหภูมิของ ท่อความร้อนและแผ่น Absorber จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันมากแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ที่ช่วงเวลา 12.00 น. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์จากรูปที่ 4.5 มีค่าลดลงอย่างมากและเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมี เมฆมาบังตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ แต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของท่อความร้อน แผ่น Absorber และกระเจาจากรูป ที่ 4.6 มีค่าค่อนข้างต่ำลดลงจนถึงเวลา 12.30 น. และค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากท่อความร้อน แผ่น Absorber และกระเจา ทำการดูดซับและสะสมความร้อนเอาไว้ จึงทำให้ค่าอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และ ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำในถังจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีค่าความเข้มแสงเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจะเริ่มคงที่ เมื่อ ความเข้มแสงมีค่าต่ำลง โดย

- ท่อความร้อน พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูประฆังกว่า ที่เวลา 9.00 น. มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำ ที่สุด คือ  $37.6^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 13.30 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด คือ  $102.4^{\circ}\text{C}$  เพราะเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งจากกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มากที่สุด และค่าอุณหภูมิท่อ ความร้อนจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.30 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. แต่จะเห็นได้ว่า ช่วงเวลา 11.45 น. ถึง 13.00 น. และช่วงเวลา 14.15 น. ถึง 14.45 น. อุณหภูมิท่อความร้อนจะลดลง และเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความเข้มแสงมีค่าลดลง เพราะมีเมฆมาบังตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.6

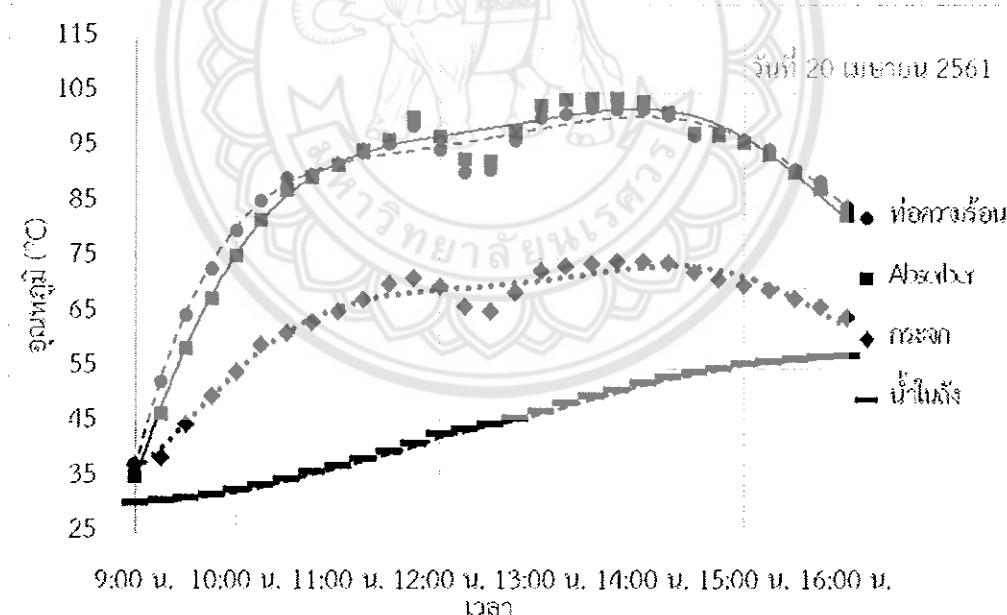
- แผ่น Absorber พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูประฆังกว่า ที่เวลา 9.00 น. มีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ  $35.5^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 13.30 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงที่สุด คือ  $104.1^{\circ}\text{C}$  เพราะเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งจากกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มากที่สุด และค่าอุณหภูมิแผ่น Absorber จะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.30 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. แต่จะเห็นได้ว่าช่วงเวลา 11.45 น. ถึง 13.00 น. และช่วงเวลา 14.15 น. ถึง 14.45 น. อุณหภูมิแผ่น Absorber จะลดลงและเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความเข้มแสงมีค่าลดลง เพราะมีเมฆมาบังตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.6

- กระเจา พบว่ากราฟมีลักษณะเป็นรูประฆังกว่า ที่เวลา 9.00 น. มีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ  $37.7^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 13.45 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงที่สุด คือ  $74.5^{\circ}\text{C}$  เพราะเป็น ช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งจากกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มากที่สุด และค่าอุณหภูมิกระเจาจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 13.45 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. แต่จะเห็นได้ว่าช่วงเวลา 11.45 น. ถึง 13.00 น. อุณหภูมิกระเจาจะลดลงและเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความเข้มแสงมีค่าลดลง เพราะมีเมฆมาบังตัวรับรังสี แสงอาทิตย์ และช่วงเวลา 14.15 น. ถึง 14.45 น. อุณหภูมิจะไม่ลดลงและเพิ่มขึ้นเหมือนอุณหภูมิท่อ

ความร้อนและอุณหภูมิแผ่น Absorber เนื่องจากอุณหภูมิกระจกมีค่าไม่สูงมากเมื่อเทียบกับอุณหภูมิท่อความร้อนและอุณหภูมิแผ่น Absorber แสดงดังรูปที่ 4.6

- น้ำในถัง พบร้ากราฟของอุณหภูมิจะค่อย ๆ เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ที่เวลา 9.00 น. มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ  $30.8^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 16.00 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด คือ  $57.6^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากน้ำได้รับการถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะสะสมพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงลักษณะกราฟที่เริ่มจะคงที่ เพราะความเข้มแสงอาทิตย์มีค่าลดลง แสดงดังรูปที่ 4.6

อุณหภูมิอากาศมีผลต่ออุณหภูมิส่วนต่าง ๆ ของเครื่องทำน้ำร้อนค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับความเข้มแสงอาทิตย์ จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงเวลา 13.00 น. ถึง 15.30 น. อุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งค่าความเข้มแสงอาทิตย์ลดลงและอุณหภูมิเฉลี่ยของห้องความร้อน แผ่น Absorber และกระจกลดลงด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงมีอิทธิพลมากกว่าอุณหภูมิอากาศ และหากอุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำหรือมีลมพัดผ่านจะส่งผลต่อการสูญเสียความร้อนของน้ำในถัง เนื่องจากการสูญเสียความร้อนของระบบทำน้ำร้อนไปยังอากาศ



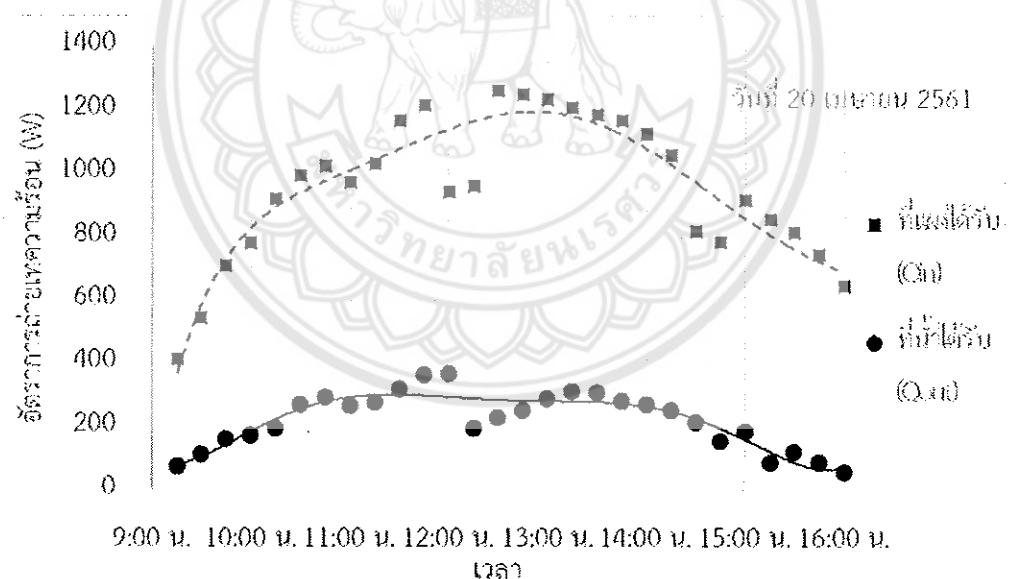
รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับเวลา (วันที่ 20 เมษายน 2561)

#### 4.2.3 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับเปรียบเทียบกับที่แผงรับรังสีอาทิตย์ได้รับ

- อัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงได้รับ พบร้ากราฟมีลักษณะเป็นรูประฆังกว่า แปรผันตามค่าความเข้มแสง และกระจายตัวเล็กน้อยเป็นบางเวลา เนื่องจากมีเมมbrane ตัวรับรังสี ค่าอัตราการถ่ายเท

ความร้อนที่ต่ำที่สุด คือ 415.6 W ที่เวลา 9.15 น. และจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 12.30 น. ซึ่งมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด คือ 1260.9 W และลดลงเรื่อยๆ จนถึงเวลา 16.00 น. ที่ช่วงเวลา 12.00 น. ถึง 12.15 น. และช่วงเวลา 14.30 น. ถึง 14.45 น. เป็นช่วงเวลาที่อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงและเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากมีเมฆมาบังตัวรับสีแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.7

- อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับ พบร้าฟมีลักษณะแนวโน้มเป็นรูประฆังกว่า และมีค่าแปรผันตามอัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงได้รับ แต่มีค่าน้อยกว่าและค่ากระจาดใหญ่สูงต่ำสลับกัน เนื่องจากเป็นการให้แบบระบบไฟล์เวียนตามธรรมชาติทำให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ไม่ต่อเนื่อง ที่เวลา 9.15 น. มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อน คือ 77.5 W หลังจากนั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 12.00 น. มีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด คือ 369.8 W พบร้าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงอย่างฉับพลันที่เวลา 12.15 น. คือ 198.2 W เนื่องจากสภาพอากาศหัวว่างวันบนห้องฟ้ามีเมฆบังตัวรับสีแสงอาทิตย์ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลง จากนั้นมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นอีกไปจนถึงเวลา 13.15 น. คือ 312.5 W จากนั้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงอย่างต่อเนื่องไปจนถึงเวลา 16.00 น. ซึ่งมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ต่ำที่สุด คือ 58.2 W แสดงดังรูปที่ 4.7

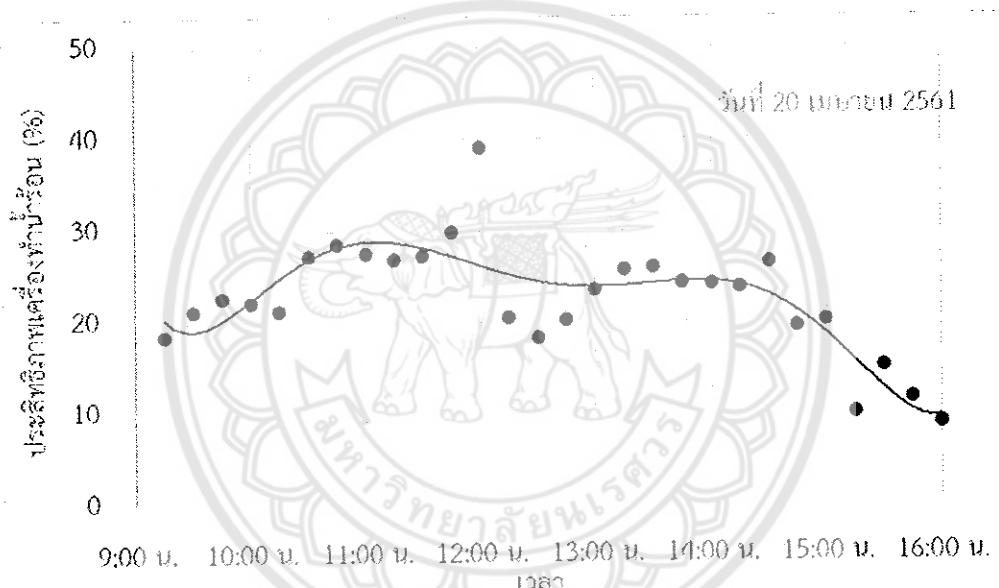


รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบกับเวลา  
(วันที่ 20 เมษายน 2561)

#### 4.2.4 ประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนที่ได้จากการคำนวณ พบร้าลักษณะกราฟมีแนวโน้มเป็นรูประฆังกว่า มีค่ากระจาดใหญ่สูงต่ำสลับกัน และแปรผันตามอัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับ ที่เวลา 9.15

น. ประสิทธิภาพที่เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำได้ 18.7% และมีประสิทธิภาพสูงขึ้นจนถึงเวลา 12.00 น. พบว่ามีประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ทำได้ 39.2% ซึ่งเป็นค่าประสิทธิภาพที่สูงแตกต่างจากช่วงเวลาอื่นๆ เนื่องจากเป็นการบันทึกค่าเฉลี่ยทุกๆ 15 นาที และเป็นช่วงเวลาที่อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับเพิ่มขึ้น แต่อัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงได้รับลดลง เพราะมีเมฆมาบังตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ทำให้ค่าความเข้มแสงลดลงอย่างมาก จากนั้นมีประสิทธิภาพลดลงที่ช่วงเวลา 12.15 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. พบว่าประสิทธิภาพต่ำที่สุดของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำได้ 9% แสดงดังรูปที่ 4.8



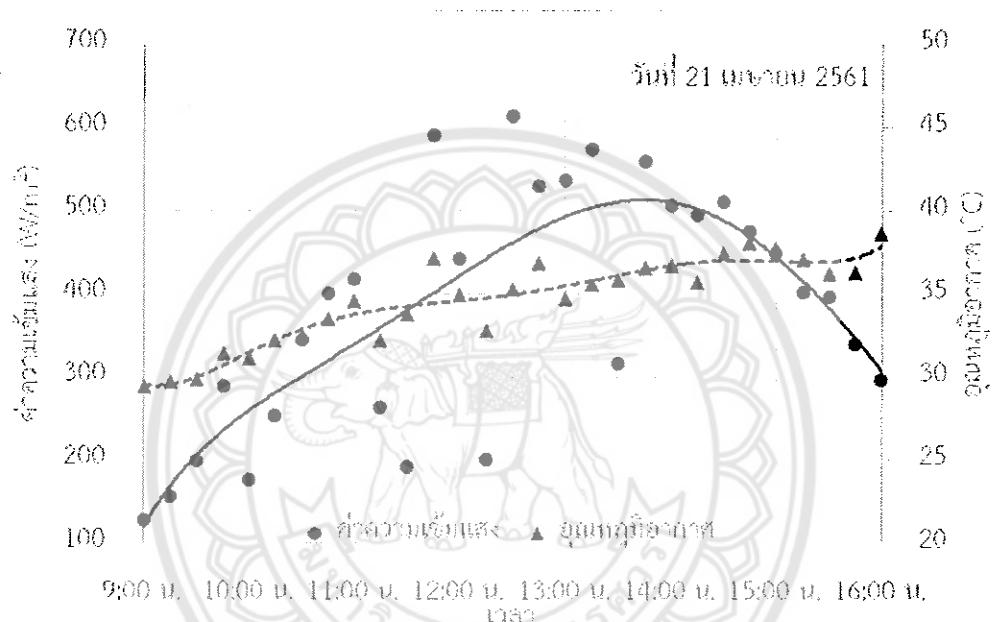
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อนเทียบกับเวลา  
(วันที่ 20 เมษายน 2561)

#### 4.3 การทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ครั้งที่ 3 วันที่ 21 เมษายน 2561

##### 4.3.1 ความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

- ค่าความเข้มแสง ผลการทดลองที่ได้พบว่าราฟมีลักษณะเส้นแนวนอนเป็นรูประฆังกว้างและมีค่ากระจายสูงต่ำสับกัน ค่าความเข้มแสงจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ไปจนถึงเวลา 12.30 น. ซึ่งมีค่าความเข้มแสงสูงที่สุด คือ  $613.5 \text{ W/m}^2$  หลังจากนั้นค่าความเข้มแสงจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนถึงเวลา 16.00 น. ซึ่งค่าความเข้มแสงต่ำที่สุด คือ  $128.0 \text{ W/m}^2$  ที่เวลา 9.00 น. เนื่องจากสภาพอากาศวันที่ 21 เมษายน 2561 ค่อนข้างมีเมฆมากในช่วงเวลา 9.00 น. ไปจนถึง 14.30 น. จึงทำให้บางช่วงเวลาที่ทำการทดลองค่าความเข้มแสงลดลงและเพิ่มขึ้นสูงสักกันเป็นบางช่วงเวลา แสดงดังรูปที่ 4.9

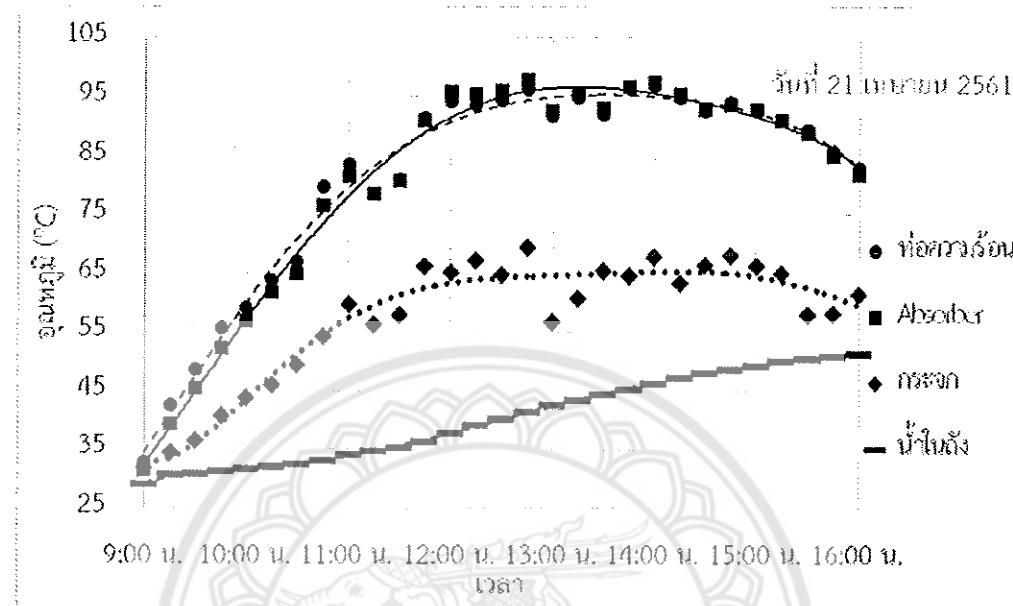
- อุณหภูมิอากาศ พบร่วมค่าอุณหภูมิที่ค่อนข้างสwingเล็กน้อย เนื่องจากมีลมใต้ความเร็วลม 10-25 km/hr ช่วยในการพาความร้อน และกราฟมีความชันเพิ่มขึ้นเล็กน้อยช่วงเวลา 9.00 น. ไปจนถึงเวลา 14.15 น. ที่เวลา 9.00 น. มีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ  $29.4^{\circ}\text{C}$  และกราฟช่วงเวลา 14.15 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. อุณหภูมิค่อนข้างคงที่อยู่ที่ประมาณ  $37.1^{\circ}\text{C}$  แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นแสงอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศเทียบกับเวลา (วันที่ 21 เมษายน 2561)

#### 4.3.2 อุณหภูมิส่วนต่างๆ ของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของท่อความร้อน แผ่น Absorber และกระจกแปรผันตามค่าความชื้น แสงอาทิตย์ ซึ่งกราฟมีเส้นแนวโน้มลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำและมีค่ากระจาดสูงต่ำสลับกันเมื่อเทียบกัน ทั้งหมด แตกต่างกันที่อุณหภูมิของแต่ละส่วนไม่เท่ากัน เนื่องจากเป็นวัสดุที่แตกต่างกัน แต่อุณหภูมิของ ท่อความร้อนและแผ่น Absorber จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันมากแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และจะเห็นได้ว่าค่าความชื้นแสงอาทิตย์จากรูปที่ 4.9 มีค่าค่อนข้างสwingอย่างมาก เนื่องจากมีเมฆมาบังตัวรับรังสี แสงอาทิตย์ในบางเวลา แต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของท่อความร้อน แผ่น Absorber และกระจกจากรูปที่ 4.10 มีค่าค่อนข้างคงคล่อง และเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากท่อความร้อน แผ่น Absorber และกระจก มีการดูดซับ และสะสมความร้อนเอาไว้ จึงทำให้ค่าอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว และค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ ในถังจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีค่าความชื้นแสงเพิ่มขึ้น และจะเริ่มคงที่ เมื่อความชื้นแสงมีค่าต่ำลง โดย



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเทียบกับเวลา (วันที่ 21 เมษายน 2561)

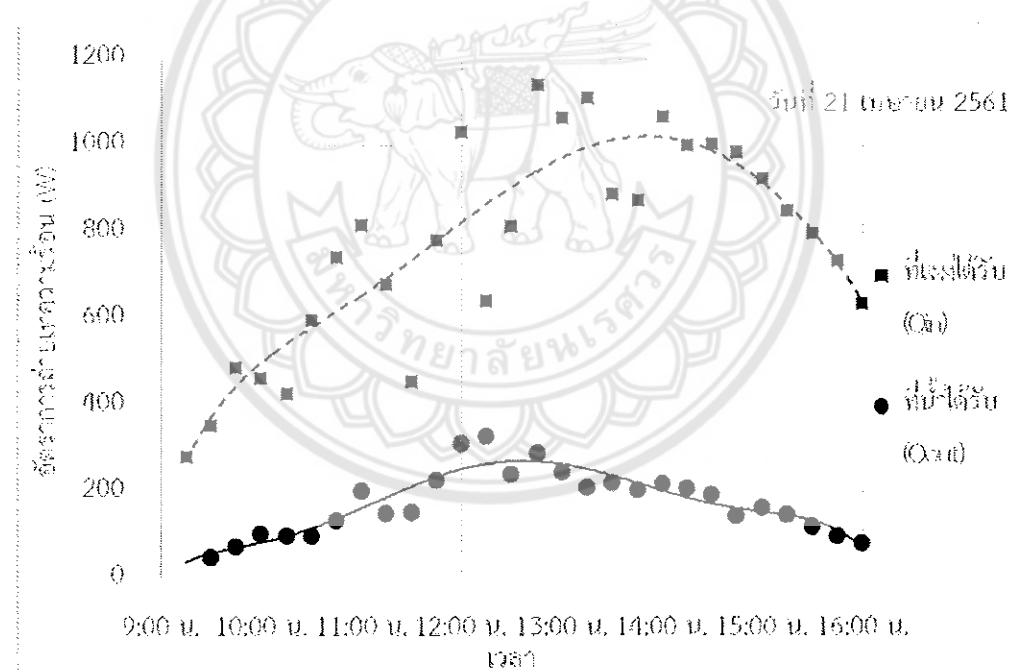
- ห้องความร้อน พบว่ากราฟมีเส้นแนวโน้มลักษณะเป็นรูประฆังคัว่และมีค่ากระจาดูสูงต่ำสับกัน ที่เวลา 9.00 น. มีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ  $32.9^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 14.00 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด คือ  $96.9^{\circ}\text{C}$  เท่าที่เป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับตัวรับรังสี แสงอาทิตย์มากที่สุด และค่าอุณหภูมิที่ความร้อนจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 14.00 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. แต่จะเห็นได้ว่าบางช่วงเวลาอุณหภูมิที่ความร้อนจะลดลงและเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความเข้มแสงมีค่าลดลง เพราะมีเมฆมาบังตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.10

- แผ่น Absorber พบว่ากราฟมีเส้นแนวโน้มลักษณะเป็นรูประฆังคัว่และมีค่ากระจาดูสูงต่ำสับกัน ที่เวลา 9.00 น. มีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ  $31.4^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 12.45 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงที่สุด คือ  $98.0^{\circ}\text{C}$  เพราะเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มากที่สุด และค่าอุณหภูมิแผ่น Absorber จะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 12.45 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. แต่จะเห็นได้ว่าบางช่วงเวลาอุณหภูมิแผ่น Absorber จะลดลงและเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความเข้มแสงมีค่าลดลง เพราะมีเมฆมาบังตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 4.10

- กระจก พบว่ากราฟมีเส้นแนวโน้มลักษณะเป็นรูประฆังคัว่และมีค่ากระจาดูสูงต่ำสับกัน ที่เวลา 9.00 น. มีค่าอุณหภูมิต่ำที่สุด คือ  $31.9^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 12.45 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิสูงที่สุด คือ  $69.4^{\circ}\text{C}$  เพราะเป็นช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์ตั้งฉากกับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มากที่สุด และค่าอุณหภูมิกระจกจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ในช่วงเวลาตั้งแต่ 12.45 น. ไปจนถึงเวลา 16.00 น. แต่จะเห็นได้ว่าบางช่วงเวลาอุณหภูมิกระจกจะลดลงและเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าความเข้มแสงมีค่าลดลง เพราะมีเมฆมาบังตัวรับรังสีแสดงดังรูปที่ 4.10

- น้ำในถัง พบว่ากราฟของอุณหภูมิจะค่อยๆ เพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ที่เวลา 9.00 น. มีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ  $29.0^{\circ}\text{C}$  และจะเริ่มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเวลา 16.00 น. ซึ่งมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยสูงที่สุด คือ  $51.3^{\circ}\text{C}$  เนื่องจากน้ำได้รับการถ่ายเทความร้อนจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์จะสะสมพลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆ จนถึงลักษณะกราฟที่เริ่มจะคงที่ เพราะความเข้มแสงอาทิตย์มีลดลง แสดงดังรูปที่ 4.10

อุณหภูมิอากาศมีผลต่ออุณหภูมิส่วนต่าง ๆ ของเครื่องทำน้ำร้อนค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับความเข้มแสงอาทิตย์ จากกราฟจะเห็นได้ว่าช่วงเวลา 13.45 น. ถึง 15.45 น. อุณหภูมิอากาศค่อนข้างคงที่ ซึ่งค่าความเข้มแสงอาทิตย์ลดลงและอุณหภูมิเฉลี่ยของห้องร้อน แผ่น Absorber และกระจากก็ลดลงด้วยเช่นกัน ดังรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าค่าความเข้มแสงมีอิทธิพลมากกว่าอุณหภูมิอากาศ และหากอุณหภูมิอากาศมีค่าต่ำหรือมีลมพัดผ่านจะส่งผลต่อการสูญเสียความร้อนของน้ำในถังเนื่องจากการสูญเสียความร้อนของระบบทำน้ำร้อนไปยังอากาศ



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเทียบกับเวลา  
(วันที่ 21 เมษายน 2561)

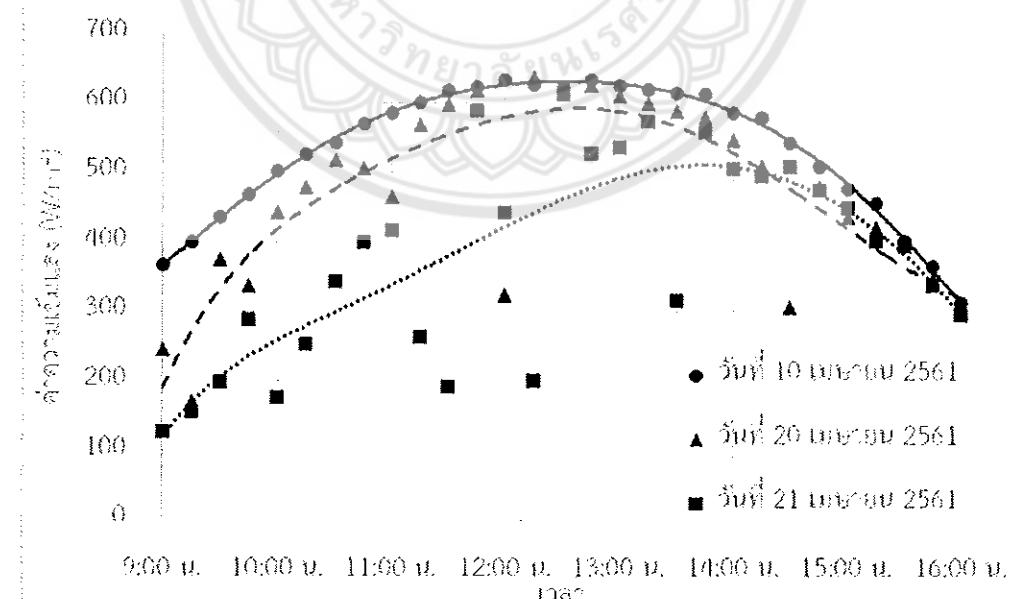
#### 4.3.3 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับเปรียบเทียบกับที่แผงรับรังสีอาทิตย์ได้รับ

- อัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงได้รับ พบว่ากราฟมีลักษณะแนวโน้มเป็นรูประฆังค์ว่า แปรผันตามความเข้มแสง และมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่กระจายสูงต่ำสลับกันเนื่องจากสภาพอากาศช่วง

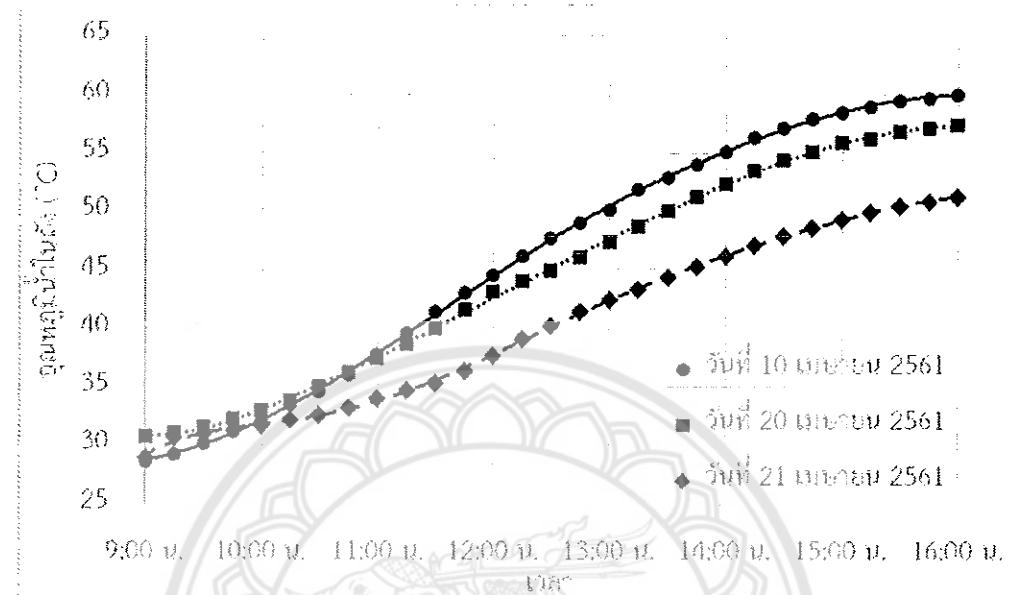
ช่วงเวลา 12.15 น. เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำประสิทธิภาพได้ 51.2% ซึ่งเป็น ปรากฏการณ์คล้ายกับการทดลองครั้งที่ 1 วันที่ 10 เมษายน 2561 เนื่องจากความเข้มแสงตกกระหันหัน ขณะทำการวัด จากรูปนี้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพลดลงเป็นเงินเวลา 16.00 น. พบว่าประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำได้ 13.1% แสดงดังรูปที่ 4.12

#### 4.4 การเปรียบเทียบผลการทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

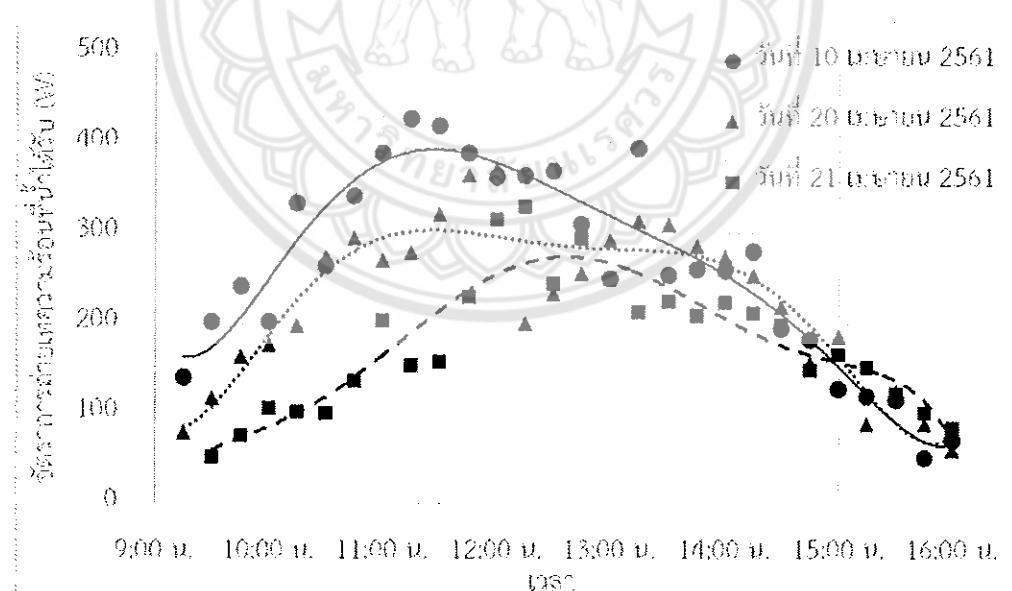
สภาพอากาศมีผลต่อความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ในการทดลองครั้งที่ 1 วันที่ 10 เมษายน 2561 มี สภาพอากาศท้องฟ้า晴朗 บัดลมปะปอด แสงแดดสามารถส่องมาได้ดี แต่รับรังสีแสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มที่ทำให้มี ค่าความเข้มแสงสูงเกือบทั้งวันและอุณหภูมน้ำในถังมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ คือ  $60^{\circ}\text{C}$  ส่วนในการทดลองครั้งที่ 2 วันที่ 20 เมษายน 2561 และครั้งที่ 3 วันที่ 21 เมษายน 2561 สภาพ อากาศค่อนข้างมีเมฆมากในบางช่วงเวลา แสงแดดไม่สามารถส่องมาได้ดี แต่รับรังสีแสงอาทิตย์ได้อย่าง เต็มที่ทำให้มีค่าความเข้มแสงลดลงในบางช่วงเวลาและอุณหภูมน้ำในถังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้มาก และค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่แผงได้รับนั้นมีค่าสูงกว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับมาก พอสมควร เป็นผลมาจากการที่เหล็กของน้ำที่ให้เปลี่ยนตามธรรมชาติมีผลทำให้การถ่ายเทความร้อน จากแผงไปที่น้ำได้ไม่ดีนัก โดยผลการทดลองทั้ง 3 วัน มีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน แต่มีค่าอุณหภูมิ ของระบบที่แตกต่างกันเนื่องจากความเข้มแสงและอุณหภูมิสภาพอากาศแตกต่างกัน แสดงดังรูปที่ 4.13- 4.15



รูปที่ 4.13 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.14 แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยน้ำในถังของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง



รูปที่ 4.15 แสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนที่น้ำได้รับของการทดลองทั้ง 3 ครั้ง

## បរទេសាណក្រម

- [1] Akachi H., Polášek F. and Štulc P., *Pulsating Heat Pipes*, Proc. 5th Int. Heat Pipe Symp., Melbourne, Australia, ISBN 0-08-042842-8, pp. 208-217, 1996.
- [2] Anon, *Heat pipes-performance of two-phase closed thermosyphons*, Data Item No. 81038, Engineering Sciences Data Unit, London, 1981.
- [3] Arab M., Soltanieh M. and Shafii M.B., *Experimental Investigation of Extra-Long Pulsating Heat Pipe Application in Solar Water Heaters*, Experimental Thermal and Fluid Science, Elsevier Science, Vol. 42, pp. 6-15, 2012.
- [4] Azad E., *Theoretical and Experimental Investigation of Heat Pipe Solar Collector*, Experimental Thermal and Fluid Science, Elsevier Science, Vol. 32, pp. 1666-1672, 2008.
- [5] Deng Y., Zhao Y., Quan Z. and Zhu T., *Experimental Study of the Thermal Performance for the Novel Flat Plate Solar Water Heater with Micro Heat Pipe Array Absorber*, Energy Procedia, Elsevier Science, Vol. 70, pp. 41-48, 2015.
- [6] Deng Y., Zhao Y., Wang W., Quan Z., Wang L. and Yu D., *Experimental Investigation of Performance for the Novel Flat Plate Solar Collector with Micro-Channel Heat Pipe Array (MHPA-FPC)*, Applied Thermal Engineering, Elsevier Science, Vol. 54, pp. 440-449, 2013.
- [7] Esen M. and Esen H., *Experimental Investigation of a Two-Phase Closed Thermosyphon Solar Water Heater*, Solar Energy, Elsevier Science, ISSN 0038-092X, 2005.
- [8] Faghri A., *Heat Pipe Science and Technology*, ISBN: 1-56032-383-3, Taylor & Francis Inc., 1995.
- [9] He Q., Zeng S. and Wang S., *Experimental Investigation on the Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors with Nanofluids*, Applied Thermal Engineering, Elsevier Science, Vol. 88, pp. 165-171, 2015.
- [10] <http://teenet.chiangmai.ac.th/emac/journal/2001/01/04.php>
- [11] [http://www.apricus.com/html/evacuated\\_tubes.htm](http://www.apricus.com/html/evacuated_tubes.htm)
- [12] [http://www.hk-phy.org/energy/alternate/print/solarheat\\_phy\\_print\\_e.html](http://www.hk-phy.org/energy/alternate/print/solarheat_phy_print_e.html)
- [13] [http://www.pet.ie/heating\\_water/heatingwater.htm](http://www.pet.ie/heating_water/heatingwater.htm)
- [14] Hussein H.M.S., *Theoretical and Experimental Investigation of Wickless Heat Pipes Flat Plate Solar Collector with Cross Flow Heat Exchanger*, Energy Conversion & Management, Elsevier Science, Vol. 48, pp. 1266-1272, 2007.
- [15] Hussein H.M.S., *Transient Investigation of a Two Plate Closed Thermosyphon Flat Plate Solar Water Heater*, Energy Conversion & Management, Elsevier Science, Vol. 43, pp. 2479-2492, 2002.



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ งานจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและสร้างมูลค่าเพิ่ม กองส่งเสริมการบริการวิชาการ โทร. 8617  
ที่ อว. 0603.01.12/ 071%

วันที่ 5 กันยายน 2562

เรื่อง ขอจัดส่งสำเนาคำขอรับอนุสิทธิบัตรเลขที่ 1903002175

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสารค์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

ตามที่ ท่านแจ้งความประสงค์ขอรับอนุสิทธิบัตร นายังงานจัดการทรัพย์สินทางปัญญาและสร้างมูลค่าเพิ่ม กองส่งเสริมการบริการวิชาการ โดยโอนสิทธิการขอรับอนุสิทธิบัตรให้กับมหาวิทยาลัยนเรศวร บัดนี้ กรมทรัพย์สินทางปัญญาได้จัดส่งเลขที่คำขอรับอนุสิทธิบัตร เรื่อง “แผงทำความร้อนรักษาอุณหภูมิแบบเขตต่อความร้อน” มาให้เรียบร้อยแล้ว นั้น

ในการนี้ กองส่งเสริมการบริการวิชาการ จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบและขอจัดส่งสำเนาคำขอรับอนุสิทธิบัตร เพื่อเก็บไว้เป็นหลักฐานและใช้ประโยชน์ต่อไป

رجังเรียนมาที่อู่โปรดทราบ

(ดร.สมคิด คำแหง)

ผู้อำนวยการกองส่งเสริมการบริการวิชาการ



ร่วมเฉลิมฉลอง 30 ปี มหาวิทยาลัยนเรศวร

- Internationalization
- Innovative Products
- Integrative Team & Networking



### คำขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

## ยืนทางไปรษณีย์

卷 91 | 4 | 69

- การประดิษฐ์
  - การออกแบบผลิตภัณฑ์
  - อนสิทธิบัตร

ข้าพเจ้าผู้ลงลายมือชื่อในคำขอรับสิทธิบตร/อนุสิทธิบตรนี้

ขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ตามพระราชบัญญัติสิทธิบัตร พ.ศ. 2522  
แก่ใช้เพื่อแฉล้มโดยทรัพย์ราบบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2535  
และ พระราชบัญญัติสิทธิบัตร (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2542

วันที่รับคำขอ วันที่ยื่นคำขอ	26 ส.ค. 2562	ตัวอย่างเจ้าหน้าที่ เลขที่ต่อไปนี้
	21 ส.ค. 2562	1903002175
ลักษณะเจ้าหน้าที่ที่ประสงค์จะได้รับห่วงโซ่ฯ		
ใช้กับแบบผลิตภัณฑ์ ประเภทผลิตภัณฑ์		
วันประการโฆษณา	เลขที่ประกาศโฆษณา	
วันออกสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	เลขที่สิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร	
ลายมือชื่อเจ้าหน้าที่		

1. ข้อที่แสดงถึงการประดิษฐ์/การออกแบบผลิตภัณฑ์  
.....  
.....  
.....
  2. คำอธิบายชี้บัตรการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่นี่เป็นคำอธิบายเรื่องแบบผลิตภัณฑ์อย่างมีรายละเอียดและเป็นคำที่ดีที่สุดที่  
.....  
.....  
.....

- ผู้ประทิษฐ์/ผู้อพยพ  ผู้รับปืน  ผู้หักดั้นสัมภาระโดยเดินทาง

- |  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 6. ผู้ประดิษฐ์/ผู้ออกแบบเกิดกันที่ <input type="checkbox"/> ชื่อและที่อยู่เดียวกับผู้ขอ<br>6.1ชื่อ .. นางสาวนิษฐาหนู เจริญสวัสดิ์<br>ที่อยู่ .... ถต.๔๖๘ วิสาณรัมย์ศรีรัตน์ หมู่ที่ ๒๙ หมู่ ๒<br>ตำบล/แขวง ..... ท่าโภทชี ..... อ่ากา/เขต ..... เมือง ..... จังหวัด ..... พิษณุโลก ..... รหัสไปรษณีย์ ..... ๖๕๐๐๐ ..... ประเทศ ..... ไทย<br>อีเมล .....<br>เลขประจำตัวประชาชน <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td>3</td><td>6</td><td>4</td><td>9</td><td>8</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>6</td><td>1</td><td>1</td><td>9</td><td>2</td></tr></table> <input type="checkbox"/> เพิ่มเติม (ดังแนบ) | 3 | 6 | 4 | 9 | 8 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | 1 | 9 | 2 |
| 3  | 6 | 4 | 9 | 8 | 0 | 0 | 0 | 6 | 1 | 1 | 9 | 2 |   |

7. ค่าของรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับค่าของเดิม  
ผู้ซื้อรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ขอให้ไว้ว่าได้ยินค่าของรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้ ในวันเดียวกับค่าของรับสิทธิบัตร  
เลขที่ ..... วันที่ ..... เพราะค่าของรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตรนี้แยกจากหรือเกี่ยวข้องกับค่าของเดิมเพรา  
 ห้ามนำเข้าประเทศญี่ปุ่น  ห้ามนำเข้าประเทศไทย  ห้ามนำเข้าประเทศไทยและญี่ปุ่น

□ ស្ថាបនទិន្នន័យក្នុងការបែង □ គ្មែបឱយ □ ក្នុងចុះឈានក្នុងខេត្តពេញ

หัวข้อที่ ๔ ภาระทางบัญชีของบุคลากรและบุตรหลาน			
ส่วนรับผิดชอบ			
๑. ภาระเบ็ดเตล็ด	๒. ภาระเบ็ดเตล็ด	๓. ภาระเบ็ดเตล็ด	๔. ภาระเบ็ดเตล็ด
๕. ภาระเบ็ดเตล็ด	๖. ภาระเบ็ดเตล็ด	๗. ภาระเบ็ดเตล็ด	๘. ภาระเบ็ดเตล็ด
๙. ภาระเบ็ดเตล็ด	๑๐. ภาระเบ็ดเตล็ด	๑๑. ภาระเบ็ดเตล็ด	๑๒. ภาระเบ็ดเตล็ด

## รายละเอียดการประดิษฐ์

### ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

แผนที่น้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบขดท่อความร้อน

## สาขาวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์

- วิศวกรรมครึ่งกลิ่นส่วนที่เกี่ยวข้องกับแพลงทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบเขตห่อความร้อน

#### ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง

พัฒนาแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่คุ้มต่อการใช้งาน เพราะเป็นพลังงานที่ไม่ต้องสูญเสียสิ่งใดเพื่อได้มา และเป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษ โดยเฉพาะในประเทศไทยซึ่งมีภูมิประเทศอยู่ริเวณเส้นศูนย์สูตร และมีค่าเฉลี่ยความชื้นรังสีอาทิตย์รวมค่อนข้างสูงจึงมีการประยุกต์ใช้อย่างมากมาย แต่ที่น่าสนใจก็คือรูปแบบหนึ่งก็คือ การทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งน้ำร้อนมีความจำเป็นต่อการใช้งานสูง เช่น ในอุตสาหกรรมฟอกผ้า อุตสาหกรรมอาหาร โรงพยาบาล โรงแรม สถานบริการ และที่อยู่อาศัย ในการทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ต้องอาศัยตัวรับรังสีอาทิตย์ โดยตัวรับรังสีอาทิตย์แบบแผ่นเรียบสามารถสร้างเชื้อไอน้ำได้ง่ายและราคาถูก แต่เกิดการสูญเสียความร้อนออกจากแผ่นมากทำให้มีประสิทธิภาพการทำน้ำร้อนต่ำ จึงต้องการพัฒนาการติดตั้งแผงเจาะจำนวนมากเพื่อให้ได้น้ำร้อนอุ่นหนาแน่นในปริมาณที่ต้องการ

- 15 สำหรับแผนทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบบخارท่อความร้อนที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นในครั้งนี้ ได้แก่ไขปัญหาดังกล่าวโดยการใช้ชุดหดท่อความร้อนส่งถ่ายความร้อนที่กักเก็บจากแสงอาทิตย์ไปยังน้ำที่ให้หล่อผ่านแผน ชุดหดท่อความร้อนสร้างจากห้อขนาดเล็กๆ นำมาพันรอบแกนเป็นชุด ดังนั้นความเยาห่อและพื้นที่เผาห่อเพิ่มขึ้นได้ด้วยการเพิ่มจำนวนชุดของห่อที่พันรอบแกน จึงสามารถเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสถ่ายความร้อนที่กักเก็บจากแสงอาทิตย์ไปยังน้ำที่ให้หล่อผ่านแผนโดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของแผน ทำให้แผนทำน้ำร้อนมีขนาดเล็ก ลดพื้นที่การติดตั้งแผน

20 และแผนมีประสิทธิภาพในการทำน้ำร้อนสูง

### **ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์**

แผนทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบชุดท่อความร้อน ตามการประดิษฐ์นี้เป็นการประดิษฐ์ที่เกี่ยวข้องกับ  
แผนรับความร้อนรังสีอาทิตย์เพื่อใช้ในการทำน้ำร้อนสำหรับใช้ในครัวเรือน โดยแผนทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์ทำ  
หน้าที่กักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์มาส่งถ่ายให้แก่น้ำที่ในหล่อผ่านตัวแผง มีโครงสร้างเป็นกล่อง  
สีเหลืองผึ้งผ้าที่มีการปิดด้านข้างรอบตัวแผงและด้านล่างแผงให้สนิท ส่วนด้านบนแผงปิดด้วยแผ่นกระจกใสให้  
แสงอาทิตย์ส่องผ่านเข้ามาได้ วางแผ่นดินวนกับความร้อนปิดด้านล่างภายใต้ตัวแผงเพื่อป้องกันการสูญเสียความ  
ร้อนออกจากแผง ภายในแผงบรรจุชุดห่อความร้อนที่พันรอบห่อส่งน้ำร้อนที่หากผ่านภายในตัวแผง โดยมี  
ทางเข้าและออกของน้ำที่ด้านข้างแผง ชุดห่อห่อความร้อนสีดำวางอยู่บนแผ่นดูดกลืนความร้อนสีดำเพื่อให้  
สามารถกักเก็บความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดี ชุดห่อห่อความร้อนสร้างจากห้อขนาดเล็กๆ ทำให้ดัดแปลงชุดห่อ  
ได้ง่ายและยังสามารถเพิ่มความยาวของห่อได้ด้วยการเพิ่มจำนวนการขาดของห่อ ซึ่งเป็นการเพิ่มน้ำหนักที่ผู้ใช้งาน

## หน้า 2 ของจำนวน 3 หน้า

ความร้อนที่กักเก็บจากแสงอาทิตย์ไปยังน้ำที่เหลือในแผ่นโดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของแผง ทำให้แผงทำน้ำร้อนมีขนาดเล็ก ลดพื้นที่การติดตั้งแผง และแผงมีประสิทธิภาพในการทำน้ำร้อนสูง

ความผุ่งหมายของการประดิษฐ์นี้คือ การจัดให้มีแผงทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบชุดท่อความร้อนที่มีขนาดเล็ก ใช้พื้นที่การติดตั้งน้อย และมีประสิทธิภาพการทำน้ำร้อนสูง

### 5 การเปิดเผยการประดิษฐ์สมบูรณ์

แผงทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบชุดท่อความร้อน ประกอบด้วย โครงแผง (2) แผ่นปิดโครง (3) แผ่นฉนวนกันความร้อน (4) แผ่นคุณลักษณะความร้อน (5) แผ่นกระจกใส (6) และชุดชุดท่อความร้อน (7)

- รูปที่ 1 แสดงให้เห็นแผงทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบชุดท่อความร้อน (1) ตามการประดิษฐ์นี้ และรูปที่ 2 แสดงให้เห็นส่วนประกอบแผงทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบชุดท่อความร้อน (1) ตามการประดิษฐ์นี้ ซึ่งประกอบด้วย โครงแผง (2) มีลักษณะเป็นกล่องแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมีความแข็งแรง ปิดด้านข้าง โดยรอบและด้านล่างของโครงแผง (2) ด้วยแผ่นปิดโครง (3) ให้สนิทและเจาะรูไว้สำหรับติดตั้งแผ่นฉนวน ปิดด้านบนโครงแผง (2) ด้วยแผ่นกระจกใส (6) เพื่อให้แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านเข้ามาได้ดี ปิดแผ่นฉนวนกันความร้อน (4) ที่ด้านล่างภายใต้แผ่นนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากแผง วางแผ่นคุณลักษณะความร้อน (5) ที่ทำสีดำไว้ด้านบนของแผ่นฉนวน (4) เพื่อกักเก็บความร้อนไว้ และติดตั้งชุดชุดท่อความร้อน (7) ที่มีสีดำไว้ด้านบนแผ่นคุณลักษณะความร้อน (5) อีกทั้งนึงเพื่อกักเก็บและส่งถ่ายความร้อนไปให้แก่น้ำ ชุดชุดท่อความร้อน (7) ตามการประดิษฐ์นี้ ได้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในรูปที่ 3 ชุดท่อความร้อนแต่ละอัน ประกอบด้วย แกนชุดท่อ (8) มีลักษณะเป็นเหล็กกล่องยาวใช้เป็นแกนในการพันห่อห้องเดนขนาดเล็ก (9) ภายในห่อห้องเดน (9) เป็นสูญญากาศและบรรจุสารทำงานไว้บริมาณหนึ่ง สามารถเพิ่มจำนวนชุดท่อห้องเดน (9) เพื่อเพิ่มความยาวและพื้นที่พิวของห่อห้องเดน (9) ในการส่งถ่ายความร้อนโดยไม่ต้องเพิ่มขนาดของแผงทำน้ำร้อน (1) ส่วนด้านบนของชุดชุดท่อความร้อน (7) มีห่อห้องเดนขนาดเล็ก (9) แต่ละอันพันอยู่รอบห่อส่งน้ำร้อน (10) ที่เป็นหอยาวให้น้ำไหลเข้าและออกจากแผงทำน้ำร้อน (1) ที่ด้านข้างแผง เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบผ่านแผ่นกระจกใส (6) เข้ามายังแผงทำน้ำร้อน (1) ความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่กักเก็บไว้ในแผ่นคุณลักษณะความร้อน (5) จะส่งถ่ายให้แก่ชุดชุดท่อความร้อน (7) แล้วจึงถ่ายเทความร้อนให้แก่น้ำที่ไหลผ่านภายในห่อส่งน้ำร้อน (10) อีกทั้งนึงเพื่อนำน้ำร้อนไปใช้ประโยชน์ต่อไป

### 25 คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ

รูปที่ 1 แสดงถึงแผงทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบชุดท่อความร้อนตามการประดิษฐ์นี้

รูปที่ 2 แสดงถึงส่วนประกอบแผงทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบชุดท่อความร้อนตามการประดิษฐ์นี้

รูปที่ 3 แสดงถึงชุดท่อความร้อนตามการประดิษฐ์นี้

หน้า 3 ของจำนวน 3 หน้า

วิธีการในการประดิษฐ์ตีที่สุด

เหมือนกับที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อการเปิดเผยแพร่การประดิษฐ์โดยสมบูรณ์



ข้อถืออธิบาย

1. แหงท่านน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบขาดท่อความร้อน ประกอบด้วย โครงແ Pang (2) แผ่นปิดโครง (3) แผ่นฉนวนกันความร้อน (4) แผ่นดูดกลืนความร้อน (5) แผ่นกระจกใส (6) และชุดขาดท่อความร้อน (7) มีลักษณะเฉพาะคือ

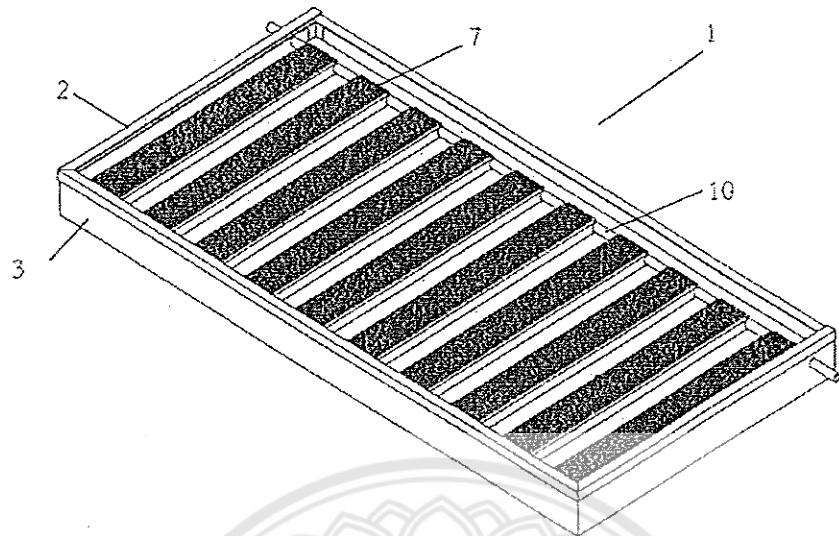
- 5 โครงແ Pang (2) มีลักษณะเป็นกล่องแบบหน้าตัดสีเหลืองผึ้งผ้า ปิดด้านข้างโดยรอบและด้านล่างของโครงແ Pang (2) ด้วยแผ่นปิดโครง (3) ให้สนิทและเจาะรูไว้ใส่ห่อส่งน้ำร้อนผ่านແ Pang ปิดด้านบนโครงແ Pang (2) ด้วย แผ่นกระจกใส (6) เพื่อให้แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านเข้ามาได้ ปิดแผ่นฉนวนกันความร้อน (4) ที่ด้านล่าง กายในແ Pang ให้สนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากແ Pang วางแผ่นดูดกลืนความร้อน (5) ที่หาดีสำหรับ ด้านบนของแผ่นฉนวน (4) เพื่อกักเก็บความร้อนไว้ และทึบดึงชุดขาดท่อความร้อน (7) ที่มีลักษณะสำหรับ ด้านบนแผ่นฉนวน (5) เพื่อกักเก็บและส่งถ่ายความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปให้แก่น้ำที่ไหลผ่านห่อส่งน้ำร้อน (10) ที่อยู่ด้านบนของชุดขาดท่อความร้อน
- 10 2. แหงท่าน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบขาดท่อความร้อน ตามข้อถืออธิบายที่ 1 ที่ซึ่ง ชุดขาดท่อความร้อน (7) omnichot ห่อความร้อนแต่ละอันเป็นห่อหองแดงขนาดเล็ก (9) พันรอบแกน竹ท่อ (8) กายในห่อหองแดง (9) เป็น สุญญากาศและบรรจุสารทำงานไว้ปริมาณหนึ่ง
- 15 3. แหงท่าน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบขาดท่อความร้อน ตามข้อถืออธิบายที่ 1 หรือ 2 ส่วนด้านบนของชุดขาด ห่อความร้อน (7) มีห่อหองแดงขนาดเล็ก (9) แต่ละอันพันอยู่รอบห่อส่งน้ำร้อน (10) ที่เป็นหอยาให้น้ำไหล เข้าและออกจากการແ Pang ท่าน้ำร้อน (1) ที่ด้านข้างແ Pang

บทสรุปการประดิษฐ์

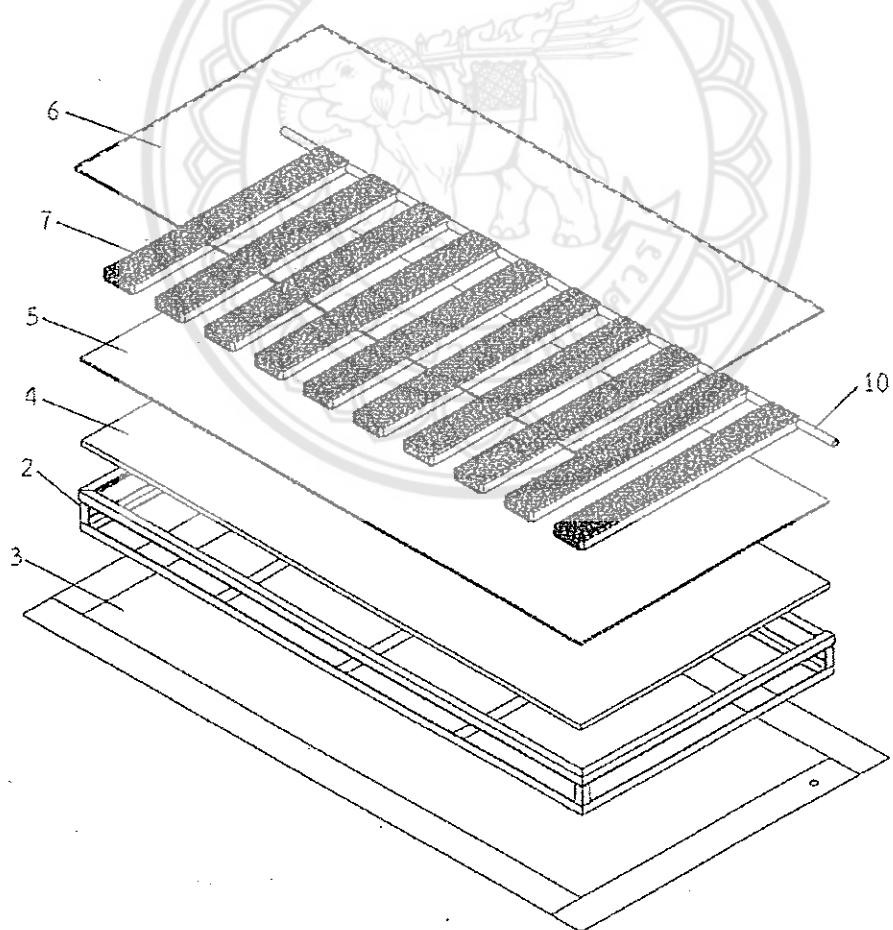
- แผนทำน้ำร้อนรังสีอาทิตย์แบบชุดท่อความร้อน ประกอบด้วย โครงร่างมีลักษณะเป็นกล่องแบบหน้าตัดสีเหลี่ยมผืนผ้าและมีความแข็งแรง ปิดด้านข้างโดยรอบและด้านล่างของโครงร่างด้วยแผ่นปิดโครงให้สนิท และเจาะรูไว้ใส่ท่อส่งน้ำร้อนผ่าน曩 ปิดด้านบนโครงร่างด้วยแผ่นกระจกใสเพื่อให้แสงอาทิตย์สามารถส่อง 5 ผ่านเข้ามายได้ดี ปิดแผ่นด้านบนกันความร้อนที่ด้านล่างภายในเมืองให้สนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากเมือง วางแผนคุดกளีนความร้อนที่ทำสีดำไว้ด้านบนของแผ่นด้านบนเพื่อกักเก็บความร้อนไว้ และติดตั้งชุดชุดท่อความร้อนที่มีสีดำไว้ด้านบนแผ่นคุดกளีนความร้อนอีกที่หนึ่งเพื่อกักเก็บและส่งถ่ายความร้อนไปให้แก่น้ำ ชุดท่อความร้อนแต่ละอันมีแกนชุดท่อเป็นเหล็กกล่องยาวใช้เป็นแกนในการพับท่อห้องแดงขนาดเล็กภายในห้องแดงเป็นสุญญากาศและบรรจุสารทำงานไกรปริมาณหนึ่ง ส่วนด้านบนของชุดชุดท่อความร้อน 10 มีห่อห้องแดงขนาดเล็กพันอยู่รอบห่อส่งน้ำร้อนที่เป็นท่อยางไนโตรเจนไนโตรเจ้าและออกจากการแผนทำน้ำร้อนที่ด้านข้าง曩



หน้า 1 ของจำนวน 2 หน้า



รูปที่ 1



รูปที่ 2

หน้า 2 ของจำนวน 2 หน้า

