



การประยุกต์เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในครัวเรือน



THE APPLICATION OF SOLAR WATER HEATER FOR DOMESTIC USE



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

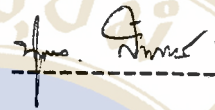
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

พ.ศ. 2535

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในครัวเรือน  
THE APPLICATION OF SOLAR WATER HEATER FOR DOMESTIC USE



นฤมล สมพลเดช

ผู้วิจัย



คณิต สว่างตระกูล, M.Sc.

ประธานกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



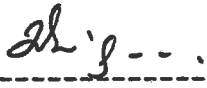
วิเชียร เอื้อสมสกุล, M.S.M.E.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



สุชุม ภูทอง, M.Sc.

กรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



มนตรี จุลสมัย, พ.บ., Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย



ลือพล บุญเกิด, M.Sc.

ประธานคณะกรรมการประจำหลักสูตร

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยี

ที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประยุกต์เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในครัวเรือน

THE APPLICATION OF SOLAR WATER HEATER FOR DOMESTIC USE

ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร

วันที่ 30 ธันวาคม 2535



นภมล สัมพลเดช

ผู้วิจัย



เทพพนม เมืองแมน, M.D., M.P.H., Dr.P.H.

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



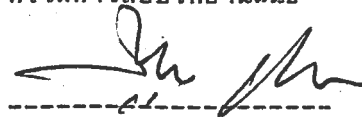
คณิต สงวนตระกูล, M.Sc.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



วิเชียร เอื้อสมสกุล, M.S.M.E.

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



สุขุม ปากอง, M.Sc.

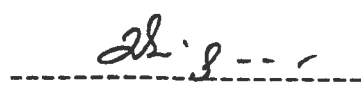
กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



เทพพนม เมืองแมน, M.D., M.P.H., Dr.P.H.

คณบดี

คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล



มนตรี จุลสมัย, พ.บ., Ph.D.

คณบดี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล

Copyright by Mahidol University

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นฤมล สัมพลเดช  
วัน เดือน ปีเกิด 27 มิถุนายน 2509  
สถานที่เกิด จังหวัดสุราษฎร์ธานี ประเทศไทย  
ประวัติการศึกษา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ,พ.ศ.2528-2532  
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกษตรศาสตร์)  
มหาวิทยาลัยมหิดล ,พ.ศ.2533-2535  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (สาขาเทคโนโลยีที่เหมาะสม-  
สำหรับการพัฒนาทรัพยากร) คณะสิ่งแวดล้อมและ  
ทรัพยากรศาสตร์  
ทุนการศึกษา ทุนเรียนดี มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ.2534

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับคำปรึกษา  
แนะนำ แก้ไข ช่วยเหลือ สนับสนุนในการค้นคว้าวิจัย จาก ศาสตราจารย์ นายแพทย์  
เทพพนม เมืองแมน , ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณิต สงวนตระกูล , ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุขุม  
ภูทอง และ อาจารย์ วิเชียร เอื้อสมสกุล ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้  
นอกจากนี้ยังมีคุณพ่อ คุณแม่ น้อง และเพื่อน ๆ ที่คอยสนับสนุน  
ด้านกำลังใจทรัพย์ และกำลังใจตลอดเวลาที่ทำการศึกษ  
ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอย่างสูง ไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย  
หวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการศึกษาและพัฒนา  
การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยสืบไป

นฤมล

สมพลเดช

**ชื่อวิทยานิพนธ์** การประยุกต์เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในครัวเรือน

**ผู้วิจัย** นฤมล สมพลเดช

**ปริญญา** วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อการพัฒนาทรัพยากร)

**คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์**

**คณิต** สว่างตระกูล, M.Sc.

**วิเชียร** เอื้อสมสกุล, M.S.M.E.

**สุกัญญา** กุทอง, M.Sc.

**วันสำเร็จการศึกษา** 30 ธันวาคม พ.ศ. 2535

**บทคัดย่อ**

การศึกษาวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นจากวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นเป็นฉนวน โดยเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นฉนวนหุ้มถึงสะสมความร้อนระหว่างแลกเปลี่ยน โหมดไหม้และไฟฟ้า และไมโครไฟเบอร์ และทดลองปรับระดับการไหลของน้ำผ่านแผงรับความร้อน 2 ระดับคือ 30 ลิตรต่อชั่วโมง และ 40 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อศึกษาอุณหภูมิความร้อนที่ได้และหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ โดยการทดลองสร้างระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระบบเปิดมีการไหลทางเดียว ประกอบด้วยตัวรับรังสีแบบแผ่นรับแผ่นเรียบขนาด 1 x 2 ตารางเมตร ใช้แผ่นสังกะสี และท่อทองแดงพ่นสีดำ ฉนวนด้านหลังใช้แลกเปลี่ยน แผ่นปิดหน้าใช้กระจก 1 ชั้นประกอบกับถึงสะสมความร้อนขนาด 209 ลิตร ฉนวนที่ใช้หุ้มถึงสะสมความร้อน ใช้ไมโครไฟเบอร์ โหมดไหม้และไฟฟ้า และแลกเปลี่ยน โดยต้นทุนในการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนที่ใช้ไมโครไฟเบอร์เป็นฉนวนหุ้มถึงสะสมความร้อน 3,923 บาท และแบบที่ใช้ไหม้และไฟฟ้าและแลกเปลี่ยนเป็นฉนวนหุ้มถึงสะสมความร้อน 3,823 บาท

จากผลการทดลองให้อัตราน้ำไหลผ่านแผงรับแสง 30 ลิตรต่อชั่วโมง และ 40 ลิตรต่อชั่วโมง ปรากฏว่าที่อัตราน้ำไหลผ่านแผงรับแสง 30 ลิตรต่อชั่วโมง ให้อุณหภูมิสูงกว่าที่อัตราการไหล 40 ลิตรต่อชั่วโมงและให้ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 38.10 และที่อัตราน้ำไหลผ่านแผงรับแสง 40 ลิตรต่อชั่วโมง ให้ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 47.49 ในการเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นวัสดุฉนวนหุ้มถึงสะสมความร้อนระหว่าง ไมโครไฟเบอร์ เส้นใยมะพร้าว และแกลบ ปรากฏว่า แกลบเป็นวัสดุฉนวนที่ดีกว่า ไมโครไฟเบอร์ และเส้นใยมะพร้าวอย่างมีนัยสำคัญ และจากการประเมินในเชิงการรักษาความร้อนและต้นทุนการผลิตแกลบมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน

**Thesis Title**    The Application of Solar Water Heater for Domestic Use

**Name**             Narumon        Sompoldace

**Degree**            Master        of        Science (Appropriate        Technology  
for Resource Development)

**Thesis Supervisory Committee**

Kanit     Sa-nguantrakul, M.Sc.

Wichien Uasomskul,        M.S.M.E.

Sukhum Phuthong,        M.Sc.

**Date of Graduation**    30    DECEMBER    B.E.2535 (1992)

**ABSTRACT**

The objective of this research is to study the application of local materials in solar water heater for domestic use .The materials which are rice husk,coconut fibre and microfibre were used as the storage tank insulators and test were run of two different flow rate 30 and 40 litres per hour. Thus the results were compared .The open loop single-pass solar water heating system was constructed and tested . The collector is of 1. x 2 square metre in area, using dull black

4

painted zinc plate and copper tube. The plate was 0.45 mm. thick and copper tube was 1.25 cm. in diameter. The collector was single glazed cover and insulated by 5 cm. thick rice husk. There storage tank of 209 litres oil drum were insulated with microfibre , coconut fibre and rice husk were used. The initial cost systems was 3,923 bahts for the system which used microfibre as the storage tank insulator , and 3,823 bahts for the systems which used coconut fibre and rice husk as the storage tank insulators. The result of the test at the flow rate through the collector of 30 and 40 litres per hour showed that the average solar collector efficiency for each case were 38.10 % and 47.49 % , respectively. The comparison of three insulations of a storage tank using microfibre , coconut fibre and rice husk showed that rice husk was the best. From the economic evaluation, the solar water heating system using rice husk for insulator of storage tank is recommended.

## สารบัญ

|                                          | หน้า |
|------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                          | ก    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                       | ค    |
| สารบัญตาราง                              | ช    |
| สารบัญรูป                                | ซ    |
| สัญลักษณ์                                | ณ    |
| บทที่ 1 บทนำ                             | 1    |
| 1.1 ความสำคัญของการศึกษา                 | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ในการศึกษา               | 5    |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา                    | 6    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ            | 6    |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง    | 7    |
| 2.1 พลังงานแสงอาทิตย์                    | 7    |
| 2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์    | 15   |
| 2.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์       | 31   |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                | 35   |
| บทที่ 3 วิธีการศึกษาและการดำเนินการวิจัย | 38   |
| 3.1 รูปแบบการวิจัย                       | 38   |
| 3.2 สถานที่ทำการทดลอง                    | 38   |
| 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 38   |
| 3.4 การออกแบบ                            | 39   |
| 3.5 การทดลอง                             | 46   |
| 3.6 การวิเคราะห์ผล                       | 46   |
| 3.7 การประเมินค่าทางเศรษฐกิจ             | 48   |

|            |                             |    |
|------------|-----------------------------|----|
| บทที่ 4    | ผลการศึกษาและการอภิปรายผล   | 50 |
| 4.1        | ผลการศึกษา                  | 50 |
| 4.2        | การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์  | 63 |
| 4.3        | การอภิปรายผล                | 69 |
| บทที่ 5    | สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ | 71 |
| 5.1        | สรุปผลการศึกษา              | 71 |
| 5.2        | ข้อเสนอแนะ                  | 73 |
| บรรณานุกรม |                             |    |
| ภาคผนวก    |                             |    |
| ภาคผนวก ก  |                             |    |
| ภาคผนวก ข  |                             |    |



## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                                            | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1.1 แสดงข้อเปรียบเทียบการพลังงานแสงอาทิตย์ในการทำน้ำร้อนกับการใช้พลังงานไฟฟ้า ก๊าซ ฟืนและถ่าน       | 4    |
| 2.1 แสดงปริมาณการใช้ความร้อนต่อคนแบ่งชนิดตามอาคาร                                                   | 19   |
| 2.2 แสดงขนาดถังเก็บน้ำร้อนและจำนวนแผงรับแสงอาทิตย์                                                  | 20   |
| 2.3 แสดงวัสดุฉนวนสำหรับหุ้มท่อ ถังเก็บน้ำและอื่น ๆ                                                  | 21   |
| 3.1 แสดงรายละเอียดแผงรับแสงอาทิตย์                                                                  | 39   |
| 3.2 แสดงรายละเอียดถังเก็บน้ำร้อน                                                                    | 42   |
| 3.3 แสดงรายละเอียดท่อน้ำไหลเวียน                                                                    | 44   |
| 4.1 แสดงข้อมูลจากการทดลอง                                                                           | 51   |
| 4.2 แสดงค่าประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์                                                              | 53   |
| 4.3 แสดงค่าประสิทธิภาพความร้อนของระบบและค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิน้ำร้อนในชุดรับรังสี        | 55   |
| 4.5 แสดงข้อมูลจากการทดลองใช้ฉนวนต่างชนิดกันในการเก็บน้ำร้อน และค่าสัมประสิทธิ์การเก็บความร้อนที่ได้ | 57   |
| 4.6 แสดงตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน                                                                   | 58   |
| 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยน้ำร้อนที่เหลือโดยใช้ Dunacn's New Multiple Range test               | 59   |
| 4.8 แสดงราคาต้นทุนในการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์                                       | 63   |
| 4.9 แสดงอายุการใช้งานและค่าใช้จ่ายรายปี                                                             | 66   |
| 4.10 แสดงอายุการใช้งานและราคาพลังงานต่อหน่วย                                                        | 68   |

## สารบัญรูป

| รูปที่                                                                                  | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 แสดงขนาดและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์                                          | 7    |
| 2.2 แสดงส่วนประกอบที่สำคัญของแผงรับแสงอาทิตย์                                           | 15   |
| 2.3 แสดงการหมุนเวียนน้ำในแผงรับแสงอาทิตย์                                               | 16   |
| 2.4 แสดงความร้อนที่ผ่านฉนวนแบบ mass insulation                                          | 23   |
| 2.5 แสดงความร้อนที่ผ่านฉนวนแบบ reflective insulation                                    | 23   |
| 2.6 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนต่างชนิดกัน                                            | 24   |
| 2.7 แสดงการนำความร้อนของฉนวนและความหนาแน่น                                              | 24   |
| 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาและความหนาของฉนวน                                        | 25   |
| 3.1 แสดงแผงรับแสงอาทิตย์                                                                | 40   |
| 3.2 แสดงถึงเก็บน้ำร้อน                                                                  | 43   |
| 3.3 แสดงการติดตั้ง                                                                      | 45   |
| 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพความร้อนกับอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ย<br>ในชุดรับรังสี | 56   |
| 4.2 แสดงอายุการใช้งานและค่าใช้จ่ายรายปีของระบบ                                          | 67   |

### สัญลักษณ์ที่ใช้

- $I_{sc}$  = ค่าคงที่ของพลังงานแสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับ 1367 วัตต์ต่อตารางเมตร  
(4921 KJ/hm<sup>2</sup>)
- $I_{en}$  = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์จากภายนอกโลกที่ได้รับ (normal  
extraterrestrial flux) (W/m<sup>2</sup>)
- $I_o$  = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกบนพื้นราบ (KJ/m<sup>2</sup>h)
- $n$  = จำนวนวันใน 1 ปี เริ่มนับวันที่ 1 มกราคม
- $L$  = เส้นละติจูด
- $\delta$  = ค่ามุมเอียงของดวงอาทิตย์ (declination of the sun)
- $W$  = ค่ามุมของเวลา (hour angle)
- $H_o$  = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกบนแนวระนาบ ( MJ/h m<sup>2</sup>)
- $H_T$  = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกบนแผ่นรับแผ่นราบในแต่ละวัน (MJ/m<sup>2</sup>d)
- $H$  = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยแต่ละชั่วโมงรายเดือนบนผิวราบ (MJ/m<sup>2</sup>)
- $H_d$  = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์กระจายเฉลี่ยแต่ละชั่วโมงรายเดือนบนผิวราบ (MJ/m<sup>2</sup>)
- $R_{b,0}$  = อัตราส่วนระหว่างพลังงานรังสีดวงอาทิตย์จากนอกบรรยากาศบนผิวหน้าแผ่นรับ  
แผ่นราบกับบนพื้นผิวโลก
- $\beta$  = ค่ามุมเอียงของแผ่นรับแผ่นราบที่ทำกับผิวโลก
- $\rho$  = ค่า ground albedo มีค่าเท่ากับ 0.2 สำหรับพื้นราบ เท่ากับ 0.7 สำหรับ  
บริเวณที่มีหิมะ
- $K$  = ค่าดัชนีชั่วโมงที่ท้องฟ้าแจ่มใส (clearness index)
- $r$  = ค่าแฟกชัน (fraction)=I/H
- $I_d$  = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์กระจายรายชั่วโมงที่ตกบนพื้นราบ (KJ/m<sup>2</sup>h)
- $I_T$  = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกบนแผ่นรับรังสีแผ่นราบ (KJ/m<sup>2</sup>h)
- $r_{b,0}$  = อัตราส่วนระหว่างพลังงานรังสีดวงอาทิตย์แบบรังสีตรงบนผิวหน้าแผ่นรับ

แผ่นราบกับบนพื้นผิวโลก มีค่าเท่ากับ  $\cos \phi / \cos \phi_m$

$Q_c$  = ปริมาณความร้อนที่ได้รับจากแผงรับแสงอาทิตย์ (J)

$Q_u$  = ปริมาณความร้อนที่ระบบได้รับ (J)

$m$  = อัตราที่น้ำไหลผ่านแผงรับแสงต่อพื้นที่ (l/hr  $m^2$ )

$c$  = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.186 J/Kg  $^{\circ}C$

$t_i$  = อุณหภูมิน้ำที่ไหลเข้าแผง ( $^{\circ}C$ )

$t_o$  = อุณหภูมิน้ำที่ออกจากแผง ( $^{\circ}C$ )

$\eta_c$  = ประสิทธิภาพของแผงรับแสง (collector efficiency)

$\eta_{th}$  = ประสิทธิภาพของระบบ (thermal efficiency)

$A_c$  = พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ (ตารางเมตร)

$P_{stor}$  = สัมประสิทธิ์การเก็บความร้อนของถังสะสมความร้อน (heat storage coefficient)

$T_a$  = อุณหภูมิอากาศรอบข้าง (ambient temperature)

$m_1$  = อัตราการนำน้ำไปใช้ (ลิตรต่อชั่วโมง)

$M_{sur}$  = จำนวนน้ำในถังสะสมความร้อนที่เหลือหลังจากนำไปใช้งานแล้ว (ลิตร)

$C_1$  = ต้นทุนเริ่มแรก (บาท)

$C_c$  = ค่าใช้จ่ายของแผงรับแสงต่อพื้นที่ (บาทต่อตารางเมตร)

$C_u$  = ค่าใช้จ่ายของถังสะสมความร้อนต่อปริมาตร (บาท)

$b$  = ปริมาตรของถังสะสมความร้อนต่อพื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ (ลิตร)

$C_v$  = ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่นค่าติดตั้ง (บาท)

$C_m$  = ค่าใช้จ่ายรายปี (บาทต่อปี)

CRF = Capital recovery factor

SFF = Sinking fund factor

- $S'$  = มูลค่าซาก (บาท)  
 $H$  = ค่าบำรุงรักษาต่อปี (บาทต่อปี)  
 $i$  = อัตราดอกเบี้ยต่อหน่วยเวลา  
 $w$  = ความเร็วลม (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญของการศึกษา

พลังงานนับเป็นสิ่งที่สำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์มาตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน มีการค้นคว้าและพัฒนาแหล่งพลังงานขึ้นมาใช้ประโยชน์มากมาย น้ำมันซึ่งนับเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญและมีอิทธิพลมากต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ในปัจจุบัน จนถึงขนาดเคยใช้เป็นเครื่องต่อรองฐานอำนาจทางการเมืองมาแล้วนับวันจะมีน้อยลงและมีราคาสูงขึ้น ประเทศไทยก็เป็นประเทศหนึ่งที่ได้รับผลกระทบจากปัญหาน้ำมัน และนี่คือจุดเริ่มต้นของความจำเป็นที่จะต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนหรือพลังงานนอกแบบ เพื่อมิให้ต้องตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของพลังงานที่มีแหล่งกำเนิดมาจากน้ำมันตลอดไป และเป็นการลดการใช้เชื้อเพลิงจากถ่านไม้และถ่านหิน ซึ่งนับวันจะมีน้อยลง แหล่งพลังงานที่มีการศึกษาเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการใช้สูงสุด ได้แก่ พลังงานปรมาณู พลังงานลม พลังงานชีวมวล และพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่มีมากที่สุด เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะ ไม่มีปัญหาเรื่องรังสี พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ให้ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ต่ำที่สุด เป็นพลังงานที่ได้ไปแล้วไม่ต้องเสียเงินซื้อ (1) ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กันมาก

เทคโนโลยีการทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar heating water) ก็เป็นรูปแบบหนึ่งของการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในเชิงความร้อน (Thermal application) โดยมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ มาเป็นพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งมีการใช้กันอย่างกว้างขวางในหลายประเทศ เช่น อิสราเอล ญี่ปุ่น ออสเตรเลีย สหรัฐอเมริกา เป็นต้น สำหรับเมืองไทยการใช้น้ำร้อนหรือน้ำอุ่นไม่แพร่หลายมากนักอาจเห็นได้ว่าไม่มีความจำเป็น เนื่องจากสภาพแวดล้อมทางภูมิศาสตร์อยู่ในเขตร้อน ส่วนมากใช้กันตามอาคารใหญ่ ๆ ต่าง ๆ เช่น โรงแรม โรงพยาบาล อพาร์ทเมนต์ หรือสถานบริการต่าง ๆ บางประเภทเท่านั้น แต่ในปัจจุบันการใช้น้ำร้อนหรือน้ำอุ่นเริ่มมีการใช้แพร่หลายกันมากขึ้นและมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต ก่อให้เกิดความสะดวกสบาย และเพื่อสุขภาพอนามัยที่ดี ประกอบกับมีการพัฒนาเครื่องสุขภัณฑ์ที่ทันสมัย สามารถใช้กับน้ำร้อนน้ำเย็นได้สะดวกความนิยมจึงมีมากขึ้น โดยทั่วไปการใช้ประโยชน์ของน้ำร้อนมี 2 กรณี คือ กรณีที่เป็นน้ำร้อนที่มีอุณหภูมิราว 80 องศาเซลเซียส จะนำไปใช้ทำความอุ่นในอาคารเฉพาะประเทศที่มีอากาศหนาว ใช้ซักผ้า ล้างจาน ซ้ำเชื้อโรค ประกอบอาหาร กรณีที่เป็นน้ำอุ่นอุณหภูมิราว 35 องศาเซลเซียส ใช้ชำระล้าง อาบ ทำความสะอาดร่างกาย ช่วยขยายรูขุมขน ขับถ่ายของเสียออกจากร่างกายได้ดี ผ่อนคลายความตึงเครียดของร่างกาย (2) เครื่องทำน้ำร้อนที่มีการใช้กันมากส่วนใหญ่เป็นเครื่องทำน้ำร้อนที่ใช้ก๊าซ และใช้ไฟฟ้า แต่ถ้าในชนบทที่ยังไม่มีไฟฟ้าก็จะใช้ฟืนและถ่านเป็นเชื้อเพลิง เนื่องจากสามารถหาซื้อในราคาที่ไม่สูงมากนัก แต่ถ้าคิดในระยะยาวจะพบว่าการสิ้นเปลืองพลังงานและเสียค่าใช้จ่ายสูงมาก เช่น เครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้าที่มีขายอยู่ในท้องตลาดขณะนี้ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ กินไฟ 1500 2200 และ 4000 วัตต์ตามลำดับ และต้องจ่ายเงินประมาณ 3.00 4.40 และ 8.00 บาทต่อชั่วโมงตามลำดับ (3) ส่วนการติดตั้งระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีความปลอดภัยสูงทั้งทางด้านเทคนิคและเศรษฐกิจ โดยเฉพาะระบบการผลิตขนาดใหญ่ ทั้งนี้เพราะค่าใช้จ่ายใน

การลงทุนครั้งแรกสูงมาก จากการสอบถามบริษัทผู้ขายเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ในเดือนกุมภาพันธ์ ปี 2535 ราคาต่อหนึ่งชุด ขนาดแผงรับแสง 2x2 ตารางเมตร อยู่ระหว่าง 57900-72000 บาท (ไม่รวมค่าติดตั้ง ซึ่งมีราคาประมาณ 3500 บาทต่อหนึ่งชุด) และจากการสอบถามบริษัทที่ผลิตขายภายในประเทศ มีราคาประมาณ 35000-40000 บาท (ไม่รวมค่าติดตั้ง) แต่จะได้เปรียบในระยะยาว ด้านความสะดวกสบาย ไม่ต้องจัดหาเชื้อเพลิงพลังงาน การบำรุงรักษาน้อย และมีความปลอดภัยสูง เมื่อเทียบกับการใช้เครื่องทำน้ำร้อนที่ใช้ก๊าซ ไฟฟ้า เบน และ ถ่าน ดังแสดงในตารางที่ 1.1 แสดงข้อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์, ไฟฟ้า, ก๊าซ, เบน และถ่าน ในประเทศไทยเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้เป็นที่ยอมรับมากกว่า 10 ปีมีผู้ประกอบการผลิตในประเทศประมาณ 10 ราย มีการติดตั้งเพื่อใช้งานต่าง ๆ มีมากกว่า 25000 ตารางเมตร ทั้งในโรงพยาบาล โรงแรมขนาดใหญ่ บ้านพักอาศัย อพาร์ทเมนต์ เป็นต้น (4)

การที่จะมุ่งส่งเสริมให้มีการใช้เทคโนโลยีพลังงานเพื่อให้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นเรื่องที่ยากพอสมควร ทั้งนี้เพราะเชื้อเพลิงพลังงานต่าง ๆ ยังมีใช้อย่างเพียงพอ แม้ว่าจะมีการขาดแคลนบ้างบางโอกาส ประกอบกับต้นทุนการผลิตพลังงานจากเทคโนโลยีพลังงานเทียบกับการใช้พลังงานโดยตรงเช่น น้ำมัน ไฟฟ้า จะมีราคาสูงกว่า ประกอบกับประชาชนมีความผูกพัน และให้ความสำคัญกับระบบเศรษฐกิจในสังคมเรื่องปากท้องตลอดเวลา จึงกล่าวว่าปัญหาพลังงานมิได้เป็นปัญหาหลัก จึงจำเป็นต้องมีการหาแนวทางหรือกลยุทธ์ เพื่อดำเนินการเผยแพร่ให้มีการนำเทคโนโลยีพลังงานไปใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น สำหรับการใช้นิรระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ก็เช่นกัน ปัญหาที่สำคัญในการตัดสินใจใช้คือ ราคาของระบบที่สูง (5) อาจเนื่องจากเป็นสินค้าที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศก็ได้ แต่อย่างไรก็ตามแม้ผลิตในเมืองไทยราคาก็ยังคงสูงอยู่ การลงทุนที่สูงทำให้ผู้อยากใช้มีอาจใช้ระบบ เพราะไม่มีกำลังความสามารถลงทุน การสร้าง

ตารางที่ 1.1 ข้อเปรียบเทียบระหว่างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ไฟฟ้า ก๊าซ ฟืนและถ่าน

| พลังงานแสงอาทิตย์                                            | พลังงานไฟฟ้าและก๊าซ                                                |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| 1. ลงทุนเพียงครั้งเดียว                                      | 1. มีรายจ่ายติดตามมาจากเรื่องเชื้อเพลิงที่ต้องเผาเพื่อให้ร้อน      |
| 2. ไม่มีอันตราย                                              | 2. อาจเกิดอุบัติเหตุจากก๊าซระเบิด ไฟฟ้าช็อต ไฟไหม้                 |
| 3. เป็นพลังงานที่บริสุทธิ์                                   | 3. พื้นที่การใช้งานมีมลภาวะ เป็นพิษ                                |
| 4. เป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดสิ้นและไม่มีวันขึ้นราคา          | 4. นับวันจะหมดไปและมีแนวโน้มแพงขึ้น                                |
| 5. อายุการใช้งานมากกว่า 10 ปีขึ้นไป                          | 5. อายุการใช้งานสั้นไม่กี่ปี อุปกรณ์เสื่อมชำรุด                    |
| 6. ติดตั้งเพียงครั้งเดียวสามารถใช้จ่ายน้ำร้อนได้ทั่วทั้งระบบ | 6. การติดตั้งเป็นจุดหรือหากติดตั้งจุดเดียวเครื่องใหญ่กินพลังงานมาก |
| 7. อุปกรณ์ประกอบมีน้อยชิ้น                                   | 7. อุปกรณ์มากขึ้น                                                  |
| 8. ซ่อมแซมง่าย                                               | 8. ซ่อมแซมยาก                                                      |
| 9. ราคาตอนต้นแพง                                             | 9. ราคาถูก                                                         |
| 10. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่า                             | 10. ค่าใช้จ่ายสูงเพราะซ่อมแซมยาก                                   |

ที่มา: มานะศิลป์ พิมพ์สาร , 2533 (2)

แรงจูงใจเพื่อให้มีการใช้ระบบกันอย่างแพร่หลาย จึงเป็นไปในลักษณะที่จะช่วยให้ราคาของระบบถูกลง และเผยแพร่เทคโนโลยีเกี่ยวกับการผลิตและการใช้ระบบให้ประชาชนทั่วไปรู้จักและเข้าใจในการใช้ประโยชน์ของระบบ อันช่วยให้เกิดความสนใจอยากลองใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ แทนการใช้ไฟฟ้า ก๊าซ ฟืนและถ่าน ซึ่งเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยให้มีการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดการใช้พลังงานสิ้นเปลือง

ในการศึกษารุ่นนี้ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับใช้ในครัวเรือนมีระบบการทำงานอย่างง่าย และสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีขายในประเทศ และวัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น สามารถสร้างได้โดยช่างฝีมือในท้องถิ่น และศึกษาประสิทธิภาพของระบบโดยการทดลองอัตราการไหลของน้ำผ่านแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ที่อัตรา 30 และ 40 ลิตรต่อชั่วโมง ศึกษาอุณหภูมิน้ำที่ได้รับ และทดสอบประสิทธิภาพของฉนวนที่ใช้หุ้มถังเก็บน้ำร้อนที่ได้จากเส้นใยจากเปลือกมะพร้าว (coconut fiber) แกลบ และไมโครไฟเบอร์ เพื่อศึกษาความสามารถในการเก็บความร้อนไว้ใช้ในช่วงที่ไม่มีแสง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพแผงรับแสงของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นมา
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของฉนวนต่างชนิดกันในการเก็บความร้อนของถังเก็บน้ำร้อน
3. เพื่อประเมินค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อใช้ฉนวนต่างชนิดกัน

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. สถานที่ทำการทดลอง หมู่ที่ 4 ตำบลอ่างทอง อำเภอกะสุมุข จังหวัดสุราษฎร์ธานี

2. ช่วงเวลาทำการทดลอง เดือนมีนาคม - เดือนพฤษภาคม 2535

เวลาที่ทำการทดลองอยู่ระหว่าง 10.00-15.00 น.

3. แผงรับแสงอาทิตย์เป็นแบบแผ่นราบ เลื่อนท่ามุมเท่ากับเส้นละติจูด คือ 9.5 องศา หันหน้าไปทางทิศใต้

4. ขนาดของแผงรับแสงอาทิตย์ และขนาดของถังเก็บน้ำร้อน มีขนาดเดียวกันทุกการเปรียบเทียบ

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางในการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์อย่างง่ายสำหรับใช้ในครัวเรือนในชนบท โดยใช้วัสดุที่มีในท้องถิ่น

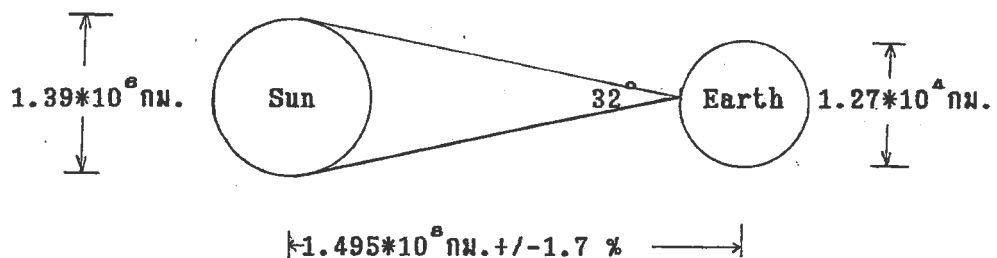
2. ช่วยลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่ใช้ในการทำน้ำร้อน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานจากดวงอาทิตย์แผ่รังสีกระจายออกมายังโลกนั้นมีหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น แสง ความร้อน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อเมื่อกระทบกับวัตถุใด ๆ เข้า วัตถุนั้นก็จะดูดเก็บไว้แล้วเปลี่ยนมาเป็นความร้อนภายหลังแสงอาทิตย์ซึ่งแผ่รังสีมายังบรรยากาศรอบโลกให้ค่าอัตราพลังงานเฉลี่ย 1367 วัตต์ต่อตารางเมตร ( $4921 \text{ KJ/h m}^2$ ) ซึ่งเรียกทั่วไปว่าค่าคงที่ของแสงอาทิตย์ ( $I_{sc}$ ) มุมรองรับดวงอาทิตย์บนพื้นโลกมีขนาด 32 องศา ลักษณะดังแสดงในรูป



ภาพที่ 2.1 ขนาดและระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก ( Extraterrestrial radiation)

คือ ปริมาณของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับนอกบรรยากาศโลก ต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับแนวของแสงอาทิตย์ที่ระยะห่างเท่ากับระยะระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (1)

ค่าพลังงานแสงอาทิตย์จากภายนอกโลกที่โลกได้รับ ( normal extraterrestrial flux) สามารถหาได้จากสมการ

$$I_{\text{en}} = I_{\text{ec}} (1 + 0.033 \cos 360n/365) \quad \text{---(2.1)}$$

เมื่อ  $1 \leq n \leq 365$

ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกบนพื้นราบที่เอียงติด หาได้จากสมการ

$$I_o = I_{\text{en}} \cos \theta \quad \text{----(2.2)}$$

$$= I_{\text{en}} (\sin L \sin \delta + \cos L \cos \delta \cos W) \quad (W/m^2) \text{---(2.3)}$$

หรือ ถ้าเป็นช่วงเวลาสามารถหาได้จากสมการ

$$I_o(W_1, W_2) = 24/2\pi \times 3.6 I_{\text{en}} [\cos L \cos \delta (\sin W_2 - \sin W_1) (KJ/m^2 h) \text{---(2.4)} \\ + 2\pi/360 (W_2 - W_1) \sin L \sin \delta]$$

ค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ได้รับต่อกันบนแนวราบหาได้จากสมการ

$$H_o = 24 \times 3.6 / \pi I_{\text{sun}} [\cos L \cos \delta \cos W_o + \pi / 180 W_o \sin L \sin \delta] \text{---(2.5)}$$

เมื่อ  $L$  = เส้นละติจูด

$W$  = ค่ามุมของเวลา (hour angle) ที่เวลาเที่ยงมีค่าเท่ากับ 0

เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง เปลี่ยนไป  $360/24$  องศาหรือประ

มาณ 15 องศา (เช่น เวลา 11.00  $W = -15$  องศา เวลา 14.30

$W = +37.5$  องศา)

$\delta$  = ค่ามุมเอียงของดวงอาทิตย์ (declination of the sun)

มีค่าเท่ากับ  $23.45 \sin 360(284 + n/365)$

พลังงานแสงอาทิตย์ในบรรยากาศโลก (Terrestrial Solar

Radiation) ได้แก่พลังงานที่ตกลงมายังพื้นโลกแบ่งเป็น 2 ชนิดดังนี้ (6)

1. พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรง (Beam Radiation) คือพลังงานที่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ โดยทิศทางของพลังงานจากดวงอาทิตย์มาถึง หน่วยรับ (Receiver) บนพื้นโลกไม่เปลี่ยนแปลง

2. พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) คือพลังงานที่ไม่ได้รับโดยตรงจากดวงอาทิตย์ แต่รับจากตัวกลางที่ขวางกั้นดวงอาทิตย์ไว้ เช่น เมฆ ท้องฟ้า แล้วจึงส่งพลังงานความร้อนออกมา

เมื่อรวมพลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรง (Beam Radiation) และแบบรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เข้าด้วยกัน เรียกว่า พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีรวม (Total or Global Radiation) ซึ่งหมายถึงพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่รับ

ได้บนระนาบระดับ (Horizontal Surface) ต่อหน่วยเวลา ต่อหน่วยพื้นที่

การดูดกลืนรังสีโดยแก๊สและอนุภาคในบรรยากาศ (Atmosphere Absorption of Solar radiation) บรรยากาศของโลกประกอบด้วยแก๊สหลายชนิด เช่น  $O_2$ ,  $N_2$  ไอน้ำ และฝุ่นละอองเป็นตัวกลางขวางกั้น แสงอาทิตย์ทำให้พลังงานที่ได้รับบนพื้นโลกที่ได้น้อยกว่าที่ได้รับนอกบรรยากาศ พลังงานที่สูญเสียไปเนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการ ดังนี้

1. พลังงานแสงอาทิตย์บางส่วนเปลี่ยนทิศทาง
2. แสงอาทิตย์บางส่วนถูกดูดเอาไว้โดยแก๊สในบรรยากาศ

#### 2.1.1 แสงอาทิตย์ในประเทศไทย (Solar radiation in Thailand)

ประเทศไทยตั้งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งขนาน 5-22 องศาเหนือ และเส้นแวง 96-106 องศาตะวันออก เป็นบริเวณที่ได้รับแสงอาทิตย์พอสมควร (6)

การวัดปริมาณแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยการพลังงานแห่งชาติซึ่งได้ติดตั้งเครื่องบันทึกแสงอาทิตย์ตามสถานีต่าง ๆ ของประเทศไทย และการบันทึกข้อมูลของสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย พบว่า

1. ปริมาณแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั่วประเทศมีค่า  $16.7 * 10^6$  กิโลจูลต่อตารางเมตร ต่อวัน

2. แม้ยังไม่มี การวัดปริมาณรังสีตรงและรังสีกระจาย โดยตรงแต่จากการคำนวณพบว่ารังสีการกระจายเฉลี่ยต่อวันมีค่าสูงสุดในฤดูร้อน และต่ำสุดในฤดูหนาว ยกเว้นภาคใต้มีค่าคงที่ตลอดปี เหตุผลสำคัญในการกระจายรังสีต่อวันคือ การเปลี่ยนระดับ (inclination) ของดวงอาทิตย์ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศไม่มีผลมากนักต่อค่าเฉลี่ยนี้ที่น่าสังเกตคือ โดยเฉลี่ยรังสีกระจายจะมีค่าครึ่งหนึ่งของรังสีแสงอาทิตย์ทั้งหมด

3. ในฤดูหนาวอากาศเหนือท้องฟ้าของไทย ได้รับลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ มีความแรงคงตัวและอากาศดี ปริมาณแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยทั่วประเทศจึงมีค่ามากพอสมควร แม้ว่าตำแหน่งดวงอาทิตย์จะต่ำ และจะมีตำแหน่งสูงขึ้นในฤดูร้อน

### 2.1.2 การประเมินค่าพลังงานแสงอาทิตย์

ส่วนใหญ่ที่ใช้กันมี 3 วิธี ได้แก่

1. ใช้เครื่องมือวัดปริมาณพลังงานโดยตรง เป็นวิธีที่ได้ค่าใกล้เคียงที่สุด เครื่องมือที่ใช้ได้แก่ ไพรานอมิเตอร์ (pyranometer) ไพเฮลิโอมิเตอร์ (pyrheliometer)
2. ใช้วิธีการทางสถิติประเมินพลังงานแสงอาทิตย์ของสถานที่ที่ต้องการจากสถานที่ใกล้เคียง
3. คำนวณจากสมการ ในทางปฏิบัติไม่สามารถดำเนินการวัดด้วยเครื่องมือวัดได้ทุกกรณี และสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูง จึงได้มีการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์มาใช้ซึ่งมีรูปแบบไม่ซับซ้อนนัก แต่ก็ไม่ควรใช้สมมุติฐานมากเกินไปจนขาดความแม่นยำ

#### 2.1.2.1 ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ย

ค่ารังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกบนแผ่นราบแผ่นราบในแต่ละวัน ที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ ,  $H_T$  ในช่วงเวลาทำงานจาก  $t_1$  ไปยัง  $t_2$  Liu และ Jordan ได้เสนอไว้ดังสมการที่ 2.6

$$H_T = (H - H_d) R_{p,d} + H_d (1 + \cos \beta / 2) + H_p (1 - \cos \beta / 2) \quad (\text{MJ/m}^2 \text{d}) \quad \text{--- (2.6)}$$

ค่า  $\bar{H}_d / \bar{H}$  สามารถประเมินได้โดย ( 7 )

$$\bar{H}_d / \bar{H} = 1.391 - 3.560 \bar{K} + 4.189 \bar{K}^2 - 2.137 \bar{K}^3 ; w_{\infty} \leq 81.4 \text{---} (2.7a)$$

$$1.311 - 3.022 \bar{K} + 3.427 \bar{K}^2 - 1.821 \bar{K}^3 ; w_{\infty} > 81.4 \text{---} (2.7b)$$

เมื่อ  $0.3 \leq \bar{K} \leq 0.8$

$\bar{K}$  = ค่าดัชนีชั่วโมงที่มีแสงเฉลี่ยรายเดือน (the monthly mean hourly clearness index)

$\bar{H}_d$  = ค่ารังสีกระจายในแต่ละวันเฉลี่ยรายเดือน (the monthly mean daily diffuse radiation on a horizontal surface)

$\bar{H}$  = ค่ารังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละวันเฉลี่ยรายเดือน (the monthly mean daily global radiation on a horizontal surface)

การทำนายค่าพลังงานแสงอาทิตย์รายชั่วโมงบนพื้นโลกจากค่าพลังงานแสงอาทิตย์รายวัน Liu และ Jordan ,1960 ได้ศึกษาค่าสมมาตรของแสงอาทิตย์ตอนเที่ยง และได้เป็นกราฟสำหรับหา ค่าแฟกชัน(fraction) ,r จากอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยแต่ละชั่วโมงรายเดือน กับค่าเฉลี่ยแต่ละชั่วโมงรายเดือนบนผิวราบ ดังสมการที่ 2.8

$$r = I/H \text{-----} (2.8)$$

จากนั้น Collares- Pereira และ Rabl (1979a) ได้ศึกษา  
งานของ Liu และ Jordan's ได้สมการหาค่า  $r$  ดังสมการที่ 2.9

$$r(W) = \pi/24 (a+b \cos W)(\cos W - \cos W_s) \text{ ---(2.9)}$$

$$(\sin W_s - \pi/180 W_s \cos W_s)$$

$$\text{เมื่อ } a = 0.409 + 0.5016 \sin(W_s - 60) \text{ -----(2.9a)}$$

$$b = 0.6609 - 0.4767 \sin(W_s - 60) \text{ -----(2.9b)}$$

ค่า  $H$  หาจากการบันทึกไว้ดังตารางที่ 1.3 ในภาคผนวก แทนค่า  
ในสมการที่ 2.8 สามารถหาค่า  $I$  ได้

การหาค่าพลังงานแสงอาทิตย์รายชั่วโมง ( $I_T$ ) บนผิวหน้าแผ่นราบซึ่งทำ  
มุม สามารถหาได้จากสมการ (2.10)

$$I_T = (I - I_d) r_{b,rs} + I_d (1 + \cos \beta / 2) + I_p (1 - \cos \beta / 2) \text{ (MJ/m}^2\text{h) --(2.10)}$$

เมื่อ  $\rho$  คือ ค่า ground albedo มีค่าเท่ากับ 0.2 สำหรับค่า  
บนพื้นราบ และมีค่า 0.7 สำหรับบริเวณที่มีหิมะ

$\beta$  คือ ค่ามุมเอียงของแผ่นราบที่ทำกับผิวโลก

$r_{b,rs}$  คือ อัตราส่วนระหว่าง พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสี  
ตรงบนผิวหน้าแผ่นราบ กับบนพื้นผิวโลก มีค่าเท่ากับ

$\cos \theta_i / \cos \theta_e$  Copyright by Mahidol University

$$\cos \phi = \cos(L-\phi) \cos \phi' \cos W + \sin \phi' \sin(L-\phi)$$

$$\cos \phi_z = \cos \phi' \cos W \cos L + \sin \phi' \sin L$$

$I_d$  คือ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจายรายชั่วโมง ที่

ตกบนแผ่นราบ สามารถหาได้จากสมการ 2.11

Erbs et al (1982) ได้เสนอวิธีหาค่า  $I_d$  ไว้ดังสมการที่ 2.11

$$I_d/I = 1 - 0.09K$$

$$\text{เมื่อ } K \leq 0.22$$

$$0.9511 - 0.1604K + 4.388K^2 - 16.638K^3 + 12.336K^4 \text{ เมื่อ } 0.22 < K \leq 0.8 \quad (2.11)$$

$$0.165$$

$$\text{เมื่อ } K > 0.8$$

เมื่อ  $K$  คือ ค่าดัชนีชั่วโมงที่ท้องฟ้าแจ่มใส  $= I/I_0$

$I_0$  สามารถหาได้จากสมการ

และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกบนแผ่นราบต่อวันสามารถหาได้

จากสมการ 2.12

$$\bar{H}_T = \sum \bar{I}_T \quad (\text{MJ/m}^2\text{d}) \quad \text{-----} (2.12)$$

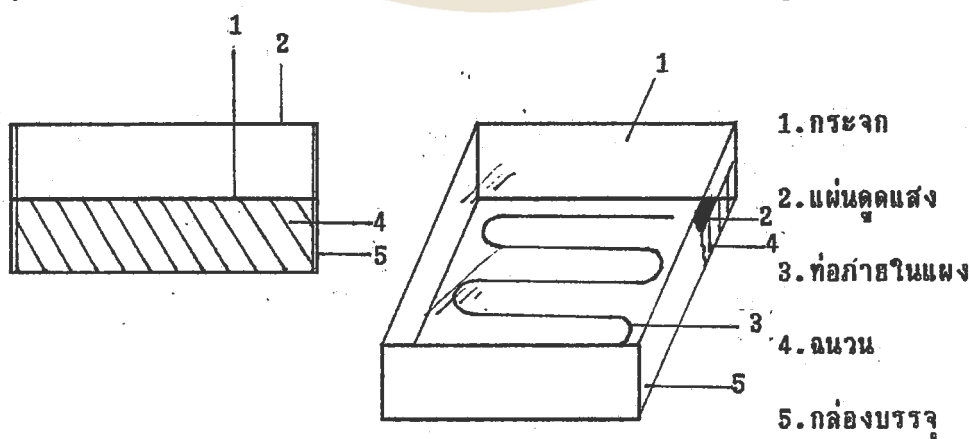
## 2.2 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar energy collector)
2. ท่อไหลเวียน (Circulation piping)
3. ถังเก็บน้ำร้อน (Hot water storage tank)

### 2.2.1 แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Energy Collector)

ทำหน้าที่รับแสงจากการแผ่กระจายของแสงอาทิตย์ แผงรับแสงทำจากโลหะ ที่มีประสิทธิภาพการทำความร้อนสูง ทาสีดำ เพื่อดูดซับการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ให้มากที่สุดการติดตั้งมุมเอียงต้องเลือกให้เหมาะสมกับตำแหน่งที่แผงตั้งอยู่และตรงกับลักษณะการใช้งาน แผงรับแสงอาทิตย์เป็นส่วนที่สำคัญที่สุด เป็นส่วนที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายของระบบสูงที่สุด มีการค้นคว้า ปรับปรุงเชิงความร้อนของแผงรับแสงให้สูงขึ้น และมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำลงมา แผงรับแสงมีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 2.2.1



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (16)

### 1. กระจก หรือ แผ่นปิดหน้าโปร่งใส (Glass or Transfer Cover plate)

ทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนจากการพาและการแผ่กระจายความร้อน

และทำหน้าที่ป้องกันฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกไม่ให้เข้าไปในแผงรับแสงด้วย ประสิทธิภาพของแผงรับแสงนอกจากขึ้นอยู่กับแผงดูดแสงยังขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นกระจกที่ปิดหน้าด้วย การใช้กระจกสองชั้นจะดีกว่ากระจกชั้นเดียว (2) เมื่อแสงอาทิตย์กระทบแผงรับแสง จะมีการสูญเสียความร้อนโดยการสะท้อนกลับได้ และอาจไม่มีประโยชน์ถ้าแผ่นดูดความร้อนได้ดี และคายความร้อนช้า เพราะอาจเป็นการลดปริมาณความร้อนที่จะผ่านเข้ามาด้วยซ้ำ (1)

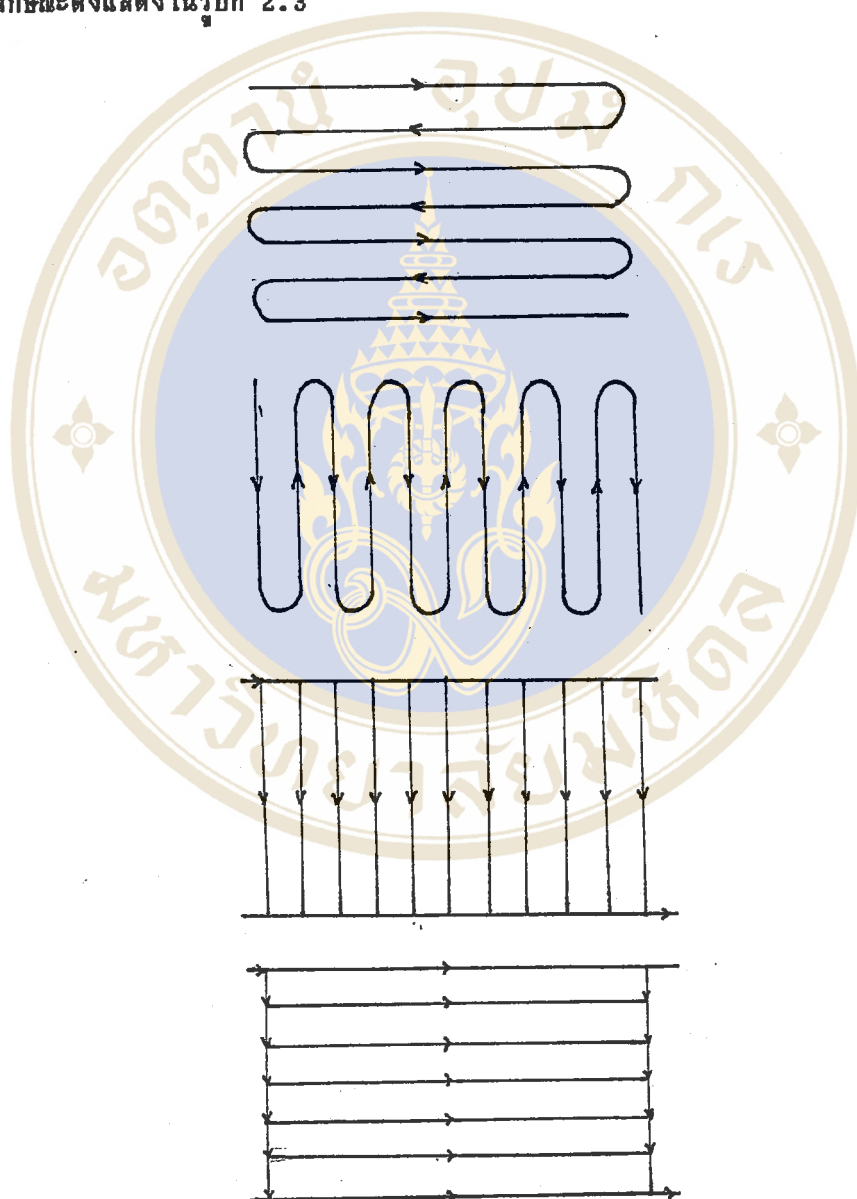
### 2. แผ่นดูดแสง (Absorber plate)

ทำหน้าที่ดูดรังสีความร้อน โดยทั่วไปเป็นโลหะที่ฉาบไว้ด้วยสีดำ พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นตลอดเวลาที่มีแสง จะถูกดูดซึมโดยแผ่นดูดแสง และถ่ายเทความร้อนไปให้น้ำที่อยู่ภายในท่อโลหะ วัสดุที่นำมาใช้เป็นแผ่นดูดแสงจะต้องมีค่าสภาพการดูดรังสีสูง (absortance) และถ่ายเทความร้อนได้ดี ทนต่อการกัดกร่อนของของเหลว และที่อุณหภูมิความร้อนสูง ซึ่งอาจเป็นแผ่นทองแดง อลูมิเนียม เหล็ก เราจะได้ น้ำร้อนเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อนไว้ใช้ในช่วงที่ไม่มีแสงแดด แผ่นดูดแสงจะมีการค้นคว้าพัฒนามากที่สุดนับบรรดา ชิ้นส่วนที่ประกอบกันเป็นเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ การออกแบบแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติการนำความร้อน ราคา และอายุการใช้งาน (8)

### 3. ท่อภายในแผง (Tube)

ท่อภายในแผงส่วนใหญ่เป็นท่อทองแดง ท่อเหล็กอบสังกะสี ท่อเหล็กไร้สนิม วัสดุที่เป็นสื่อไฟฟ้าที่ฉีกเป็นตัวนำความร้อนที่ดี เช่น เงิน ทองแดง ทองแดงเป็นวัสดุที่นำความร้อนได้ดีกว่าอลูมิเนียม 2 เท่า ดีกว่าเหล็ก 10 เท่า ดีกว่าเหล็กไร้สนิม 10 เท่า และนอกจากนี้ยังมีความคงทนต่อความกดดัน ทนต่อ

การกีดกร้อนของสนิม และการเกาะของหินปูนได้ดีมาก ท่อที่ใช้เป็นท่อที่มีผนังบาง ๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $3/8$  นิ้ว -  $1/2$  นิ้ว วางห่างกัน 3-6 นิ้ว บนแผ่นดูดแสงอาทิตย์ ลักษณะการหมุนเวียนของน้ำภายในท่อบนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีหลายลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะการหมุนเวียนน้ำในท่อบนแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ (23)

#### 4. ฉนวนกันความร้อน (Insulation)

เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนทางด้านล่างของกล่อง วัสดุที่นำมาใช้ทำฉนวนได้แก่ ฉนวนใยแก้ว (Fiber glass) โพลียูรีเทน (Polyurethane) โฟมขาว (Styro foam) และวัสดุที่เป็นเส้นใยบางชนิด

#### 5. กล่องบรรจุ (Container or housing)

วัสดุที่ใช้ได้แก่ สังกะสี อลูมิเนียม และ ไม้

#### 2.2.2 ท่อไหลเวียน (Circulation piping)

การต่อท่อระบบไหลเวียนจะขึ้นอยู่กับระบบเครื่องทำความร้อน เป็นท่อต่อเชื่อมระหว่างแผงรับความร้อนและถังเก็บความร้อน

#### 2.2.3 ถังเก็บน้ำร้อน (Hot water storage tank)

มีหน้าที่สะสมความร้อนที่ได้รับจากของเหลวที่ได้รับการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากแผ่นดูดแสงไปใช้งาน ถังเก็บน้ำร้อน แบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. ระบบถังชนิดไม่มีความดัน (Non Pressurized tank)
2. ระบบถังชนิดมีความดัน (Pressurized tank)

ถังเก็บน้ำร้อนทำหน้าที่ 2 อย่างคือ

1. เก็บน้ำร้อนไว้ใช้สามที่ไม่มีแสงแดด
2. ช่วยทำให้แผงรับแสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างเต็มที่ และไม่ร้อนจัด (over

heat) จนเกินไป ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานต่ำลง

ถังเก็บน้ำร้อนมี 2 แบบ คือ

1. ถังนอน (horizontal tank) คือ ถังทรงกระบอกที่ติดตั้งไว้ในแนวนอน
2. ถังตั้ง (vertical tank) คือ ถังทรงกระบอกที่ตั้งไว้ในแนวตั้ง

ขนาดถังเก็บน้ำร้อน จะขึ้นอยู่กับปริมาณการใช้น้ำร้อนใน หนึ่งวัน ขณะเดียวกัน

ขนาดถังเก็บน้ำร้อนก็เกี่ยวข้องกับจำนวนแผงรับแสงด้วย ดังแสดงในตาราง 2.1

และ ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการใช้น้ำร้อนต่อคนแบ่งชนิดตามอาคาร

| ชนิดอาคาร         | ลิตรต่อคนต่อชั่วโมง |
|-------------------|---------------------|
| โรงเรียน          | 7.6-11              |
| สำนักงาน          | 15-19               |
| อพาร์ทเมนต์       | 30                  |
| โรงแรม            | 30-38               |
| โรงงาน            | 15-22.7             |
| อาคารที่อยู่อาศัย | 38                  |

ที่มา: มานะศิลป์ พิมพ์สาร ,2533 (2)

จาก Andreas ,1979 ได้ประมาณการใช้น้ำร้อนต่อคนต่อวัน เท่ากับ

25-40 ลิตร (9)

**ตารางที่ 2.2** ขนาดถังเก็บน้ำร้อน จำนวนแผงรับแสงขนาด 1 ตารางเมตร

| ขนาดถัง (ลิตร) | จำนวนแผงรับแสง(แผง) |
|----------------|---------------------|
| 100            | 1                   |
| 120            | 1                   |
| 200            | 2                   |

ที่มา: Andreas , 1979 (9)

#### 2.2.4 ระบบหมุนเวียนของน้ำ

การทำน้ำร้อนหลังงานแสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

##### 1. ระบบการทำน้ำร้อนโดยตรง

เป็นระบบที่น้ำไหลเวียนโดยตรงผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ก่อนเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อน จะไม่ใช้อุปกรณ์ผลิตความร้อนแต่อย่างใด

##### 2. ระบบการทำความร้อนโดยอ้อม

เป็นระบบที่มีสารละลาย ethylene glycol สารละลาย propylene glycol หรืออากาศไหลเวียนในระบบ เพื่อรับการถ่ายเทความร้อนเมื่อไหลผ่านแผงรับแสงพร้อมกับถ่ายเทให้แก่ น้ำขณะที่ผ่านอุปกรณ์ผลิตความร้อน

ระบบการหมุนเวียนน้ำก็แบ่งเป็น 2 ระบบคือ ระบบขับเคลื่อนด้วยเครื่องสูบลม (active) และ ไม่ขับเคลื่อนด้วยเครื่องสูบลม (passive) ได้แก่ระบบ เทอร์โมไซฟอน (thermosiphon)

### 2.2.5 ฉนวนความร้อน

มีหน้าที่ป้องกันความร้อนไม่ให้ถ่ายเทออกด้านนอกของระบบทำน้ำร้อน ตัววัสดุฉนวนต้องมีคุณสมบัติเก็บความร้อนได้ดี ทนต่อความร้อนสูงและทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ สำหรับวัสดุที่นำมาทำเป็นฉนวนสำหรับหุ้มท่อ ถึงเก็บน้ำ และอื่น ๆ ดัง แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 วัสดุฉนวนสำหรับหุ้มท่อ ถึงเก็บน้ำ และอื่น ๆ

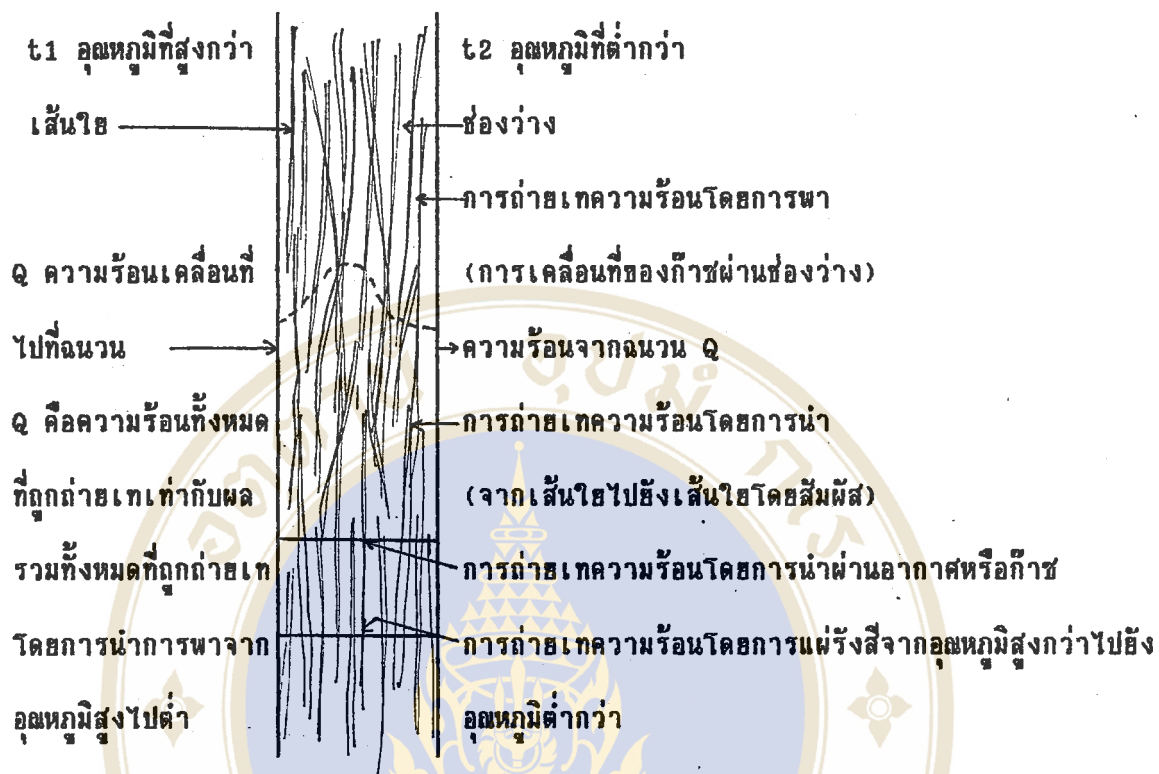
| ชนิดวัสดุฉนวน                                                               | การใช้งาน                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| <u>วัสดุแบบผงหรือเส้นใยหลวมๆ</u> เช่น โยแก้ว ใยแก้ว ใยหิน ใยสังเคราะห์ ใยใย | ใช้หุ้มถึงเก็บน้ำร้อนน้ำเย็น หรือหุ้มท่อที่มีอุณหภูมิสูง |
| <u>วัสดุยืดหยุ่น</u> เช่น ยางสังเคราะห์ โยแก้ว เส้นใยแก้ว                   | ลักษณะเป็นหิน ม้วนแบบม้วนผ้า ใช้หุ้มท่อหรือถังเก็บน้ำ    |
| <u>วัสดุแกร่ง</u> เช่น โยแก้ว ใยหิน เส้นใยแก้ว                              | มีแบบสำเร็จรูปทำมาพอดีขนาดท่อ หรือถ้าเป็นแผ่นใช้หุ้มถึง  |
| <u>พลาสติก</u> เช่น โพลีเอทิลีน โพลีสไตรีน                                  | มีลักษณะเป็นแถบเป็นผืน ใช้หุ้มวัสดุที่มีรูปทรงไม่เรียบ   |

ที่มา: มาตรฐานศิลป์ พิมพ์สาร, 2533 (2)

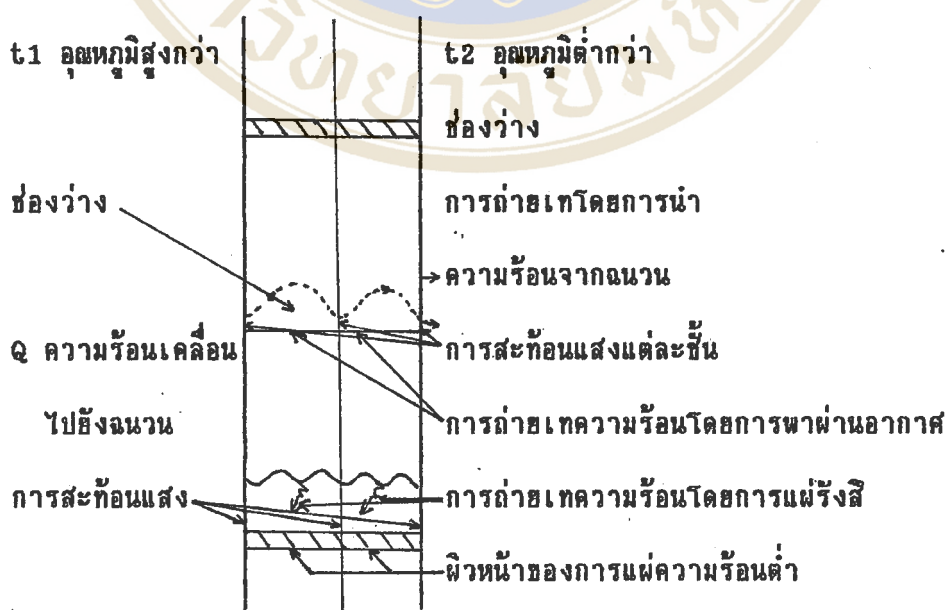
นอกจากนี้วัสดุที่นำมาใช้เป็นฉนวนความร้อนสามารถแบ่งออกได้อย่างกว้าง ๆ

2 แบบ (8) คือ (ก) แบบผงหรือเส้นใย (mass insulation) (ข) แบบมีเงา (reflection insulation) แบบ mass insulation มีลักษณะเป็นของแข็งมีช่องว่าง (เช่น เป็นเซลล์, เป็นเม็ด, เป็นเส้นใย) คุณสมบัติโดยทั่วไปมีอากาศผ่านได้ และมีการนำความร้อนต่ำ และเนื่องจากมีโครงสร้างเป็นช่อง ๆ ทำให้มีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ การพา และการแผ่กระจายความร้อนมาก ดังนั้นความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ก็เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการตัดสินใจ เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการนำ การพา และการแผ่กระจายความร้อน และความหนาแน่นที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุที่ใช้ เพื่อให้มีการถ่ายเทความร้อนต่ำที่สุด ดังภาพที่ 2.4 และ 2.5 แสดงความร้อนที่ผ่าน ฉนวนแบบ mass insulation และแบบ reflective insulation ฉนวนแบบรีฟเลกทีฟนั้น จะเป็นแผ่นโลหะบาง ๆ มีการแผ่รังสีต่ำ เช่น อะลูมิเนียมฟลอยด์ ซึ่งลดการถ่ายเทความร้อนโดยการให้มีจำนวนชั้นหลาย ๆ ชั้นภาพที่ 2.6 แสดงการถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนต่างชนิดกัน ภาพที่ 2.7 แสดงการนำความร้อนของฉนวนและความหนาแน่น

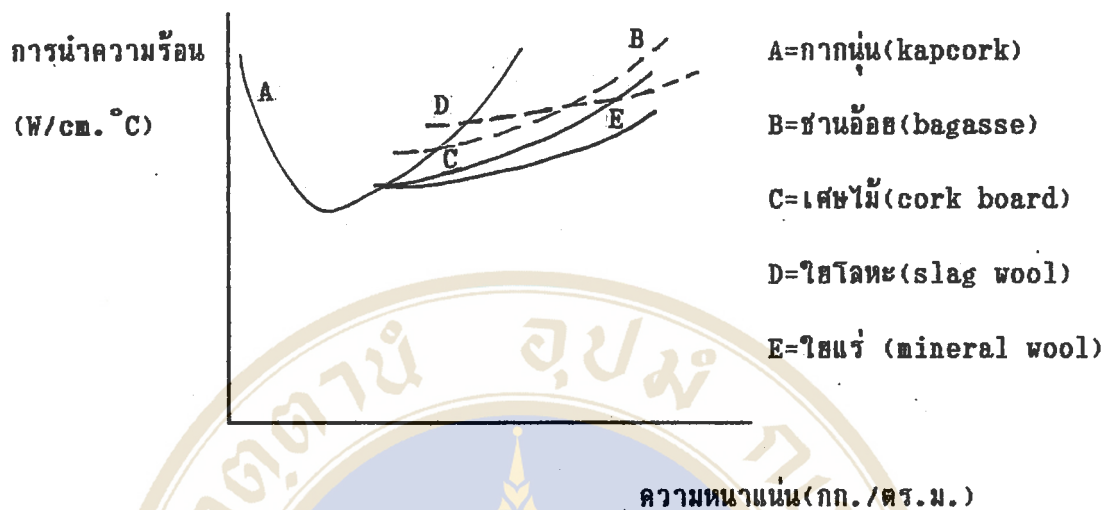
ความหนาของฉนวนก็เป็นสิ่งที่นิยมใช้ในการตัดสินใจในด้านเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากเมื่อเพิ่มความหนาของฉนวนการสูญเสียความร้อนก็ลดลงมาแต่ราคาก็เพิ่มสูงขึ้นด้วย ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาและราคาดังแสดงในภาพที่ 2.8



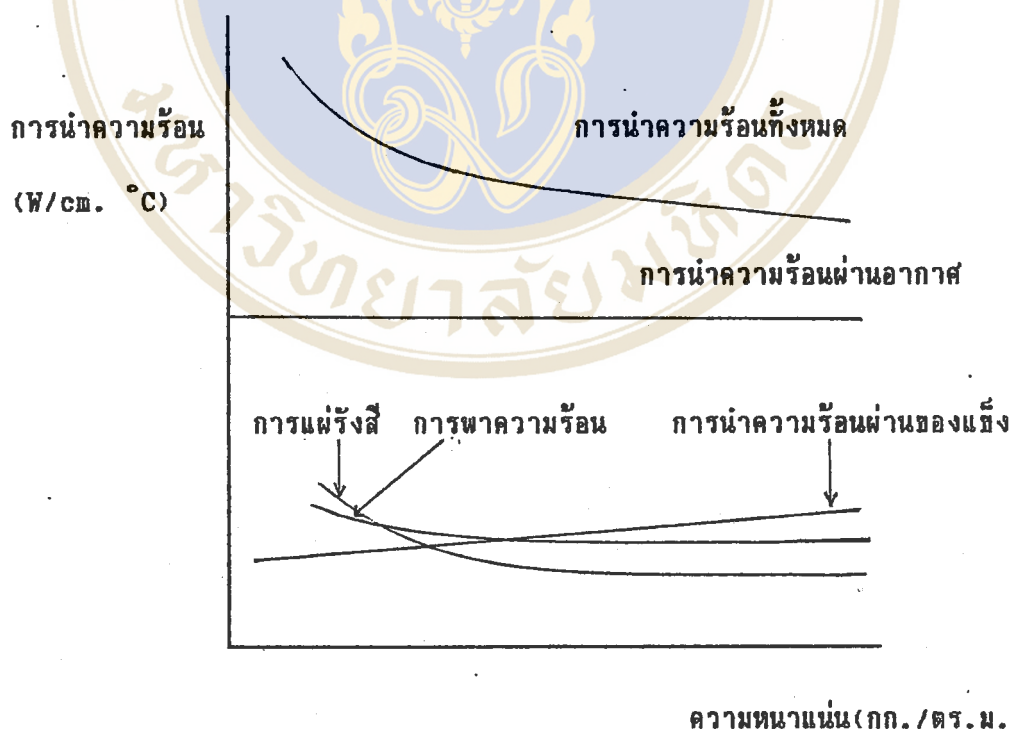
ภาพที่ 2.4 ความร้อนที่ผ่านฉนวนแบบ mass insulation (8)



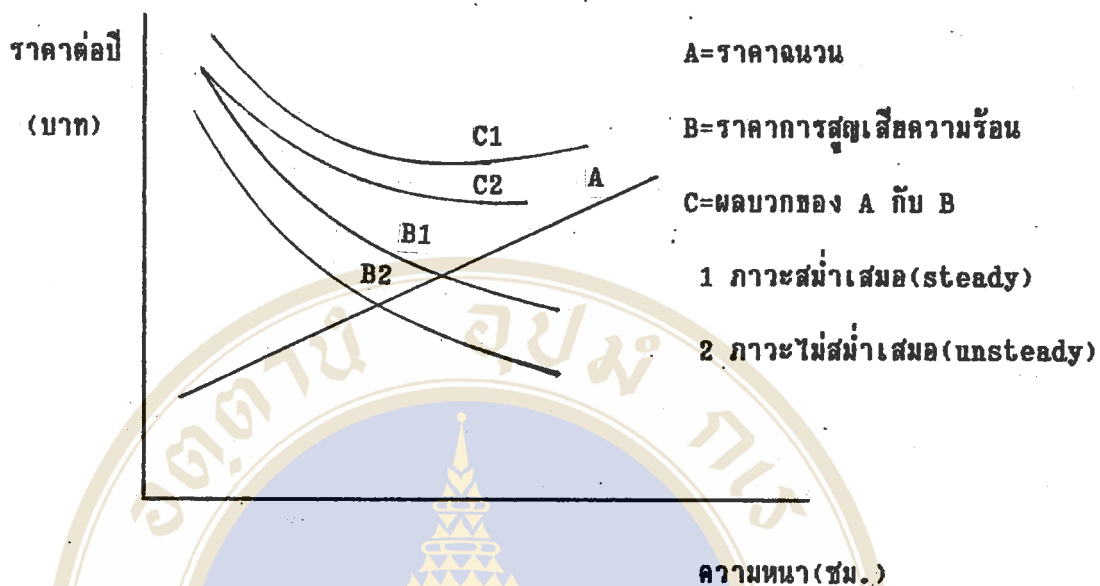
ภาพที่ 2.5 ความร้อนที่ผ่านฉนวนแบบ reflective insulation (8)



ภาพที่ 2.6 การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนต่างชนิดกัน (8)



ภาพที่ 2.7 การนำความร้อนของฉนวนและความหนาแน่น (8)



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาและความหนาของฉนวน (8)

การเลือกใช้ฉนวนในการหุ้มท่อและถังเก็บน้ำร้อน (8, 19)

1. สะดวกต่อการใช้งาน
2. ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ฉนวนความร้อนที่ดีจะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ ซึ่งจะป้องกันความร้อนได้ดีกว่าฉนวนที่มีค่าสัมประสิทธิ์สูง
3. ช่วงอุณหภูมิการใช้งานต้องไม่สูงเกินไป
4. ราคาขึ้นอยู่กับประเภทและความหนาของฉนวน
5. ความหนาแน่น
6. การทนไฟ
7. การทนความชื้น
8. อายุการใช้งาน
9. ความปลอดภัย
10. ความสวยงาม

ในการศึกษาวัสดุที่นำมาทำเป็นฉนวนได้แก่ แกลบ เส้นใยมะพร้าว และ ไมโครไฟเบอร์

แกลบ (rice hull ) เป็นส่วนของเปลือกข้าว ซึ่งจัดเป็นวัสดุที่เหลือจากการสีข้าวไม่ค่อยได้นำมาใช้ประโยชน์มากนัก มีรายงานของ Elbert ,1952 (21) เสนอแนะแกลบไปใช้เป็นฉนวนความร้อนและความชื้น พบว่าได้ผลดี และมีราคาถูกด้วย แต่จะต้องมีการป้องกันความชื้นและเชื้อราให้ดี ในประเทศไทยก็มีการใช้แกลบในการเป็นฉนวนความร้อนและความชื้นเช่นกัน

เส้นใยมะพร้าว (coconut fiber ) เป็นส่วนเส้นใยข้างนอกที่ปกคลุมผลมะพร้าวเอาไว้ เป็นวัสดุที่เหลือใช้ไม่ค่อยมีการนำมาใช้ประโยชน์มากนัก นอกจากนำมาทำเป็นเชือกเพื่องัดให้ความร้อนสูงเนื่องจากมีส่วนประกอบของ ลิกนิน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส (22) และสามารถใช้เป็นฉนวนความร้อนได้ผลดี (19)

ไมโครไฟเบอร์ หรือ ไฟเบอร์กลาส ( Microfibre or fibreglass ) เป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน เนื่องจากกันความร้อนได้ดี ทนความร้อนได้ มีน้ำหนักเบา มีความสะดวกสบายในการใช้ และมีอายุการใช้งานนาน ( 7 )

#### 2.2.6 การสูญเสียความร้อนของระบบ (10,11,23)

การสูญเสียความร้อนจากระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เกิดขึ้นหลายประการ เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับรังสี แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนถ่ายเทให้กับของเหลว แล้วไหลผ่านท่อไปเก็บไว้ที่ถังสะสมความร้อนเพื่อนำไปใช้ ซึ่งขบวนการทั้งหมดทำให้มีการสูญเสียความร้อนขึ้นได้ และทำให้เครื่องทำน้ำร้อนมีประสิทธิภาพต่ำลง การสูญเสียความร้อนจากระบบพิจารณาดังนี้

### ก. การสูญเสียความร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3

ส่วน คือ

- ความร้อนสูญเสียทางด้านบนของแผงรับแสงอาทิตย์
- ความร้อนสูญเสียทางด้านข้างของแผงรับแสงอาทิตย์
- ความร้อนสูญเสียทางด้านล่างของแผงรับแสงอาทิตย์

การสูญเสียความร้อนทางด้านบนจะมีค่ามากที่สุด ซึ่งการสูญเสียความร้อนจะเกิดขึ้นโดยการนำ (conduction loss) การพา (convection loss) และ การแผ่รังสี (radiation loss) ส่วนการสูญเสียความร้อนทางด้านล่างและด้านข้างจะมีค่าน้อย เนื่องจากมีฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการสูญเสียความร้อน

### ข. การสูญเสียความร้อนจากระบบท่อ

การสูญเสียความร้อนจะเป็นไปในลักษณะ การนำ การพา และการแผ่รังสี โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ อุณหภูมิภายในท่อกับอากาศภายนอกแตกต่างกันมาก

### ค. การสูญเสียความร้อนจากถังสะสมความร้อน

ถังสะสมความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญมาก และต้องเก็บน้ำร้อนไว้เป็นเวลานาน จึงต้องมีฉนวนกันเพื่อลดการสูญเสียความร้อน

### 2.2.7 การศึกษาประสิทธิภาพของแผงรับแสง

การศึกษาประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์จะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ (7)

1. การถ่ายเทความร้อนในสภาวะที่สม่ำเสมอ (steady-state procedure) เป็นกระบวนการที่ไม่เปลี่ยนไปตามเวลาที่เปลี่ยนไป เป็นการศึกษาอัตราการไหลของน้ำ อุณหภูมิน้ำก่อนและหลังจากผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ สภาพภายนอก (เช่น อุณหภูมิอากาศ, ความเร็วลม, พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงได้รับ)

2. การถ่ายเทความร้อนในสภาวะไม่สม่ำเสมอ (transient test procedures) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนไปตามเวลาที่เปลี่ยนไป

ความร้อนที่ได้จากแผงรับแสงอาทิตย์ (the useful heat gain from the collector,  $q_c$ ) สามารถหาได้จากสมการ

$$q_c = \dot{m}_c c (t_o - t_i) \quad \text{-----} (2.2.7.1)$$

เมื่อ  $\dot{m}_c$  = อัตราที่น้ำไหลผ่านแผงต่อพื้นที่ (l/hr)

$c$  = ค่าคงที่ = 4.186 J/kg ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_o$  = อุณหภูมิน้ำที่ไหลออกจากแผง ( $^{\circ}\text{C}$ )

$t_i$  = อุณหภูมิน้ำที่ไหลเข้าแผง ( $^{\circ}\text{C}$ )

ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบทั่ว ๆ ไปสามารถหาได้จากสมการ

$$\eta_c = q_c / A_c I_T = (m_c c) (t_o - t_i) / A_c I_T \quad \text{-----(2.2.7.2)}$$

เมื่อ  $A_c$  = พื้นที่แผงรับแสงอาทิตย์ ( $m^2$ )

$I_T$  = ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงรับแสง ( $HJ/m^2 \cdot hr$ )

### 2.2.8 การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ (Thermal efficiency)

ประสิทธิภาพของระบบ =  $\frac{\text{อัตราพลังงานความร้อนที่ระบบผลิตได้}}{\text{อัตราพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผง}}$

ประสิทธิภาพของระบบในกรณีนี้สามารถหาได้จากสมการ 2.2.7.3

$$\eta_{th} = M_s f c \Delta T / A_c I_T \quad \text{-----2.2.7.3}$$

$$\eta_{th} = M_s f c (T_m - T_i) / A_c I_T$$

เมื่อ  $c$  = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ =  $4.186 \text{ J/Kg } ^\circ\text{C}$

$T_i$  = อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น ( $^\circ\text{C}$ )

$T_m$  = อุณหภูมิน้ำในถังสะสมความร้อน ( $^\circ\text{C}$ )

$M_{s,f}$  = จำนวนน้ำร้อนในถังสะสมความร้อน (ลิตร)

$$= (M_{s,b} + m_c) - m_i$$

$M_{s,b}$  = จำนวนน้ำร้อนในถังเริ่มแรก (ลิตร)

$m_i$  = อัตราการนำน้ำร้อนไปใช้งาน (ลิตร/ชั่วโมง)

### 2.2.9 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพความร้อน

(thermal efficiency)กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแผงรับแสงอาทิตย์

การพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพความร้อนที่ได้รับกับค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิชุดรับรังสี จะพบว่าประสิทธิภาพความร้อนของระบบจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของแผงรับแสง ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพความร้อนของระบบจึงใช้ตัวแปรอิสระเช่นเดียวกับประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ตัวแปรอิสระที่ใช้กันมากได้แก่ (24)  $(T_p - T_a)/I_T$  ,  $(T_i - T_a)/I_T$  ,  $(T_{fm} - T_a)/I_T$  และ  $(T_{so} - T_a)/I_T$  เมื่อ  $T_p$  คือ อุณหภูมิแผงรับแสงอาทิตย์  $T_i$  คืออุณหภูมิน้ำก่อนเข้าแผงรับแสง  $T_{fm}$  คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเข้าและออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ คืออุณหภูมิน้ำร้อนที่ไปใช้งาน  $T_a$  คืออุณหภูมิอากาศรอบข้าง (ambient temperature)

### 2.2.10 การหาค่าสัมประสิทธิ์การเก็บความร้อน (heat storage coefficient)

การหาค่าสัมประสิทธิ์การเก็บความร้อนของถังสะสมความร้อน (heat storage coefficient) สามารถหาได้จากสมการ

$$\rho_{stor} = T_1 - T_2 / (T_1 + T_2) / 2 - T_a \quad \text{---- (2.2.7.4)}$$

เมื่อ  $\rho_{stor}$  = heat storage coefficient

$T_1$  = อุณหภูมิเริ่มต้น ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2$  = อุณหภูมิหลังจากทิ้งไว้ ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_a$  = อุณหภูมิรอบข้าง (ambient temperature) ( $^{\circ}\text{C}$ )

## 2.3 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

จุดประสงค์ส่วนใหญ่ของผู้ที่เลือกใช้ระบบผลิตน้ำร้อนคือ การได้ใช้ระบบที่เชื่อถือได้ในราคาที่ประหยัด ในขณะที่มีการได้เปรียบในเชิงเศรษฐศาสตร์อย่างเด่นชัด เช่นราคาระบบที่ถูกกว่า และมีอายุการใช้งานที่นานกว่าด้วยมูลค่าซากที่สูงกว่า ในกรณีดังกล่าวไม่จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ความได้เปรียบในเชิงเศรษฐศาสตร์เพิ่มเติม เพราะเห็นได้ชัดว่าต้องเลือกระบบดังกล่าวแน่ ๆ แต่โดยทั่วไป มักไม่มีระบบใดที่มีความได้เปรียบในเชิงเศรษฐศาสตร์อย่างเด่นชัด ระบบหนึ่งอาจมีราคาถูกกว่าแต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการใช้ระบบสูงกว่า หรือมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่า จึงนั้นจึงต้องมีการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ช่วยในการตัดสินใจ (5)

การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ มีตัวแปรหลายตัวในการตัดสินใจ เช่น ต้นทุนการผลิต ประสิทธิภาพของระบบ อายุการใช้งาน สภาพอากาศของแต่ละท้องถิ่น ราคาพลังงานในท้องถิ่น ค่าบำรุงรักษา ระบบการปฏิบัติงาน ซึ่งต้องใช้ในการตัดสินใจ ดังนั้นรายละเอียดของการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ จึงขึ้นอยู่กับขอบเขตการศึกษา ซึ่งในการศึกษานี้จะเป็นการประเมินค่าทางเศรษฐกิจของระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงที่ทำการศึกษา

### ทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้อง

ในการเปรียบเทียบความได้เปรียบเทียบเปรียบในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการเลือกระบบมักจะเปรียบเทียบในลักษณะ

1. มูลค่าปัจจุบัน (Present Worth)
2. มูลค่าเทียบเท่ารายปี (Annual Equivalent)

3. อัตราผลตอบแทน (Rate of Return)

4. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

การนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้มักได้รับความสนใจใน 2 ลักษณะคือ

1. เป็นระบบที่สามารถผลิตได้ในราคาที่ถูกลงกว่าระบบอื่น
2. เป็นระบบที่อาจช่วยประหยัดค่าพลังงาน

การเปรียบเทียบการได้เปรียบเสียเปรียบทางเศรษฐศาสตร์ของระบบการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์กับระบบการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานรูปแบบอื่นนั้น อาจมีการเปรียบเทียบใน 2 ลักษณะคือ

1. เปรียบเทียบค่าใช้จ่าย
2. เปรียบเทียบผลตอบแทนการลงทุน

วิธีการง่าย ๆ ของการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ คือ (17)

1. ต้นทุนเริ่มแรก (initial cost)

ต้นทุนเริ่มแรก ,  $C_i$  สามารถคำนวณได้ดังสมการ (8,9,11)

$$C_i = C_e A + C_b a + C_{\text{fix}} A \quad \text{----(2.3.1)}$$



เมื่อ  $C_u$  คือ ค่าใช้จ่ายของแผงรับแสงต่อพื้นที่ (บาท)

A คือ พื้นที่แผงรับแสง (ตารางเมตร)

$C_u$  คือ ค่าใช้จ่ายของถังสะสมความร้อนต่อปริมาตร (บาท)

b คือ ปริมาตรของถังสะสมความร้อนต่อพื้นที่แผงรับแสง (ลิตร)

$C_u$  คือ ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่น ค่าติดตั้ง (บาท)

## 2. ค่าใช้จ่ายระหว่างอายุการใช้งาน (operating cost)

คือค่าใช้จ่ายที่จ่ายในช่วงเวลา  $n$  ปีที่มีการใช้งาน

มูลค่าเทียบเท่ารายปีของค่าใช้จ่ายระหว่างอายุการใช้งาน (The annual operating cost) ของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ขึ้นกับ

ก. ต้นทุนการลงทุนทั้งหมด

ข. ค่าบำรุงรักษา

ค. มูลค่าซาก

การคำนวณหาต้นทุนรายปี สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$C_u = (C_u A + C_u b A + C_u A) CRF + M \quad \text{-----}(2.3.2)$$

$$= (C_u * CRF) + M - S' (SFF)$$

เมื่อ  $C_u$  คือ จำนวนเงินต่อหน่วยเวลา (บาท)

CRF คือ capital recovery factor

เท่ากับ  $i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$

$i$  คือ อัตราดอกเบี้ยต่อหน่วยเวลา

$n$  คือ จำนวนหน่วยเวลา (ปี)

$M$  คือ ค่าบำรุงรักษาต่อปี (บาท)

$S'$  คือ มูลค่าซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน (บาท)

SFF คือ Sink fund factor

เท่ากับ  $i/((1+i)^n - 1)$

### การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน

โดยการวิเคราะห์จากค่าปริมาณความร้อนที่ได้ตลอดปี เปรียบเทียบกับค่าพลังงานชนิดอื่น เช่น การใช้ไฟฟ้า แล้วหาผลตอบแทนการลงทุน ซึ่งมีค่าเท่ากับ ราคาพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงอื่นลบค่าใช้จ่ายของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์รายปี

การหาค่าต่าง ๆ โดยใช้สมการดังนี้ (5)

$$C_1(CRF) - S'(SFF) = a - b$$

เมื่อ  $a$  = รายรับต่อหน่วยเวลา

$b$  = ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ค่าซ่อมบำรุงรักษาต่อหน่วยเวลา

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Somchart Soponronarit, 1978 (14) ได้ทำการออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อน พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบการไหลเวียนน้ำแบบเทอร์โมไซฟอน ได้ประสิทธิภาพความร้อนร้อยละ 55 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ 61-67 องศาเซลเซียส

Macarthur, J.R., 1979 (19) ได้รายงานการเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ อย่างง่ายโดยใช้วัสดุที่มีอยู่ ในเขตร้อน วัสดุที่ใช้เป็น แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี และท่อเหล็กเป็นแผงรับแสงอาทิตย์ ใช้เส้นใยมะพร้าวเป็นฉนวนหนา 2 นิ้ว น้ำหนัก 9 กิโลกรัม ส่วนถังเก็บน้ำร้อนใช้ ถึงขนาด 200 ลิตร ใช้เส้นใยมะพร้าวเป็นฉนวนหนา 6 นิ้ว น้ำหนัก 14 กิโลกรัม สามารถได้น้ำร้อน 135-168 ลิตรต่อวัน อุณหภูมิน้ำที่ได้ 55-60 องศา

Suchart Chugpaibulpatana, 1981 (13) ได้ทำการศึกษาขนาดถังเก็บน้ำร้อนที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย โดยคำนึงถึงความเหมาะสมด้านเทคนิค และประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการเพิ่มตัวช่วยทำความร้อน (auxillary energy) โดยการศึกษาในโรงแรมและโรงงาน และได้แบ่งออกเป็น 3 ขนาดตามความเหมาะสมและการใช้งาน คือขนาด 100 กิโลกรัม 135 กิโลกรัม และ 175 กิโลกรัม

ประวิทย์ ถิระแก้ว, 2525 (23) ได้ทำการศึกษาสมรรถภาพของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้ชุดรับรังสีแบบแผ่นราบกระจกสองชั้น โดยการเปรียบเทียบชุดรับรังสีที่ประกอบด้วยแผ่นทองแดงและท่อทองแดง กับแบบที่ประกอบด้วยแผ่นอลูมิเนียมซึ่งทำอินไซด์สีดำ และท่อทองแดง ใช้กระจก 2 ชั้น พบว่าแบบแรกมีประสิทธิภาพสูงกว่า แต่แบบที่สองมีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐกิจมากกว่า

Bart deuss, 1987 (16) ได้ศึกษาการทำแผงรับแสงของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถทำได้ด้วยตัวเอง โดยการนำท่อเหล็กมางอเป็นรูปซิกแซก

(Zig Zag) เขาได้ทำการทดลองในโรงพยาบาลในประเทศเนเธอร์แลนด์ พบว่าอุณหภูมิน้ำที่ได้จะอยู่ในช่วง 40-50 องศาเซลเซียส

Yun Fei, 1987 (11) ได้ศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผงรับแสงแบบธรรมชาติ กับแบบที่มีรูปร่างคล้ายปริซึม (Prismatic) พบว่าแบบปริซึมมีประสิทธิภาพการรับแสงได้ดีกว่า

ไชยยศ สิริเพาประดิษฐ์, 2531 (10) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากลมเหนือแผงรับแสงอาทิตย์ ชนิดแผ่นราบกับความเร็วลมและมุมเอียงเหนือแผงรับแสงอาทิตย์ โดยทดลองมีมุมเอียงของแผง 5, 10, 15, 20 องศา ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้สำหรับเมืองไทย และความเร็วลมที่พัดผ่านด้านหน้า แผ่นราบตั้งแต่ 0-3.0 เมตรต่อวินาที พบว่าแผ่นราบที่มีความยาวมากกว่า 0.5 เมตร มุมเอียงไม่มีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากลม

M.N.A.Hawlader, M.S.Uddin & Low Lng Siang, 1990 (17) ได้ศึกษาแบบจำลองโปรแกรมที่เหมาะสม สำหรับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ โดยศึกษาขนาดและคุณสมบัติ เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับผู้ออกแบบและใช้ระบบในประเทศสิงคโปร์อย่างง่าย ๆ โดยใช้เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ ตัวแปรที่สำคัญได้แก่ ชนิดของแผงขนาดถึง และอุณหภูมิที่ต้องการ จุดที่จะนำไปใช้ มุมของแผงรับแสง และยังสามารถประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของระบบที่จะนำมาใช้ได้ด้วย โดยพบว่าขนาดที่เหมาะสมคือ 175 ลิตรต่อวัน อุณหภูมิที่รับได้ 50 องศาเซลเซียส ใช้แผงรับแสง 3 แผง

Eldighidy, 1991 (18) ได้ศึกษาและทดลอง การใช้ฉนวนความร้อนกับถังเก็บน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด  $1 \times 0.5 \times 0.3$  ลูกบาศก์เมตร ซึ่งทำจากเหล็กเคลือบสังกะสี และตั้งถังไว้กลางแจ้ง ความหนาของฉนวนที่ใช้มีผลต่อพลังงานที่ได้รับ และการสูญเสียความร้อน การทดลองนี้ฉนวนที่ใช้เป็นฉนวนใยแก้ว หุ้มทับด้วยพลาสติก พบว่า ที่ความหนา 2.5 เซนติเมตร เป็นความหนาที่ดีที่สุด เมื่อเทียบกับขนาด 5,

### 7.5 และ 10 เซ็นติเมตร

B.Norton and Edmonds, J.E.J ,1991 (15) ได้ทดสอบความเข้มข้นของสารละลายโพรพิลีนไกลคอล ซึ่งใช้สำหรับป้องกันการแข็งตัวของน้ำในระบบเทอร์โมไซฟอน พบว่าถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย ความร้อนที่ผ่านออกมาจะสูงขึ้นเนื่องจากอัตราการไหลของน้ำผ่านแผงลดลง เพราะความหนืดที่เพิ่มขึ้น



## วิธีการศึกษาและการดำเนินงานวิจัย

### 3.1 รูปแบบการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ( Experimental Research)

### 3.2 สถานที่ทำการทดลอง

หมู่ที่ 4 ตำบลอ่างทอง อำเภอกะสุมย์ จังหวัดสุราษฎร์ธานี ซึ่งอยู่ระหว่างเส้นรุ้งที่ 9 องศา 30 ลิปดา เหนือ และเส้นแวงที่ 100 องศาตะวันออก

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 1. แผงรับแสงอาทิตย์

- แผ่นดูดแสง (Absorber Plate) ใช้แผ่นสังกะสี ขนาด 1x2 ตารางเมตร พ่นสีดำด้าน

- ท่อภายในแผง (Tube) ใช้ท่อทองแดงขนาด 1/2 นิ้ว ยาว 15 เมตร

- ฉนวนกันความร้อนใช้เกล็ด

#### 2. ท่อไหลเวียน (Circulation piping)

- ท่อ พีวีซี ขนาด 1/2 นิ้ว

- ฉนวนหุ้มท่อใช้แอโรฟลักหนา 3/8 นิ้ว

#### 3. ถังเก็บน้ำร้อน (Hot water storage tank)

- ใช้ถังน้ำมันขนาด 200 ลิตร

- ใช้ฉนวนกันความร้อน 3 ชนิด คือ แก้ว เกล็ด โฟมและโฟมโพลียูรีเทน

4. เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer) สำหรับวัดอุณหภูมิ

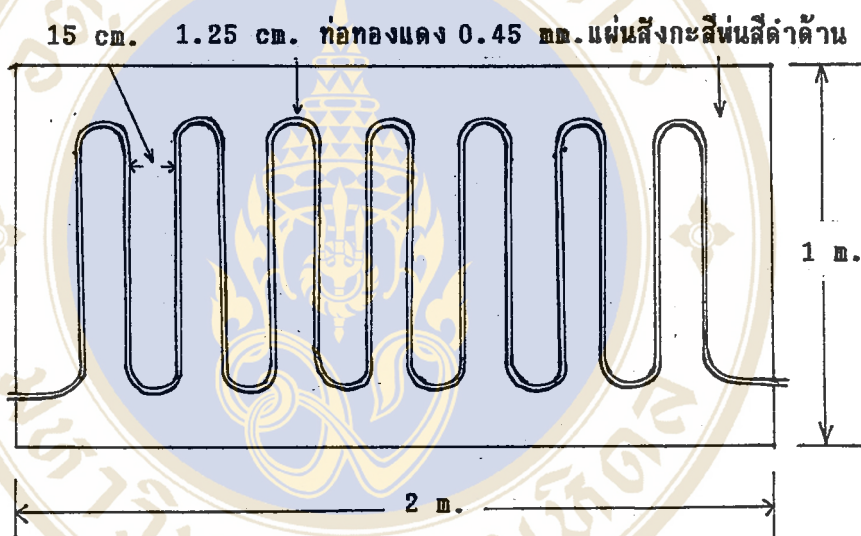
5. เครื่องมือวัดความเร็วลม (Anemometer)

### 3.4 การออกแบบ

1. แผงรับแสงอาทิตย์ แบบแผ่นเรียบ (Flat plate collector) เป็นแบบที่เลือกใช้ เนื่องจากสามารถรับแสงได้ดี ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย แผ่นดูดแสง (absorber plate) ใช้แผ่นสังกะสี (Zinc sheet) ความหนา 0.45 มิลลิเมตร ทาสีดำด้านหน้าพอประมาณ ท่อภายในแผง (Tube) ใช้ท่อทองแดงขนาด 1/2 นิ้ว ความยาว 15 เมตร งอขดไปขดมา ระยะระหว่างส่วนงอ 15 เซนติเมตร (เท่ากับอุปกรณ์ที่ใช้ในการงอและจากรายงานใน(8) สำหรับท่อทองแดงขนาด 1/2 นิ้ว ช่องว่างระหว่างท่อควรมีระยะห่าง 150-165 มม.จึงมีความเหมาะสมทางด้านประสิทธิภาพและต้นทุน) วางท่อทองแดงที่งอแล้วบนแผ่นสังกะสี แล้วยึดด้วยการเชื่อม ทำกล่องไม้ ขนาด 1 เมตร x 2 เมตร x 0.11 เมตร ด้านล่างกล่องบุฉนวนกันความร้อนโดยใช้ฉนวนหนา 5 เซนติเมตร ปิดด้านบนกล่องด้วยกระเบื้อง หนา 3 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.1 และตารางที่ 3.1



ก. ด้านตัดขวาง



ข. ด้านบน

รูปที่ 3.1 แผงรับแสงอาทิตย์

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของแผงรับแสงอาทิตย์.

| หัวข้อ                                   | รายละเอียด                            |
|------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. ความยาว                               | 2 เมตร                                |
| 2. ความกว้าง                             | 1 เมตร                                |
| 3. ความลึก                               | 11 เซนติเมตร                          |
| 4. ผิวหน้ารับแสง                         | 2 ตารางเมตร                           |
| 5. ฉนวนกันความร้อน                       | แอลบ 20 กิโลกรัม<br>หนา 5 เซนติเมตร   |
| 6. แผ่นดูดแสง                            | แผ่นสังกะสี หนา 0.45 มม.              |
| 7. ท่อภายในแผง                           | ท่อทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง<br>0.5 นิ้ว |
| 8. ส่วนปิดด้านบน                         | กระจกใสหนา 3 มิลลิเมตร                |
| 9. ช่องว่างระหว่างแผ่นดูดแสง<br>และกระจก | 5 เซนติเมตร                           |
| 10. กล่องบรรจุ                           | ไม้                                   |

## 2. ทำถังเก็บน้ำร้อน

2.1 ใช้ถังน้ำมัน ขนาด 200 ลิตร ล้างให้สะอาด 3 ถึง

2.2 บุณวนที่ทำจากโคมะพร้าวและแกลบ โดยวิธีที่ทากล่องไม้ แล้วบรรจุ  
ถังน้ำมันไว้ตรงกลาง สองถึงแรกให้เส้นโคมะพร้าว แกลบหนา 10 ซม.เป็นฉนวน และ  
หุ้มอีกถึง ด้วยไมโครไฟเบอร์หนา 2.5 ซม. รายละเอียดดังแสดงในภาพที่ 3.2 และ  
ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของถังสะสมความร้อน

| หัวข้อ              | รายละเอียด                                                               |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1. เส้นผ่าศูนย์กลาง | 55 เซนติเมตร                                                             |
| 2. ความสูง          | 80 เซนติเมตร                                                             |
| 3. ความจุ           | 209 ลิตร                                                                 |
| 4. วัสดุที่ใช้ทำ    | เหล็ก                                                                    |
| 5. วัสดุฉนวน        | -ไมโครไฟเบอร์ หนา25มม.<br>-แกลบ 25 กิโลกรัม<br>-เส้นโคมะพร้าว 25กิโลกรัม |
| 6. โครงข้างนอก      | ไม้                                                                      |



รูปที่ 3.2 ถังเก็บน้ำร้อน

|   |   |   |
|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|

- 1= ถังเก็บน้ำร้อนที่มีเส้นใยมะพร้าวเป็นฉนวน
- 2= ถังเก็บน้ำร้อนที่มีไมโครไฟเบอร์เป็นฉนวน
- 3= ถังเก็บน้ำร้อนที่มีแกลบลเป็นฉนวน

3. ท่อน้ำร้อนและท่อน้ำเย็นใช้ท่อ พีวีซี 1/2 นิ้ว หุ้มด้วย aeroflex  
หนา 3/8 นิ้ว ดังรายละเอียดในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของท่อน้ำไหลเวียน

| หัวข้อ            | รายละเอียด                          |
|-------------------|-------------------------------------|
| 1. ท่อน้ำไหลเวียน | ท่อพีวีซี เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 นิ้ว |
| 2. ฉนวน           | aeroflex หนา 3/8 นิ้ว               |

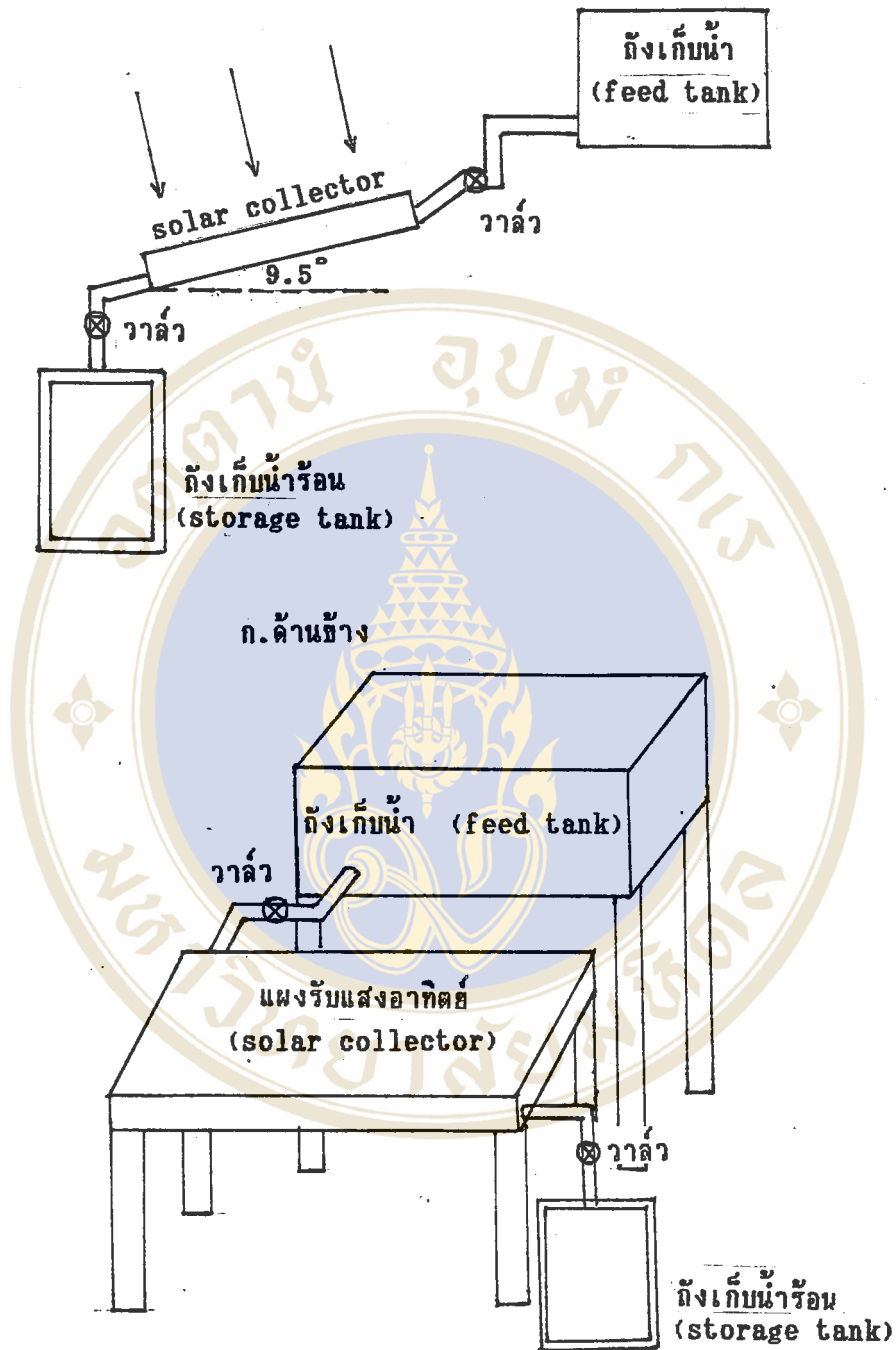
#### 4. การติดตั้ง

- ระบบที่ติดตั้งเป็นระบบเปิด (open loop system) แบบทางเดียว  
(single-pass solar water heating system)

- จัดแผงรับแสงอาทิตย์ จาก Yun Fei, 1987 (11) การติดตั้งแผงรับ  
แสงอาทิตย์ต้องทำมุมให้เหมาะสม โดย ถ้าจะให้ได้รับแสงสม่ำเสมอตลอดปี ให้เอียงเท่ากับ  
เส้นรุ้ง ถ้าจะให้รับแสงมากที่สุดตอนฤดูหนาว ต้องทำมุม เท่ากับเส้นรุ้ง + 15 องศา  
ถ้าจะให้รับแสงมากที่สุดฤดูร้อน ต้องทำมุมเท่ากับ เส้นรุ้ง - 15 องศา สำหรับกรณีศึกษา  
ครั้งนี้ให้มุมเอียงเท่ากับ 9.5 องศา เท่ากับเส้นรุ้งที่เกาะสมุย หันหน้าไปทางทิศใต้

- ต่อท่อน้ำไหลเวียน ระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์ กับถังสะสมความร้อน

- ติดตั้งถังเก็บน้ำร้อน



ข. ด้านบน

รูปที่ 3.3 ระบบการติดตั้ง

### 3.5 ทำการทดลอง

การทดลองนี้ได้แบ่งทดลองเป็น 2 ตอน คือ

ตอนที่ 1 ทดลองให้น้ำไหลผ่านแผงที่อัตราต่าง ๆ กัน การทดลองจะทำในวันที่ มีท้องฟ้าแจ่มใส ไม่มีเมฆปกคลุม

- วัดอุณหภูมิน้ำเย็นก่อนผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ บันทึกผลทุกชั่วโมง
- ให้น้ำไหลผ่านท่อทองแดงในแผงรับแสงอาทิตย์ที่อัตราต่างกัน 2 อัตรา ดังนี้ 30 และ 40 ลิตรต่อชั่วโมง
- วัดอุณหภูมิน้ำหลังจากผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ บันทึกผล
- จำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสงในแต่ละวัน 5 ชั่วโมง
- บันทึกอุณหภูมิภายนอก ( $T_a$ )
- บันทึกความเร็วลม (ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศเกาะสมุย) (พ)

ตอนที่ 2 ทดลองความสามารถในการเก็บความร้อนของถังเก็บน้ำร้อนเมื่อ ใช้งานที่เป็นเส้นใยจากเปลือกมะพร้าว แกลบ และไมโครไฟเบอร์

- ปรับอุณหภูมิน้ำร้อนตอนตั้งต้น เวลา 15.00 น. ในถังเก็บน้ำร้อน ทั้ง 3 ถัง ให้เท่ากับ 45 องศา (เป็นค่าอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองในตอนที่ 1)
- วัดอุณหภูมิน้ำในถัง เวลา 6.00 น. โดยวัดที่จุดบนสุด จุดกลางถึง และ จุดล่างสุด แล้วหาค่าเฉลี่ย

- วัดอุณหภูมิอากาศภายนอก (ambient temperature)

### 3.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.6.1 หาค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ (collector efficiency)

โดยใช้สมการที่ 2.2.7.2 ดังได้กล่าวในบทที่ 2

$$\eta_c = q_c / A_c I_T = m_c c (t_o - t_i) / A_c I_T$$

3.6.2 หาประสิทธิภาพของความร้อน (Thermal efficiency) ได้จาก  
สมการที่ 2.2.7.3 ดังได้กล่าวในบทที่ 2

$$\eta_{th} = \frac{M_{sp} \cdot c \cdot \Delta T}{A_c \cdot I_T}$$

3.6.3 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการเก็บน้ำร้อนของถังเก็บน้ำร้อนโดยใช้สูตร

$$P_{stor} = \frac{T_1 - T_2}{(T_1 + T_2)/2 - T_a}$$

เมื่อ  $P_{stor}$  = heat storage coefficient

$T_1$  = อุณหภูมิเริ่มต้น (°C)

$T_2$  = อุณหภูมิหลังจากทิ้งไว้ (°C)

$T_a$  = อุณหภูมิรอบข้าง (ambient temperature) (°C)

3.6.4 ค่าสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

- ค่าเฉลี่ย (mean)
- ศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (linear regression) ระหว่างประสิทธิภาพความร้อนของระบบ กับ  $(T_{pm} - T_a)/I_T$  แต่ละชั่วโมง ใช้เทคนิค least square methode มาช่วยพิศกราฟ แล้วหาค่า R square of linear regression
- หาค่าความแปรปรวนของอุณหภูมิน้ำที่เก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อนที่ใช้จำนวนกันความร้อนต่างชนิดกัน ถ้ามีความแตกต่างกันจะนำมาวิเคราะห์ด้วย Duncan's new multiple range test

### 3.7 ประเมินค่าทางเศรษฐกิจ โดยการวิเคราะห์

- ต้นทุนในการผลิต (initial cost)

ต้นทุนเริ่มแรก ,  $C_1$  สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$C_1 = C_u A + C_b b + C_v A$$

เมื่อ  $C_u$  คือ ค่าใช้จ่ายของแผงรับแสงต่อพื้นที่ (บาท)

$A$  คือ พื้นที่แผงรับแสง (ตารางเมตร)

$C_b$  คือ ค่าใช้จ่ายของถังสะสมความร้อนต่อปริมาตร (บาท)

$b$  คือ ปริมาตรของถังสะสมความร้อนต่อพื้นที่แผงรับแสง (ลิตร)

$C_v$  คือ ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ เช่น ค่าติดตั้ง (บาท)

- ค่าใช้จ่ายรายปี สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} C_u &= (C_u A + C_b b + C_v A) CRF + M \\ &= (C_1 * CRF) + M - S'(SFF) \end{aligned}$$

เมื่อ  $C_u$  คือ จำนวนเงินต่อหน่วยเวลา (บาท)

CRF คือ capital recovery factor

เท่ากับ  $i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$

$i$  คือ อัตราดอกเบี้ยต่อหน่วยเวลา

$n$  คือ จำนวนหน่วยเวลา (ปี)

$M$  คือ ค่าบำรุงรักษาต่อปี (บาท)

$S'$  คือ มูลค่าซากเมื่อหมดอายุการใช้งาน (บาท)

SFF คือ Sink fund factor

เท่ากับ  $i/((1+i)^n - 1)$

-ราคาพลังงานต่อหน่วย

ค่าใช้จ่ายรายปี(บาทต่อปี)หารด้วยปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้รับ (เมกะจูลหรือกิโลวัตต์ชั่วโมง)



## ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

### 4.1 ผลการศึกษา

ในการศึกษาได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ตอน คือ การทดลองปรับระดับน้ำให้ไหลผ่านแผงรับแสง 2 ระดับ คือ 30 และ 40 ลิตรต่อชั่วโมงเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของแผงรับแสง และการศึกษาประสิทธิภาพของฉนวนต่างชนิดกันในการเก็บความร้อนของถังเก็บน้ำร้อน

#### ตอนที่ 1

##### 4.1.1 การศึกษาประสิทธิภาพของแผงรับแสง (solar collector efficiency)

โดยการทดลองให้อัตราน้ำที่ไหลผ่านแผงรับรังสีที่อัตรา 30 และ 40 ลิตรต่อชั่วโมง ทำการทดลองในวันที่ท้องฟ้าแจ่มใส ในช่วงเวลาที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าสูง คือช่วงเวลา 10.00-15.00 น. จำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสง 5 ชั่วโมง บันทึกผลการทดลองทุก ๆ 1 ชั่วโมง ใช้เวลาในการทดลองแต่ละอัตรา 6 วัน โดยไม่มีการปล่อยน้ำไปใช้งานในระหว่างทำการทดลอง ข้อมูลที่ได้ตั้งแสดง ในตารางที่ 4.1 และนำมาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำร้อน

จากตารางที่ 4.1 อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ในเวลา 15.00 น. เมื่อให้อัตราการไหลผ่านแผง 30 ลิตรต่อชั่วโมงและ 40 ลิตรต่อชั่วโมง ไม่แตกต่างกันมากนัก อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ ประมาณ 40-45 องศาเซลเซียส จัดว่าไม่สูง แต่ก็อยู่ในระดับที่สามารถใช้ได้ในช่วงเย็น ซึ่งอาจเนื่องมาจากคุณภาพแผ่นดูดแสงยังมีคุณภาพไม่สูงพอ ทำให้การดูดพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ดี เมื่อเทียบกับแผ่นดูดแสงที่เคลือบสีดำแบบซีเลกทีฟ หรือการทำอโนไดซ์สีดำ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ที่ไม่แน่นอน แปรเปลี่ยนตลอดเวลา

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองให้น้ำไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ระดับ 30 ลิตรต่อชั่วโมง

และ 40 ลิตรต่อชั่วโมง

| วัน/เวลา | 10-11 น.       |                |                |                |      |                |    | 11-12 น.       |                |                |                |       |                |      | 12-13 น.       |                |                |                |      |                |      | 13-14 น.       |                |                |                |      |                |      | 14-15 น.       |                |                |                |   |                |  |  |
|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|----------------|----|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|----------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|------|----------------|------|----------------|----------------|----------------|----------------|---|----------------|--|--|
|          | T <sub>i</sub> | T <sub>o</sub> | T <sub>m</sub> | T <sub>a</sub> | W    | I <sub>r</sub> |    | T <sub>i</sub> | T <sub>o</sub> | T <sub>m</sub> | T <sub>a</sub> | W     | I <sub>r</sub> |      | T <sub>i</sub> | T <sub>o</sub> | T <sub>m</sub> | T <sub>a</sub> | W    | I <sub>r</sub> |      | T <sub>i</sub> | T <sub>o</sub> | T <sub>m</sub> | T <sub>a</sub> | W    | I <sub>r</sub> |      | T <sub>i</sub> | T <sub>o</sub> | T <sub>m</sub> | T <sub>a</sub> | W | I <sub>r</sub> |  |  |
| 30l/hr   |                |                |                |                |      |                |    |                |                |                |                |       |                |      |                |                |                |                |      |                |      |                |                |                |                |      |                |      |                |                |                |                |   |                |  |  |
| 14/4/35  | 30             | 49             | 47             | 31.5           | 0    | 470.4          | 30 | 48             | 47             | 31.5           | 0              | 737.5 | 30.547         | 45.5 | 31             | 0              | 2920           | 31             | 46   | 45             | 31   | 0              | 12079          | 30             | 45             | 44   | 31             | 0    | 13771          |                |                |                |   |                |  |  |
| 15/4/35  | 30             | 49             | 48             | 30.5           | 0    | 473.2          | 31 | 48             | 47             | 31.2           | 0              | 739.3 | 31             | 48   | 46             | 31.20          | 9934           | 30             | 47   | 46             | 30.8 | 0              | 12124          | 30             | 46.5           | 45   | 30             | 0    | 13808          |                |                |                |   |                |  |  |
| 17/4/35  | 30             | 49             | 47             | 31             | 0    | 456.9          | 30 | 48             | 46             | 31             | 0              | 722.6 | 31             | 47   | 45.5           | 31.70          | 9678           | 30             | 46   | 45             | 31   | 0              | 11796          | 30             | 44             | 43   | 30.2           | 0    | 13473          |                |                |                |   |                |  |  |
| 18/5/35  | 30             | 49             | 48             | 31             | 0    | 461.2          | 30 | 48             | 47             | 31             | 0              | 718.0 | 30             | 47   | 46             | 30.00          | 9650           | 30             | 46   | 45             | 31   | 0              | 11791          | 30             | 45             | 44   | 31             | 0    | 13440          |                |                |                |   |                |  |  |
| 19/5/35  | 30             | 47             | 46             | 30.7           | 27.7 | 460.8          | 30 | 47             | 45             | 31             | 25.9           | 717.9 | 30             | 46   | 44             | 31             | 0              | 9647           | 30   | 45             | 43.5 | 31             | 0              | 11790          | 30             | 44   | 42             | 31   | 0              | 13437          |                |                |   |                |  |  |
| 20/5/35  | 29             | 46             | 45             | 31.6           | 0    | 460.8          | 30 | 46             | 45             | 31.6           | 0              | 719.5 | 30             | 46   | 44             | 31.90          | 9662           | 30             | 45   | 43             | 31   | 0              | 11800          | 30             | 44             | 42   | 31.6           | 0    | 13452          |                |                |                |   |                |  |  |
| 40l/hr   |                |                |                |                |      |                |    |                |                |                |                |       |                |      |                |                |                |                |      |                |      |                |                |                |                |      |                |      |                |                |                |                |   |                |  |  |
| 18/4/35  | 29             | 46             | 45             | 31.7           | 34   | 470.6          | 30 | 46             | 45             | 32.2           | 247.3          | 300   | 30             | 46   | 44             | 32             | 179.8          | 21             | 30   | 46             | 43.5 | 32             | 161            | 200            | 30             | 44   | 42             | 32   | 0              | 13681          |                |                |   |                |  |  |
| 19/4/35  | 30             | 48             | 46             | 32.2           | 29   | 470.3          | 31 | 46             | 45             | 32.2           | 297.3          | 331   | 45.5           | 44   | 31.7           | 299.8          | 86             | 31             | 45   | 43             | 31.5 | 241            | 205            | 30             | 44             | 41.5 | 31.7           | 0    | 13730          |                |                |                |   |                |  |  |
| 20/4/35  | 30             | 49             | 46             | 33             | 22   | 452.1          | 31 | 47             | 45             | 33             | 177.1          | 131   | 47             | 44   | 32.5           | 179.6          | 77             | 31             | 47   | 44             | 31.7 | 171            | 169            | 31             | 45             | 43   | 31.7           | 17   | 13365          |                |                |                |   |                |  |  |
| 21/5/35  | 30             | 48             | 47             | 32             | 0    | 460.4          | 31 | 47             | 45.5           | 33.3           | 0              | 719.0 | 31             | 47   | 45             | 33             | 0              | 9657           | 30.5 | 46             | 44   | 32.5           | 0              | 11795          | 31             | 45   | 43.5           | 32.4 | 0              | 13443          |                |                |   |                |  |  |
| 22/5/35  | 30             | 45             | 44             | 30.2           | 17   | 460.2          | 30 | 45             | 44             | 30             | 177.1          | 186   | 30             | 45   | 43.5           | 30             | 0              | 9651           | 30   | 44             | 43   | 30             | 0              | 11790          | 29             | 44   | 42             | 30   | 0              | 13436          |                |                |   |                |  |  |
| 23/5/35  | 30             | 45             | 44             | 31             | 17   | 460.0          | 30 | 45             | 44             | 30.6           | 0              | 718.3 | 30             | 44   | 43             | 30.60          | 9648           | 30             | 44   | 42             | 30.6 | 0              | 11780          | 30             | 43             | 41   | 30.6           | 0    | 13430          |                |                |                |   |                |  |  |

- หมายเหตุ  $T_i =$  อุณหภูมิน้ำก่อนเข้าแผง ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_o =$  อุณหภูมิน้ำร้อนหลังจากผ่านแผง ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_m =$  อุณหภูมิน้ำร้อนในถังสะสมความร้อนเฉลี่ย ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $T_a =$  อุณหภูมิอากาศรอบข้าง ( $^{\circ}\text{C}$ )
- $w =$  ความเร็วลม (กม./ชม.) (ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศเกาะสมุย)
- $I_T =$  ความเข้มแสงอาทิตย์ ( $\text{MJ}/\text{m}^2\text{h}$ ) (จากการคำนวณ) (7,25)



ประสิทธิภาพของแผงรับแสงสามารถหาได้จากข้อมูลในตารางที่ 4.1 และสมการหาประสิทธิภาพแผงรับแสงดังได้กล่าวในบทที่ 2 ค่าประสิทธิภาพแผงรับแสงดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์

| อัตราการใช้<br>(ลิตร/ชั่วโมง) | วันที่ทดลอง | ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ( $\text{MJ/m}^2\text{d}$ ) | ประสิทธิภาพแผงรับแสง (ร้อยละ) |
|-------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------|
| 30                            | 14/4/35     | 13.7709                                             | 38.07                         |
|                               | 15/4/35     | 13.8077                                             | 39.33                         |
|                               | 17/4/35     | 13.4727                                             | 38.68                         |
|                               | 18/5/35     | 13.4419                                             | 39.71                         |
|                               | 19/5/35     | 13.4375                                             | 36.44                         |
|                               | 20/5/35     | 13.4516                                             | 36.40                         |
| 40                            | 18/4/35     | 13.6811                                             | 48.34                         |
|                               | 19/4/35     | 13.7298                                             | 46.03                         |
|                               | 20/4/35     | 13.3649                                             | 50.73                         |
|                               | 21/5/35     | 13.4427                                             | 49.51                         |
|                               | 22/5/35     | 13.4364                                             | 46.09                         |
|                               | 23/5/35     | 13.4302                                             | 44.26                         |

(1) ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์ได้จากการคำนวณ (7, 25)

#### 4.1.2 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ (thermal efficiency) กับรังสีดวงอาทิตย์

การหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองในระหว่างทดลองไม่ได้มีการทดลองปล่อยน้ำไปใช้งาน และสมการหาประสิทธิภาพดังแสดงไว้ในบทที่ 2 ดังนี้

$$\eta_{th} = \frac{M_{w,p} \cdot c \cdot \Delta T}{A_c \cdot I_T}$$

และค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ (Thermal efficiency) ดังแสดงในตารางที่ 4.3

#### 4.1.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงความร้อนระบบกับอุณหภูมิน้ำร้อนในชุดรับรังสีและรังสีดวงอาทิตย์

ตัวแปรอิสระในการศึกษาคือ  $(T_1 + T_0) / T_0 \cdot I$

โดยที่  $T_1$  และ  $T_0$  เป็นอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่เข้าและออก ของชุดรับรังสี ในแต่ละวันของการทดลอง ค่าการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในตารางที่ 4.3 เป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงจาก 5 ชั่วโมงของแต่ละวัน

จากรูปที่ 4.1 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนของชุดรับรังสีเฉลี่ยแต่ละชั่วโมง กับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเฉลี่ยแต่ละชั่วโมง เส้นกราฟจะลดลงตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนของชุดรับรังสีสูง แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิน้ำร้อนของชุดรับรังสีสูงขึ้น ประสิทธิภาพของระบบจะลดลง เนื่องจากการสูญเสียอุณหภูมิความร้อนในชุดรับรังสีมากขึ้น

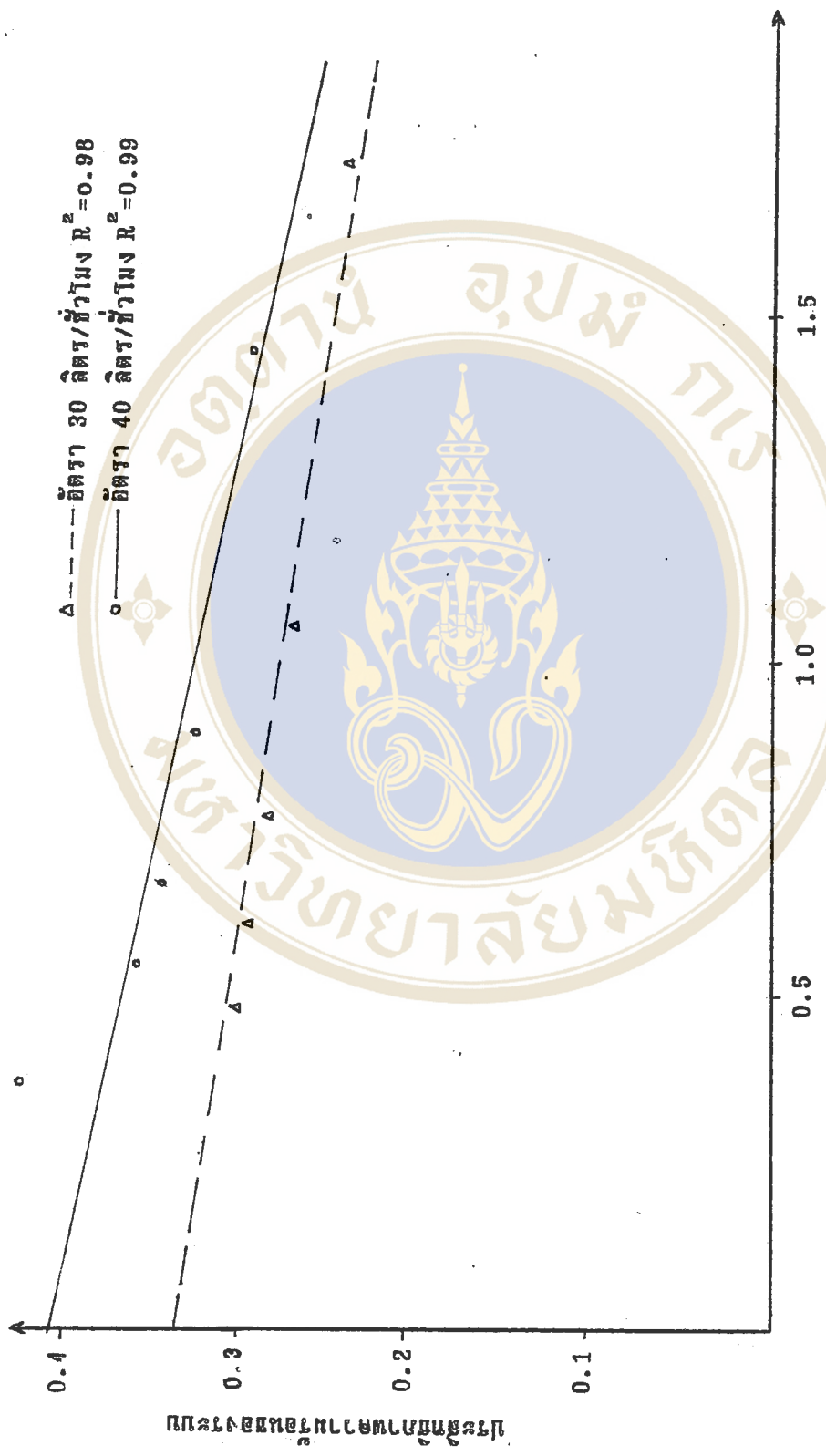
**ตารางที่ 4.3**    ค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนของชุดรับรังสี    กับประสิทธิภาพความร้อนของระบบ (thermal efficiency)

| อัตราการไหล<br>(ลิตร/ชั่วโมง) | วันที่ทดลอง | ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ( $\text{MJ/m}^2 \text{ d}$ ) | ประสิทธิภาพระบบ<br>(ร้อยละ) | $T_i + T_o / 2 - T_a / I_T$<br>( $^{\circ}\text{C m MJ}^{-1}$ ) |
|-------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 30                            | 14/4/35     | 13.7709                                               | 28.23                       | 0.918                                                           |
|                               | 15/4/35     | 13.8077                                               | 29.35                       | 1.017                                                           |
|                               | 17/4/35     | 13.4727                                               | 28.32                       | 0.964                                                           |
|                               | 18/5/35     | 13.4419                                               | 30.03                       | 0.9659                                                          |
|                               | 19/5/35     | 13.4375                                               | 26.44                       | 0.892                                                           |
|                               | 20/5/35     | 13.4516                                               | 26.19                       | 0.750                                                           |
| 40                            | 18/4/35     | 13.6811                                               | 34.6                        | 0.707                                                           |
|                               | 19/4/35     | 13.7298                                               | 32.36                       | 0.777                                                           |
|                               | 20/4/35     | 13.3649                                               | 34.17                       | 0.806                                                           |
|                               | 21/5/35     | 13.4427                                               | 35.67                       | 0.767                                                           |
|                               | 22/5/35     | 13.4364                                               | 34.13                       | 0.896                                                           |
|                               | 23/5/35     | 13.4302                                               | 32.07                       | 0.8025                                                          |

**หมายเหตุ** -ค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิของน้ำร้อนของชุดรับรังสี    และค่าประสิทธิภาพ

ภาพระบบเป็นค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงของแต่ละวัน

-(1) ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์ได้จากการคำนวณ (7,25)



ค่าการเปลี่ยนแปลงระหว่างเอนทัลปีน้ำร้อนในชุดรับรังสีกับความเพิ่มแสงอาทิตย์ (°C ๓ MJ<sup>-1</sup>)

ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบกับอุณหภูมิ

ร้อนเฉลี่ยในชุดรับรังสี

## ตอนที่ 2

## 4.1.4 การเปรียบเทียบการเก็บน้ำร้อนของถังเก็บน้ำร้อนเมื่อใช้วัสดุฉนวน

## ต่างชนิดกัน

(1) ในการทดลองเพื่อหาความสามารถในการเก็บน้ำร้อนของถังเก็บน้ำร้อนเมื่อใช้วัสดุฉนวนต่างชนิดกัน 3 ชนิด คือ ไมโครไฟเบอร์ เส้นใยมะพร้าว และแกลบ ซึ่งไมโครไฟเบอร์เป็นวัสดุที่นิยมใช้กัน และสามารถนำมาใช้ได้สะดวก ส่วนแกลบและเส้นใยมะพร้าว เป็นวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตร สามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น การวัดอุณหภูมิ น้ำร้อนและอุณหภูมิอากาศรอบข้าง (ambient temperature) ไม่สามารถทำการวัดได้ตลอดช่วงกลางคืน ดังนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำร้อนและอุณหภูมิอากาศรอบข้างจึงเป็นค่าเฉลี่ยที่เวลา 15.00 น. และเวลา 06.00 น. ของวันรุ่งขึ้น ในการทดลองได้ทำการปรับอุณหภูมิของน้ำร้อนในถังให้สะสมความร้อนให้เท่ากันทั้ง 3 ถัง โดย ให้เท่ากับ 45 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15.00 น. ทำการทดลอง 3 วัน ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง และค่าสัมประสิทธิ์การเก็บความร้อน

| วันที่ทดลอง | ไมโครไฟเบอร์ |       |                      | เส้นใยมะพร้าว |       |                      | แกลบ  |       |                      | $T_a$ | W     |
|-------------|--------------|-------|----------------------|---------------|-------|----------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|
|             | $T_1$        | $T_2$ | $\rho_{\text{loss}}$ | $T_1$         | $T_2$ | $\rho_{\text{loss}}$ | $T_1$ | $T_2$ | $\rho_{\text{loss}}$ |       |       |
| 20/5/35     | 45           | 36    | 0.82                 | 45            | 35.5  | 0.89                 | 45    | 39.5  | 0.43                 | 29.58 | 0     |
| 21/5/35     | 45           | 36    | 0.78                 | 45            | 35    | 0.9                  | 45    | 38    | 0.56                 | 28.96 | 0     |
| 22/5/35     | 45           | 36.5  | 0.73                 | 45            | 36    | 0.79                 | 45    | 38.5  | 0.52                 | 29.16 | 6.68  |
| เฉลี่ย      | 45           | 36.2  | 0.777                | 45            | 35.5  | 0.86                 | 45    | 38.7  | 0.50                 | 29.23 | 2.226 |

หมายเหตุ  $T_1$  = อุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยที่เวลา 15.00 น. ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_2$  = อุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยที่เวลา 06.00 น. ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_m$  = อุณหภูมิรอบข้างเฉลี่ย ( $^{\circ}\text{C}$ )

$W$  = ความเร็วลมเฉลี่ย (กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

$P_{\text{storage}}$  = ค่าสัมประสิทธิ์การเก็บความร้อน (Heat storage coefficient)

$$= (T_1 - T_2) / (T_1 + T_2) / 2 - T_m$$

(2) เมื่อเปรียบเทียบหาความแตกต่างของวัสดุฉนวนทั้งสามชนิดว่าแตกต่างกันอย่างนัยสำคัญหรือไม่ โดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ที่เวลา 06.00 น. ใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely random design) ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.6 (วิธีการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข) ปรากฏว่าค่าเฉลี่ยดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $\alpha=0.01$ )

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

| Source of variation | df | Sum of squares | Mean square | F       |
|---------------------|----|----------------|-------------|---------|
| Treatment           | 2  | 16.763         | 8.3815      | 27.39** |
| Error               | 6  | 1.837          | 0.306       |         |
| Total               | 8  | 18.6           |             |         |

\*\* significance at 0.01

(3) ส่วนการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ของทรีทเมนต์โดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test ผลการวิเคราะห์ที่แสดงในตารางที่ 4.7 (วิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวก ข) ปรากฏว่า ค่าเฉลี่ยระหว่างกลบกับไมโครไฟเบอร์ และระหว่างกลบกับเส้นใยมะพร้าวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $\alpha=0.01$ ) ส่วนไมโครไฟเบอร์กับเส้นใยมะพร้าวแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ ( $\alpha=0.01$ )

ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's New Multiple Range Test

(หน่วย: °C)

|       | $X_1$ | $X_2$  | $X_3$   |
|-------|-------|--------|---------|
|       | 35.5  | 36.167 | 38.67   |
| $X_1$ | —     | 0.667  | 3.17**  |
| $X_2$ | —     | —      | 2.503** |
| $X_3$ | —     | —      | —       |

\*\* significance at 0.01

## 4.2 การประเมินค่าทางเศรษฐกิจ

การพิจารณาเปรียบเทียบความเหมาะสมในการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนจำเป็นจะต้องใช้การประเมินค่าทางเศรษฐกิจ เพื่อประกอบการพิจารณา ซึ่งหาได้จากข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบ และวิเคราะห์ถึงราคาของพลังงานที่ระบบทำได้ ทั้งนี้ขึ้นกับราคาของวัสดุที่นำมาใช้ในการลงทุน การติดตั้ง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา และอายุการใช้งาน ดังนี้

### 4.2.1 การหาปริมาณความร้อนเฉลี่ยของระบบ

ในการหาปริมาณความร้อนเฉลี่ยของระบบจำเป็นต้องหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนเฉลี่ยของระบบ โดยคิดจากอุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้เฉลี่ยในช่วงเวลาที่ทำการศึกษา 12 วัน ในระหว่างเดือนเมษายน-พฤษภาคม อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้เฉลี่ย 42.745 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิบรรยากาศเฉลี่ย 31.315 องศาเซลเซียส จากค่าที่กำหนดไว้จะได้ค่าประสิทธิภาพเชิงความร้อนระบบเฉลี่ยดังนี้

ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงดวงอาทิตย์เฉลี่ย =  $13.535 \text{ MJ/m}^2$  (เป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลา 10.00-15.00 น. จำนวนชั่วโมงที่ได้รับแสง 5 ชั่วโมงซึ่งเป็นเวลาที่ระบบทำงาน ในวันที่ทำการทดลอง)

$$\begin{aligned} \text{จาก } T_m - T_u / I &= (42.745 - 31.315) / 13.535 \text{ } ^\circ\text{C m}^2/\text{MJ} \\ &= 0.84 \text{ } ^\circ\text{C m}^2/\text{MJ} \end{aligned}$$

ค่าที่หาได้นำไปหาค่าประสิทธิภาพระบบเฉลี่ย ตามรูปที่ 4.1 ได้ดังนี้

ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพระบบ

- เมื่อ น้ำ 150 ลิตร (อัตราการไหลของน้ำ 30 ลิตร/ชั่วโมง) = 0.28567

- เมื่อ น้ำ 200 ลิตร (อัตราการไหลของน้ำ 40 ลิตร/ชั่วโมง) = 0.33368

ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับ = ประสิทธิภาพความร้อนของระบบ x ความเข้ม

แสงที่ได้รับ x จำนวนวันที่ใช้งาน x พื้นที่แผงรับแสง

ดังนั้น - เมื่อระดับอัตราการไหลของน้ำ 30 ลิตรต่อชั่วโมง

ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับ =  $0.28567 \times 13.535 \times 2 \text{ MJd}^{-1}$

=  $7.73 \text{ MJd}^{-1}$

=  $2.15 \text{ Kw-h}$

ปริมาณความร้อนที่ได้รับทั้งหมดใน 1 ปี เมื่อจำนวนวันใช้งาน 250 วัน

=  $250 \times 2.15 = 537.5 \text{ Kw-h}$

เมื่อเปรียบเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้า กำหนดให้มีประสิทธิ

ภาพ 70%

พลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้ =  $7.73 \times 100/70 \text{ MJd}^{-1}$

=  $11.05 \text{ MJd}^{-1}$

=  $3.07 \text{ Kw-h}$

จากค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน (ภาคผนวกข) สามารถคำนวณค่าไฟฟ้าได้ =  $112.86$  บาทต่อเดือน

=  $3.76$  บาทต่อวัน

- เมื่อระดับอัตราการไหลของน้ำ 40 ลิตรต่อชั่วโมง

ปริมาณความร้อนทั้งหมดที่ได้รับ =  $0.33368 \times 13.535 \times 2 \text{ MJd}^{-1}$

=  $9.03 \text{ MJd}^{-1}$

=  $2.51 \text{ Kw-h}$

ปริมาณความร้อนที่ได้รับทั้งหมดใน 1 ปี เมื่อจำนวนวันใช้งาน 250 วัน

=  $250 \times 3.58 = 895 \text{ Kw-h}$

เมื่อเปรียบเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยเครื่องทำน้ำร้อนไฟฟ้า กำหนดให้มีประสิทธิภาพ

ภาพ 70%

$$\begin{aligned}\text{พลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้} &= 9.03 \times 100/70 \text{ MJd}^{-1} \\ &= 12.90 \text{ MJd}^{-1} \\ &= 3.58 \text{ Kw-h}\end{aligned}$$

จากค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน(ภาคผนวกข)สามารถคำนวณค่าไฟฟ้าได้ =148.05 บาทต่อเดือน  
= 4.94 บาทต่อวัน

จากการศึกษาเห็นได้ว่าที่ระดับการไหล 40 ลิตรต่อชั่วโมง ให้ปริมาณน้ำร้อน 200 ลิตรต่อวันให้ปริมาณความร้อนได้มากกว่าที่ระดับการไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมง และให้ราคาพลังงานที่ต่ำกว่าด้วย ถึงแม้ว่าที่ระดับการไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมงให้อุณหภูมิน้ำร้อนสูงกว่า ดังนั้นในการใช้งานควรปรับระดับการไหลให้เท่ากับ 40 ลิตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ตามความเหมาะสมกับจำนวนความต้องการใช้น้ำร้อนต่อวันด้วย



#### 4.2.2 ราคาต้นทุนของวัสดุอุปกรณ์ในการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสง

##### อาทิตย์

การหาค่าอุปกรณ์ และวัสดุในการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนโดยคิดตามราคาซื้อขายโดยทั่วไป จากการสร้างและประกอบสร้าง แบบประมาณราคาได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ราคาต้นทุนในการสร้างเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

|                            | ขนาด                    | ราคา (บาท)   |               |             |
|----------------------------|-------------------------|--------------|---------------|-------------|
|                            |                         | ไมโครไฟเบอร์ | เส้นใยมะพร้าว | แกลบ        |
| <b>ก. แผงรับแสงอาทิตย์</b> |                         |              |               |             |
| 1. แผ่นสังกะสี             | 1.2x2.4 ตารางเมตร       |              |               |             |
|                            | หนา 0.45 มิลลิเมตร      | 233          | 233           | 233         |
| 2. ท่อทองแดง               | เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว |              |               |             |
|                            | ยาว 15 เมตร             | 460          | 460           | 460         |
| 3. สีสาด้าน                | 4 กระป๋อง               | 180          | 180           | 180         |
| 4. กล่องใส่แผ่นดูดรังสี    | 1 x 2 ตารางเมตร         | 200          | 200           | 200         |
| 5. ค่าวัสดุประกอบสร้าง     | -                       | 100          | 100           | 100         |
| 6. ฉนวนใต้แผ่นดูดแสง       |                         |              |               |             |
| - แกลบ                     | 20 กิโลกรัม             | -            | -             | -           |
|                            |                         | <u>1173</u>  | <u>1173</u>   | <u>1173</u> |

(ตารางที่ 4.8 ต่อ)

|                         | ขนาด                    | ราคา (บาท)   |               |             |
|-------------------------|-------------------------|--------------|---------------|-------------|
|                         |                         | ไมโครไฟเบอร์ | เส้นใยมะพร้าว | แกลบ        |
| ข. ถังเก็บน้ำร้อน       |                         |              |               |             |
| 7. ถังน้ำมัน            | 209 ลิตร                | 350          | 350           | 350         |
| 8. ฉนวน                 | หนา 1 นิ้ว              | 200          | -             | -           |
| 9. โครงไม้ด้านนอกถัง    | -                       | -            | 200           | 200         |
| 10. พลาสติกหุ้ม         | -                       | 100          | -             | -           |
| 11. วัสดุประกอบสร้าง    | -                       | <u>100</u>   | <u>100</u>    | <u>100</u>  |
|                         | -                       | <u>750</u>   | <u>650</u>    | <u>650</u>  |
| ค. ท่อน้ำร้อนท่อน้ำเย็น |                         |              |               |             |
| 12. ท่อพีวีซี           | เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว | 300          | 300           | 300         |
| 13. วาล์ว               | -                       | 100          | 100           | 100         |
| 14. ค่าวัสดุประกอบสร้าง | -                       | 100          | 100           | 100         |
| 15. ฉนวนหุ้มท่อน้ำร้อน  |                         |              |               |             |
| (แอร์โรฟลอก)            | หนา 3/8 นิ้ว            | <u>100</u>   | <u>100</u>    | <u>100</u>  |
|                         |                         | <u>600</u>   | <u>600</u>    | <u>600</u>  |
| รวมทั้งหมด              |                         | <u>2523</u>  | <u>2423</u>   | <u>2423</u> |
| ค่าแรง (ประมาณ)         |                         | <u>1400</u>  | <u>1400</u>   | <u>1400</u> |
| รวมราคาทั้งหมด          |                         | <u>3923</u>  | <u>3823</u>   | <u>3823</u> |

|                                |     |          |
|--------------------------------|-----|----------|
| ราคาวัสดุเมื่อหมดอายุการใช้งาน | 0   | บาท      |
| ค่าบำรุงรักษาต่อปีคิดโดยเฉลี่ย | 100 | บาทต่อปี |

#### 4.2.2 การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจโดยวิธีหาดัชนีทุนรายปี

จากสมการการวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจโดยวิธีการหาดัชนีทุนรายปี

$$C_u = C_1 \text{ (CRF)}$$

$$S = S' \text{ (SFF)}$$

เมื่อ  $C_u$  = จำนวนเงินต่อหน่วยเวลา

$C_1$  = เงินต้นปัจจุบัน

$S'$  = จำนวนเงินวัสดุเมื่อหมดอายุการใช้งาน

$i$  = อัตราดอกเบี้ยต่อหน่วยเวลา คิดร้อยละ 12

$n$  = จำนวนหน่วยเวลาใช้งาน ใช้เวลา 5 ปี

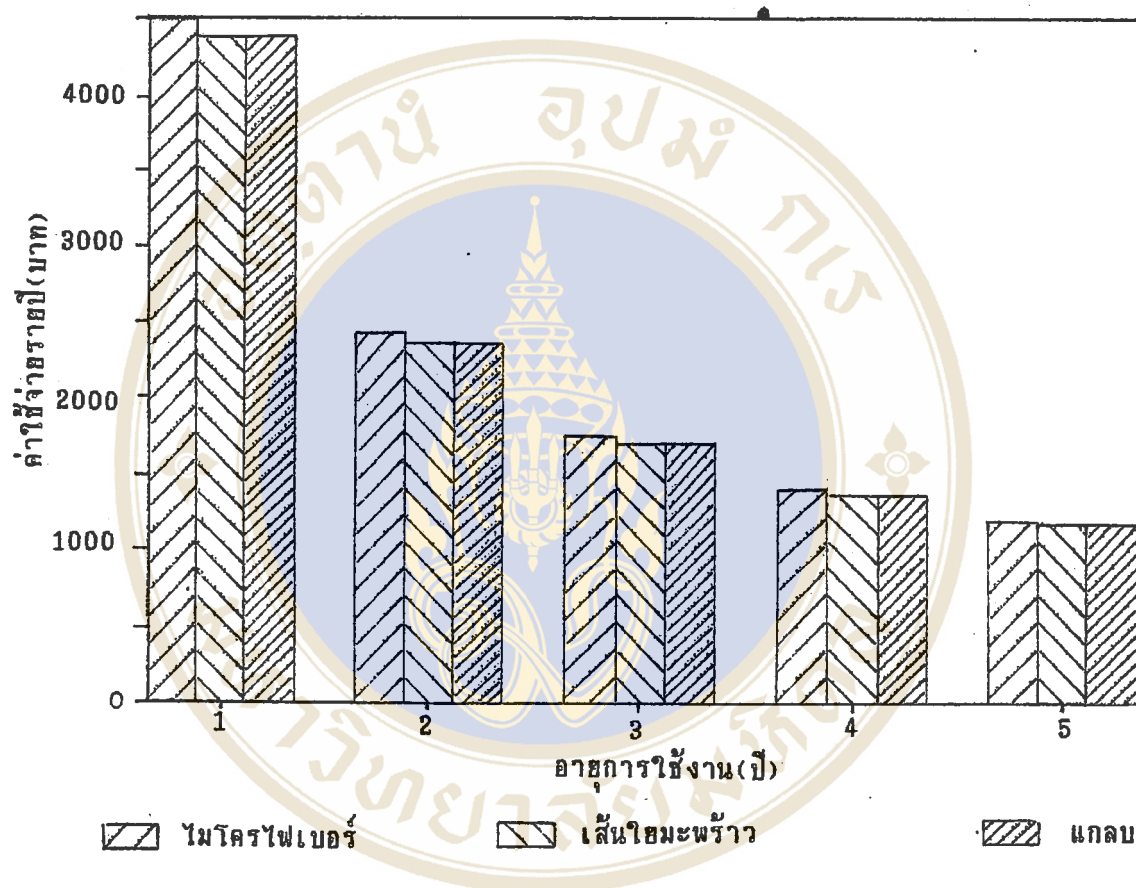
CRF = Capital recovery factor

SFF = Sinking fund factor

**ตาราง 4.9**    ค่าใช้จ่ายรายปี    และอายุการใช้งาน

| อายุการใช้งาน(ปี) | ค่าใช้จ่ายรายปี (บาท) |               |         |
|-------------------|-----------------------|---------------|---------|
|                   | ไมโครไฟเบอร์          | เส้นใยมะพร้าว | แกลบ    |
| 1                 | 4493.76               | 4381.76       | 4381.76 |
| 2                 | 2421.24               | 2362.06       | 2362.06 |
| 3                 | 1733.34               | 1691.70       | 1691.70 |
| 4                 | 1391.59               | 1358.66       | 1358.66 |
| 5                 | 1186.67               | 1158.97       | 1158.97 |

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายรายปีลดลงเมื่ออายุการใช้งานมากขึ้น ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 อายุการใช้งานและค่าใช้จ่ายรายปี

จากการทดลองในตอน ที่ 2 ถึงเก็บน้ำร้อนที่มีแกลบเป็นฉนวนสามารถเก็บความร้อนได้ดีที่สุด ดังนั้นจึงใช้ระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีแกลบเป็นวัสดุฉนวนหุ้มถังเก็บน้ำร้อนเป็นหลักในการหาราคาพลังงานต่อหน่วยต่ออายุการใช้งานได้ดังตารางที่ 4.10

**ตาราง 4.10 อายุการใช้งาน และราคาพลังงาน**  
(จำนวนวันใช้งาน 250 วัน)

| อายุการใช้<br>งาน(ปี) | ราคาพลังงาน (บาท/kwh) |            |
|-----------------------|-----------------------|------------|
|                       | แกลบ                  |            |
|                       | น้ำ150ลิตร            | น้ำ200ลิตร |
| 1                     | 8.16                  | 6.99       |
| 2                     | 4.40                  | 3.76       |
| 3                     | 3.15                  | 2.70       |
| 4                     | 2.53                  | 2.16       |
| 5                     | 2.16                  | 1.85       |

หมายเหตุ น้ำ 150 ลิตร หมายถึงอัตราน้ำไหลผ่านแผงรับความร้อน 30 ลิตรต่อชั่วโมง

น้ำ 200 ลิตร หมายถึงอัตราน้ำไหลผ่านแผงรับความร้อน 40 ลิตรต่อชั่วโมง

จากตารางที่ 4.10ราคาพลังงานต่อหน่วยของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะมีราคาต่ำลงเมื่ออายุการใช้งานมากขึ้น ตามการลดลงของค่าใช้จ่ายรายปีที่ลดลงตามอายุการใช้งาน

### 4.3 การอภิปรายผล

1. อุณหภูมิน้ำร้อนที่ได้ในเวลา 15.00 น. เมื่ออัตราการไหลของน้ำผ่านแผงรับแสง 30 ลิตรต่อชั่วโมง และ 40 ลิตรต่อชั่วโมง ประมาณ 40-45 องศาเซลเซียส จัดว่าไม่สูง แต่ก็อยู่ในระดับที่สามารถใช้ได้ในช่วงเย็น ซึ่งอาจเนื่องมาจากคุณภาพแผ่นดูดแสงยังมีคุณภาพไม่สูงพอ ทำให้การดูดพลังงานแสงอาทิตย์ไม่ดี เมื่อเทียบกับแผ่นดูดแสงที่เคลือบสีดำแบบซีเลกทีฟ หรือการทำไอโซดสีดำ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์ที่ไม่แน่นอน แปรเปลี่ยนตลอดเวลา เช่นมีร่มเงา มีเมฆบัง เป็นต้น

2. ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดลองสร้างระบบแบบเปลี่ยน (แบบที่ไม่มีฉนวนด้านล่างและและกระจกปิดด้านหน้า) พบว่าจะได้น้ำร้อนในช่วงแรก เนื่องจากแผงรับแสงอาทิตย์รับรังสีแสงอาทิตย์มาสะสมไว้ก่อน แล้วถ่ายเทความร้อนให้น้ำทำในท่อแต่เมื่อเวลาผ่านไป 1-2 ชั่วโมงอุณหภูมิที่ได้ต่ำมากเกือบเท่ากับอุณหภูมิอากาศรอบข้าง เนื่องจากการสูญเสียความร้อนสูงมาก ทั้งทางด้านบนด้านล่าง และด้านข้าง และถ้าในบริเวณที่ติดตั้งแผงมีความเร็วลมสูง การสูญเสียความร้อนก็จะสูงขึ้น จึงต้องมีฉนวนปิดทางด้านข้าง และด้านล่าง เพื่อลดการสูญเสียความร้อน

3. การเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นวัสดุฉนวนระหว่างไมโครไฟเบอร์ เส้นใยมะพร้าว และแกลบ พบว่าแกลบมีความสามารถในการเป็นวัสดุฉนวนได้ดีที่สุด เส้นใยมะพร้าวและไมโครไฟเบอร์มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องมาจากคุณสมบัติที่ต่างกัน ความหนาแน่นและช่องว่างระหว่างฉนวนทำให้แกลบมีความสามารถในการเป็นฉนวนดีกว่าเส้นใยมะพร้าวและไมโครไฟเบอร์ แต่ในกรณีของไมโครไฟเบอร์นั้นถ้าเพิ่มความหนาให้มากขึ้นคุณสมบัติในการเป็นฉนวนน่าจะสูงกว่านี้

4. การใช้วัสดุฉนวนที่เป็นแกลบและเส้นใยมะพร้าวจะต้อง คำนึงถึงอายุการใช้งานที่สั้น อันตรายที่อาจเกิดจากสัตว์ และการเกิดเชื้อรา จึงควรมีการป้องกันกันก่อนที่จะ

จะนำมาใช้ และต้องให้อยู่ในสภาพที่แห้งด้วย ส่วนการใช้ไมโครไฟเบอร์จะมีข้อดีคือ น้ำหนักเบา สามารถใช้งานได้สะดวก ซ่อมแซมง่าย เปลี่ยนง่าย และความหนาสม่ำเสมอ

5. ราคาระบบที่ต่ำ ค่าประสิทธิภาพระบบที่ได้ก็จะต่ำด้วย เมื่อเทียบกับระบบที่ใช้ทั่วไป ที่มีกระแสปิด 1 ขึ้น มีการหมุนเวียนน้ำในระบบแบบเทอร์โมไซฟอน หรือแบบบังคับ (14, 16) ประสิทธิภาพระบบน่าจะสูงกว่าร้อยละ 50 ซึ่งจะทำให้ราคาพลังงานต่ำลง และระยะเวลาคืนทุนสั้นลงด้วย

6. ปัญหาและอุปสรรคในการทดลองครั้งนี้ที่ทำให้ผลการทดลองไม่ได้ผลเท่าที่ควรเนื่องจาก ความไม่แน่นอนของความเข้มแสงอาทิตย์ ขาดเครื่องมือวัดที่แน่นอนในการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ และความเร็วลมเหนือแผงรับแสงอาทิตย์

## สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการศึกษา

ระบบการผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วยระบบย่อยหลักคือ แผงรับแสงอาทิตย์ และถังเก็บน้ำร้อน แผงรับแสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน และเก็บไว้ในถังเก็บในรูปของน้ำร้อน ระดับอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ผลิตและเก็บไว้ในถังเก็บขึ้นกับความต้องการของผู้ใช้ และอัตราน้ำร้อนที่ผลิตได้ไปใช้ ซึ่งผลการศึกษาการประยุกต์เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ในครัวเรือนสามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

(1) อุณหภูมิน้ำที่ได้อยู่ในระหว่าง 40-45 องศาเซลเซียส ที่ระดับการไหล 30 ลิตรต่อชั่วโมง ให้อุณหภูมิสูงกว่าที่ระดับ 40 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งถ้าต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่านี้ หรือในวันที่ฝนตก ท้องฟ้าสลับ หรืออุณหภูมิที่ได้ต่ำมาก จำเป็นต้องใช้พลังงานความร้อนเสริมเข้าช่วย

(2) ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์เมื่อทดลองให้อัตราน้ำที่ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ 30 ลิตรต่อชั่วโมง เท่ากับ ร้อยละ 38.10

ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์เมื่อทดลองให้อัตราน้ำที่ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ 30 ลิตรต่อชั่วโมง เท่ากับ ร้อยละ 47.49

(3) ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเมื่อทดลองให้อัตราน้ำที่ไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ 30 ลิตรต่อชั่วโมง เท่ากับ ร้อยละ 28.09

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเมื่อทดลองให้อัตราน้ำที่ไหลผ่าน  
แผงรับแสงอาทิตย์ 30 ลิตรต่อชั่วโมง เท่ากับ ร้อยละ 33.83

(4) การเปรียบเทียบความสามารถในการเป็นวัสดุฉนวนหุ้มถึงสะสมความร้อนระหว่างไมโครไฟเบอร์ เส้นใยมะพร้าว และ แกลบพบว่าแกลบสามารถเป็นวัสดุฉนวนได้ดีกว่าไมโครไฟเบอร์และเส้นใยมะพร้าวอย่างมีนัยสำคัญ ( $\alpha=0.01$ ) ส่วนเส้นใยมะพร้าว กับไมโครไฟเบอร์ มีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญกับไมโครไฟเบอร์ ( $\alpha=0.01$ ) ระบบที่มีแกลบเป็นวัสดุฉนวนหุ้มถึงเก็บน้ำร้อนจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้งาน ซึ่งนอกจากสามารถเป็นวัสดุฉนวนที่ดีแล้ว ยังเป็นฉนวนที่ไม่ต้องเสียเงินซื้อหรืออาจซื้อในราคาที่ไม่สูงมากนัก

(5) ต้นทุนในการผลิตต่ำ โดยเมื่อใช้ไมโครไฟเบอร์หุ้มถึงเก็บน้ำร้อนราคาทั้งระบบประมาณ 3923 บาท และเมื่อใช้เส้นใยมะพร้าวและแกลบเป็นฉนวนหุ้มถึงเก็บน้ำร้อนราคาเท่ากัน คือ ราคาประมาณ 3823 บาท

เมื่อเปรียบเทียบการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์กับการใช้พลังงานชนิดอื่นก็นับว่าน่าลงทุนเนื่องจากไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อพลังงาน แม้ว่าในการศึกษารั้งนี้ผลการศึกษาไม่ดีเท่าที่ควร แต่ขุมภูมิน้ำที่ได้ก็อุ่นพอที่จะใช้อาบได้ เป็นการลดการใช้พลังงานสิ้นเปลืองเช่น ไม้ ฟืน ถ่าน ไฟฟ้า และเป็นพลังงานที่สะอาด นอกจากนี้ยังการใช้เทคโนโลยีที่ไม่สูงมาก ราคาถูก สามารถสร้างใช้ได้เองในท้องถิ่น

## 5.2 ข้อเสนอนะ

- (1) แกลบให้ประสิทธิภาพในการเป็นฉนวนได้ดีดังนั้นจึงน่าจะนำไปใช้เป็นฉนวนความร้อน ความชื้นสำหรับงานชนิดอื่นได้
- (2) การนำเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ระบบนี้ไปใช้งานจะต้องมีการปรับปรุงระบบให้สมบูรณ์มากกว่านี้ ให้มีประสิทธิภาพสูงกว่านี้ เช่นการเพิ่มชุดท่อทองแดงมากขึ้น การเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลือบสีดำที่ผิวแผ่นดูดแสง
- (3) ควรพัฒนาระบบการทำงานของระบบให้ เป็นไปโดยอัตโนมัติหรือบังคับในตัว (self regulating) น้ำเต็มเข้าระบบเองเมื่อใช้งาน ซึ่งจะทำให้การจ่ายน้ำเป็นไปอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่ใช้ และสะดวกกว่าการใช้มือควบคุม
- (4) ค่าใช้จ่ายที่สำคัญของระบบคือท่อทองแดง ซึ่งมีราคาสูง อาจจะใช้วัสดุอื่นที่มีราคาถูกกว่าแทนก็ได้ เช่นท่อเหล็ก ท่ออลูมิเนียม เป็นต้น
- (5) การทดสอบทำในวันที่มีท้องฟ้าแจ่มใสจะได้ค่าที่ถูกต้อง
- (6) การวัดปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ควรติดตั้งไพราโนมิเตอร์ที่แผงรับแสงอาทิตย์เพื่อความถูกต้อง
- (7) วัสดุอื่น ๆ ที่สามารถทำเป็นฉนวนได้ สามารถหาได้ในท้องถิ่นน่าจะลองนำมาใช้ แต่ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติและราคาด้วย
- (8) การติดตั้งต้องระวังอย่าให้มีร่มเงาบัง เพราะจะทำให้ได้รับแสงน้อยลง

## บรรณานุกรม

1. ชมรมเครื่องกล . คณะวิศวกรรมศาสตร์ . พลังงานแสงอาทิตย์. กรุงเทพฯ :  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2523 : 72 หน้า
2. มานะศิลป์ พิมพ์สาร . ระบบน้ำร้อนในอาคาร. กรุงเทพฯ: บริษัทเอเซีย  
เพลส จำกัด , 2533: 361 หน้า
3. \_\_\_\_\_ . ร้อยพันปัญหาในงานก่อสร้าง . วิศวกรรมสาร 4 ปีที่ 4  
เล่มที่ 8 สิงหาคม 2534 กรุงเทพฯ.
4. สัมพันธ์ เสียงเสนาะ . ความจำเป็นและแนวความคิดการใช้พลังงานทดแทน  
วารสารเทคโนโลยีที่เหมาะสม. ปีที่ 9 ฉบับที่ 2 /2534 กรุงเทพฯ:สมา  
คมเทคโนโลยีที่เหมาะสม , หน้า 5-18.
5. มานิจ ทองประเสริฐ และศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การศึกษาตัวแปรที่เหมาะสม  
เพื่อใช้ในการออกแบบระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์. กรุงเทพฯ: การพลั  
งงานแห่งชาติ , 2527: หน้า 32-88
6. ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. การศึกษาและจำลองแบบหาสมรรถนะของสระ  
แสงอาทิตย์ชนิดคงเสถียรภาพด้วยเกลือ . วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหา  
บัณฑิต สาขาเครื่องกล , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2529 : หน้า 7-13
7. Agami,T, Reddy. The Design and sizing of active solar  
thermal systems.London:Oxford Science Publications ,1987:  
391 p.
8. Garg,H.P. ,Arun G,Joshi . Solar Heating System . India:D.Reidel  
Publishing Company , 1986:370 p.

9. Andreas Bachmann . Solar Water Heater in Napal . Napal,  
1978:55 p.
10. ไชยยศ สิริเพาประดิษฐ์. คำสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเนื่องจากลมเหนือ  
แผงรับแสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเครื่องกล  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2531 : หน้า 1-55.
11. YUN FEI . Comparitive Performance of Solar Thermal  
Collectors with built-in storage. Thesis for  
Degree of Master of Science Bangkok:Asian Institute  
Technology, 1987.
12. ทรงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. พลังงานนอกแบบและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ  
เล่มที่ 1 การแผ่รังสีดวงอาทิตย์และตัวรับรังสี. สถาบันเทคโนโลยีพระ  
จอมเกล้าธนบุรี, 2531:หน้า 3-2-3-8.
13. Suchart Chungpaibulpata Model for optimizing the solar plant  
storage tank volume in Thailand . Thesis for  
Degree of Master of Science Bangkok:Asian Institute  
Technology, 1981.
14. Somchart Soponronarit . Design and Testing of a  
domesting thermosyphon solar water heater . Bangkok:  
Kasetsart University, 1978 : 26 p.
15. Norton,B.and Edmonds,J.E.J . Aques propylene-glycol  
concentrations for the freeze protection of thermosyphon  
solar energy water heater.Solar energy vol.47 no. 5 USA :  
pp. 375- 382 .

16. Bart deuss. Zig Zag Collector manual on the construction of a solar water heater. Natherland ,1987:93 p.
17. Hawlader,M.N.A, M.S.,Uddinand Low Lng Siang. A PC base simulation and optimiziation program for domestic solar water heater. asean j. & technology for devolopment vol.7 no. 1 1990.
18. Eldighidy ,M, Shawki. Insulated solar storage tank. Solar energy Vol.47. No. 4 .1991 .USA: pp. 253-268.
19. MacArthur,J.R. How to build a solar water heater . Brace research institute , McGill university ,Canada 1979: 18 p.
20. จริฎ จันทลักขณา. สถิติวิเคราะห์และวางแผนการวิจัย กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์ ไทยวัฒนาพานิช, 2523.
21. Elbert, C.Lalbrop . The industrial utilization of rice hulls. In:Rice annul USA ,1952 :pp.69-73.
22. Herman ,M . Montenegro . Coconut oil and its by products . Journal of the American oil chemist'Society vol.62 No.2 USA,1985:pp.259-261.
23. ประวิทย์ ถิณะแก้ว. สมรรถภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบชุดรับรังสีแผ่นราบมีกระจก 2 ชั้น.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี การพลังงาน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2525.

24. วรณี อัครศิลป์ . การพัฒนาวิธีทดสอบระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานรังสีดวงอาทิตย์  
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการพลังงาน . สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2529.
25. Exell, R.H.B. Research Report No. 63. Renewable energy  
resources information. A.I.T., 1976.





ภาคผนวก ก

ตาราง 1.1 แสดงค่าเฉลี่ยของมุมที่เกิดระหว่างแนวต่อของศูนย์กลางโลกกับดวงอาทิตย์  
ทำกับระนาบศูนย์สูตร แต่ละฤดู (seasonal periods)

| Date   |          | Mean Solar Declination |        |
|--------|----------|------------------------|--------|
| Jan 14 | - Feb 26 | -15° 50'               | Spring |
| Feb 27 | - Apr 12 | 0°                     |        |
| Apr 13 | - May 28 | 15° 50'                | Summer |
| May 29 | - Jul 15 | 22° 47'                |        |
| Jul 16 | - Aug 31 | 15° 50'                | Autumn |
| Sep 1  | - Oct 15 | 0°                     |        |
| Oct 16 | - Nov 29 | -15° 50'               | Winter |
| Nov 30 | - Jan 13 | -22° 47'               |        |

ที่มา: Research Report No.63, A.I.T., 1976

ตาราง 1.2 แสดงค่าของแสงอาทิตย์ที่ได้จำนวนชั่วโมงต่อวันตลอดปี  
(Mean daily duration of sunshine (hd<sup>-1</sup>))

| Date            | Bandon(Surattani) | Bangkok | songkhla |
|-----------------|-------------------|---------|----------|
| Jan 14 - Feb 26 | 8.7               | 8.9     | 8.8      |
| Feb 27 - Apr 12 | 8.4               | 8.9     | 8.5      |
| Apr 13 - May 28 | 6.9               | 7.5     | 7.5      |
| May 29 - Jul 15 | 6.1               | 6.2     | 6.9      |
| Jul 16 - Aug 31 | 6.4               | 5.2     | 6.8      |
| Sep 1 - Oct 15  | 5.2               | 5.2     | 5.7      |
| Oct 16 - Nov 29 | 5.5               | 8.1     | 5.6      |
| Nov 30 - Jan 13 | 6.3               | 9.1     | 6.1      |

ที่มา: Research Report No.63, A.I.T.,1976

ตาราง 1.3 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดเฉลี่ย

(Global solar radiation ( $\text{cal cm}^{-2} \text{d}^{-1}$ ))

| Date            | Bandon(Surattani) | Bangkok | songkhla |
|-----------------|-------------------|---------|----------|
| Jan 14 - Feb 26 | 417               | 401     | 427      |
| Feb 27 - Apr 12 | 457               | 462     | 462      |
| Apr 13 - May 28 | 402               | 425     | 417      |
| May 29 - Jul 15 | 384               | 397     | 399      |
| Jul 16 - Aug 31 | 399               | 370     | 406      |
| Sep 1 - Oct 15  | 362               | 366     | 380      |
| Oct 16 - Nov 29 | 341               | 391     | 350      |
| Nov 30 - Jan 13 | 350               | 398     | 354      |

ที่มา: Research Report No.63, A.I.T.,1976

### ข.1 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของวิสดุณนทั้งสามชนิดว่าแตกต่างกัน  
อย่างนัยสำคัญหรือไม่ ใช้วิธีการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย หรือความแปรปรวน ใช้การวาง  
แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (completely random design) ซึ่งเป็นการวาง  
แผนการทดลองที่มีลักษณะง่าย ๆ และสะดวก แผนการทดลองนี้เหมาะกับกรณีที่มีสิ่ง  
ทดลองมีความแตกต่างกันน้อยมากหรือไม่มีเลย

#### ทดสอบสมมติฐาน

$$H_0 : \sigma_A^2 = \sigma_B^2 = \sigma_C^2$$

$$H_a : \sigma_A^2 \neq \sigma_B^2 \neq \sigma_C^2$$

เมื่อ A= ไมโครไฟเบอร์

B= เส้นใยมะพร้าว

C= แกลบ

**ตารางที่ 4.2.2** แสดงข้อมูลอุณหภูมิน้ำร้อนเฉลี่ยในถังที่เวลา 06.00 น. และ  
การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย

| ลำดับที่ (j) | ทรีทเมนต์ (i) |               |      | รวม |
|--------------|---------------|---------------|------|-----|
|              | ไมโครไฟเบอร์  | เส้นใยมะพร้าว | กลบ  |     |
| 1            | 36            | 35.5          | 39.5 |     |
| 2            | 36            | 35            | 38   |     |
| 3            | 36.5          | 36            | 38.5 |     |

| ลำดับที่ (j)                     | ทรีทเมนต์ (i) |               |         | รวม       |
|----------------------------------|---------------|---------------|---------|-----------|
|                                  | ไมโครไฟเบอร์  | เส้นใยมะพร้าว | กลบ     |           |
| $\Sigma x_{1j} = x_{1.}$         | 108.5         | 106.5         | 116     | 331       |
| $\Sigma x_{1j}^2$                | 3924.25       | 3781.25       | 4486.5  | 12192     |
| $x_{1.}^2 / r$                   | 3924.083      | 3780.75       | 4485.33 | 12190.163 |
| $\Sigma x_{1j}^2 - x_{1.}^2 / r$ | 0.167         | 0.5           | 1.17    | 1.833     |
| $\bar{x}_{1.}$                   | 36.167        | 35.5          | 38.67   | 110.337   |

### วิธีคำนวณ

$x_{i,j}$  เป็นค่าสังเกตที่  $j$  ในทรีทเมนต์ที่  $i$

$$i = 1, 2, 3 \quad j = 1, 2, 3$$

$x_{i.}$  เป็นผลรวมของทรีทเมนต์ที่  $i$

$$t = \text{จำนวนทรีทเมนต์} = 3$$

$$r = \text{จำนวนซ้ำในแต่ละทรีทเมนต์} = 3$$

1. คำนวณ  $CT = x^2 / rt = (\sum x_{i,j}^2) / rt =$  เทอมที่แก้แล้ว  
 $= 12173.4$

2. Total SS  $= \sum x_{i,j}^2 - CT$   
 $= 12192 - 12173.4 = 18.6$

3. Treatment SS  $= (x_{1.}^2 + x_{2.}^2 + x_{3.}^2) / r - CT$   
 $= 16.763$

หรือบางทีเรียก among group SS

4. ความคลาดเคลื่อน SS  $= \text{Total SS} - \text{treatment SS}$   
 $= 18.6 - 16.763 = 1.837$

ซึ่งบางทีเรียก within group SS หรือ residual SS

หรือค่าความคลาดเคลื่อน SS คำนวณได้จาก within treatment SS

แต่ละ component จะมีขั้นแห่งความอิสระ  $= (r-1) = 2$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นความคลาดเคลื่อน SS} &= \sum (\sum x_{i,j}^2 - x_{i.}^2 / r) \\ &= (3924.24 - 3924.083) + (3781.25 - 3780.75) + (4486.5 - 4485.33) \\ &= 1.837 \end{aligned}$$

ตารางที่ 4.2.2 ผลการวิเคราะห์ค่าเรียน

| Source of variation | df | Sum of squares | Mean square | F       |
|---------------------|----|----------------|-------------|---------|
| Treatment           | 2  | 16.763         | 8.3815      | 27.39** |
| Error               | 6  | 1.837          | 0.306       |         |
| Total               | 8  | 18.6           |             |         |

\*\* significance at 0.01

เมื่อ F-table ที่ 0.05 และ 0.01 เท่ากับ 5.14 และ 10.92 ตามลำดับ

## ข.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างคู่ที่รักษาด้วย Duncan's New Multiple Range Test

### วิธีคำนวณ

#### 1. คำนวณค่าของ

$$s_x = \sqrt{(\text{error mean square})/r} = \sqrt{0.306}$$

$$= 0.3911$$

| ค่า p            | 2     | 3    |
|------------------|-------|------|
| SSR ที่ 0.01%    | 5.24  | 5.51 |
| LSR=SSR( $s_x$ ) | 2.049 | 2.15 |

## 2. เรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากต่ำไปหาสูง

|       | ไมโครไฟเบอร์ | เส้นใยมะพร้าว | แกลบ  |
|-------|--------------|---------------|-------|
| X     | 36.167       | 35.5          | 38.67 |
| ลำดับ | (2)          | (1)           | (3)   |

## 3. ผลการเปรียบเทียบ

(หน่วย: °C)

|       | $X_1$ | $X_2$  | $X_3$   |
|-------|-------|--------|---------|
|       | 35.5  | 36.167 | 38.67   |
| $X_1$ | —     | 0.667  | 3.17**  |
| $X_2$ | —     | —      | 2.503** |
| $X_3$ | —     | —      | —       |

\*\* significance at 0.01

อัตราค่าไฟฟ้าในปัจจุบัน



อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับบ้านอยู่อาศัย

ประเภทที่ สำหรับการใช้ไฟฟ้า 150 หน่วย (kwh) / เดือน

รวมเดือนประกัน 5 แอมแปร์

|             |             |      |     |
|-------------|-------------|------|-----|
| 5           | หน่วยแรก    | 5    | บาท |
| 10          | หน่วยต่อมา  | 0.70 | บาท |
| 10          | หน่วยต่อมา  | 0.90 | บาท |
| 10          | หน่วยต่อมา  | 1.17 | บาท |
| 65          | หน่วยต่อมา  | 1.58 | บาท |
| 150         | หน่วยต่อมา  | 1.68 | บาท |
| 250         | หน่วยต่อมา  | 2.20 | บาท |
| มากกว่า 400 | หน่วยขึ้นไป | 2.53 | บาท |

ที่มา: ฝ่ายประชาสัมพันธ์การไฟฟ้า, กันยายน 2535