

การศึกษาสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์



นายฉวรรณ์ มาลาหอม

# สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

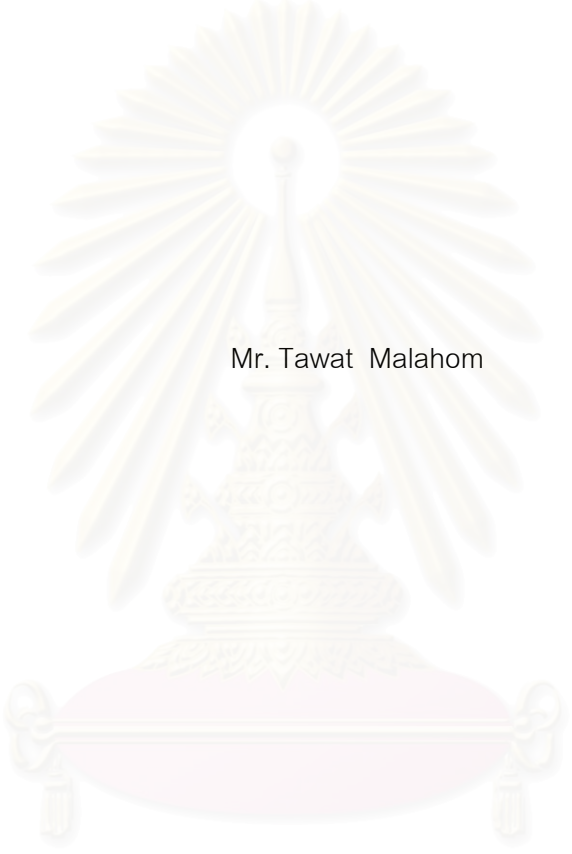
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2550

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF THE PERFORMANCE OF HEAT PIPE SOLAR COLLECTOR  
FOR HOT WATER SYSTEM



Mr. Tawat Malahom

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Mechanical Engineering  
Department of Mechanical Engineering  
Faculty of Engineering  
Chulalongkorn University  
Academic Year 2007  
Copyright of Chulalongkorn University

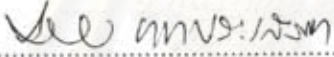
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การศึกษาสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์  
โดย                              นายธวัชวรรณ์ มาลาหอม  
สาขาวิชา                      วิศวกรรมเครื่องกล  
อาจารย์ที่ปรึกษา              รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ


---


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

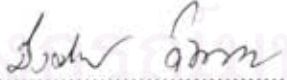
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. มานิจ ทองประเสริฐ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. พงษ์ธร จริญญาภรณ์)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล)

ธรรชนี มาลาหอม : การศึกษาสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบ  
 ฮีทไปป์.(A STUDY OF THE PERFORMANCE OF HEAT PIPE SOLAR COLLECTOR  
 FOR HOT WATER SYSTEM) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. วิทยา ยงเจริญ, 143 หน้า.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีท  
 ไปป์ ขนาด 1.1625 m<sup>2</sup> และถังเก็บน้ำร้อนหุ้มด้วยฉนวนโฟมขนาด 200 L บั้มหมุนเวียนน้ำร้อนและ  
 เครื่องควบคุมการทำงานปั้ม แผงรับแสงอาทิตย์วางหันหน้าไปทางทิศใต้ และวางทำมุม 35 องศา  
 กับแนวระดับ ระบบทำน้ำร้อนถูกติดตั้งอยู่บนคาตฟ้าของอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำ  
 เข้า และออกจากแผง อุณหภูมิอากาศภายนอก และความเร็วลม โดยการทดสอบจะเก็บข้อมูลทุกๆ  
 2 นาทีตั้งแต่เวลา 8.00-16.00 น. แล้วนำข้อมูลที่ได้อ้อมาคำนวณหาปริมาณความร้อนที่เก็บได้จากถัง  
 เก็บน้ำร้อนจาก  $Q = MC_p(T_r - T_i)$  และประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์  $\eta = Q \times 100 / S$   
 จากนั้นวิเคราะห์หาผลของพารามิเตอร์ต่อประสิทธิภาพ จากการวิเคราะห์จะได้ว่าประสิทธิภาพ  
 ของระบบขึ้นอยู่กับ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำเริ่มต้น อุณหภูมิเฉลี่ยสุดท้ายของ  
 น้ำในถังเก็บน้ำร้อน และ อุณหภูมิอากาศภายนอกตามสมการ

$$\eta = -20.615(T_i - T_r)/I + 0.4708$$

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  $R^2 = 0.32$  สำหรับช่วงที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ  
 จะอยู่ในช่วง 22 - 28 % น้ำร้อนมีพลังงานที่สะสมอยู่ในช่วง 3 - 6 MJ/day และสามารถทำน้ำร้อนได้  
 อุณหภูมิสูงถึง 45.4 °C อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29.5 °C

การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำโดยการใส่แผ่นสะท้อนแสงทำจากอลูมิเนียมฟอยล์  
 ซึ่งมีค่าการสะท้อนสูง สอดไว้ใต้แผงรับแสงอาทิตย์ เพื่อช่วยให้แผงรับแสงอาทิตย์ดูดซับแสงได้มาก  
 ขึ้น จากผลการทดสอบปรากฏว่าการใส่แผ่นสะท้อนแสงทำให้น้ำในถังมีอุณหภูมิสะสมตลอดวัน  
 สูงขึ้น 3 - 5 °C และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 11 - 13 %

ภาควิชา..... วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต..... 625506..... อภาควิชา.....  
 สาขาวิชา..... วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... E. Sut.....  
 ปีการศึกษา..... 2550.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



# # 4870610121 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: HEAT PIPE / SOLAR COLLECTOR

TAWAT MALAHOM : A STUDY OF THE PERFORMANCE OF HEAT PIPE SOLAR COLLECTOR FOR HOT WATER SYSTEM, THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.WITTAYA YONGCHAREON,Ph.D. , 143 pp.

This research is aimed to study the performance of heat pipe solar collector for hot water system. The system consists of a heat pipe collector which its receive radiation area is  $1.1625 \text{ m}^2$ , the insulated water storage which the volume is 200 L, a circulating pump and the temperature controller. The collector is installed at the angle of 35 to the horizontal plane and facing south direction. The hot water system is installed on the roof floor of building 5 in Chulalongkorn University. The operating parameters effecting the system are solar intensity, the initial storage water temperature, the final storage water temperature, the inlet water temperature of controller, the outlet water temperature of controller, ambient air temperature and Wind velocity. The data were collected at the interval of 2 minutes during 8:00 to 16:00 hour basis. The hot water stored energy and the efficiency of solar collector are calculated by the equation  $Q=MC_p(T_f-T_i)$  and  $\eta=Q \times 100/S$  From data analysis, the collector efficiency is depend on the solar intensity, the ambient air temperature, the mean of initial water temperature and final water temperature in the storage tank as governed by the empirical equation

$$\eta = -20.615(T_f - T_i)/I + 0.4708$$

With the coefficient of determination,  $R^2 = 0.32$  for the range of experiment. The system efficiency ranges from 22 - 28 % the hot energy ranges from 3 - 6 MJ/day. And the maximum hot water temperature is  $45.4 \text{ }^\circ\text{C}$  when the initial water temperature is  $29.5 \text{ }^\circ\text{C}$

The collector efficiency can be increased by inserting an aluminum foil reflective plate in the collector in order to increase the solar radiation absorption in the collector. From the experiment, it was revealed that the final storage water temperature in the storage tank increased 3 – 5  $^\circ\text{C}$  and the collector efficiency increased 11 – 13%.

Department : .. Mechanical Engineering..... Student's signature : .. TAWAT MALAHOM .....

Field of study : .. Mechanical Engineering..... Advisor's signature : .. Wittaya Yongchareon .....

Academic year : ..... 2007..... Co-advisor's signature : .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากรศ.ดร. วิทยา ยงเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. มานิจ ทองประเสริฐ ประธานกรรมการ รศ.ดร. พงษ์ธร จรรย์ญากรณ์ และ ผศ. มิ่งศักดิ์ ตั้งตระกูล กรรมการ ซึ่งผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านคอยให้คำปรึกษา แนะนำแนวทาง ถ่ายทอดความรู้ และข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนคำปรึกษาที่มีประโยชน์ในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยและในการทำงานในอนาคต

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่ได้สนับสนุนการศึกษาและให้กำลังใจเสมอ จนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	ท
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
<b>บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>5</b>
<b>บทที่ 3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>14</b>
ประเภทของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	14
ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	17
หลักการทำงานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์.....	18
สัดส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนโลก.....	21

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย.....	22
ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์และภูมิอากาศ.....	23
ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์.....	27
หลักการทำงานของฮีตปั๊ม.....	30
คาพิลารี.....	32
คุณสมบัติของฮีตปั๊ม.....	33
ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของฮีตปั๊มแบบเทอร์โมไฮฟอน.....	34
<b>บทที่ 4 การดำเนินการทดสอบและอุปกรณ์เครื่องมือ.....</b>	<b>36</b>
การทดสอบประสิทธิภาพของแท่งฮีตปั๊ม.....	36
วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของแท่งฮีตปั๊ม.....	39
การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์.....	41
วิธีการทดสอบ.....	46
<b>บทที่ 5 ผลการทดสอบ.....</b>	<b>49</b>
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแท่งฮีตปั๊ม.....	49
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตปั๊ม.....	56
ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตปั๊ม เปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ.....	60
<b>บทที่ 6 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>81</b>
สรุปผลการทดสอบ.....	81
อภิปรายผลการทดสอบ.....	88
ข้อเสนอแนะ.....	90
<b>รายการอ้างอิง.....</b>	<b>91</b>



ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก การคำนวณการวัดอุณหภูมิโดยเทอร์โมคัพเปิด.....	94
ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณการหาอัตราการถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแท่งฮีตไปป์.....	96
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์.....	98
ภาคผนวก ง ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์.....	101
ภาคผนวก จ ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบหาประสิทธิภาพของแท่งฮีตไปป์.....	110
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดปี 2005.....	118
ภาคผนวก ช ข้อมูลความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดปี 2005.....	130
ภาคผนวก ซ ตารางเทอร์โมคัพเปิด Type K.....	142
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	143

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดปี 2005.....24

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของการทดสอบแผงฮีตไปป์.....40

ตารางที่ 5.1 Uniform heat flux 300 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 30 °C.....50

ตารางที่ 5.2 Uniform heat flux 500 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 30 °C.....50

ตารางที่ 5.3 Uniform heat flux 700 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 30 °C.....51

ตารางที่ 5.4 Uniform heat flux 1000 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 30 °C.....51

ตารางที่ 5.5 Uniform heat flux 700 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 40 °C.....52

ตารางที่ 5.6 Uniform heat flux 1000 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 40 °C.....53

ตารางที่ 5.7 สรุปผลการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 30 °C .....54

ตารางที่ 5.8 สรุปผลการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 40 °C.....55

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบในฤดูร้อนของแผงฮีตไปป์.....56

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบในฤดูหนาวของแผงฮีตไปป์.....57

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบแบบเปิดน้ำไปใช้ตอน 13.00 น.ของแผงฮีตไปป์.....57

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบอุณหภูมิเริ่มต้น 40 °C ของแผงฮีตไปป์.....58

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบอุณหภูมิเริ่มต้น 50 °C ของแผงฮีตไปป์.....58

ตารางที่ 5.14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์  
แบบฮีตไปป์แบบใช้และไม่ใช้แผ่นสะท้อนแสง.....59

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบในฤดูร้อนของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ.....60

ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบในฤดูหนาวของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ.....64

ตารางที่ 5.17 ผลการทดสอบแบบเปิดน้ำไปใช้ตอน 13.00 น.ของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ.....68

ตารางที่ 5.18 ผลการทดสอบอุณหภูมิเริ่มต้น 40 °C ของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ.....73

ตารางที่ 5.19 ผลการทดสอบอุณหภูมิเริ่มต้น 50 °C ของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ.....77

ตารางที่ 6.1 การปรับมุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์.....85

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 หน้าตัดของแผง wickless heat pipes absorber plates และ cross flow heat exchanger  
 ของ wickless heat pipes flat plate solar collectors.....11

รูปที่2.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์เปรียบเทียบ  
 ผลการทดสอบกับทางทฤษฎี.....11

รูปที่3.1 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ.....15

รูปที่3.2 แผงรับแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ.....15

รูปที่3.3 แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์.....16

รูปที่3.4 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง..... 17

รูปที่3.5 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ที่ใช้ในการวิจัย.....18

รูปที่3.6 แสดงการทำงานของ ฮีตไปป์ และ เทอร์โมไซฟอน..... 19

รูปที่3.7 สัดส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงบน โลก.....21

รูปที่3.8 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ.2542).....22

รูปที่3.9 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์รายชั่วโมงตลอดปี 2005.....25

รูปที่3.10 อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดปี 2005.....26

รูปที่3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\eta_c$  กับ  $(t_{fi} - t_{at})/I_{t0}$ .....29

รูปที่3.12 โครงสร้างของฮีตไปป์แบบมีวิก.....31

รูปที่3.13 ปปรากฏการณ์คาพิลารี (Capillary Effect)..... 32

รูปที่3.14 ชัดจำกัดเนื่องจากการแห้งจากการเติมปริมาณสารน้อยเกินไป..... 34

รูปที่3.15 ชัดจำกัดเนื่องจากการแห้งจากการเติมปริมาณสารมากเกินไป..... 35

รูปที่4.1 (a) การพันขดลวดโดยรอบแท่งฮีตไปป์, (b) การติดตั้งเทอร์โมคัพเปิ้ลที่ช่วงCondenser  
 (c) การติดตั้งเทอร์โมคัพเปิ้ลที่ช่วงEvaporator ..... 36

รูปที่4.2 เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (DC Power Supply).....36

รูปที่4.3 เครื่องทำความร้อน.....37

รูปที่4.4 แผนภาพแสดงการทดสอบฮีตไปป์.....38

รูปที่4.5 การทดสอบแท่งฮีตไปป์ในห้องปฏิบัติการ.....39

รูปที่4.6 แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์..... 41

รูปที่4.7 ถังเก็บน้ำร้อน.....	42
รูปที่4.8 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบบันทึกได้ (Data Logger).....	43
รูปที่4.9 เครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer).....	43
รูปที่4.10 ตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์การวัด.....	44
รูปที่4.11 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบยึดไปป์ที่ในการทดสอบ.....	45
รูปที่4.12 (a) แผ่นสะท้อนแสง, (b) แผ่นสะท้อนแสงที่สอดไว้ได้แผงรับแสงอาทิตย์แบบยึดไปป์.....	48
รูปที่5.1 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 17 มี.ค. 2550.....	61
รูปที่5.2 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 17 มี.ค. 2550.....	61
รูปที่5.3 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 19 มี.ค. 2550.....	62
รูปที่5.4 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 19 มี.ค. 2550.....	62
รูปที่5.5 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 21 มี.ค. 2550.....	63
รูปที่5.6 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 21 มี.ค. 2550.....	63
รูปที่5.7 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 20 พ.ย. 2550.....	65
รูปที่5.8 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 20 พ.ย. 2550.....	65
รูปที่5.9 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 22 พ.ย. 2550.....	66
รูปที่5.10 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 22 พ.ย. 2550.....	66
รูปที่5.11 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 24 พ.ย. 2550.....	67
รูปที่5.12 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 24 พ.ย. 2550.....	67
รูปที่5.13 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 26 พ.ย. 2550.....	70
รูปที่5.14 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 26 พ.ย. 2550.....	70
รูปที่5.15 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 27 พ.ย. 2550.....	71
รูปที่5.16 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 27 พ.ย. 2550.....	71
รูปที่5.17 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 28 พ.ย. 2550.....	72
รูปที่5.18 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 28 พ.ย. 2550.....	72
รูปที่5.19 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 29 พ.ย. 2550.....	74
รูปที่5.20 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 29 พ.ย. 2550.....	74
รูปที่5.21 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 30 พ.ย. 2550.....	75

รูปที่ 5.22 กราฟอุณหภูมิในถังเทียบกับเวลาวันที่ 30 พ.ย. 2550.....	75
รูปที่ 5.23 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 1 ธ.ค. 2550.....	76
รูปที่ 5.24 กราฟอุณหภูมิในถังเทียบกับเวลาวันที่ 1 ธ.ค. 2550.....	76
รูปที่ 5.25 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 2 ธ.ค. 2550.....	78
รูปที่ 5.26 กราฟอุณหภูมิในถังเทียบกับเวลาวันที่ 2 ธ.ค. 2550.....	78
รูปที่ 5.27 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 3 ธ.ค. 2550.....	79
รูปที่ 5.28 กราฟอุณหภูมิในถังเทียบกับเวลาวันที่ 3 ธ.ค. 2550.....	79
รูปที่ 5.29 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 4 ธ.ค. 2550.....	80
รูปที่ 5.30 กราฟอุณหภูมิในถังเทียบกับเวลาวันที่ 4 ธ.ค. 2550.....	80
รูปที่ 6.1 ผลของความเข้มแสงมีผลต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิเข้า 30 องศา.....	81
รูปที่ 6.2 ผลของมุมเอียงที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิเข้า 30 องศา.....	82
รูปที่ 6.3 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ.....	86
รูปที่ 6.4 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์.....	86
รูปที่ 6.7 โครงสร้างภายนอกของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์.....	88
รูปที่ 6.8 โครงสร้างของแท่งฮีตไปป์.....	89
รูปที่ 6.9 สมดุลย์พลังงานของแท่งฮีตไปป์.....	89



## คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$g$	ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก .....	$m/s^2$
$h_{fg}$	ค่าความร้อนแฝงไอ - ของเหลว .....	$J/kg$
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล.....	$kg/s$
$r$	รัศมีภายในของส่วนทำระเหย.....	$m$
$k_f$	สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของของไหลใช้งาน.....	$W/m-K$
$L_c$	ความยาวของส่วนควบแน่น .....	$m$
$L_e$	ความยาวส่วนระเหย.....	$m$
$\beta$	มุมเอียงจากแนวระดับ.....	องศา
$\delta_{mean}$	ความหนาฟิล์มของเหลว.....	$m$
$\rho_l$	ค่าความหนาแน่นของของเหลว.....	$kg/m^3$
$\rho_v$	ค่าความหนาแน่นของของไอ.....	$kg/m^3$
$T_v$	อุณหภูมิไอของของไหลใช้งาน .....	$^{\circ}C$
$T_c$	อุณหภูมิแหล่งรับความร้อน .....	$^{\circ}C$
$\mu_l$	ค่าความหนืดสมบูรณ์ของของเหลว.....	$m^3/s$
$Q$	อัตราการถ่ายเทความร้อน .....	$W$
$I_{t\theta}$	ความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ.....	$W/m^2$
$F_R$	แฟคเตอร์การดูดความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์	
$\tau_\theta$	ค่าการทะลุผ่าน (Transmittance) ของแผ่นรับแสงที่มุมแสงตกกระทบ $\theta$	
$\alpha_\theta$	ค่าการดูดซับ (Absorptance) ของแผ่นรับแสงที่มุมแสงตกกระทบ $\theta$	
$U_L$	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน.....	$W/m^2K$
$t_{fe}$	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์ .....	$^{\circ}C$
$t_{fi}$	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์.....	$^{\circ}C$
$t_{at}$	อุณหภูมิอากาศภายนอกที่เวลาใดๆ.....	$^{\circ}C$

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$t_p$	อุณหภูมิแผ่นดูดซับแสงอาทิตย์.....	$^{\circ}\text{C}$
$A_{ap}$	พื้นที่รับแสงอาทิตย์.....	$\text{m}^2$
$C_p$	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ.....	$\text{kJ/kg.K}$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานที่เราใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ทั้งในภาคอุตสาหกรรม การบริการ การขนส่งและในครัวเรือนถือว่าเป็นพลังงานประเภทที่ใช้แล้วหมดสิ้นไป (Non-renewable energy resources) ได้แก่ น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งพลังงานเหล่านี้เมื่อนำมาใช้งานก็ก่อให้เกิดมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และประเทศไทยของเราที่ต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีความพยายามที่จะลดการใช้พลังงานและหาพลังงานทดแทนมาใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานจากชีวมวล และอื่นๆ เพื่อทดแทนการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียนที่ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันเช่น ใช้ในการผลิตไฟฟ้า การทำน้ำร้อน การทำความเย็น การอบแห้ง การสูบน้ำ การกลั่นน้ำ เป็นต้น เนื่องจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานแหล่งใหญ่ เป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมและประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มากและมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ จึงทำให้มีอุปกรณ์ที่เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์เกิดขึ้นมากมายและมีการผลิตเพื่อการพาณิชย์กันมากขึ้นและเมื่อมีการผลิตอุปกรณ์เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ออกมาจำหน่ายกันมากมาย การตัดสินใจที่จะเลือกอุปกรณ์ใดๆ มาใช้งานจึงเป็นเรื่องที่สำคัญที่ไม่ควรมองข้ามเพราะจะต้องมีเรื่องของการลงทุนเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้งาน

สำหรับงานวิจัยนี้ศึกษาเรื่องทดสอบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากน้ำร้อนมีความสำคัญต่อการอุปโภค บริโภคและถูกนำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ มากมายเช่น ใช้ในบ้านพักอาศัย โรงพยาบาล โรงแรมและภาคอุตสาหกรรม ซึ่งวิธีการที่จะได้น้ำร้อนมาใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะได้มาจากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อนซึ่งถือว่าเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่าและเป็นการสิ้นเปลืองพลังงาน ทำให้ในปัจจุบันการใช้เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีมากขึ้น

ธุรกิจเกี่ยวกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบันมีมากมายหลายรูปแบบและมีการแข่งขันกันมากขึ้น ดังนั้นเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละชนิดที่ออกสู่ตลาดจึงมีความหลากหลายทั้งชนิด ราคา และคุณภาพ มาตรฐานการทดสอบจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะบ่งชี้ประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อน

การทดสอบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นเรื่องที่สำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งก่อนนำไปใช้งานจริงสำหรับผู้บริโภคหรือผู้ที่สนใจทั่วไป เพื่อให้แน่ใจถึงประสิทธิภาพของระบบและเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตัดสินใจเลือกใช้เพื่อเป็นการรับประกันการนำไปใช้งาน นอกจากนี้ผลที่ได้จากการทดสอบยังสามารถนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากการใช้งาน



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาและทดสอบสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์
2. เพื่อศึกษาและทดสอบสมรรถนะของ แท่งฮีตไปป์ที่นำมาใช้ในแผงรับแสงอาทิตย์
3. ศึกษาหาวิธีการออกแบบและปรับปรุงอุปกรณ์เพื่อพัฒนาให้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์มีประสิทธิภาพมากขึ้น

### ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์
2. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับแท่งฮีตไปป์
3. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ และอุปกรณ์การวัด เพื่อทดสอบและเก็บข้อมูลที่บริเวณชั้นคาตฟ้า อาคารปฏิบัติการ 5 คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. ทำการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบแท่งฮีตไปป์และอุปกรณ์การวัด
5. ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2550 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2551
6. นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



### ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและรวบรวมข้อมูลของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์
2. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานและรวบรวมข้อมูลของแท่งฮีตไปป์
3. ทำการติดตั้งอุปกรณ์ของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์
4. ทำการติดตั้งอุปกรณ์การทดสอบแท่งฮีตไปป์
5. ทำการติดตั้งอุปกรณ์การวัดเพื่อทดสอบและเก็บข้อมูลของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์
6. ทำการติดตั้งอุปกรณ์การวัดเพื่อทดสอบและเก็บข้อมูลของแท่งฮีตไปป์
7. นำข้อมูลจากการทดสอบไปวิเคราะห์และนำเสนอในรูปแบบที่เหมาะสม
8. สรุปผลการทดลอง

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์
2. ได้ทราบถึงสมรรถนะของแท่งฮีตไปป์
3. ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตัดสินใจในการเลือกใช้ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้
4. ผลที่ได้จากการทดสอบสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้นได้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.เรื่อง: การทดลองเพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ของฮีตไปป์สำหรับการทำน้ำร้อนโดยใช้พลังงาน  
แสงอาทิตย์ (An experimental study of utilization of heat pipe for solar water heaters)

ผู้วิจัย: Wongee Chun, Yong Heack Kang, Hee Youl Kwak, Young Soo Lee

#### จุดประสงค์การทดลอง

เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของฮีตไปป์ ในการทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้สาร  
ทำงาน (Working Fluid) ที่แตกต่างกันแล้วทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้

#### รูปแบบการทดลอง

แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ ทำจากทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 9.52 mm  
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 8.12 mm และยาว 2000 mm ใช้วิกแบบ Wrapped screen wick 100 meshes.  
ความยาวช่วง Evaporator, Adiabatic, และ Condenser คือ 1700, 100 และ 200 mm ตามลำดับ

การทดลองแบ่งเป็น 5 ชนิดคือ ชนิด A ใช้น้ำเป็นสารทำงานและใช้ฮีตไปป์แบบเทอร์โมไซ  
ฟอน(ไม่มีวิก), ชนิด B ใช้ Methanol เป็นสารทำงานและใช้ฮีตไปป์แบบมีวิก, ชนิด C ใช้ Acetone เป็น  
สารทำงานและใช้ฮีตไปป์แบบมีวิก, ชนิด D ใช้ Ethanol เป็นสารทำงานและใช้ฮีตไปป์แบบมีวิก, ชนิด  
E ใช้ Ethanol เป็นสารทำงานและใช้ฮีตไปป์แบบเทอร์โมไซฟอน(ไม่มีวิก)

โดยแผงรับแสงอาทิตย์เอียงทำมุม 45 องศาหันหน้าทางทิศใต้ ทดลองในช่วง 09.00-17.00 น.

#### ผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ โดยการเปลี่ยนสารทำงาน จะพบว่าการเปลี่ยนแปลง  
สารทำงานไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ
2. ในช่วงที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำระบบที่ใช้ฮีตไปป์จะมีการกระจายของอุณหภูมิสม่ำเสมอ  
กว่าแบบเทอร์โมไซฟอน
3. ระบบที่ใช้ฮีตไปป์จะสามารถทำให้น้ำในถังเก็บมีอุณหภูมิสูงกว่าแบบเทอร์โมไซฟอน
4. ประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบอยู่ที่ 45% อุณหภูมิในถังถึงสูงสุด 40 °C เมื่ออุณหภูมิในถังเริ่มต้น  
10°C

**2.เรื่อง: สมรรถนะของฮีตไปป์แบบไม่มีวิกของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบซึ่งมีพื้นที่ หน้าตัดของท่อและปริมาณของสารทำงานที่แตกต่างกัน (Performance of wickless heat pipe flat plate solar collectors having different pipes cross sections geometries and filling ratios)**

**ผู้วิจัย: H.M.S. Hussein, H.H. El-Ghetany, S.A. Nada**

#### **จุดประสงค์การทดลอง**

เพื่อศึกษาถึงสมรรถนะของฮีตไปป์แบบไม่มีวิกในการทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ฮีตไปป์ที่มีพื้นที่หน้าตัดที่แตกต่างกันและมีอัตราส่วนของสารทำงานที่ใช้แตกต่างกันแล้วทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้

#### **รูปแบบการทดลอง**

ออกแบบฮีตไปป์แบบไม่มีวิกโดยมีความยาวช่วง Evaporator, Adiabatic, และ Condenser คือ 1.2, 0.05 และ 0.25 m ตามลำดับ ช่วง Evaporator ถูกเชื่อมติดกับแผ่น Absorber Plate ซึ่งทำมาจากทองแดงหนา 0.4 mm กว้าง 0.19 m และทาด้วยสีดำ แผงรับแสงอาทิตย์ตั้งหันหน้าไปทางทิศใต้เอียงทำมุม 30 องศา

ฮีตไปป์ที่ออกแบบสำหรับนำมาใช้ในการทดลองมี 3 ชนิดโดยมีพื้นที่หน้าตัดที่แตกต่างกัน คือ พื้นที่หน้าตัดรูปวงกลม วงรี และครึ่งวงกลม และในการทดลองได้ใช้สารทำงานเดิมในปริมาณอัตราส่วนที่ต่างกัน 3 ค่าคือ 10% 20% และ 35% ของปริมาตรภายในแท่งฮีตไปป์โดยเลือกใช้น้ำกลั่นเป็นสารทำงาน

ทำการบันทึกค่าความเข้มแสงอาทิตย์, อุณหภูมิอากาศภายนอก, อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากระบบ โดยให้อัตราการไหลของน้ำคงที่และทำการทดลองในช่วงเดือนกันยายน ถึง เดือนพฤศจิกายน 2004 และทำการบันทึกผลการทดลอง โดยได้ทำการทดลองที่กรุงไคโร ประเทศอียิปต์

#### **ผลการทดลอง**

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า

1. การเปลี่ยนรูปร่างของ ฮีตไปป์ จากพื้นที่หน้าตัดวงกลมไปเป็นหน้าตัดวงรีจะทำให้แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์มีประสิทธิภาพดีขึ้น
2. ฮีตไปป์แบบไม่มีวิกที่มีหน้าตัดเป็นวงรีจะมีประสิทธิภาพดีกว่าหน้าตัดวงกลม ปริมาณการเติมสารทำงานในอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับหน้าตัดวงรีคือ 10% และสำหรับหน้าตัดวงกลมคือประมาณ 20%
3. ที่ปริมาณสารทำงาน 20% พบว่าฮีตไปป์หน้าตัดครึ่งวงกลมจะมีประสิทธิภาพน้อยกว่าหน้าตัดวงกลมและวงรี

**3.เรื่อง: การทดสอบสมรรถนะตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แผ่นเรียบตามมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77 ด้วยระบบหมุนตามดวงอาทิตย์ (Testing of Collector Thermal Efficiency under ASHRAE STANDARD 93-77 by Solar Tracking System)**

**ผู้วิจัย: วัฒนพงษ์ รัชวีเชียรและคณะ**

**จุดประสงค์การทดลอง**

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของระบบและใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการตัดสินใจเลือกใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานได้รับประโยชน์สูงสุด

**รูปแบบการทดลอง**

1. แผงรับแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ทดสอบมี 3 รุ่น ทำการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละรุ่นดังนี้
  - 1.1 รุ่น FPS 120 วัสดุและส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์คือ กระจกเป็นกระจกมาตรฐานหนา 4.0 mm แผ่นดูดกลืนรังสีเป็นอลูมิเนียมชนิดซีเลคทีฟ ฉนวนกันความร้อนเป็นฉนวนใยแก้วหนา 50 mm ท่อภายในแผงส่วนหัวและส่วนท่อนำน้ำทำมาจากท่อทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง 22.25 mm และ 12.7 mm ตามลำดับ
  - 1.2 รุ่น SOL-B วัสดุและส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์คือ กระจกเป็นกระจกใสหนา 5.0 mm, แผ่นดูดกลืนรังสีเป็นอลูมิเนียมชนิดซีเลคทีฟ ฉนวนกันความร้อนเป็นฉนวนโพลียูรีเทนหนา 30 mm ท่อภายในแผงส่วนหัวและส่วนท่อนำน้ำทำมาจากท่อทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง 35.0 mm และ 15.8 mm ตามลำดับ
  - 1.3 รุ่น R.D.-F 200 วัสดุและส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์คือ กระจกเป็นกระจก Low iron tempered glass หนา 4.1 mm แผ่นดูดกลืนรังสีเป็นอลูมิเนียม ฉนวนกันความร้อนเป็นฉนวน P.U โฟมหนา 25 mm ท่อภายในแผงส่วนหัวและส่วนท่อนำน้ำทำมาจากท่อทองแดงเส้นผ่าศูนย์กลาง 15.8 mm และ 22.25 mm ตามลำดับ
2. ทำการติดตั้งตัวรับรังสีแสงอาทิตย์บนระบบทดสอบให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ด้วยระบบอัตโนมัติในแนวทิศตะวันออก - ทิศตะวันตก และมุมเอียงของตัวรับรังสีเอียงทำมุมตั้งฉากกับรังสีแสงอาทิตย์ตลอดช่วงเวลาของการทดสอบ
3. ทำการบันทึกผลและเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้าตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำออกจากตัวรับรังสีแสงอาทิตย์และความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ โดยเก็บข้อมูลในช่วงอุณหภูมิน้ำเข้า 20 – 45 °C ซึ่งเป็นการทดสอบแบบระยะสั้นเพื่อนำผลข้อมูลที่ได้มาประเมินประสิทธิภาพตัวรับแสงอาทิตย์

### ผลการทดลอง

จากผลการทดสอบสมรรถนะของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบพบว่าประสิทธิภาพสูงสุดของตัวรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบรุ่น FPS 120 เท่ากับ 62 % ที่อุณหภูมิใช้งาน 44 - 47 °C และความเข้มแสงอาทิตย์ 900 – 977 W/m<sup>2</sup> รุ่น SOL - B เท่ากับ 57 % ที่อุณหภูมิใช้งาน 42 - 50 °C และความเข้มแสงอาทิตย์ 944 – 996 W/m<sup>2</sup> และรุ่น R.D.-F 200 เท่ากับ 64 % ที่อุณหภูมิใช้งาน 46 - 56 °C และความเข้มแสงอาทิตย์ 821 – 844 W/m<sup>2</sup>



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



#### 4.เรื่อง: การศึกษาและพัฒนาโครงสร้างวิกสำหรับฮีทไปป์ (A Study and Development of Wick Structure for Heat Pipe)

ผู้วิจัย: ธนศักดิ์ ชุมวิสูตร

##### จุดประสงค์การทดลอง

ทำการทดลองเพื่อหาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีทไปป์

##### รูปแบบการทดลอง

สร้างฮีทไปป์อย่างง่ายขึ้นมาเพื่อทดสอบสมรรถนะ โดยที่ฮีทไปป์ทำมาจากท่อทองแดงและมีวิกเป็นตาข่ายสแตนเลสเบอร์ 100 และ 120 ท่อทองแดงมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 18.7 mm และมีความยาวเท่ากับ 1.25 m บรรจุของไหลใช้งานคือ R-12 มีส่วนของการระเหย 0.5 m มีส่วนของการควบแน่น 0.5 m และส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน 0.25 m

การทดลองเพื่อหาสมรรถนะของแท่ง ฮีทไปป์ ทำโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเข้าและน้ำออกทั้งทางส่วนของการระเหยและส่วนของการควบแน่น โดยให้อุณหภูมิทางด้านส่วนของการระเหยเท่ากับ 60 °C ส่วนอุณหภูมิของการควบแน่นเท่ากับ 30 - 35 °C และทำการทดลองที่มุม ฮีทไปป์หลายๆค่า

##### ผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า ฮีทไปป์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ทำงานได้ดีเมื่อมีแรงโน้มถ่วงช่วยคือส่วนของการควบแน่นสูงกว่าส่วนของการระเหย โดยได้ค่า Heat Flux สูงสุดเท่ากับ 823.345 kW/m<sup>2</sup> และ 1546.945 kW/m<sup>2</sup> สำหรับตาข่ายเบอร์ 100 และ 120 ตามลำดับ ค่าสูงสุดดังกล่าวเกิดที่มุม ฮีทไปป์ประมาณ -135 องศา ซึ่งเป็นมุมที่ Evaporator ทำกับแนวราบ โดยให้ทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเป็นบวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.เรื่อง: การตรวจสอบผลทางทฤษฎีและผลที่ได้จากการทดลองของแผงรับแสงอาทิตย์แบบ แผ่นเรียบแบบฮีตไปป์ไม่มีวิกที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Cross Flow

(Theoretical and experimental investigation of wickless heat pipes flat plate solar collector with cross flow heat exchanger)

ผู้วิจัย: H.M.S Hussein

จุดประสงค์การทดลอง

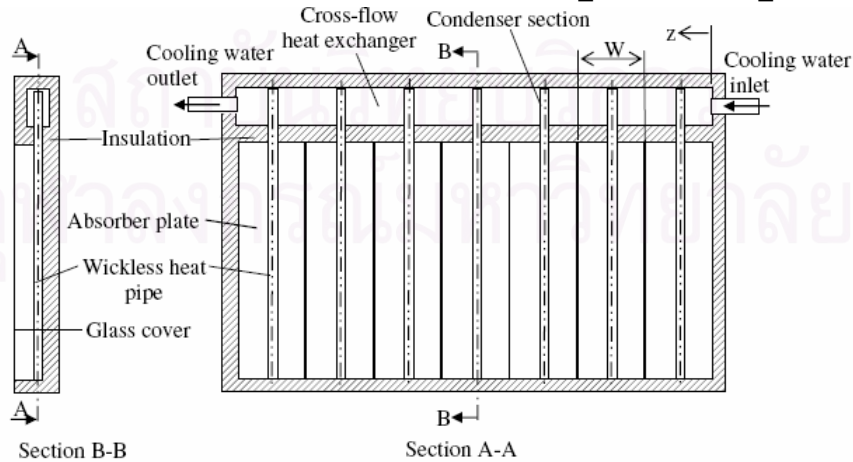
หาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แผ่นเรียบแบบฮีตไปป์ที่ไม่มีวิกโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองและผลทางทฤษฎี

รูปแบบการทดลอง

แผงรับแสงอาทิตย์แผ่นเรียบแบบฮีตไปป์ประกอบด้วย ฮีตไปป์แบบไม่มีวิกจำนวน 14 แห่ง ทำจากทองแดง เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 0.0127 m และเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.0117 m ความยาวในส่วน Evaporator 0.75 m และ Condenser 0.1 m ใช้น้ำเป็นสารทำงาน แท่งฮีตไปป์ตรงช่วง Evaporator เชื่อมติดอยู่กับ Absorber Plate ซึ่งทำจากแผ่นทองแดงและทาสีดำ ส่วนตรงบริเวณ Condenser จุ่มอยู่ในท่อหล่อเย็น ซึ่งแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ Cross Flow ด้านบนของแผงปิดด้วยกระจก และด้านล่างแผงด้วยฉนวน ทำการทดสอบตั้งแต่เวลา 08.00 – 18.00 น. ในการทดลองได้มีการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการไหลของน้ำ 3 ค่าคือ 0.0125 kg/s , 0.0292 kg/s และ 0.0458 kg/s และปรับเปลี่ยนจำนวนแท่งฮีตไปป์ในแผงที่ 8 , 10 , 12 และ 14 แท่งต่อแผง เพื่อหาประสิทธิภาพและทำการเปรียบเทียบผลการทดลองและผลทางทฤษฎี

สำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์จะประเมินจากอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเข้า (Inlet Cooling Water Temperature,  $T_{wi}$ ) และค่าต่างๆดังนี้

$$\eta_i = F_R (\tau_g \alpha_p)_c - F_R U_L [(T_{wi} - T_a) / I_t]$$



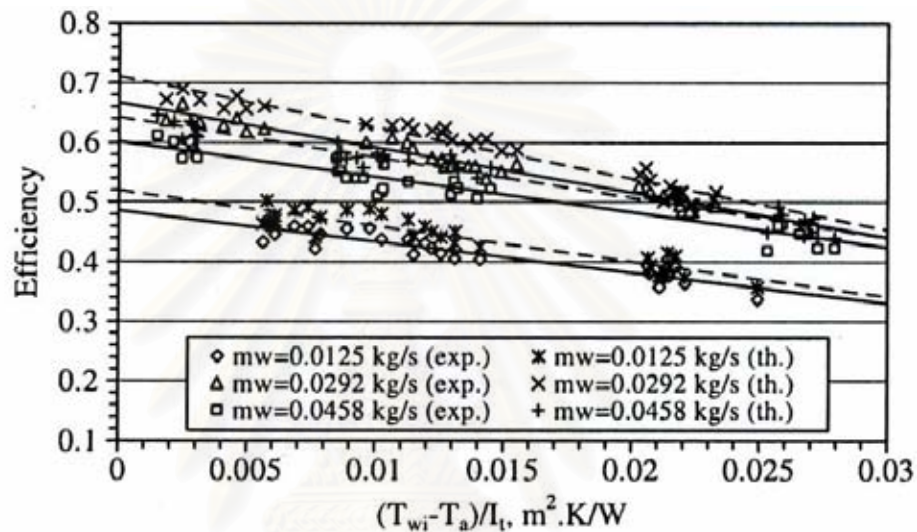
รูปที่ 2.1 หน้าตัดของแผง wickless heat pipes absorber plates และ cross flow heat exchanger ของ wickless heat pipes flat plate solar collectors

### ผลการทดลอง

1. ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์สูงสุดเกิดขึ้นที่อัตราการไหล 0.0292 kg/s ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราการไหลของASHRAE Standard ในการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

2. ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 66.64 % สำหรับการทดลอง และ 71.13 % สำหรับการคำนวณ ที่อัตราการไหล 0.0292 kg/s

3. ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนฮีตไปป์ต่อแผง ซึ่งจำนวนที่เหมาะสมคือ 12 แท่งต่อแผง เนื่องจากว่าถ้าเพิ่มจำนวนแท่งฮีตไปป์มากกว่านี้ ก็จะทำให้ประสิทธิภาพมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย



รูปที่ 2.2 กราฟแสดงประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับผลการทดลองกับทางทฤษฎี

## 6.เรื่อง: แบบจำลองขีดจำกัดสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนปิดสองสถานะแบบเอียง

ผู้วิจัย: นิติพงษ์ โสภณพงศ์พิพัฒน์

### จุดประสงค์การทดลอง

สร้างแบบจำลองเชิงวิเคราะห์เพื่อหาขีดจำกัดสมรรถนะในเทอร์โมไซฟอนปิด สองสถานะแบบเอียง

### รูปแบบการทดลอง

สร้างแบบจำลองเชิงวิเคราะห์ของขีดจำกัดสมรรถนะในเทอร์โมไซฟอนปิด สองสถานะแบบเอียงจากสมการการควบคุมพื้นฐานซึ่งได้แก่ สมการความต่อเนื่อง สมการโมเมนตัม สมการพลังงาน และกฎข้อที่สองทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยตั้งสมมุติฐานว่าขีดจำกัดสมรรถนะในเทอร์โมไซฟอนนั้นเกิดจากปรากฏการณ์พื้นฐาน 2 ปรากฏการณ์ที่พยายามเกิดก่อนและเป็นตัวทำให้เกิดขีดจำกัดในเทอร์โมไซฟอน คือ ปรากฏการณ์การแห้ง(Dry out) และปรากฏการณ์การท่วม(Entrainment) โดยสามารถหาค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติของปรากฏการณ์แห้งได้จาก

$$Q_{\text{Dry out}} = k_1 \frac{(T_v - T_c)}{\delta_{\text{mean}}} \times 2\pi r l_c \times \left( \frac{L_e}{L_c} \right)^{0.75}$$

โดยที่

$$\delta_{\text{mean}} = 0.8 \sqrt[4]{\frac{24k_1(T_v - T_c)L_c\mu_1}{h_{fg}\rho_l(\rho_l - \rho_v)g\sin\beta \left[ 1 + \frac{\rho_l}{r_c(\rho_l - \rho_v)} \cot\beta \sin\theta \right]}}$$

และสามารถหาค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติของปรากฏการณ์การท่วมได้จาก

$$Q_{\text{Entrainment}} = \dot{m} h_{fg} \times \left( \frac{L_e}{L_c} \right)^{0.75}$$

โดยที่

$$\dot{m} = \rho_v \frac{\pi D^2}{2} v$$

ทำการทดสอบและวิเคราะห์แบบจำลอง โดยเปรียบเทียบผลกับข้อมูลการทดลองของนักวิจัยท่านต่างๆ ซึ่งเป็นข้อมูลของสารทำงานสี่ชนิดได้แก่ น้ำ Ethanol R113 และ R123 เพื่อศึกษาถึงความแม่นยำในการใช้แบบจำลอง มุมเอียงที่เกิดอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุด อัตราส่วนสนทรรศน์ ( $Le/d$ ) ความยาวส่วนควบแน่น และค่าตัวเลขของบอนด์ต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆ

#### ผลการทดลอง

จากการทดสอบแบบจำลองพบว่า แบบจำลองที่สร้างขึ้นนี้สามารถทำนายอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติด้วยช่วงความคลาดเคลื่อน  $\pm 25\%$  ที่ทุกๆมุมเอียง ค่ามุมเอียงที่ทำให้เกิดอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดสำหรับสารทำงาน น้ำ, R113, R123 และ Ethanol คือ 70, 58, 37 และ 34 องศาตามลำดับ ค่าอัตราส่วนสนทรรศน์ไม่มีผลต่อค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดต่อค่าการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวตั้ง  $Q_{ci,max} / Q_{c,90}$  และมีแนวโน้มว่าค่าความหนาแน่นความร้อนวิกฤติ (Critical heat flux) ที่มุมเอียงใดๆจะลดลงเมื่อค่า  $Le/d$  มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความยาวส่วนควบแน่นมากขึ้น ในขณะที่ส่วนทำระเหยมีความยาวคงที่จะทำให้ค่าอัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติสูงสุดมีค่าลดลง และตัวเลขของบอนด์ไม่มีผลกระทบต่อค่าอัตราส่วนการส่งผ่านความร้อนวิกฤติที่มุมเอียงใดๆ ต่ออัตราการส่งผ่านความร้อนวิกฤติในแนวตั้ง ชนิดสารทำงานไม่มีผลต่อค่า  $Q_{ci,max} / Q_{c,90}$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 3

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### ประเภทของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ประเภทของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะพิจารณาจากชนิดของแผงรับแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collector)
2. แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสง (Focusing Solar Collector)

#### 1. แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ (Flat Plate Solar Collector)

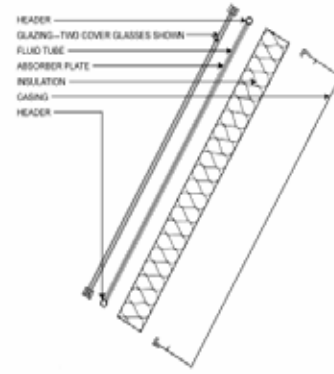
แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้จะมีพื้นที่ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับพื้นที่ของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบสามารถแบ่งออกได้อีก 3 แบบคือ

- 1.1 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate Collector)
- 1.2 แผงรับแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Vacuum Tube Collector)
- 1.3 แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ (Heat Pipe Collector)

##### 1.1 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate Collector)

เป็นระบบทำน้ำร้อนที่มีการพัฒนาและใช้งานมาเป็นเวลายาวนาน โดยมีส่วนประกอบและหลักการทำงานคือ ภายในแผงรับแสงอาทิตย์จะมีแผ่นดูดรังสี (Absorber Plate) ซึ่งมีลักษณะเป็นท่อและครีป ซึ่งภายในท่อจะมีของไหลทำงานบรรจุอยู่ ของไหลทำงานที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำ ด้านล่างและด้านข้างของแผงจะมีฉนวนกันความร้อนส่วนด้าน บนของแผงจะมีฝาปิดโปร่งแสง (Transparent Cover) ซึ่งอาจจะเป็นกระจกหรือพลาสติกใส เพื่อลดการสูญเสียความร้อนโดยการพาความร้อนไปยังสิ่งแวดล้อม เมื่อแผงได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ก็จะทำให้เกิดการถ่ายความร้อนให้กับของไหลในท่อทำให้ของไหลในท่อมืดอุณหภูมิสูงขึ้นและนำไปใช้งานได้

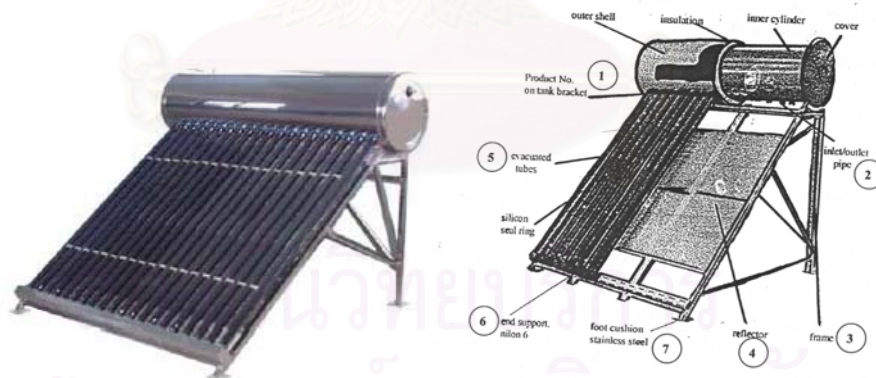




รูปที่3.1 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

### 1.2 แผงรับแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ (Vacuum Tube Collector)

แผงรับแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ ประกอบไปด้วยหลอดแก้วสุญญากาศ เคลือบด้วยสารสีดำเพื่อดูดซับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ภายในหลอดแก้วจะมีของไหลทำงานบรรจุอยู่ เมื่อแผงได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ ก็จะทำให้เกิดการถ่ายความร้อนให้กับของไหลในท่อ ทำให้ของไหลในท่อมีอุณหภูมิสูงขึ้นและนำไปใช้งานได้ ซึ่งแผงรับแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศจะมีประสิทธิภาพการดูดซับความร้อนดีกว่าและมีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่าแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



รูปที่3.2 แผงรับแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสุญญากาศ

### 1.3 แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์(Heat Pipe Collector)

แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์(Heat Pipe Collector) ประกอบไปด้วยหลอดแก้วซึ่งภายในจะมีหลอดแก้วเคลือบด้วยพื้นผิวเลือกรังสี ซึ่งภายในจะมีท่อฮีตไปป์อยู่

เมื่อแผงได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ที่ฮีตไปป์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อของไหลใช้งานไหลผ่านก็จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้ของไหลใช้งานมีอุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งสามารถนำไปใช้งานได้



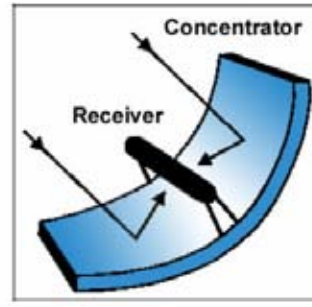
รูปที่ 3.3 แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์

เมื่อพิจารณาถึงหลักการการทำงานของแผงรับแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบจะเห็นได้ว่ามีความคล้ายคลึงกันแต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะมีการสูญเสียความร้อนมากกว่าแผงรับแสงแบบหลอดแก้วสุญญากาศและแผงแบบฮีตไปป์เนื่องจากมีพื้นที่รับแสงมากกว่าทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพามากกว่า

สำหรับงานวิจัยนี้จะใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์นี้ในการทดสอบเพื่อหาสมรรถนะ ซึ่งรายละเอียดและหลักการการทำงานจะได้กล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

## 2. แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสง (Focusing Solar Collector)

แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้จะมีพื้นที่ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์น้อยกว่าพื้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถหักเหทิศทางของพลังงานแสงอาทิตย์ให้มารวมที่จุดๆเดียวบนพื้นที่ดูดกลืนเท่านั้น



รูปที่3.4 แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมแสง

แผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดรวมแสง เหมาะสมที่จะใช้งานในภูมิภาคที่มีค่าของรังสีตรงสูงสำหรับประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน มีเมฆมาก ซึ่งค่ารังสีกระจายมีถึง 40-50% ของรังสีรวม ทำให้การใช้อุปกรณ์แบบรวมแสงไม่คุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ และไม่เหมาะสมกับการใช้งานในประเทศไทย

### ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์

#### 1. แผงรับแสงอาทิตย์ (Solar Collectors)

แผงรับแสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบให้เป็นพลังงานความร้อนเพื่อนำไปใช้งานแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์(Solar Collector)

#### 2. ถังเก็บความร้อน(Thermal Storage Tank)

ถังเก็บความร้อนใช้เก็บรักษาน้ำร้อนที่ผ่านมาจากแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรอการนำไปใช้ โดยที่ถังจะต้องมีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

#### 3. ระบบท่อ วาล์ว ปัม และอุปกรณ์ควบคุม

ระบบท่อ วาล์ว ปัม และอุปกรณ์ควบคุม มีความสำคัญต่อการทำงานของระบบ โดยระบบท่อน้ำร้อนส่วนใหญ่จะมีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน มีวาล์วเพื่อควบคุมปริมาณการไหลของน้ำ บังคับทิศทางการไหลและใช้เปิด-ปิดน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้ อุปกรณ์ควบคุมยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่จะทำให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่น Timer เป็นตัวตั้งเวลาใช้ควบคุมการทำงานของปั๊มเพื่อให้เกิดการตัด-ต่อการทำงานที่เหมาะสม

### หลักการการทำงานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์



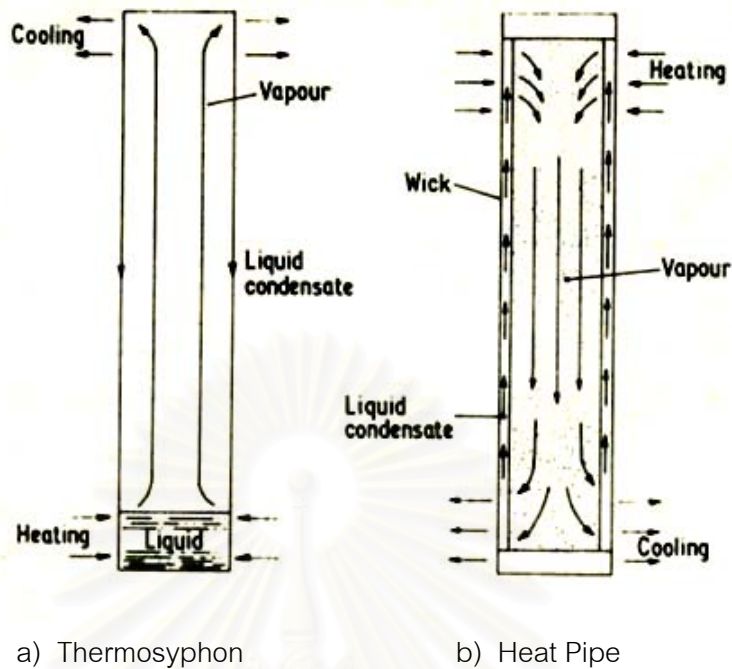
รูปที่ 3.5 ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ที่ใช้ในการวิจัย

ระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญ 2 ส่วนคือ แผงรับแสงอาทิตย์ และถังเก็บน้ำร้อน โดยใช้แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ (Heat Pipes) ซึ่งฮีตไปป์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งซึ่งมีประสิทธิภาพดีมาก มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญคือ ตัวท่อซึ่งทำมาจากทองแดงและภายในท่อจะบรรจุด้วยของไหลใช้งาน (Working Fluids) เช่น ฟร็อน เอทานอล แอมโมเนีย น้ำ เป็นต้น

ฮีตไปป์มีความคล้ายคลึงกับเทอร์โมไซฟอน (Thermosyphon) ดังแสดงในรูปที่ 3.6

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 3.6 แสดงการทำงานของฮีตไปป์ และ เทอร์โมไซฟอน

จากรูป a) แสดงการทำงานของเทอร์โมไซฟอนคือเมื่อของไหลใช้งานได้รับความร้อนจากทางด้านล่างของท่อ ภายในท่อซึ่งเป็นสุญญากาศ จะทำให้ของไหลใช้งานเกิดการระเหยตัวกลายเป็นไอแล้วไหลขึ้นไปยังท่อด้านบน จากนั้นก็จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้ของไหลใช้งานทำการคายความร้อนแล้วกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวไหลกลับลงมายังด้านล่างของท่อโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity)

จากรูป b) แสดงการทำงานของ ฮีตไปป์ซึ่งจะคล้ายกับเทอร์โมไซฟอนก็คือเมื่อของไหลใช้งานได้รับความร้อนก็จะทำให้เกิดการระเหยตัวกลายเป็นไอจากนั้นก็จะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้ของไหลใช้งานทำการคายความร้อนแล้วกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวไหลกลับขึ้นไป แต่จะมีความแตกต่างกันตรงที่ฮีตไปป์จะมีวิก(Wick)ซึ่งเทอร์โมไซฟอนไม่มี โดยวิกจะทำหน้าที่ช่วยให้ของไหลใช้งานที่กลั่นตัวกลายเป็นของเหลวแล้วสามารถไหลกลับไปยังส่วนการระเหยได้ โดยอาศัยแรงทางคาพิลลารี (Capillary Forces)

ปัจจุบันฮีตไปป์ได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายเช่นใช้ในการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิในห้องปรับอากาศ ใช้ในอุตสาหกรรมโดยการนำเอาความร้อนเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น

การศึกษาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์จะใช้ พารามิเตอร์ในการศึกษาได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเข้าแผง อุณหภูมิน้ำออกจากแผง อุณหภูมิอากาศภายนอก และความเร็วลมโดยจะทำการบันทึกข้อมูล ทุกๆ 2 นาทีในช่วงเวลาตั้งแต่ 08.00 – 16.00 น. แล้วนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์

หลังจากทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ แล้วก็จะทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีตไปป์ ซึ่งทำโดยการให้ความร้อนกับแท่งฮีตไปป์และแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเข้าและน้ำออกในส่วนของCondenser โดยทำการทดลองที่มุม ฮีตไปป์ ที่องศาต่างๆเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



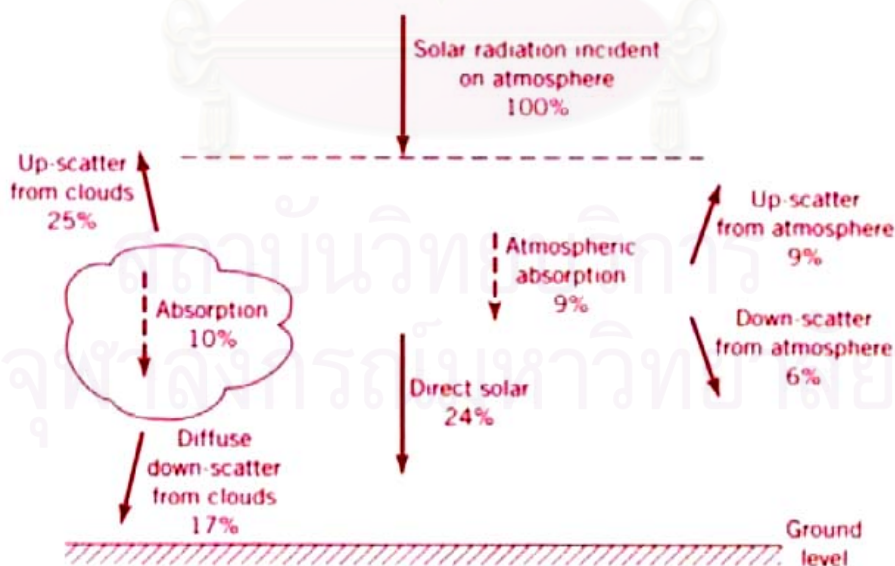
## สัดส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนโลก

บรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก ประกอบไปด้วย อากาศ ไอน้ำและอนุภาคฝุ่น ในอากาศก็ยังมีโมเลกุลของก๊าซหลักๆหลายชนิดซึ่งทั้งหมดนี้ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ที่พุ่งตรงมายังโลกกระจัดกระจาย ถูกเปลี่ยนทิศทาง(Scattering) และถูกดูดกลืน (Absorption) มีเพียงบางส่วนที่สามารถผ่านลงมาได้ ซึ่งสามารถแบ่งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ 2 แบบคือ

1.พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีตรง(Direct Radiation) มาจากการเดินทางของคลื่นที่นำพลังงานแสงอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ตกกระทบ ณ ตำแหน่งนั้นๆ โดยตรงซึ่งจะปรากฏเงาขึ้นเมื่อมีการบังแสง

2.พลังงานแสงอาทิตย์แบบรังสีกระจาย(Diffuse Radiation) เกิดจากพลังงานแสงอาทิตย์แนวตรงที่ถูกเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติโดยสภาพบรรยากาศและสภาพภูมิศาสตร์ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์กระจัดกระจายทุกทิศทุกทาง ยกตัวอย่างเช่น เมื่ออยู่ในที่ร่มก็รับรู้ถึงความร้อนและความสว่างได้ ซึ่งนั่นก็เป็นผลมาจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบกระจาย

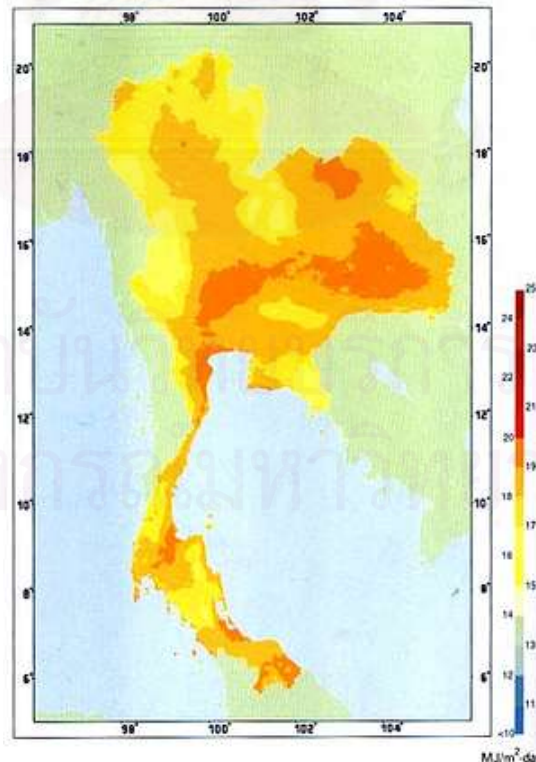
จากรูปที่3.7 แสดงสัดส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนโลก โดยที่พลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งมา 100 % ที่ตกลงบนชั้นบรรยากาศโลกจะมีเพียง 24 % เท่านั้นที่ตกลงมาถึงพื้นโดย โดยไม่เปลี่ยนทิศ (รังสีตรง) และจะมีรังสีหักเหเปลี่ยนทิศทางในก้อนเมฆ ฝุ่นละอองและชั้นบรรยากาศอีก 23 % (รังสีกระจาย)



รูปที่ 3.7 สัดส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนโลก

## ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

จากข้อมูลแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย(พ.ศ.2542) โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและคณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่าการกระจายของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆในแต่ละเดือนของประเทศได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือและลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ/m<sup>2</sup>-day บริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยตลอดปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด อุบลราชธานี และอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อัญญา ลพบุรี โดยได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีประมาณ 19 ถึง 20 MJ/m<sup>2</sup>-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี ในช่วง 18 ถึง 19 MJ/m<sup>2</sup>-day จากการคำนวณรังสีรวมรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศมีค่าเท่ากับ 18.2 MJ/m<sup>2</sup>-day จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงและเพียงพอที่จะนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้



รูปที่ 3.8 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ.2542)

## ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์และภูมิอากาศ

จากการที่พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับบนผิวโลกแปรเปลี่ยนตามเวลาทำให้ปริมาณพลังงานความร้อนที่ดูดกลืนได้โดยแผงรับแสงอาทิตย์แปรเปลี่ยนตามเวลาด้วย การที่จะทราบถึงประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้นั้นจะต้องขึ้นอยู่กับข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์และข้อมูลภูมิอากาศเพื่อที่จะได้นำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ในการคำนวณและการออกแบบระบบให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งต้องมีการวัดและเก็บข้อมูลที่สถานที่ติดตั้งจริง เพื่อให้เกิดความถูกต้องในการทดสอบ ซึ่งในการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำการทดสอบและเก็บข้อมูลในช่วงเวลา 08.00 – 16.00 น. ณ บริเวณตาดฟ้าชั้น 5 อาคารปฏิบัติการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ดังนั้นข้อมูลที่มีความสำคัญที่จะนำมาใช้ในการทดสอบได้แก่

1. ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง
2. ข้อมูลอุณหภูมิของอากาศภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง

เนื่องจากตรวจวัดและเก็บข้อมูลของความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงและข้อมูลของอุณหภูมิของอากาศภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง ทางกรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ ได้มีการเก็บข้อมูลการตรวจวัดไว้ตลอดทั้งปี ซึ่งสามารถนำมาใช้ศึกษาเพื่อเป็นแนวทางในการตรวจวัดได้โดย

1. ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง

เป็นข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดและเก็บบันทึกไว้ในปี 2005 โดยกรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ เนื่องจากความเข้มแสงอาทิตย์ในปีที่ผ่านมาที่เวลาใดเวลาหนึ่งอาจมีค่าไม่เท่ากับความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลาเดียวกันของปีปัจจุบันอย่างไรก็ดีความแตกต่างนี้อาจจะไม่มีผลมากนักต่อการคำนวณหาประสิทธิภาพ เพราะว่าปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากในแต่ละปีซึ่งรายละเอียดของข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดปีสามารถดูได้จากภาคผนวก

2. ข้อมูลอุณหภูมิของอากาศภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมง

เป็นข้อมูลอุณหภูมิของอากาศภายนอกที่เก็บบันทึกไว้ในปี 2005 โดยกรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ ซึ่งข้อมูลอุณหภูมิของอากาศภายนอกนี้เป็นข้อมูลสำคัญที่ใช้คำนวณประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์นี้ด้วยซึ่งรายละเอียดของข้อมูลอากาศภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดปีสามารถดูได้จากภาคผนวก

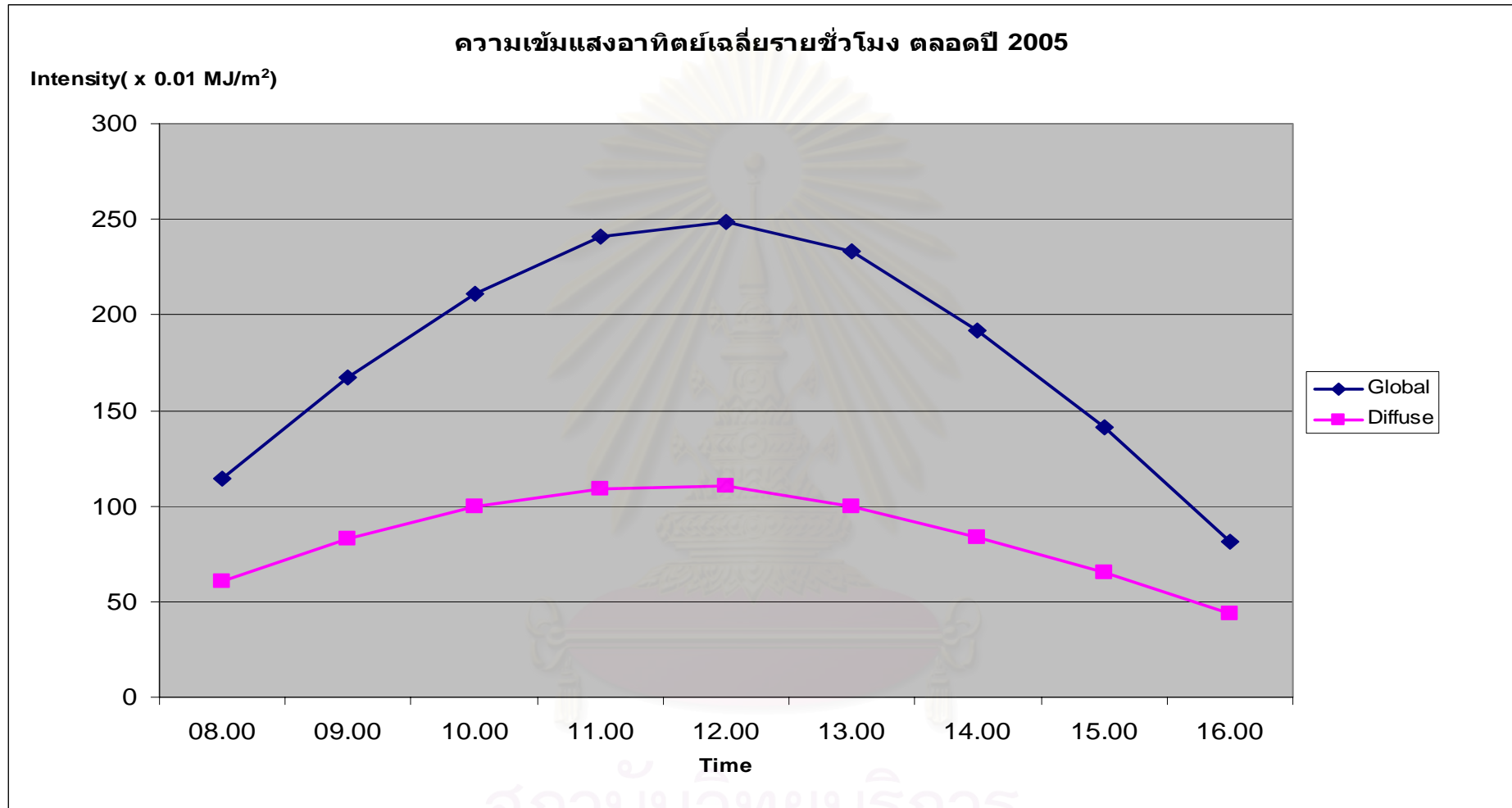
ตารางที่ 3.1 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดปี 2005

ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง ตลอดปี 2005

Station : Bangkok ( Lat : 13 40' N, Long : 100 37' E )

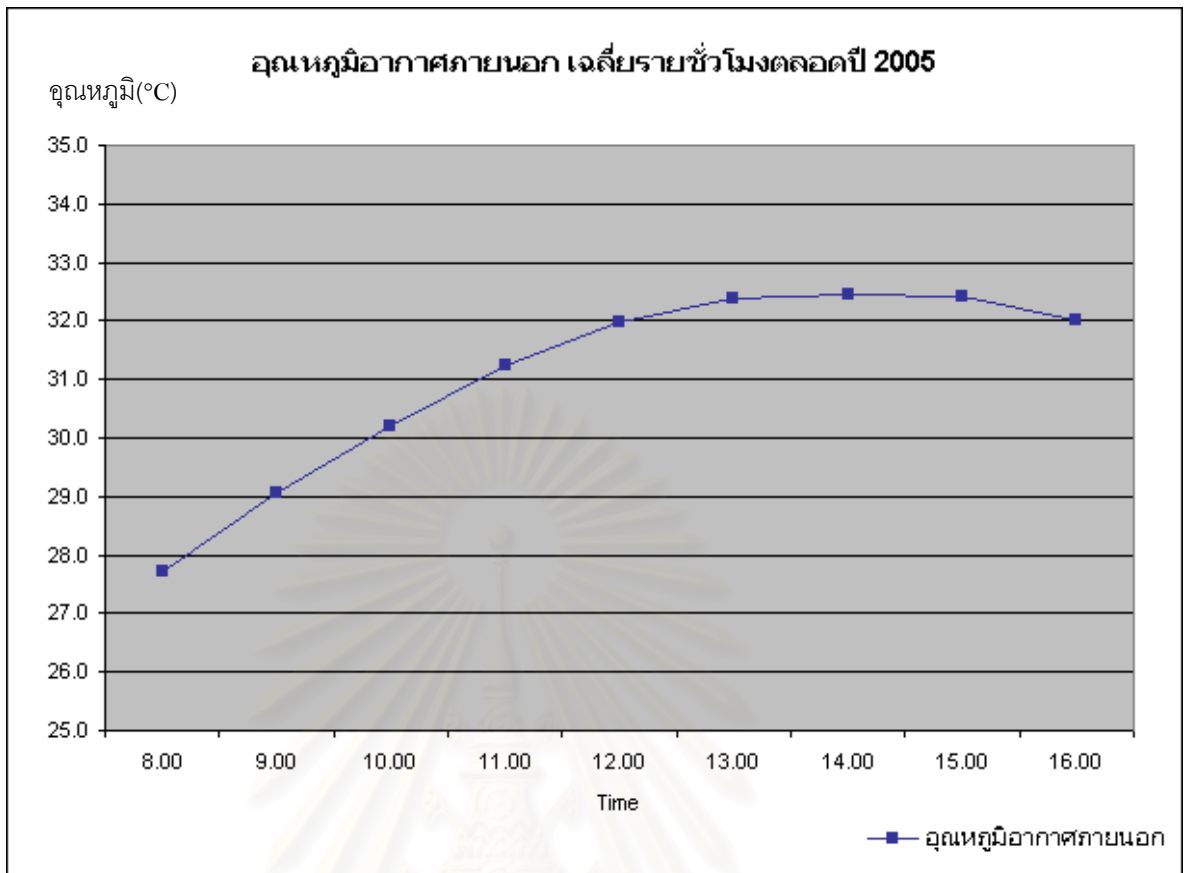
Unit : x 0.01 MJ/m<sup>2</sup>

Month	Time																	
	08.00		09.00		10.00		11.00		12.00		13.00		14.00		15.00		16.00	
	Global	Diffuse	Global	Diffuse	Global	Diffuse	Global	Diffuse	Global	Diffuse	Global	Diffuse	Global	Diffuse	Global	Diffuse	Global	Diffuse
1	78	40	133	59	194	78	227	85	245	82	240	78	209	71	145	56	81	37
2	93	52	152	77	203	93	250	101	276	99	281	88	248	73	188	57	115	39
3	104	60	157	79	206	102	255	116	285	118	290	109	255	92	192	73	108	51
4	130	72	182	92	233	109	276	116	296	106	286	96	232	79	182	71	98	49
5	143	71	181	83	226	87	247	94	272	102	262	96	209	81	165	64	102	48
6	137	77	176	100	218	115	259	127	272	134	247	118	190	100	143	80	96	58
7	112	67	170	93	205	109	231	128	233	138	202	119	169	99	117	73	80	50
8	118	65	168	96	215	123	228	130	237	134	217	124	166	98	128	73	84	51
9	105	62	172	96	200	117	234	126	216	123	195	113	163	92	110	70	61	44
10	133	63	182	83	227	104	238	108	229	106	205	87	152	72	115	57	51	32
11	125	54	174	74	207	87	220	100	208	95	179	87	153	80	99	56	44	30
12	99	43	159	58	202	70	223	81	219	88	192	83	152	72	107	55	52	33
<b>Mean</b>	<b>115</b>	<b>61</b>	<b>167</b>	<b>83</b>	<b>211</b>	<b>99</b>	<b>241</b>	<b>109</b>	<b>249</b>	<b>110</b>	<b>233</b>	<b>100</b>	<b>192</b>	<b>84</b>	<b>141</b>	<b>65</b>	<b>81</b>	<b>43</b>



รูปที่ 3.9 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์รายชั่วโมง ตลอดปี 2005

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 อุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยรายชั่วโมงตลอดปี 2005

Month	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	24.7	26.4	28.0	29.6	30.7	31.3	31.6	31.6	31.2
2	27.6	29.3	30.4	31.8	32.4	33.2	33.4	33.3	32.9
3	27.8	29.3	30.4	31.6	32.6	33.2	33.5	33.8	33.5
4	29.8	30.8	31.9	33.0	33.9	34.4	34.3	34.5	34.3
5	30.0	31.5	32.5	33.3	33.9	34.0	34.1	34.2	34.0
6	29.9	31.0	31.5	32.1	32.7	33.1	33.0	33.1	32.6
7	28.7	29.7	30.7	31.4	32.1	32.3	32.6	32.0	31.1
8	28.3	29.3	30.3	31.3	31.9	32.4	32.5	32.2	31.7
9	27.5	28.7	29.8	30.8	31.4	31.8	31.8	31.9	31.5
10	27.4	29.1	30.5	31.4	32.0	32.0	32.1	31.8	31.4
11	27.0	28.4	29.6	30.5	31.1	31.1	30.7	30.7	30.5
12	23.9	25.4	26.8	28.1	29.0	29.6	29.8	29.8	29.5
Mean	27.7	29.1	30.2	31.2	32.0	32.4	32.5	32.4	32.0



## ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ หาได้จากสมการของ ASHRAE Standard 93-77 โดยความร้อนที่ได้รับจากแผงรับแสงอาทิตย์ ( $q_u$ ) หาได้จากสมการ

$$q_u = I_{t0}(\tau\alpha)_0 - U_L(t_p - t_{at}) \quad (1)$$

และความร้อนที่น้ำได้รับหาได้จาก

$$q_u = \dot{m}C_p(t_{fe} - t_{fi})/A_{ap} \quad (2)$$

ดังนั้นประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ ( $\eta_c$ )

$$\eta_c = (\tau\alpha)_0 - U_L(t_p - t_{at})/I_{t0} \quad (3)$$

ASHRAE ได้แนะนำให้จัดรูปสมการใหม่ โดยใช้ค่าแฟคเตอร์การดูดความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ (Heat Removal Factor,  $F_R$ ) เพื่อให้สามารถใช้คุณสมบัติของน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์ ( $t_{fi}$ ) แทนอุณหภูมิของแผ่นดูดซับความร้อน ได้ดังนี้

$$q_u = F_R [I_{t0}(\tau\alpha)_0 - U_L(t_{fi} - t_{at})] \quad (4)$$

$$\eta_c = F_R(\tau\alpha)_0 - F_R U_L(t_{fi} - t_{at})/I_{t0} \quad (5)$$

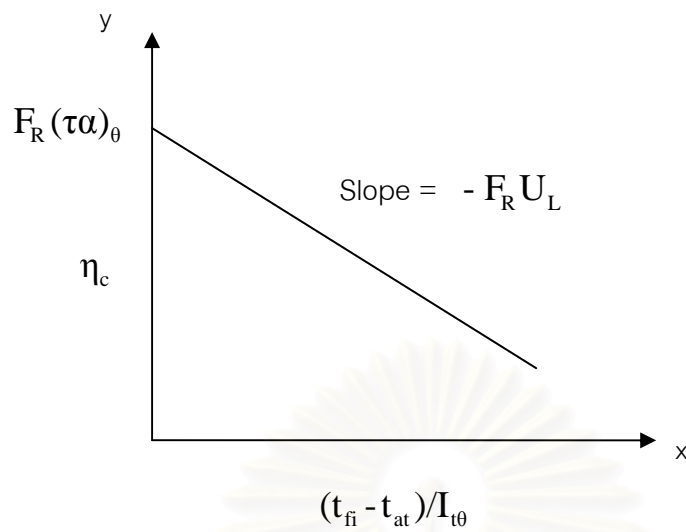
เมื่อ

$I_{t\theta}$	=	ความเข้มแสงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ, $W/m^2$
$F_R$	=	แฟคเตอร์การดูดความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์
$(\tau\alpha)_\theta$	=	ค่าการทะลุผ่าน (Transmittance) และค่าการดูดซับ (Absorptance) ของแผงรับแสงที่มุมแสงตกกระทบ $\theta$
$U_L$	=	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน, $W/m^2K$
$t_{fe}$	=	อุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับแสงอาทิตย์, $^{\circ}C$
$t_{fi}$	=	อุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับแสงอาทิตย์, $^{\circ}C$
$t_{at}$	=	อุณหภูมิอากาศภายนอกที่เวลาใดๆ, $^{\circ}C$
$t_p$	=	อุณหภูมิแผ่นดูดซับแสงอาทิตย์, $^{\circ}C$
$\dot{m}$	=	อัตราการไหลของน้ำ, $kg/s$
$A_{ap}$	=	พื้นที่รับแสงอาทิตย์, $m^2$
$C_p$	=	ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ, $kJ/kg.K$

เมื่อพิจารณาจากตัวแปรในสมการ(5)สามารถทำการจัดกลุ่มตัวแปรโดยให้

$x = (t_{fi} - t_{at})/I_{t\theta}$  และ  $y = \eta_c$  เพื่อที่จะเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง  $\eta_c$  กับ  $(t_{fi} - t_{at})/I_{t\theta}$  ซึ่งแต่ละจุดของกราฟข้อมูลจะทำการเก็บจากการทดลอง ถ้าสมมุติให้ตัวแปรของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์มีค่าคงที่ จะได้กราฟที่แสดงคุณสมบัติของตัวรับรังสีแสงอาทิตย์เป็นเส้นตรง ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสมการที่(5) ความชันของกราฟจะมีค่าเท่ากับ  $F_R U_L$  และจุดตัดของกราฟที่แกน y มีค่าเท่ากับ  $F_R (\tau\alpha)_\theta$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\eta_c$  กับ  $(t_{fi} - t_{at})/I_{t0}$

โดยทั่วไปประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์รวมกับประสิทธิภาพของถังเก็บน้ำร้อนและระบบท่อ เมื่อพิจารณาถึงถังเก็บน้ำร้อนและระบบท่อส่วนใหญ่ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับการสูญเสียความร้อนผ่านผนังถังเก็บน้ำร้อนซึ่งจะมีฉนวนความร้อนหุ้มอยู่จึงทำให้มีความร้อนสูญเสียน้อย โดยปกติจะมีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่า 5% ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีลักษณะเดียวกันกับประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ฮีตไปป์(Heat Pipes)

### ประวัติและความเป็นมา

ฮีตไปป์(Heat Pipes) เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่งที่ได้ถูกคิดขึ้นมาในปี 1942 โดย R.S.Gaugler แห่งบริษัท General Motor Corporation, Ohio, USA และได้ทำการจดสิทธิบัตรในปี 1944 ซึ่งวัตถุประสงค์ของการสร้างฮีตไปป์ในขณะนั้นก็เพื่อใช้ดูดความร้อนออกจากระบบทำความเย็น

### หลักการทำงานของฮีตไปป์

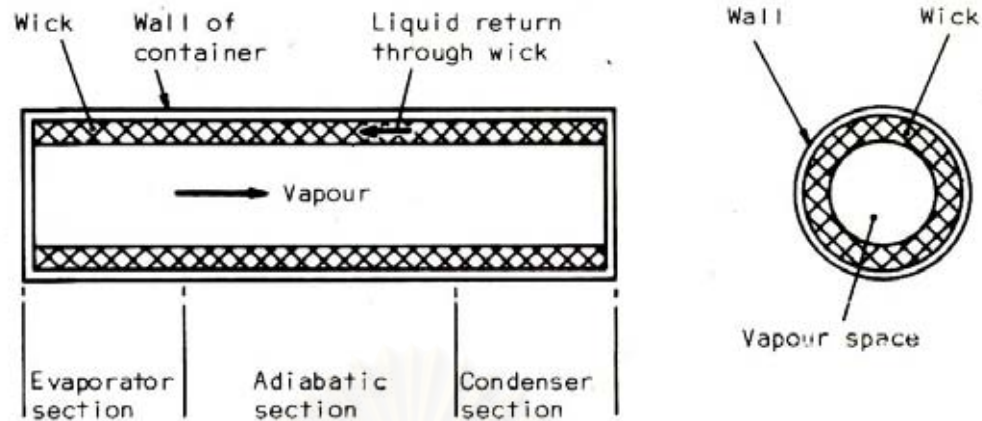
ฮีตไปป์เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่สามารถทำงานที่ผลต่างอุณหภูมิน้อยและให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงมาก ซึ่งฮีตไปป์ที่นิยมใช้กันสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ฮีตไปป์แบบมีวิก
2. ฮีตไปป์แบบไม่มีวิก

#### 1. ฮีตไปป์แบบมีวิก

ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ตัวท่อ โครงสร้างวิก และของไหลใช้งาน การทำงานของ ฮีตไปป์ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของอีแวพอเรเตอร์ (Evaporator Section), ส่วนที่ไม่มี การถ่ายเทความร้อน (Adiabatic Section) และส่วนคอนเดนเซอร์ (Condenser Section)

หลักการทำงานก็คือเมื่อส่วนของอีแวพอเรเตอร์ (Evaporator Section) ได้รับความร้อน จะทำให้ของไหลใช้งานเกิดการระเหยตัวกลายเป็นไอแล้วไหลไปสู่ส่วนคอนเดนเซอร์ (Condenser Section) จากนั้นของไหลใช้งานจะทำการคายความร้อนแล้วกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวไหลไปตาม วิก (Wick) กลับไปที่ส่วนของอีแวพอเรเตอร์ใหม่ ของไหลใช้งานไหลจากส่วนคอนเดนเซอร์มาสู่ ส่วนอีแวพอเรเตอร์ได้โดยอาศัยแรงทางคาพิลลารี (Capillary Action)



รูปที่ 3.12 โครงสร้างของฮีตไปป์แบบมีวิก

## 2. ฮีตไปป์แบบไม่มีวิก

ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญคือ ตัวท่อซึ่งภายในท่อจะบรรจุด้วยของไหลใช้งาน การทำงานของ ฮีตไปป์ จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเหมือนกับฮีตไปป์แบบมีวิกคือ มีส่วนระเหย (Evaporator Section), ส่วนที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อน (Adiabatic Section) และส่วนควบแน่น (Condenser Section)

หลักการทํางานก็คือเมื่อส่วนระเหย (Evaporator Section) ได้รับความร้อนจะทำให้ของไหลใช้งานเกิดการระเหยตัวกลายเป็นไอแล้วไหลไปสู่ส่วนควบแน่น (Condenser Section) จากนั้นของไหลใช้งานจะทำการคายความร้อนแล้วกลั่นตัวกลายเป็นของเหลวไหลกลับไปส่วนระเหยใหม่ ซึ่งของไหลใช้งานไหลจากส่วนควบแน่นมาสู่ส่วนระเหยได้โดยอาศัยแรงโน้มถ่วง (Gravity) ดังนั้นฮีตไปป์แบบไม่มีวิกส่วนระเหยจึงต้องอยู่ด้านล่างเสมอ

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าฮีตไปป์ทั้ง 2 แบบจะมีหลักการทํางานคล้ายกัน ซึ่งจะต่างกันตรงที่การไหลกลับของของไหลใช้งานจาก Condenser มาสู่ Evaporator โดยแบบแรกของไหลจะไหลกลับมาตามวิกโดยอาศัยแรงทางคาพิลารี ส่วนแบบที่สองของไหลจะไหลกลับมาโดยแรงโน้มถ่วงโดยไม่ต้องใช้วิก

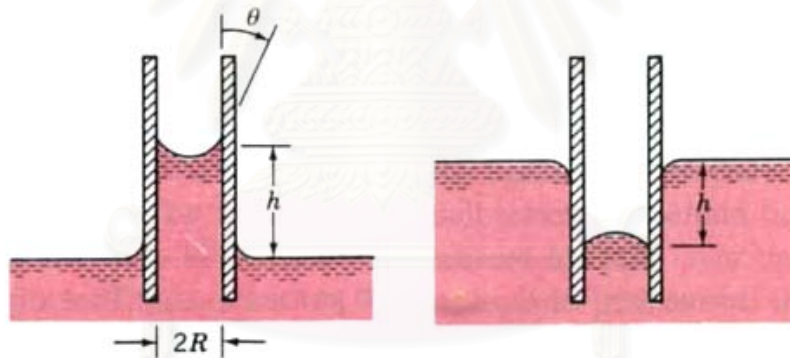
สำหรับงานวิจัยนี้ แผลงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ที่นำมาใช้ทดสอบจะเป็นฮีตไปป์แบบไม่มีวิก

### คาพิลารี (Capillary Effect)

จากโครงสร้างการทำงานของฮีตไปป์แบบมีวิก ซึ่งต้องอาศัยแรงทางคาพิลารี (Capillary Action) เพื่อช่วยในการ Return ของไหลใช้งานจาก Condenser กลับมาสู่ Evaporator สามารถอธิบายหลักการของคาพิลารีได้ดังนี้

คาพิลารี (Capillary Effect) เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของความตึงผิวและผลของค่าสัมพันธของการยึดติดกับผิวของแข็งต่อการยึดเหนี่ยวของของเหลวที่เกิดขึ้น ด้วยผลของคาพิลารีดังกล่าวจะทำให้เกิดการสูงขึ้นหรือต่ำลงของระดับของเหลวในหลอดรูเล็ก (Capillary Tube) จากระดับของของเหลวภายในหลอด

ถ้าแรงยึดติดกับผิวหลอดแก้วมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวของของเหลวภายในหลอดแก้วระดับของของเหลวในหลอดแก้วจะสูงขึ้น แต่ถ้าแรงยึดติดกับผิวหลอดแก้วน้อยกว่าแรงยึดเหนี่ยวของของเหลวภายในหลอดแก้ว ระดับของของเหลวในหลอดแก้วจะต่ำลง



รูปที่ 3.13 ปรากฏการณ์คาพิลารี (Capillary Effect)



## คุณสมบัติของฮีตไปป์

ฮีตไปป์ มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีมาก ลักษณะเด่นของ ฮีตไปป์ มีดังนี้

1. สภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity) มีค่าสูงมาก
2. ฟลักซ์ความร้อน (Heat Flux) สูง
3. อุณหภูมิผิวมีความสม่ำเสมอ เนื่องจากในระหว่างที่ทำงานอุณหภูมิของช่วงการควบแน่นของฮีตไปป์จะเท่ากัน ถ้าหากว่าที่จุดใดจุดหนึ่งเกิดมีอุณหภูมิต่ำลงที่บริเวณนั้นจะเกิดการควบแน่นของไอเพิ่มขึ้น ทำให้ยังคงอุณหภูมิต่างกันตลอดได้
4. การตอบสนองเชิงความร้อน (Thermal Response) ดี เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นในรูปของความร้อนแฝง การตอบสนองเชิงความร้อนจึงทำได้ดี และสามารถรับการเปลี่ยนแปลงของแหล่งความร้อนได้เร็ว
5. สามารถแยกช่วงรับความร้อนและช่วงคายความร้อนให้ออกห่างจากกันได้ เนื่องจาก ฮีตไปป์ สามารถถ่ายเทความร้อนปริมาณสูงไปได้ไกลๆ ดังนั้นจึงมีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนออกจากตำแหน่งที่ตั้งความร้อนได้ยากเช่นในที่แคบๆ ได้ดี
6. โครงสร้างไม่ซับซ้อน น้ำหนักเบา และรูปร่างกะทัดรัด
7. ไม่ต้องทำการบำรุงรักษา ไม่มีเสียงดัง
8. สามารถทำงานได้ในที่ไร้แรงโน้มถ่วงเช่นใช้ในยานอวกาศ ดาวเทียม เป็นต้น

## ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของฮีตไปป์แบบเทอร์โมไซฟอน

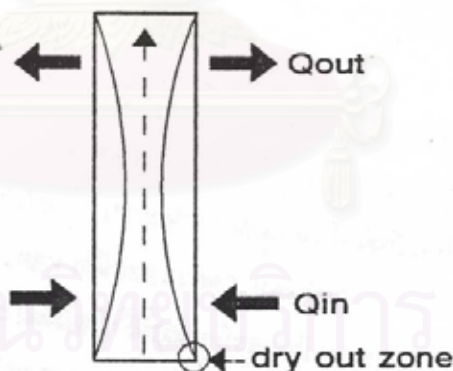
สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของฮีตไปป์จะขึ้นอยู่กับตัวแปรต่างๆ เช่นปริมาณสารที่เติม มุมเอียง สัดส่วนความยาวของช่วงต่างๆ ของท่อ ชนิดสารทำงาน ปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าสู่ส่วนของการระเหย เป็นต้น หากมีการกำหนดหรือควบคุมตัวแปรต่างๆ ในการสร้างแท่งฮีตไปป์ หรือการนำมาใช้งานไม่เหมาะสมก็จะทำให้ฮีตไปป์มีความสามารถในการนำความร้อนต่ำลงหรือไม่สามารถถ่ายเทความร้อนได้ในที่สุด

ขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของฮีตไปป์แบบเทอร์โมไซฟอนที่สำคัญจะเกิดจากขีดจำกัดของการเหือดแห้ง (Dry out limit) และขีดจำกัดการหลุดลอยของหยดของเหลว (Entrainment limit or Flooding limit)

### 1. ขีดจำกัดเนื่องจากการแห้ง (Dry out limit)

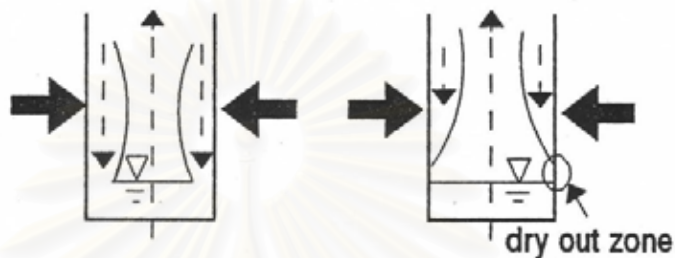
ขีดจำกัดนี้จะเกิดได้สองกรณี คือ เมื่อเติมปริมาณสารทำงานน้อยเกินไป และเติมปริมาณสารมากเกินไป

1.1 การเติมปริมาณสารน้อยเกินไป หากมีการป้อนพลังความร้อนสู่ช่วงการระเหยสูง จะทำให้ของเหลวส่วนล่างเริ่มแห้ง อุณหภูมิของผนังจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นดังแสดงใน รูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ขีดจำกัดเนื่องจากการแห้งจากการเติมปริมาณสารน้อยเกินไป

1.2 เมื่อเดินสารทำงานมากเกินไป จะทำให้สารทำงานระเหยกลายเป็นไอได้มากขึ้น และระดับผิวของเหลวลดลงอย่างช้าๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.15 ผลต่อมาจะมีแรงเฉือนระหว่างความเร็วของไอ กับของเหลวที่ความดันสูงขึ้น จะทำให้เกิดการสะสมของของเหลวในช่วงการควบแน่นมากขึ้น ก็จะทำให้เกิดการแห้งเหนือบ่อของเหลวอุณหภูมิของผนังท่อจะสูงขึ้น เมื่อน้ำหนักของเหลวที่ควบแน่นมากกว่าแรงของไอ ของเหลวจะตกลงสู่ช่วงการระเหยและจะทำให้อุณหภูมิที่ผนังแกว่งไปมา



รูปที่ 3.15 ชีตจำกัดเนื่องจากการแห้งจากการเดินปริมาณสารมากเกินไป

## 2. ชีตจำกัดการหลุดลอย(Entrainment limit)

ชีตจำกัดนี้จะเกิดในสถานะเดินสารทำงานมากเกินไปทำให้เกิดฟิล์มควบแน่นมาก ไหลลงมาสวนทางกับการไหลของไอที่มีความเร็วสูง (เมื่อป้อนฟลักซ์ความร้อนเข้าสู่การระเหยมาก) จะเกิดแรงเฉือนสูง จนในที่สุดเกิดการหลุดลอยของของเหลวกลับไปยังช่วงควบแน่นทำให้ความสามารถในการดึงความร้อนไปปลดปล่อยช่วงการควบแน่นลดลง

แม้ว่าเทอร์โมไซฟอนจะเป็นอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการส่งผ่านความร้อนสูง แต่เทอร์โมไซฟอนก็ยังมีขีดจำกัดในการส่งผ่านความร้อนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เช่นเดียวกับอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอื่นๆ กล่าวคือเมื่อการส่งผ่านความร้อนเกิดขึ้นที่ขีดจำกัดของอุปกรณ์พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้นอย่างมาก จากนั้นจะเกิดการไหม้เป็นสาเหตุให้อุปกรณ์เสียหาย และเกิดอันตรายอย่างมากทั้งตัวอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และผู้เดินเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

## บทที่ 4

### การดำเนินการทดสอบและอุปกรณ์เครื่องมือ

#### 1. การทดสอบประสิทธิภาพของแท่งฮีตไปป์

##### รายละเอียดของอุปกรณ์

##### 1. แท่งฮีตไปป์ (Heat Pipe)

แท่งฮีตไปป์ที่ใช้ในการทดสอบจำนวน 1 แท่ง ได้เอามาจากแผงรับแสงอาทิตย์ที่ใช้งานจริง จากนั้นได้พันขดลวดความร้อน โดยรอบแท่งฮีตไปป์บริเวณช่วงระเหย(Evaporator) เพื่อให้ได้รับความร้อนสม่ำเสมอตลอดแท่ง และได้ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล(Thermocouple)สำหรับวัดอุณหภูมิตรงบริเวณช่วงควบแน่น(Condenser) ช่วงกลางแท่ง(Middle) และช่วงระเหย(Evaporator) หลังจากพันขดลวดและติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลแล้ว จึงได้ทำการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 4.1 (a) การพันขดลวดโดยรอบแท่งฮีตไปป์ (b) การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ช่วงCondenser (c) การติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ช่วงEvaporator

##### 2. เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (DC Power Supply)

ทำหน้าที่จ่ายไฟให้ขดลวดความร้อน ที่พันอยู่โดยรอบแท่งฮีตไปป์ โดยตัวเครื่องสามารถปรับแรงดันและกระแสไฟฟ้าได้



รูปที่ 4.2 เครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า (DC Power Supply)

## 2. เครื่องทำความร้อน

ใช้ควบคุมอุณหภูมิในถัง ที่จะไหลเข้าสู่แท่งฮีตไปป์ โดยในการทดสอบจะควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ที่ 30,40 และ 50 °C



รูปที่ 4.3 เครื่องทำความร้อน

## 3. แท่นปรับระดับ

เป็นแท่นที่ใช้วางแท่งฮีตไปป์เพื่อการทดสอบผลของมุมเอียงที่มีต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีตไปป์ โดยที่แท่นสามารถปรับระดับองศาที่ต่างกันได้

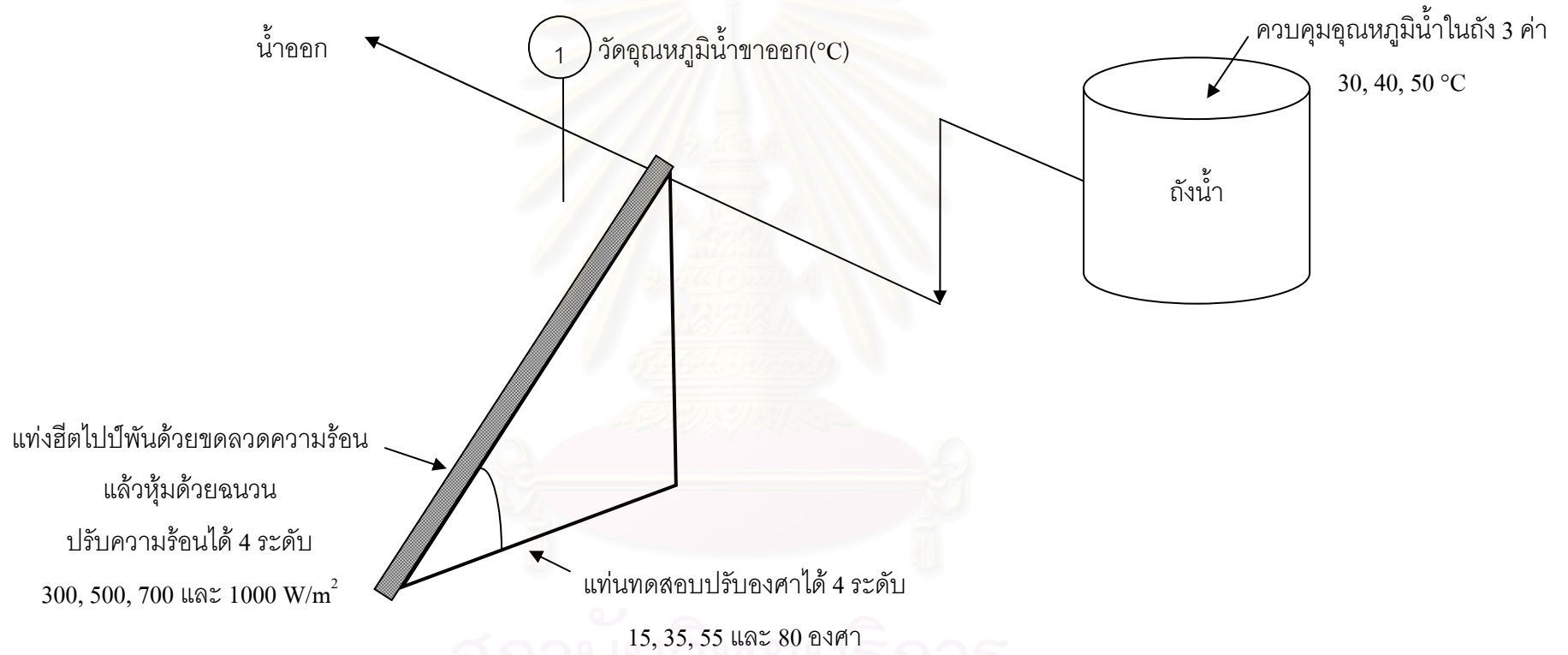
### รายละเอียดของอุปกรณ์การวัด

#### 1. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบบันทึกได้ (Data Logger)

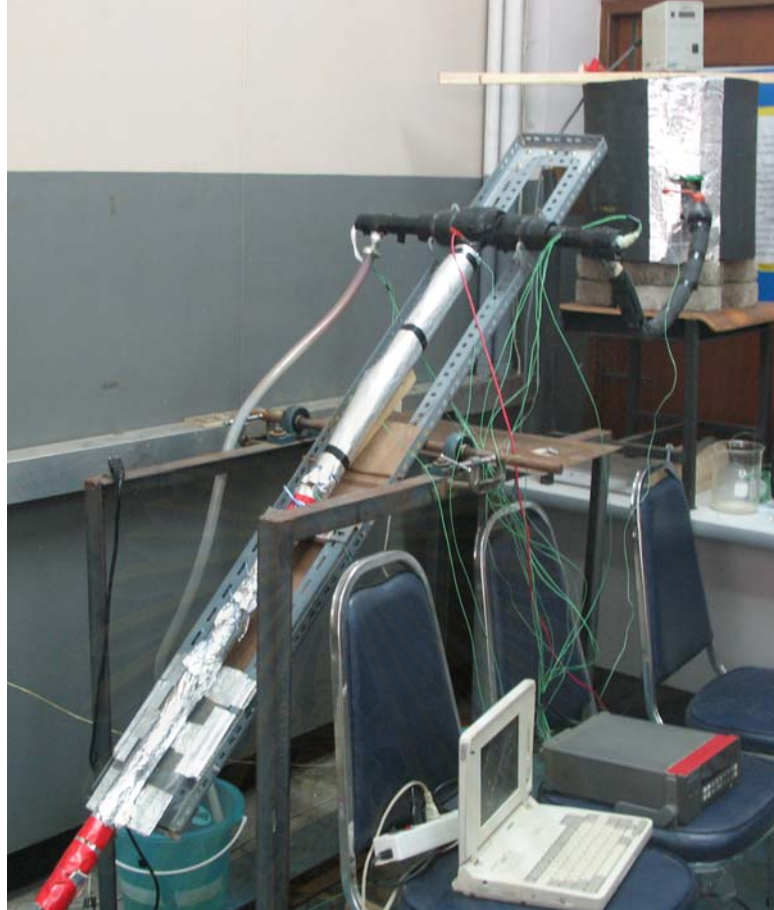
ใช้เครื่องมือชุดเดียวกับที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ ใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลวัดอุณหภูมิผิวของแท่งฮีตไปป์ช่วงระเหย ช่วงกลางแท่งและ ช่วงควบแน่น อุณหภูมิในถังและอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกช่วงควบแน่น

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกช่วงควบแน่น อาจเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยมากดังนั้นในการวัดอุณหภูมิในขณะนี้จะใช้เทอร์โมคัปเปิ้ลต่ออนุกรมกันจำนวน 5 คู่เพื่อเพิ่มความไว (Sensitivity) ของการวัด โดยได้แสดงวิธีการวัดไว้ในภาคผนวก

รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงการทดสอบฮีตไปป์







รูปที่ 4.5 การทดสอบแท่งฮีตไปป์ในห้องปฏิบัติการ

## วิธีการทดสอบประสิทธิภาพของแท่งฮีตไปป์

### วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

เป็นการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีตไปป์และขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนของแท่งฮีตไปป์

### ขั้นตอนการทดสอบ

1. ติดตั้งแท่ง ฮีตไปป์ ลงบนแท่นทดสอบที่มุมเอียง 15 องศา
2. ให้ฟลักซ์ความร้อนสม่ำเสมอ(Uniform heat flux)กับแท่งฮีตไปป์ที่  $300 \text{ W/m}^2$
3. ควบคุมอุณหภูมิน้ำในถังที่  $30 \text{ }^\circ\text{C}$
4. เปิดวาล์วน้ำเพื่อให้ น้ำในถังไหลไปทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับแท่งฮีตไปป์
5. ทำการบันทึกค่าอุณหภูมิที่ออกจากส่วนควบแน่น
6. การทดลองซ้ำตามข้อ1-4 โดยทำการปรับเปลี่ยนค่าองศาของแท่นทดสอบ ค่าความร้อนที่ให้กับแท่งฮีตไปป์ และอุณหภูมิ น้ำในถัง จนครบ 3 ค่าแล้วทำการบันทึกค่าอุณหภูมิ น้ำขาออก โดยมีรายละเอียดของการทดสอบดังนี้

Uniform heat flux (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ น้ำเข้า (°C)	มุมมองเฉียงของ ฮีตไปป์	Uniform heat flux (W/m <sup>2</sup> )	อุณหภูมิ น้ำเข้า (°C)	มุมมองเฉียงของ ฮีตไปป์
300	30	15	700	30	15
		35			35
		55			55
		80			80
	40	15		40	15
		35			35
		55			55
		80			80
	50	15		50	15
		35			35
		55			55
		80			80
500	30	15	1000	30	15
		35			35
		55			55
		80			80
	40	15		40	15
		35			35
		55			55
		80			80
	50	15		50	15
		35			35
		55			55
		80			80

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของการทดสอบแท่งฮีตไปป์

7. นำค่าอุณหภูมิน้ำขาออกที่ได้มาคำนวณหาค่าความร้อนที่น้ำได้รับได้(Q) ประสิทธิภาพของแท่งฮีตไปป์ได้

และ

## 2. การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์

### อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

#### 1. แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์

ขนาดของแผง 750 x 1550 x 60 mm พื้นที่รับแสง 1.1625 m<sup>2</sup>



รูปที่ 4.6 แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์

รายการ	ส่วนประกอบ	ชนิด/ขนาดและคุณสมบัติ
1	กรอบแผงรับแสงอาทิตย์(Frame)	อลูมิเนียม
2	ท่อภายในแผงรับแสงอาทิตย์	
	2.1 ท่อส่วนหัว(Header)	ทองแดง
	2.2 ท่อรับแสงอาทิตย์(Absorber)	20 ท่อ/แผง
	2.2.1 หลอดชั้นนอก	หลอดแก้วใส ความหนา 1.5 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 28 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 25 mm
	2.2.2 หลอดชั้นกลาง	หลอดแก้วเคลือบพื้นผิวเลือกรังสี ความหนา 1.7 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 18 mm เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 14.6 mm
	2.2.3 แท่งฮีตไปป์	ท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 mm ยาว 1500 mm

## 2. ถังเก็บน้ำร้อน (Storage Tank)

ขนาดความจุ 200 L



รูปที่ 4.7 ถังเก็บน้ำร้อน

รายการ ที่	ส่วนประกอบ	ชนิด/ขนาดและคุณสมบัติ
1	ถังเก็บน้ำร้อน	สแตนเลส เส้นผ่าศูนย์กลาง 600 mm ความสูง 700 mm หุ้มฉนวน

## 3. ระบบท่อ วาล์ว ป้อนและอุปกรณ์ควบคุม

ประกอบด้วยปั๊มน้ำ 1 ตัว, Timer 2 ตัว, Air Vent 2 ตัว, Check Valve 3 ตัว, ท่อน้ำ 1/2 นิ้ว  
หุ้มด้วยฉนวนและ Gate Valve 2 ตัว

### อุปกรณ์การวัดและเก็บข้อมูล

#### 1. เครื่องวัดอุณหภูมิแบบบันทึกได้ (Data Logger)

เป็นเครื่องเก็บบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ ซึ่งจะทำการบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมคัปเปิลและความเข้มแสงจากไพรานอมิเตอร์โดยมีคอมพิวเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการบันทึกข้อมูลเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง



รูปที่ 4.8 เครื่องวัดอุณหภูมิแบบบันทึกได้ (Data Logger)

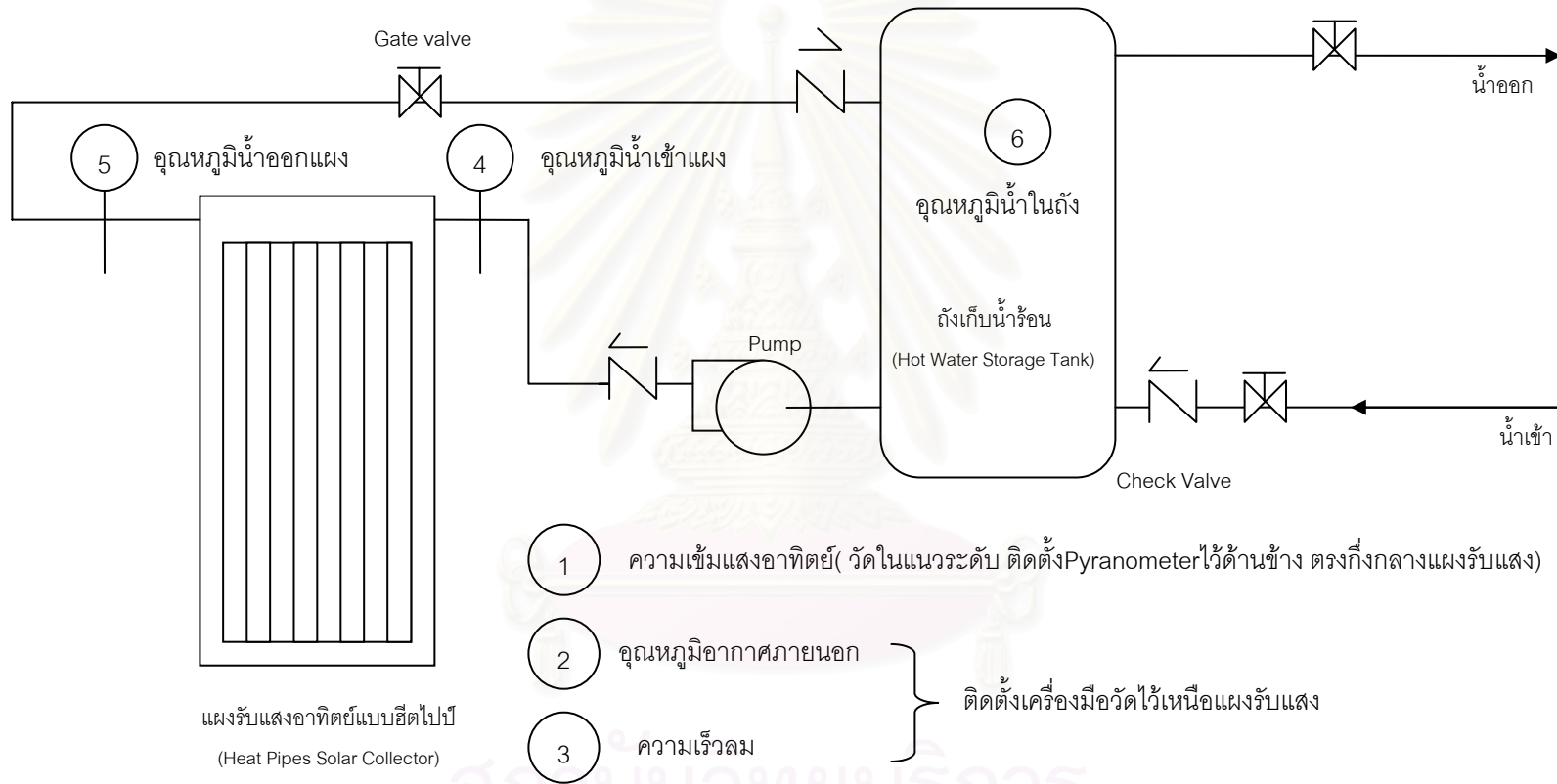
## 2. เครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดความเข้มแสง ไพรานอมิเตอร์ที่ใช้คือ Thermoelectric Sensor หรือแบบ Thermopile ซึ่งมี Sensor ทำด้วยโลหะ 2 ชนิด ซึ่งเชื่อมปลายทั้ง 2 ติดกันโดยปลายข้างหนึ่งทำหน้าที่เป็น Hot Junction และปลายอีกข้างหนึ่งเป็น Cold Junction เมื่อ Hot Junction ถูกรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบจะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของ Junction ทั้ง 2 และก่อให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า ซึ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นสามารถนำไปคำนวณหาความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบได้



รูปที่ 4.9 เครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer)

ภาพแสดงการทำงานของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์



รูปที่ 4.10 ตำแหน่งของการติดตั้งอุปกรณ์การวัด(จุดวัด 1 - 6 )



จุด	บริเวณที่ตรวจวัด	ค่าที่ตรวจวัด	เครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัด
1	ใกล้กับแผงรับแสง ในแนวระดับ	ความเข้มแสงอาทิตย์	ไพราโนมิเตอร์
2	บริเวณภายนอกเหนือแผงรับแสง	อุณหภูมิอากาศภายนอก	เทอร์โมคัพเบิล
3	บริเวณภายนอกเหนือแผงรับแสง	ความเร็วลม	แอนนิโมมิเตอร์
4	ท่อทางเข้าแผงรับแสงอาทิตย์	อุณหภูมิน้ำ	เทอร์โมคัพเบิล
5	ท่อทางออกของแผงรับแสงอาทิตย์	อุณหภูมิน้ำ	เทอร์โมคัพเบิล
6	ในถังเก็บน้ำร้อน	อุณหภูมิน้ำ	เทอร์โมคัพเบิล



รูปที่ 4.11 แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบฮีตไปป์ที่ใช้ในการทดลอง

## วิธีการทดสอบ

เพื่อให้ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์มีความถูกต้อง และเพิ่มความน่าเชื่อถือ ดังนั้นในการทดสอบแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์จึงได้ทำการทดสอบ พร้อมกับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบซึ่งมีการติดตั้งที่ชั้นดาดฟ้าอยู่ก่อนแล้ว เพื่อที่จะสามารถ เปรียบเทียบประสิทธิภาพให้เห็นได้ชัดเจนเนื่องจากแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบเป็นแผงที่มีการใช้งานมานานและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย การทดสอบโดยการเปรียบเทียบกันนี้จะช่วยเป็น ข้อมูลในการตัดสินใจเลือกใช้แผงรับแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมได้ โดยในการทดสอบแผงรับ แสงอาทิตย์ทั้ง 2 แผงนี้ได้มีการควบคุมตัวแปรให้คงที่เหมือนกันคือ

### 1. ปริมาณน้ำในถังต่อพื้นที่รับแสง

ปริมาณน้ำในถังต่อพื้นที่รับแสงเป็นตัวแปรที่มีความสำคัญมากเพราะต้องใช้ในการ คำนวณหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยในการทดสอบนี้ได้ กำหนดให้ปริมาณน้ำในถังต่อพื้นที่รับแสงของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบกับแบบฮีตไปป์มี อัตราส่วนที่เท่ากันคือ

	แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ	แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์
พื้นที่รับแสง(m <sup>2</sup> )	2	1.1625
ปริมาณน้ำในถัง(L)	150	87

### 2. อัตราการไหลของน้ำผ่านแผงรับแสงอาทิตย์

อัตราการไหลของน้ำผ่านแผงรับแสงทั้ง 2 แผงมีค่าคงที่ ซึ่งเท่ากับ 0.00028 m<sup>3</sup>/sec

### 3. เวลาการตัด-ต่อของปั๊ม

ใช้Timer 2 ตัวเป็นตัวควบคุมเวลาการตัด-ต่อของปั๊ม โดยกำหนดมาจากการใช้งานจริง ของผู้ผลิตคือ ให้ปั๊มตัดทุก 3 นาทีและเดินทุก 1 นาที คงที่ตลอดการทดสอบ

### 4. อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น

### 5. ความเข้มแสงอาทิตย์

ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่วัดได้จากPyranometer จะเป็นการวัดความเข้มแสงในแนว ระดับ ไม่ได้วัดตามแนวองศาเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์ เนื่องจากว่าในงานวิจัยนี้ต้องการที่จะ ศึกษาประสิทธิภาพโดยรวมของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบ ประสิทธิภาพของแผงรับแสง เมื่อวางเอียงทำมุมต่างกัน โดยไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การหาประสิทธิภาพ ของแผงรับแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว

### 6. อุณหภูมิอากาศภายนอก

### 7. ความเร็วลม

สำหรับวิธีการทดสอบจะจำลองรูปแบบมาจากการใช้งานจริงซึ่งจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนคือ

## 1. การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่เติมน้ำในระหว่างที่ทำการทดสอบ

### วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในแบบไม่เติมน้ำ จะเป็นการจำลองแบบการใช้งานในบ้านพักอาศัยหรือในกิจกรรมอื่นๆที่น้ำร้อนจะถูกกักเก็บไว้ตลอดทั้งวันและมีการเปิดใช้ในช่วงเย็น เพื่อที่จะดูความสามารถในการทำความร้อนและอุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้

### ขั้นตอนการทดสอบ

1. ทำความสะอาดแผงรับแสงอาทิตย์ให้สะอาด
2. เติมน้ำในถังให้ได้ตามที่กำหนด
3. ทำการบันทึกข้อมูลทุกๆ 2 นาทีในช่วงเวลาตั้งแต่ 08.00 – 16.00 น. โดยใช้ Data Logger ข้อมูลที่ทำการบันทึกมีความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำในถังเก็บน้ำร้อน อุณหภูมิน้ำเข้าแผง อุณหภูมิน้ำออกจากแผง อุณหภูมิอากาศภายนอก
4. นำข้อมูลที่บันทึกได้ มาทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
5. ในวันต่อไปก็จะถ่ายน้ำร้อนออกแล้วเติมน้ำเย็นเข้าไปใหม่แล้วทำการบันทึกข้อมูลเหมือนในขั้นตอนที่ 3

## 2. การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเติมน้ำหมุนเวียนเข้าระบบในระหว่างที่ทำการทดสอบ

### วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีการเติมน้ำเข้าระบบในระหว่างที่ทำการทดสอบ จะเป็นการจำลองแบบการใช้งานที่น้ำร้อนได้ถูกนำไปใช้งานในระหว่างวันโดยได้อ้างอิงรูปแบบการใช้น้ำร้อนมาจากงานวิจัยเรื่อง ระบบผลิตน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในโรงเรียนสังกัดกรุงเทพมหานครของสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์ ซึ่งได้ทำการทดสอบและติดตั้ง Solar Water Heater สำหรับผลิตน้ำร้อนในโรงอาหารของโรงเรียนเพื่อนำไปใช้ล้างภาชนะต่างๆ ซึ่งจะนำน้ำร้อนไปใช้ในช่วงเวลา 13.00 น. และเมื่อนำน้ำร้อนไปใช้แล้วก็จะมีการเติมน้ำใหม่เข้าไปหมุนเวียน เพื่อที่จะดูความสามารถในการทำความร้อนและอุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้

### ขั้นตอนการทดสอบ

ทำการทดสอบเหมือนวิธีที่ 1 แต่จะแตกต่างกันตรงที่เมื่อถึงเวลา 13.00 น. จะเปิดน้ำในถังไปใช้ครั้งหนึ่ง แล้วเติมน้ำใหม่ให้หมุนเวียนเข้ามาในระบบ

### 3. การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุมอุณหภูมิน้ำในถังตอนเริ่มต้นทำการทดสอบ

#### วัตถุประสงค์ของการทดสอบ

การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุมอุณหภูมิน้ำในถังตอนเริ่มต้นทำการทดสอบ จะเป็นการจำลองแบบการใช้งานที่น้ำร้อนในระหว่างวันไม่ได้ถูกนำไปใช้งานและถูกเก็บไว้ในถังตลอดวัน เมื่อเริ่มต้นวันใหม่น้ำจึงยังคงมีอุณหภูมิสูงอยู่ ดังนั้นในการทดสอบนี้จึงทำเพื่อที่จะดูความสามารถในการทำความร้อนและอุณหภูมิสูงสุดที่ทำได้ โดยการทดสอบนี้จะควบคุมอุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้นที่ 40 และ 50 °C

#### ขั้นตอนการทดสอบ

ทำการทดสอบเหมือนวิธีที่ 1 แต่จะแตกต่างกันตรงที่เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบในแต่ละวัน จะไม่นำน้ำในถังออกไปใช้ จะเก็บไว้ในถังเพื่อนำไปใช้ในวันต่อไป

### 4. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยการใช้แผ่นสะท้อนแสง

ทำการทดสอบเหมือนวิธีที่ 1 แต่จะใช้แผ่นสะท้อนซึ่งทำมาจากแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์สอดไว้ใต้แผงรับแสงอาทิตย์ดังรูป เพื่อให้แสงอาทิตย์สะท้อนกลับขึ้นมายังแผง เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบให้ดียิ่งขึ้น



(a)



(b)

รูปที่ 4.12 (a) แผ่นสะท้อนแสง (b) แผ่นสะท้อนแสงที่สอดไว้ใต้แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์



## บทที่ 5

### ผลการทดสอบ

#### ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแท่งฮีตไปป์

ในการทดสอบหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของฮีตไปป์ได้ทำการทดสอบโดยใช้อุปกรณ์ทดสอบดังรูป 4.5 โดยมีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

##### 1. ความร้อนที่ให้กับแท่งฮีตไปป์ (Uniform heat flux)

ในการทดสอบได้ให้ฟลักซ์ความร้อนกระจายสม่ำเสมอตลอดแท่งฮีตไปป์บริเวณช่วง Evaporator โดยการป้อนกำลังไฟฟ้าไปที่เส้นลวดความร้อนที่พันอยู่โดยรอบแท่งฮีตไปป์ โดยควบคุมกำลังไฟให้คงที่ที่ 300, 500, 700 และ 1000 W/m<sup>2</sup>

##### 2. อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser

อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser ควบคุมให้มีค่าคงที่โดยใช้เครื่องทำน้ำร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ทำความร้อนให้กับน้ำในถังที่มีการหุ้มฉนวน โดยในการทดสอบได้ควบคุมอุณหภูมิที่ 30, 40 และ 50 °C ตามลำดับ

##### 3. มุมเอียงของฮีตไปป์

มุมเอียงของฮีตไปป์ ได้ทำการปรับองศาโดยใช้แท่นปรับระดับที่ 15, 35, 55 และ 80 องศาตามลำดับ

ในการทดสอบได้ควบคุมอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านช่วง Condenser ให้มีค่าคงที่ที่เหมาะสม เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว จึงวัดและบันทึกค่าของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ในฮีตไปป์ โดยผลการทดสอบที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบ 3 ครั้ง ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 1. ข้อมูลการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 30 °C

ตารางที่ 5.1, 5.2, 5.3 และ 5.4 แสดงค่าการตรวจวัดโดยได้ทำการควบคุมอุณหภูมิน้ำเข้า Condenser ให้คงที่ 30 °C แล้วทำการปรับ Uniform heat flux ที่ 300, 500, 700 และ 1000 W/m<sup>2</sup>

ตารางที่ 5.1 Uniform heat flux 300 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 30 °C

รายการทดสอบ	หน่วย	มุมเอียงของฮีตไปป์(องศา)			
		15	35	55	80
อุณหภูมิช่วง Evaporator	°C	55.1	56.3	56.0	51.6
อุณหภูมิตรงกลางแท่งฮีตไปป์	°C	57.1	62.1	63.7	63.9
อุณหภูมิช่วง Condenser	°C	34.3	34.0	34.4	33.3
อุณหภูมิน้ำออกจาก Condenser	°C	30.4	31.1	30.6	30.4
อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser	°C	30.1	30.7	30.2	29.8
ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้า-ออก	°C	0.3	0.4	0.4	0.6
อัตราการถ่ายเทความร้อน	W	5.0	6.1	6.3	9.4

ตารางที่ 5.2 Uniform heat flux 500 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 30 °C

รายการทดสอบ	หน่วย	มุมเอียงของฮีตไปป์(องศา)			
		15	35	55	80
อุณหภูมิช่วง Evaporator	°C	62.2	60.7	61.6	60.8
อุณหภูมิตรงกลางแท่งฮีตไปป์	°C	68.9	70.8	72.1	68.2
อุณหภูมิช่วง Condenser	°C	36.7	36.3	36.2	35.5
อุณหภูมิน้ำออกจาก Condenser	°C	30.7	31.5	31.5	30.8
อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser	°C	30.1	30.8	30.8	29.9
ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้า-ออก	°C	0.6	0.7	0.7	0.9
อัตราการถ่ายเทความร้อน	W	9.6	10.8	11.0	14.0



ตารางที่ 5.3 Uniform heat flux  $700 \text{ W/m}^2$  อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser  $30 \text{ }^\circ\text{C}$

รายการทดสอบ	หน่วย	มุมเอียงของฮีตไปป์(องศา)			
		15	35	55	80
อุณหภูมิช่วง Evaporator	$^\circ\text{C}$	63.3	63.6	63.6	61.7
อุณหภูมิตรงกลางแท่งฮีตไปป์	$^\circ\text{C}$	74.8	87.6	92.6	85.4
อุณหภูมิช่วง Condenser	$^\circ\text{C}$	40.5	40.9	39.6	39.1
อุณหภูมิน้ำออกจาก Condenser	$^\circ\text{C}$	32.0	31.9	32.1	31.5
อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser	$^\circ\text{C}$	30.8	30.7	30.8	30.2
ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้า-ออก	$^\circ\text{C}$	1.2	1.2	1.3	1.3
อัตราการถ่ายเทความร้อน	W	19.2	19.3	19.7	21.1

ตารางที่ 5.4 Uniform heat flux  $1000 \text{ W/m}^2$  อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser  $30 \text{ }^\circ\text{C}$

รายการทดสอบ	หน่วย	มุมเอียงของฮีตไปป์(องศา)			
		15	35	55	80
อุณหภูมิช่วง Evaporator	$^\circ\text{C}$	61.4	67.0	63.2	65.0
อุณหภูมิตรงกลางแท่งฮีตไปป์	$^\circ\text{C}$	109.4	128.6	123.0	115.2
อุณหภูมิช่วง Condenser	$^\circ\text{C}$	48.9	42.8	40.0	41.2
อุณหภูมิน้ำออกจาก Condenser	$^\circ\text{C}$	31.8	32.1	31.9	31.6
อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser	$^\circ\text{C}$	30.5	30.8	30.5	30.2
ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้า-ออก	$^\circ\text{C}$	1.3	1.3	1.4	1.4
อัตราการถ่ายเทความร้อน	W	20.6	20.6	21.4	21.4

## 2. ข้อมูลการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 40 °C

ตาราง 5.5 และ 5.6 แสดงค่าการตรวจวัดโดยได้ทำการควบคุมอุณหภูมิน้ำเข้า Condenser ให้คงที่ 40 °C แล้วทำการปรับเปลี่ยน Uniform heat flux ที่ 300, 500, 700 และ 1000 W/m<sup>2</sup> ตามลำดับ สำหรับผลการทดสอบที่ Uniform heat flux 300 และ 500 W/m<sup>2</sup> นั้นไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของแท่งฮีตไปป์ตรงช่วง Condenser นั้นไม่ได้สูงกว่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้า ดังนั้นผลการทดสอบจึงแสดงเฉพาะที่ Uniform heat flux 700 และ 1000 W/m<sup>2</sup> เท่านั้น

ตารางที่ 5.5 Uniform heat flux 700 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 40 °C

รายการทดสอบ	หน่วย	มุมเอียงของฮีตไปป์(องศา)		
		15	35	55
อุณหภูมิช่วง Evaporator	°C	66.9	67.5	66.8
อุณหภูมิตรงกลางแท่งฮีตไปป์	°C	103.6	112.7	107.8
อุณหภูมิช่วง Condenser	°C	47.7	47.2	46.7
อุณหภูมิน้ำออกจาก Condenser	°C	40.2	40.2	40.4
อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser	°C	39.7	39.6	39.8
ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้า-ออก	°C	0.5	0.6	0.6
อัตราการถ่ายเทความร้อน	W	8.3	9.1	9.4

ตารางที่ 5.6 Uniform heat flux 1000 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 40 °C

รายการทดสอบ	หน่วย	มุมเอียงของฮีตไปป์(องศา)		
		15	35	55
อุณหภูมิช่วง Evaporator	°C	69.1	69.4	69.7
อุณหภูมิตรงกลางแท่งฮีตไปป์	°C	127.8	129.7	123.9
อุณหภูมิช่วง Condenser	°C	47.4	48.6	47.3
อุณหภูมิน้ำออกจาก Condenser	°C	40.2	40.1	41.2
อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser	°C	39.7	39.6	40.7
ผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้า-ออก	°C	0.4	0.5	0.5
อัตราการถ่ายเทความร้อน	W	6.6	7.4	8.0

### 3. ข้อมูลการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 50 °C

ผลการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 50 °C ไม่เกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิของแท่งฮีตไปป์ตรงช่วง Condenser ไม่สูงกว่าอุณหภูมิของน้ำที่เข้า ดังนั้นผลการทดสอบจึงไม่ได้แสดงไว้

ในการทดสอบได้มีการคำนวณที่เกี่ยวข้องคือการหาค่า อัตราการไหล อัตราการถ่ายเทความร้อน พลังงานที่ป้อนเข้าขดลวดความร้อน และประสิทธิภาพเชิงความร้อน ซึ่งได้แสดงตัวอย่างการคำนวณไว้ในภาคผนวก

ดังนั้นในตารางที่ 5.7 และ 5.8 จึงได้สรุปผลการทดสอบทั้งหมดไว้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 5.7 สรุปผลการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 30 °C

Uniform heat flux  W/m <sup>2</sup>	อุณหภูมิ น้ำเข้า °C	มุมเอียง ของฮีต ไปป์ (องศา)	อุณหภูมิผิวของฮีตไปป์			อุณหภูมิ น้ำออก °C	อุณหภูมิ น้ำเข้า °C	ผลต่าง อุณหภูมิ น้ำเข้า-ออก °C	อัตราการ ถ่ายเทความร้อน W	พลังงานที่ ป้อน เข้าขดลวด W	ประสิทธิภาพ เชิงความร้อน %
			Evaporator °C	Middle °C	Condenser °C						
300	30	15	55.1	57.1	34.3	30.42	30.10	0.32	5.0	10.5	47.9
		35	56.3	62.1	34.0	31.12	30.73	0.39	6.1	10.5	58.4
		55	56.0	63.7	34.4	30.60	30.20	0.40	6.3	10.5	59.9
		80	51.6	63.9	33.3	30.40	29.80	0.60	9.4	10.5	89.9
500	30	15	62.2	68.9	36.7	30.71	30.10	0.61	9.6	17.5	54.8
		35	60.7	70.8	36.3	31.49	30.80	0.69	10.8	17.5	62.0
		55	61.6	72.1	36.2	31.54	30.84	0.70	11.0	17.5	62.9
		80	60.8	68.2	35.5	30.79	29.90	0.89	14.0	17.5	80.0
700	30	15	63.3	74.8	40.5	32.02	30.80	1.22	19.2	24.5	78.3
		35	63.6	87.6	40.9	31.93	30.70	1.23	19.3	24.5	78.9
		55	63.6	92.6	39.6	32.05	30.80	1.25	19.7	24.5	80.2
		80	61.7	85.4	39.1	31.54	30.20	1.34	21.1	24.5	86.0
1000	30	15	61.4	109.4	48.9	31.81	30.50	1.31	20.6	35.0	58.9
		35	67.0	128.6	42.8	32.10	30.79	1.31	20.6	35.0	58.9
		55	63.2	123.0	40.0	31.86	30.50	1.36	21.4	35.0	61.1
		80	65.0	115.2	41.2	31.56	30.20	1.36	21.4	35.0	61.1

ตาราง 5.8 สรุปผลการทดสอบที่อุณหภูมิน้ำเข้า Condenser 40 °C

Uniform heat flux  W/m <sup>2</sup>	อุณหภูมิ น้ำเข้า  °C	มุมเอียง ของฮีต ไปป์ (องศา)	อุณหภูมิผิวของฮีตไปป์			อุณหภูมิ น้ำออก  °C	อุณหภูมิ น้ำเข้า  °C	ผลต่าง อุณหภูมิ น้ำเข้า-ออก  °C	อัตราการ ถ่ายเทความร้อน  W	พลังงานที่ ป้อน เข้าขดลวด  W	ประสิทธิภาพ เชิงความร้อน  %
			Evaporator  °C	Middle  °C	Condenser  °C						
700	40	15	66.9	103.6	47.7	40.2	39.7	0.5	8.3	24.5	33.9
		35	67.5	112.7	47.2	40.2	39.6	0.6	9.1	24.5	37.1
		55	66.8	107.8	46.7	40.4	39.8	0.6	9.4	24.5	38.4
1000	40	15	69.1	127.8	47.4	40.2	39.7	0.4	6.6	35.0	18.8
		35	69.4	129.7	48.6	40.1	39.6	0.5	7.4	35.0	21.0
		55	69.7	123.9	47.3	41.2	40.7	0.5	8.0	35.0	22.8

## ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์

ในการเก็บข้อมูลได้ทำการเก็บข้อมูลในช่วงฤดูร้อนตั้งแต่วันที่ 17 มี.ค. 2550 จนถึง วันที่ 12 เม.ย. 2550 และช่วงฤดูหนาวตั้งแต่วันที่ 20 พ.ย. 2550 จนถึงวันที่ 31 ม.ค. 2551 โดยแบ่งเป็นรายละเอียดของการทดสอบดังนี้

- 1.การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์แบบไม่เติมน้ำในระหว่างที่ทำการทดสอบ
- 2.การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์แบบเติมน้ำหมุนเวียนเข้าระบบในระหว่างที่ทำการทดสอบ โดยการเปิดใช้น้ำตอน 13.00 น.
- 3.การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์แบบควบคุมอุณหภูมิน้ำในถึงตอนเริ่มต้นทำการทดสอบ โดยควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นที่ 40 และ 50 °C
4. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์โดยการใช้แผ่นสะท้อนแสง  
ซึ่งผลการทดสอบที่ได้สามารถสรุปได้ดังนี้

### 1.ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์แบบไม่เติมน้ำในระหว่างที่ทำการทดสอบ

ตารางที่ 5.9 และ 5.10 ได้แสดงค่าการตรวจวัดในฤดูร้อนและฤดูหนาวดังนี้

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบในฤดูร้อนของแผงฮีตไปป์

วันที่ทดสอบ	17 มีค 50	19 มีค 50	21 มีค 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	602.3	683.8	630.5
อุณหภูมิน้ำในถึงสูงสุด (°C)	43.5	44.6	45.4
อุณหภูมิน้ำในถึงเริ่มต้น (°C)	29.0	30.4	29.5
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (°C)	39.5	39.6	38.8
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด (°C)	29.4	32.3	32.0
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	20.17	22.89	21.11
พลังงานน้ำร้อนในถึง (MJ)	5.23	5.12	5.73
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	25.92	22.37	27.17



ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบในฤดูหนาวของแผงฮีตไปป์

วันที่ทดสอบ	20 พย 50	22 พย 50	24 พย 50
ลักษณะท้องฟ้า	ครึ้ม เมฆมาก	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	383.68	529	519.2
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	37.6	43.0	42.2
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ( $^{\circ}C$ )	28.0	29.2	28.9
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	41.6	36.7	38.6
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด ( $^{\circ}C$ )	27.9	26.8	28.0
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	12.85	17.71	17.38
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	3.46	4.98	4.80
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	26.97	28.11	27.58

## 2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์แบบเติมน้ำหมุนเวียนเข้าระบบ

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบแบบเปิดน้ำไปใช้ตอน 13.00 น. ของแผงฮีตไปป์

วันที่ทดสอบ	26 พย 50	27 พย 50	28 พย 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	572.07	576.99	586.5
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	42.4	41.8	42.8
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ( $^{\circ}C$ )	29.8	28.6	28.5
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	35.7	36.3	36.0
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด ( $^{\circ}C$ )	27.5	27.7	27.0
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	19.15	19.32	19.64
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	4.55	4.76	5.16
พลังงานน้ำร้อนที่ใช้ (MJ)	1.53	2.18	2.11
พลังงานน้ำร้อนรวม (MJ)	6.08	6.94	7.27
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	31.75	35.92	37.02

### 3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์แบบควบคุมอุณหภูมิในถังตอนเริ่มต้นทำการทดสอบ

ตารางที่ 5.12 และ 5.13 ได้แสดงค่าการตรวจวัดเมื่ออุณหภูมิเริ่มต้น 40 °C และ 50 °C ตามลำดับ

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบอุณหภูมิเริ่มต้น 40 °C ของแผง ฮีตไปป์

วันที่ทดสอบ	29 พย 50	30 พย 50	1 ธค 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	526.23	535.8	518.2
อุณหภูมิในถังสูงสุด (°C)	51.2	50.6	49.5
อุณหภูมิในถังเริ่มต้น (°C)	40.3	40.5	39.9
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (°C)	35.6	36.0	35.0
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด (°C)	28.4	27.9	27.2
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	17.62	17.94	17.35
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	3.93	3.64	3.46
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	22.32	20.32	19.97

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบอุณหภูมิเริ่มต้น 50 °C ของแผงฮีตไปป์

วันที่ทดสอบ	2 ธค 50	3 ธค 50	4 ธค 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	586.52	523.2	548.2
อุณหภูมิในถังสูงสุด (°C)	59.3	60.5	59.2
อุณหภูมิในถังเริ่มต้น (°C)	50.4	51.0	49.9
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (°C)	37.7	38.1	37.0
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด (°C)	23.8	23.1	23.8
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	19.64	17.52	18.35
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	3.21	3.43	3.36
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	16.35	19.57	18.28

#### 4. ผลการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์โดยการใช้แผ่นสะท้อนแสง

ในตารางที่ 5.14 ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์แบบใช้และไม่ใช้แผ่นสะท้อนแสง โดยได้เลือกวันที่มีความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดวัน อุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่มีค่าใกล้เคียงกันมาเปรียบเทียบ

วันที่ทดสอบ	20 พ.ย. 50	24 ม.ค. 51	22 พ.ย. 50	26 ม.ค. 51	24 พ.ย. 50	25 ม.ค. 51
การใช้แผ่นสะท้อนแสง	ไม่ใช้	ใช้	ไม่ใช้	ใช้	ไม่ใช้	ใช้
ลักษณะท้องฟ้า	ครึ้ม	ครึ้ม	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	383.68	403.8	529	535.6	519.2	469.1
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	37.6	41.9	43.0	47.9	42.2	46.4
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ( $^{\circ}C$ )	28.0	27.5	29.2	27.5	28.9	28.4
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	12.85	13.52	17.71	17.93	17.38	15.71
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	3.46	5.20	4.98	7.36	4.80	6.49
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	26.97	38.44	28.11	41.05	27.61	41.35

ตารางที่ 5.14 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์แบบใช้และไม่ใช้แผ่นสะท้อนแสง

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์เปรียบเทียบกับระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

### 1.ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบไม่เติมน้ำในระหว่างที่ทำการทดสอบ

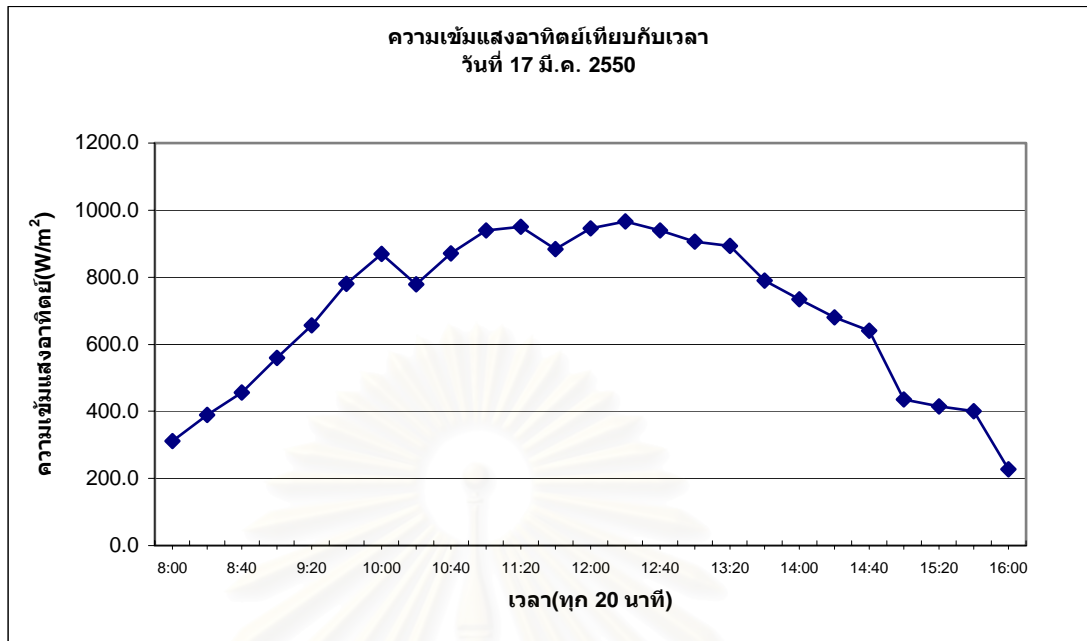
ตารางที่ 5.9 และ 5.15 ได้แสดงค่าการตรวจวัดในฤดูร้อนโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบกับแบบฮีตไปป์ ส่วนกราฟรูปที่ 5.1 ถึง 5.6 แสดงถึงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดวันและอุณหภูมิสะสมของน้ำในถังและอุณหภูมิอากาศภายนอกเทียบกับเวลา

ตารางที่ 5.15 ผลการทดสอบในฤดูร้อนของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ

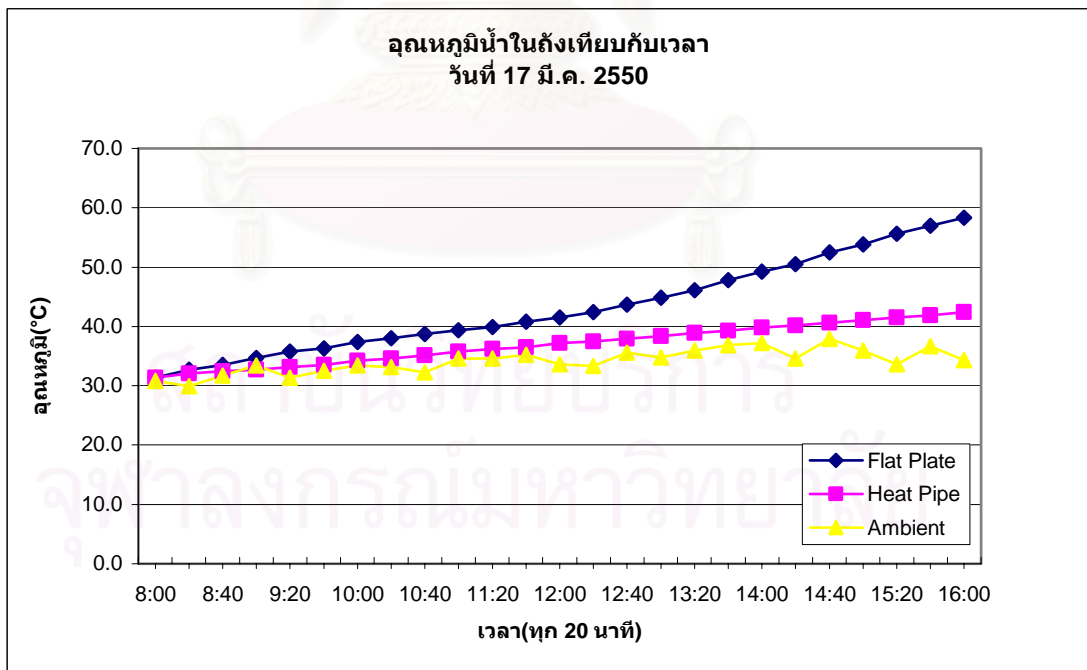
วันที่ทดสอบ	17 มีค 50	19 มีค 50	21 มีค 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	602.3	683.8	630.5
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	53.1	56.9	58.4
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ( $^{\circ}C$ )	29.0	30.4	29.5
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	39.5	39.6	38.8
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด ( $^{\circ}C$ )	29.4	32.3	32.0
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	34.69	39.39	36.32
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	14.92	16.39	17.84
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	43.02	41.60	49.13

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบในฤดูร้อนของแผง ฮีตไปป์

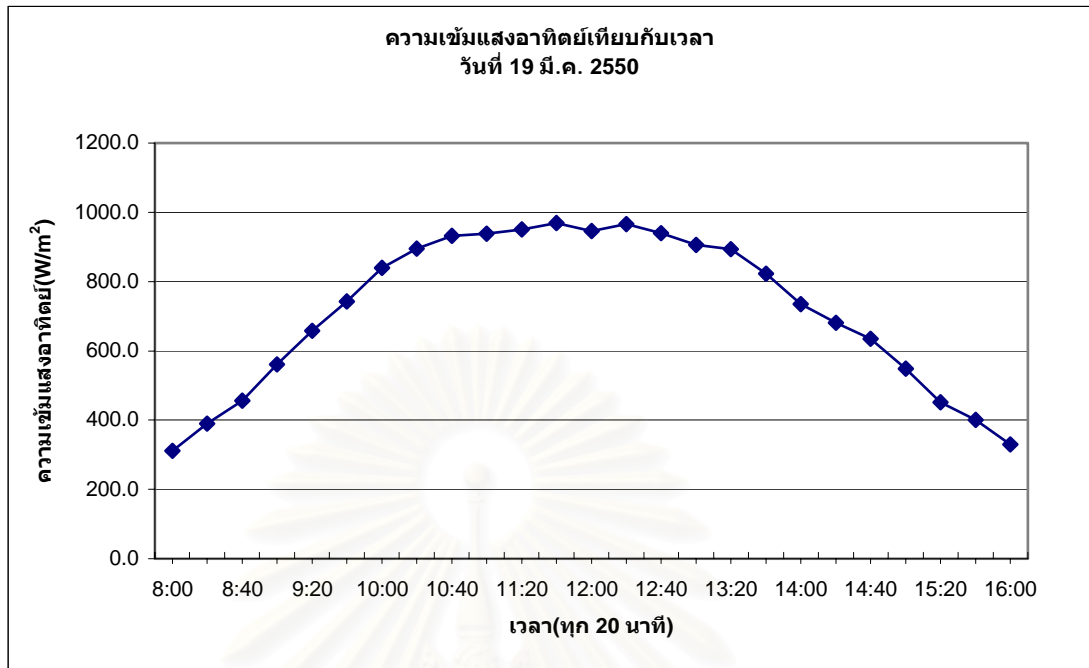
วันที่ทดสอบ	17 มีค 50	19 มีค 50	21 มีค 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	602.3	683.8	630.5
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	43.5	44.6	45.4
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ( $^{\circ}C$ )	29.0	30.4	29.5
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	39.5	39.6	38.8
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด ( $^{\circ}C$ )	29.4	32.3	32.0
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	20.17	22.89	21.11
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	5.23	5.12	5.73
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	25.92	22.37	27.17



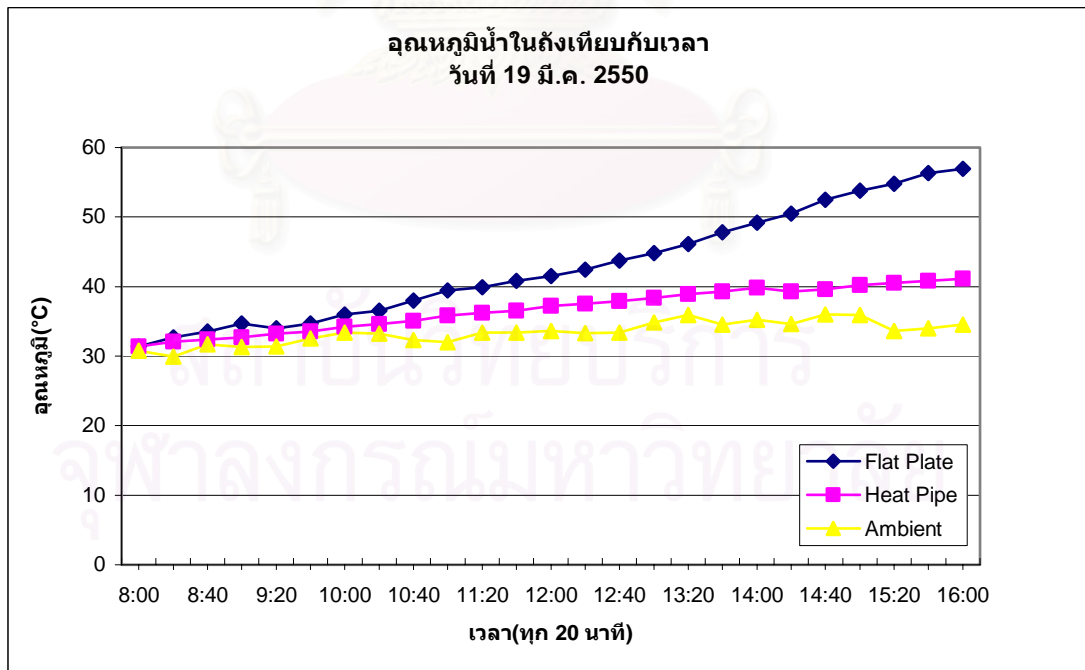
รูปที่ 5.1 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 17 มี.ค. 2550



รูปที่ 5.2 กราฟอุณหภูมิในถังเทียบกับเวลาวันที่ 17 มี.ค. 2550

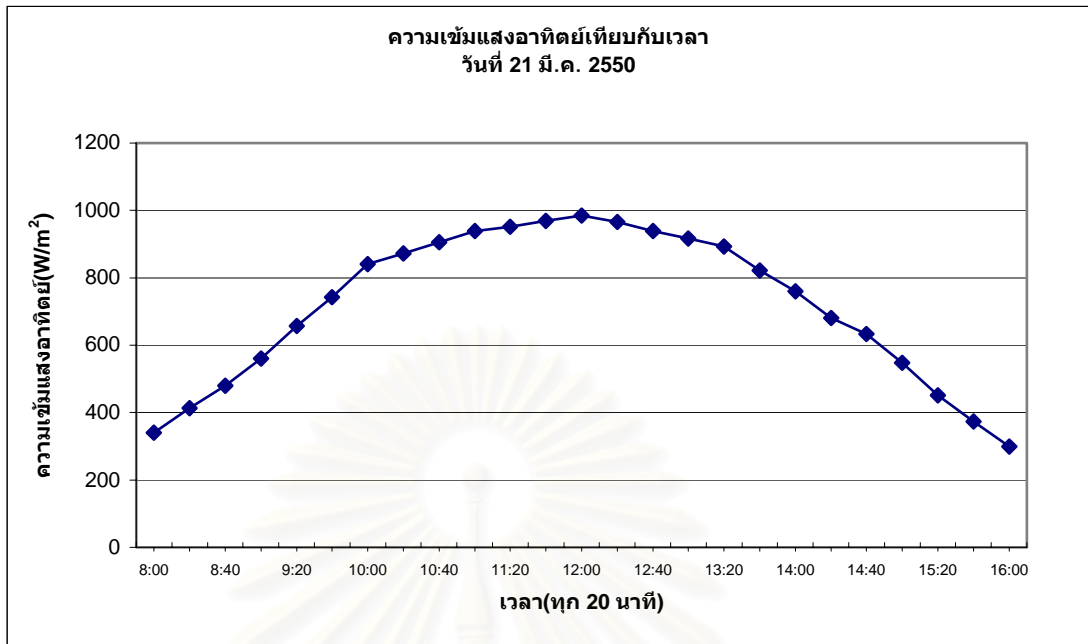


รูปที่ 5.3 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 19 มี.ค. 2550

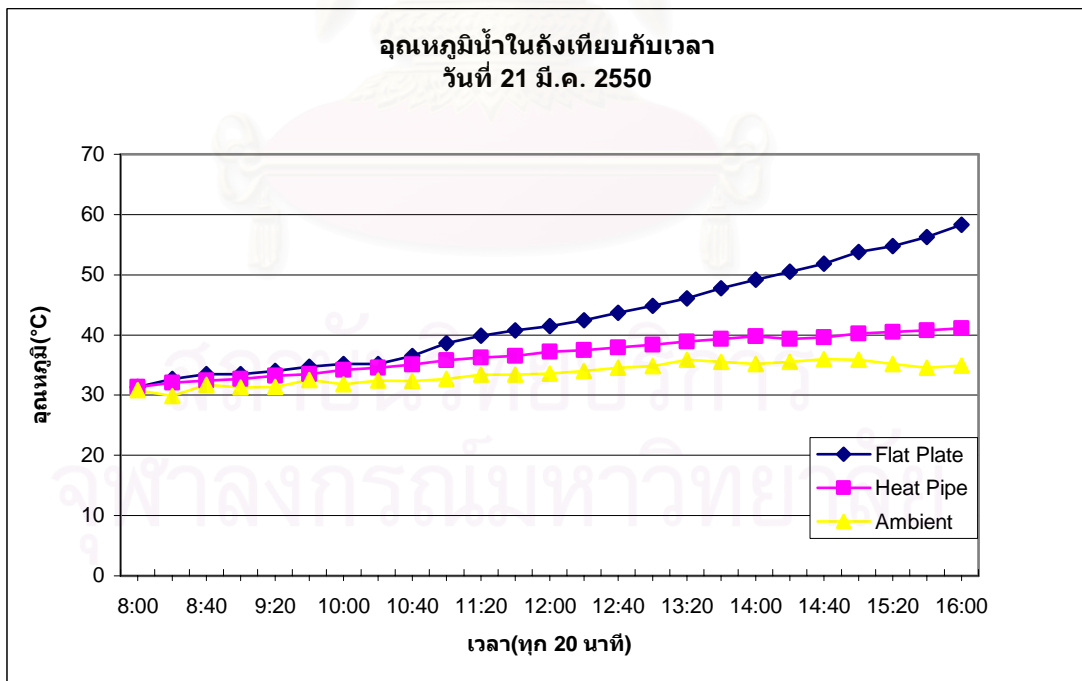


รูปที่ 5.4 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 19 มี.ค. 2550





รูปที่ 5.5 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 21 มี.ค. 2550



รูปที่ 5.6 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 21 มี.ค. 2550

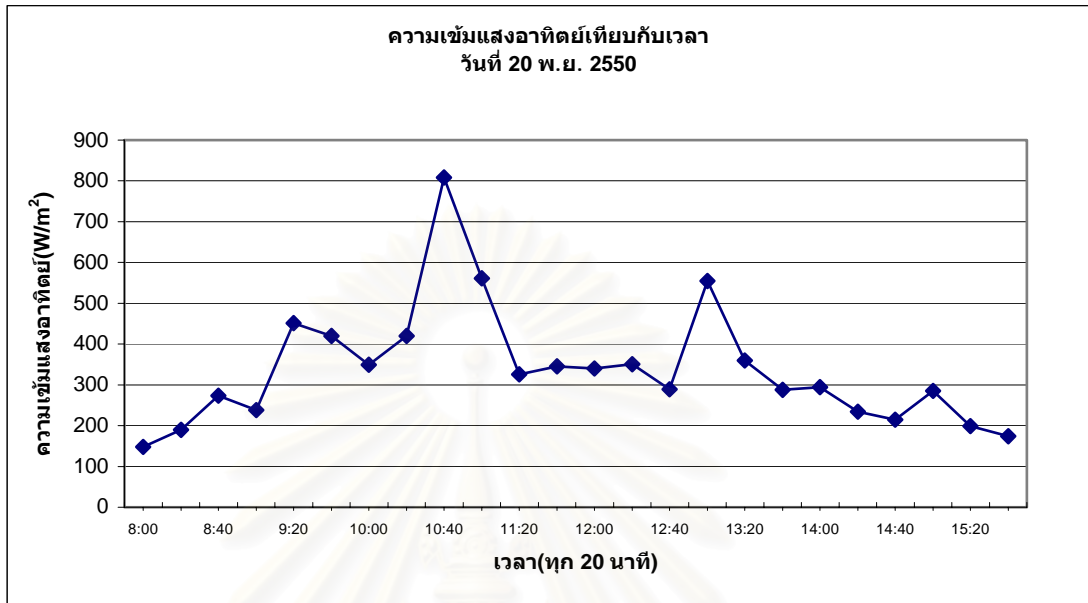
ตารางที่ 5.10 และ 5.16 ได้แสดงค่าการตรวจวัดในฤดูหนาวโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบกับแบบฮีตไปป์ ส่วนกราฟรูปที่ 5.7 ถึง 5.12 แสดงถึงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดวันและอุณหภูมิสะสมของน้ำในถังและอุณหภูมิอากาศภายนอกเทียบกับเวลา

ตารางที่ 5.16 ผลการทดสอบในฤดูหนาวของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ

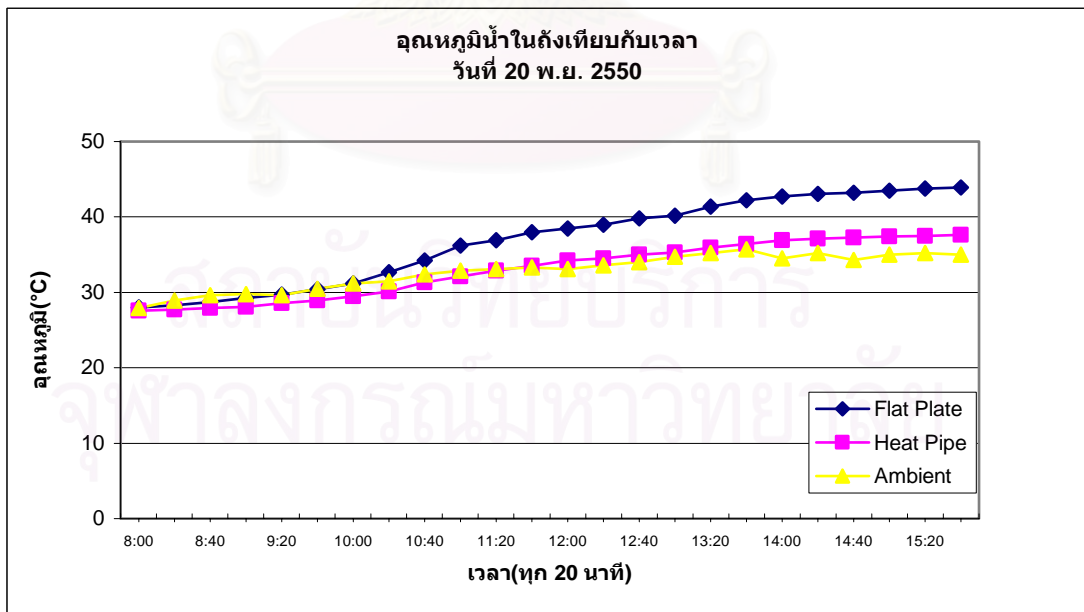
วันที่ทดสอบ	20 พย 50	22 พย 50	24 พย 50
ลักษณะท้องฟ้า	ครึ้ม เมฆมาก	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	383.68	529	519.2
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	42.0	51.4	52.0
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ( $^{\circ}C$ )	28.0	29.2	28.9
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	41.6	36.7	38.6
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด ( $^{\circ}C$ )	27.9	26.8	28.0
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	22.10	30.47	29.91
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	8.69	13.78	14.34
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	39.33	45.24	47.96

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบในฤดูหนาวของแผง ฮีตไปป์

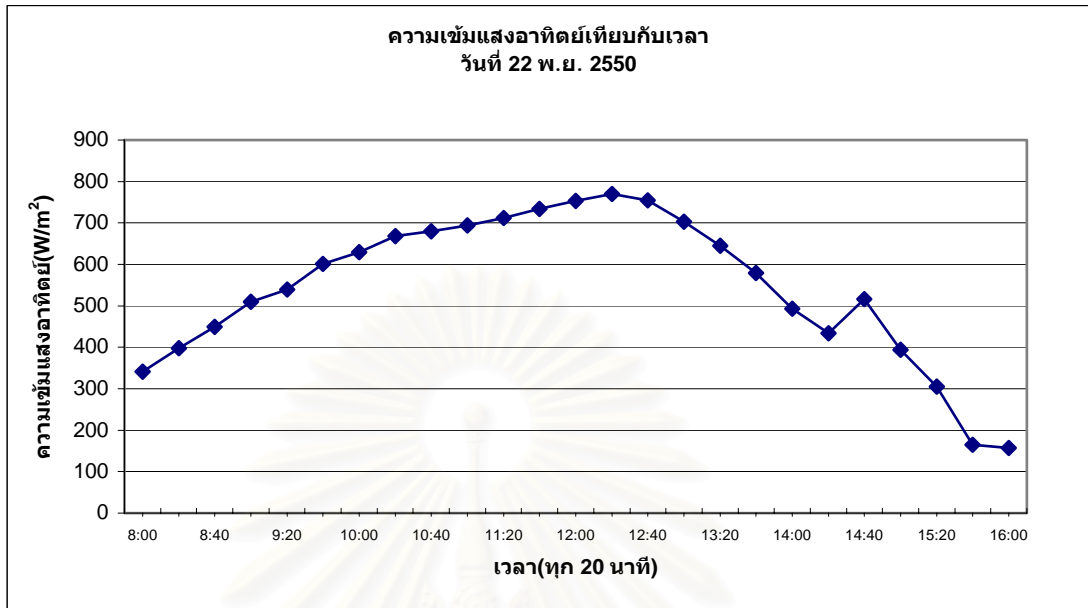
วันที่ทดสอบ	20 พย 50	22 พย 50	24 พย 50
ลักษณะท้องฟ้า	ครึ้ม เมฆมาก	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	383.68	529	519.2
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	37.6	43.0	42.2
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ( $^{\circ}C$ )	28.0	29.2	28.9
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	41.6	36.7	38.6
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด ( $^{\circ}C$ )	27.9	26.8	28.0
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	12.85	17.71	17.38
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	3.46	4.98	4.80
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	26.97	28.11	27.58



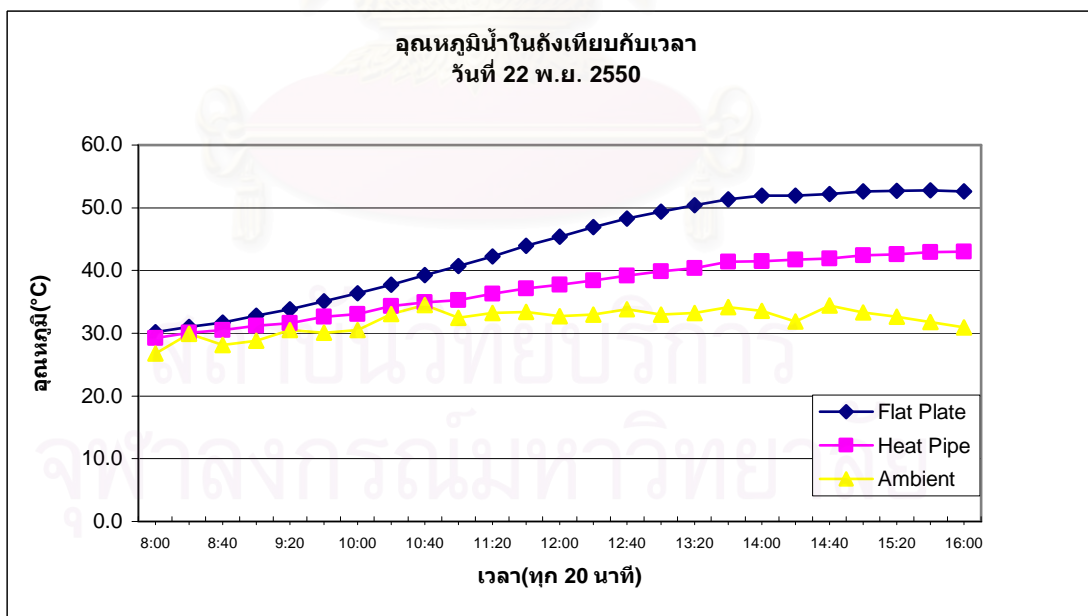
รูปที่ 5.7 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 20 พ.ย. 2550



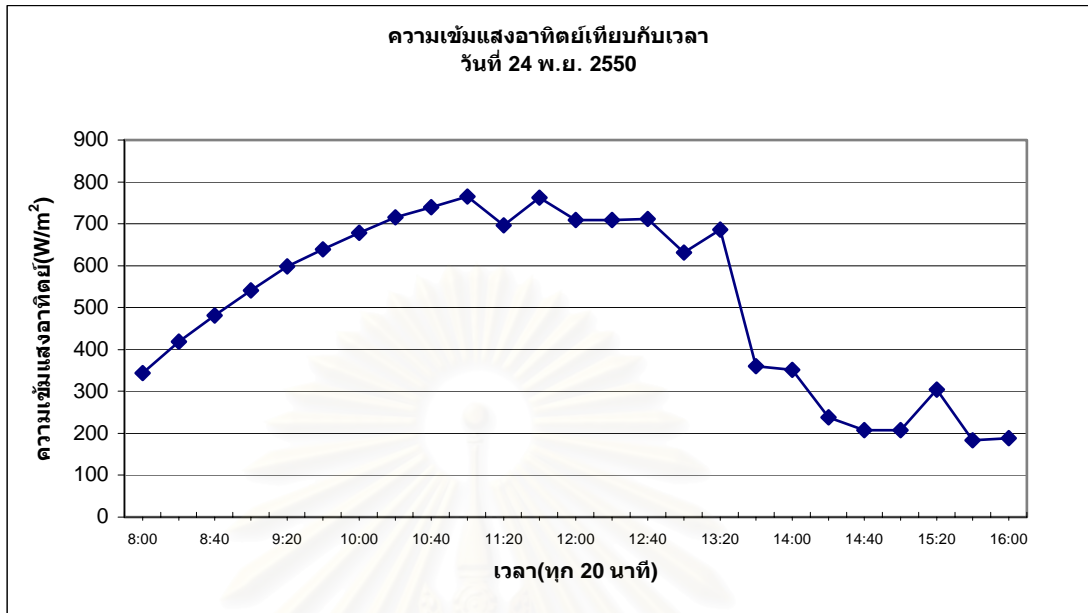
รูปที่ 5.8 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 20 พ.ย. 2550



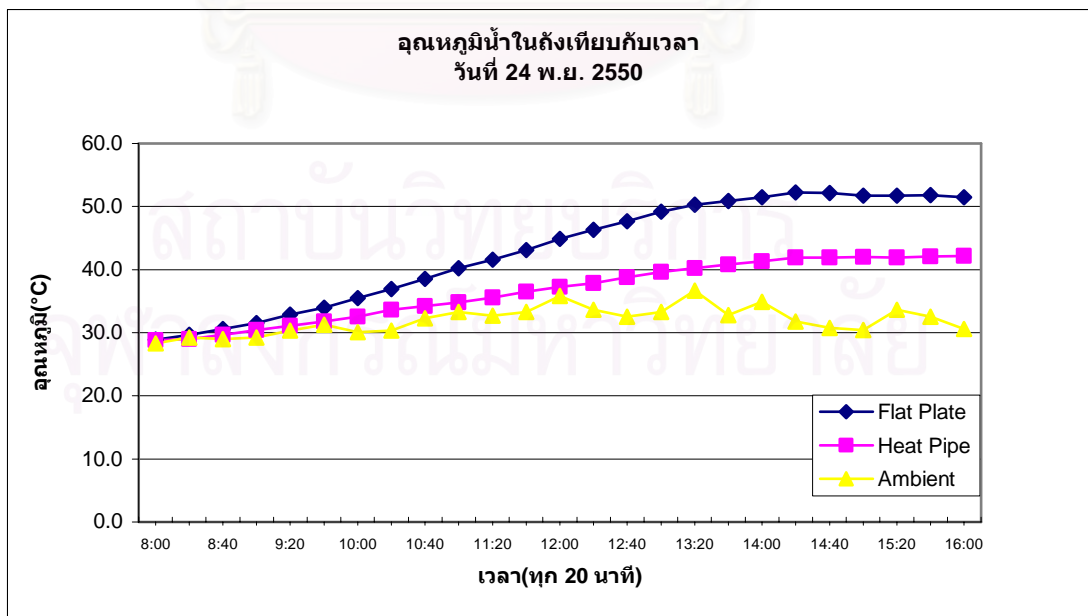
รูปที่ 5.9 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 22 พ.ย. 2550



รูปที่ 5.10 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 22 พ.ย. 2550



รูปที่ 5.11 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 24 พ.ย. 2550



รูปที่ 5.12 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 24 พ.ย. 2550

## 2.ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบเติมน้ำหมุนเวียนเข้าระบบ

ตารางที่ 5.11 และ 5.17 ได้แสดงค่าการตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบเมื่อมีการเปิดน้ำไปใช้ตอน 13.00 น. ส่วนกราฟรูปที่ 5.13 ถึง 5.18 แสดงถึงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดวันและอุณหภูมิสะสมของน้ำในถังและอุณหภูมิอากาศภายนอกเทียบกับเวลา

ตารางที่ 5.17 ผลการทดสอบแบบเปิดน้ำไปใช้ตอน 13.00 น.ของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ

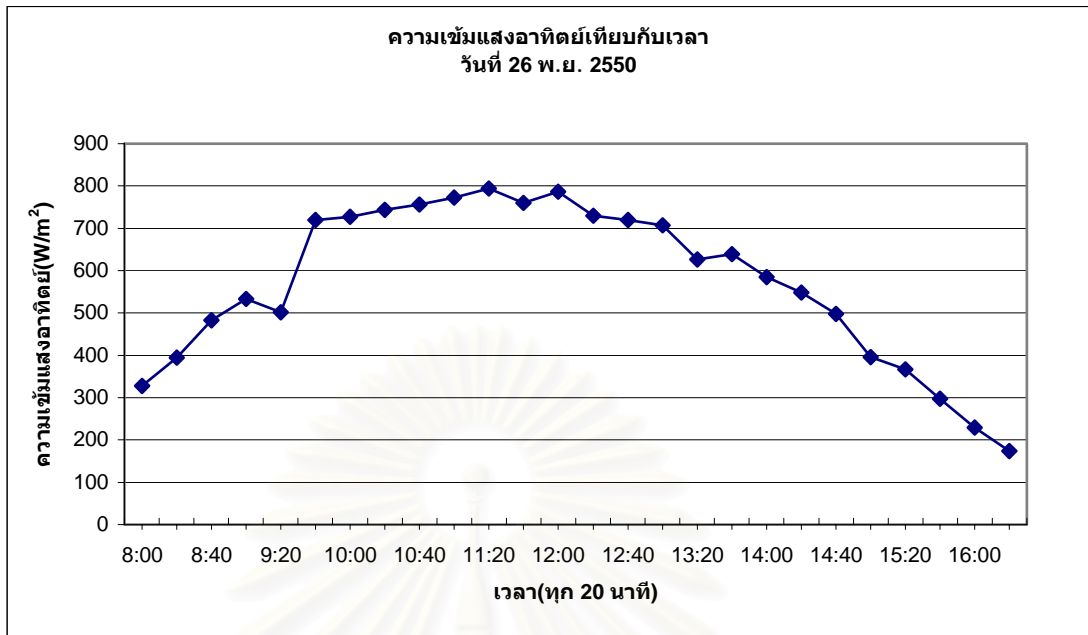
วันที่ทดสอบ	26 พย 50	27 พย 50	28 พย 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	572.07	576.99	586.5
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	49.8	49.2	49.9
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ( $^{\circ}C$ )	29.8	28.6	28.5
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	35.7	36.3	36.0
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด ( $^{\circ}C$ )	27.5	27.7	27.0
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	32.95	33.23	33.78
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	12.42	12.79	13.29
พลังงานน้ำร้อนที่ใช้ (MJ)	5.23	6.25	6.07
พลังงานน้ำร้อนรวม (MJ)	17.66	19.04	19.36
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	53.59	57.29	57.31

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

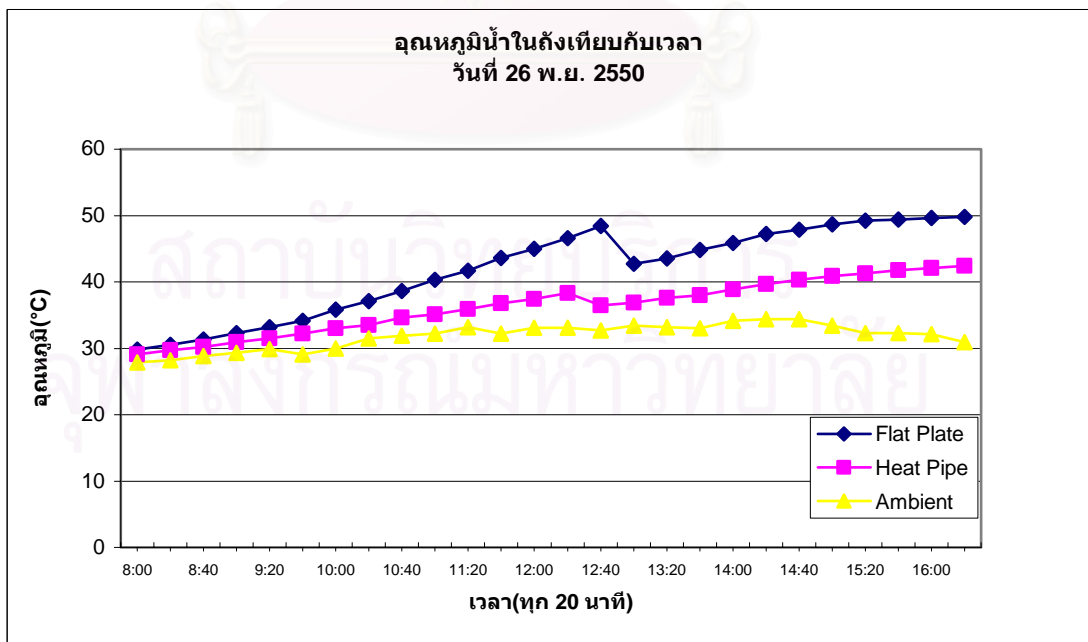


ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบแบบเปิดน้ำไปใช้ตอน 13.00 น.ของแผงฮีตไปป์

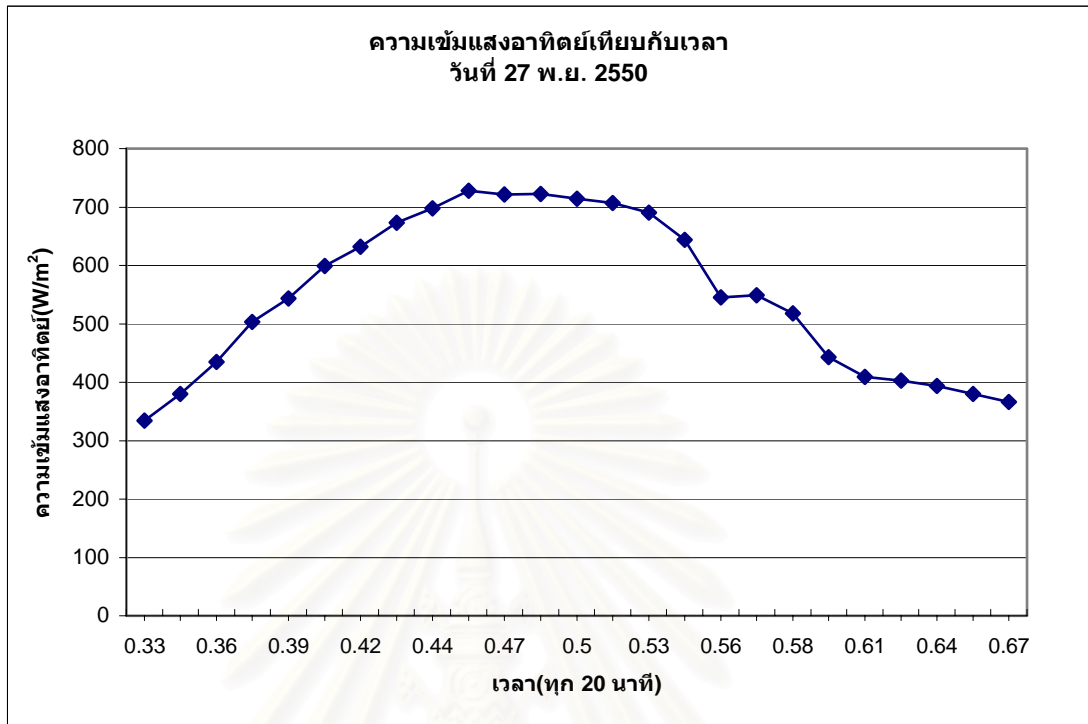
วันที่ทดสอบ	26 พย 50	27 พย 50	28 พย 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ( $W/m^2$ )	572.07	576.99	586.5
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	42.4	41.8	42.8
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น ( $^{\circ}C$ )	29.8	28.6	28.5
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด ( $^{\circ}C$ )	35.7	36.3	36.0
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด ( $^{\circ}C$ )	27.5	27.7	27.0
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	19.15	19.32	19.64
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	4.55	4.76	5.16
พลังงานน้ำร้อนที่ใช้ (MJ)	1.53	2.18	2.11
พลังงานน้ำร้อนรวม (MJ)	6.08	6.94	7.27
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	31.75	35.92	37.02



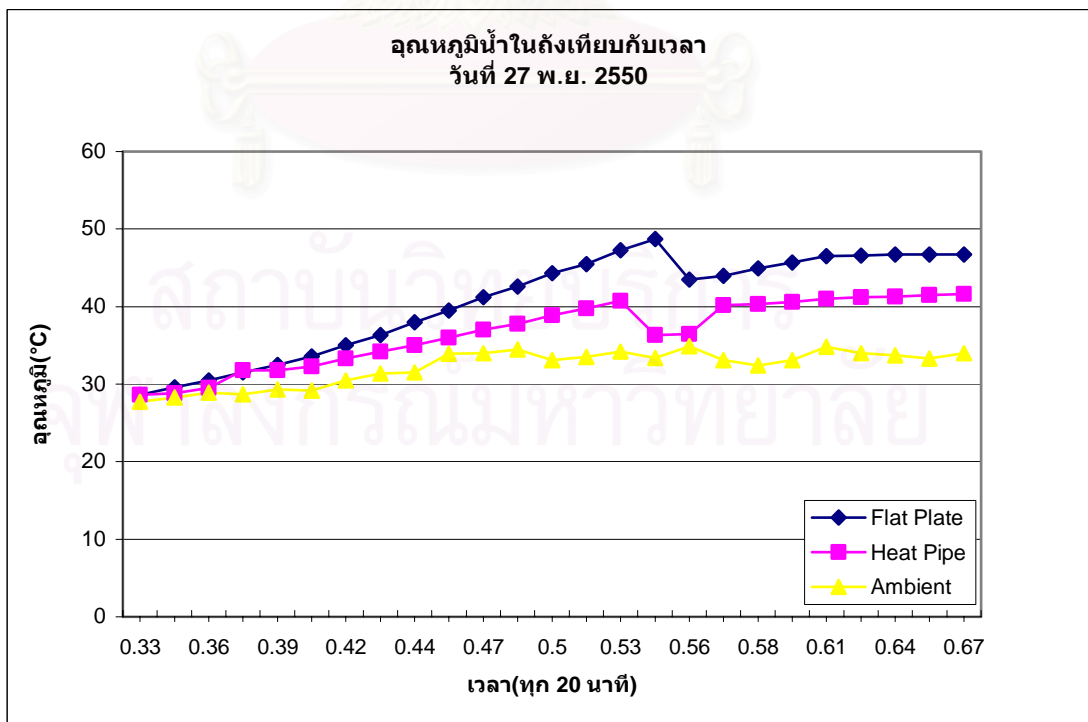
รูปที่ 5.13 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 26 พ.ย. 2550



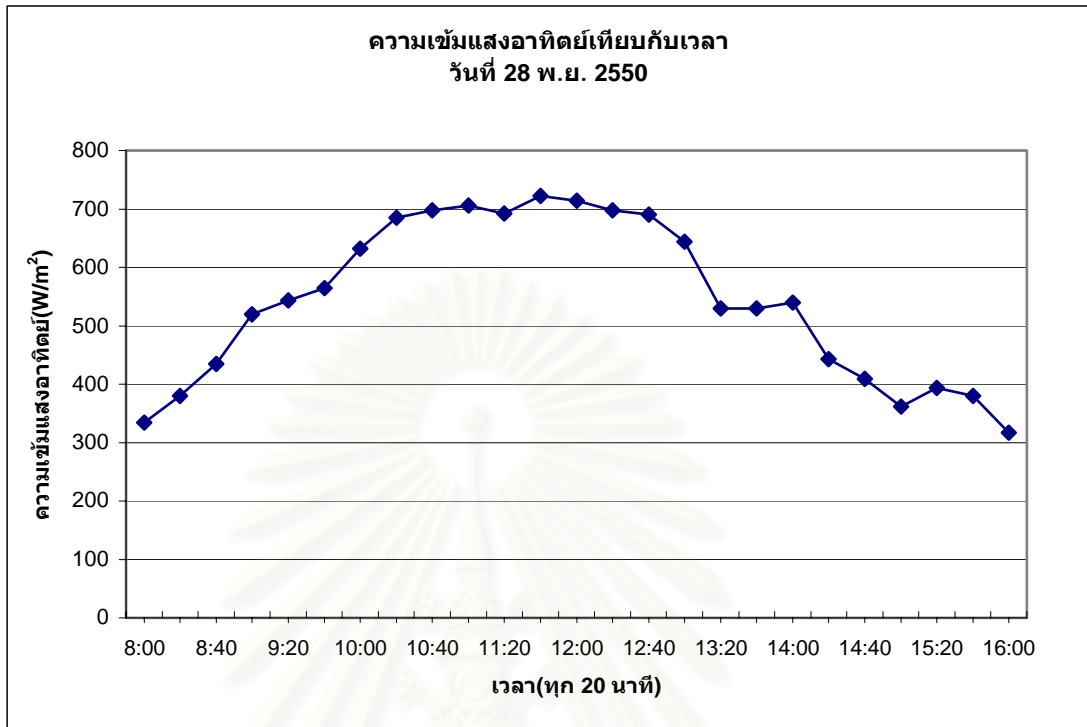
รูปที่ 5.14 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 26 พ.ย. 2550



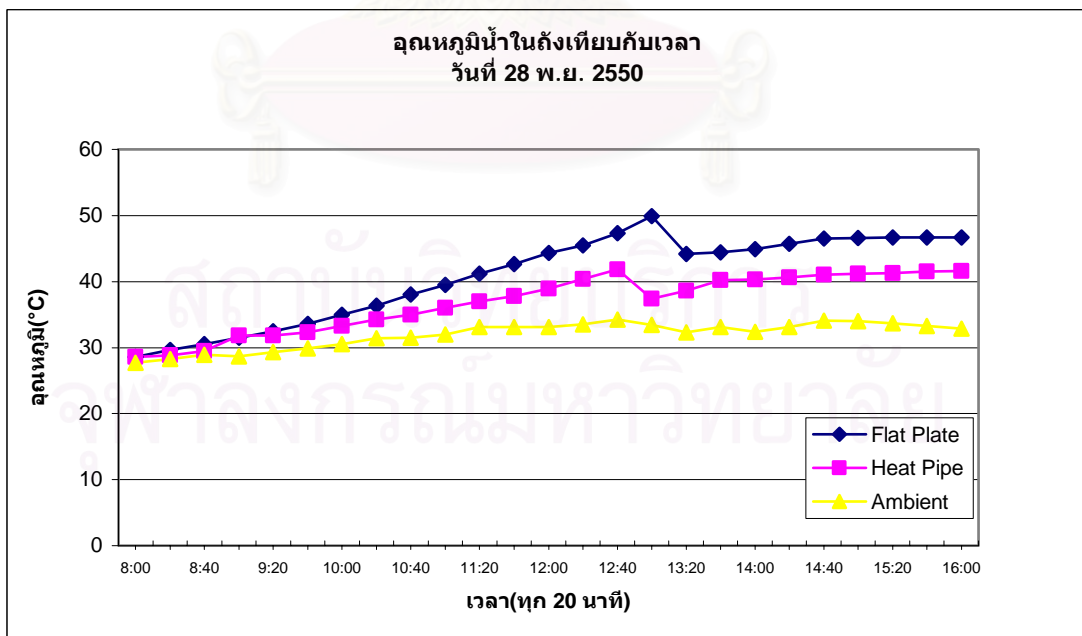
รูปที่ 5.15 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 27 พ.ย. 2550



รูปที่ 5.16 กราฟอุณหภูมิในถังเทียบกับเวลาวันที่ 27 พ.ย. 2550



รูปที่ 5.17 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 28 พ.ย. 2550



รูปที่ 5.18 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 28 พ.ย. 2550

### 3.ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบควบคุมอุณหภูมิน้ำในถังตอนเริ่มต้นทำการทดสอบ

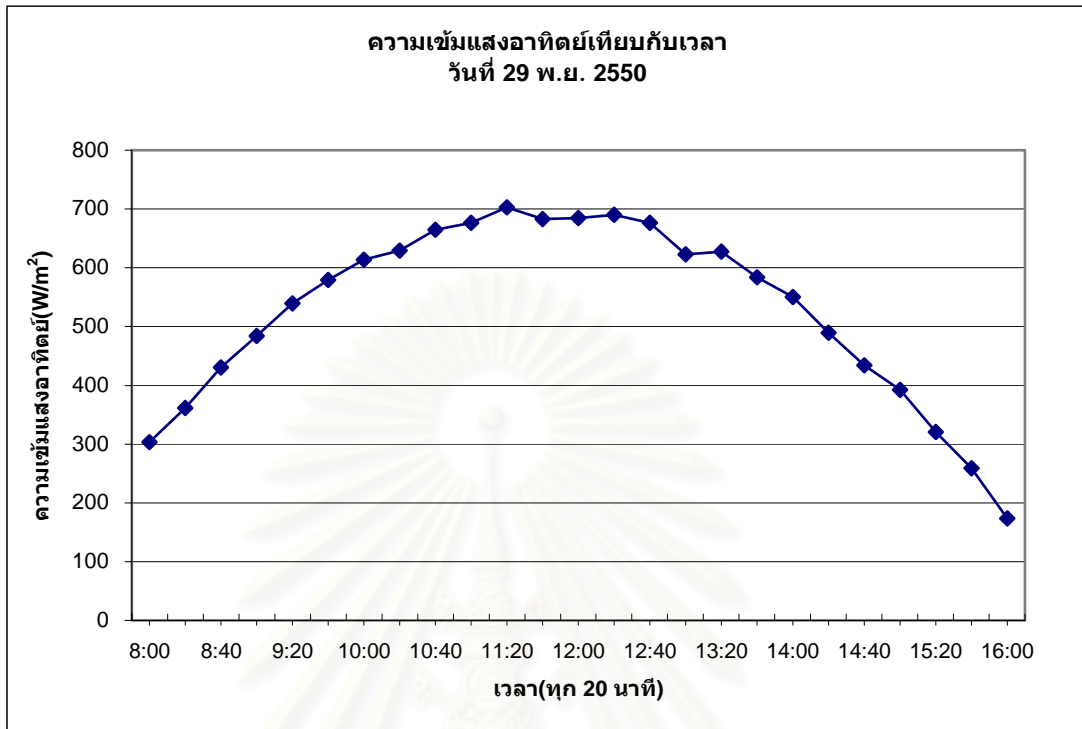
ตารางที่ 5.12 และ 5.18 ได้แสดงค่าการตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบเมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 40 °C ส่วนกราฟรูปที่ 5.19 ถึง 5.24 แสดงถึงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดวันและอุณหภูมิสะสมของน้ำในถังและอุณหภูมิกาศภายนอกเทียบกับเวลา

ตารางที่ 5.18 ผลการทดสอบอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 40 °C ของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ

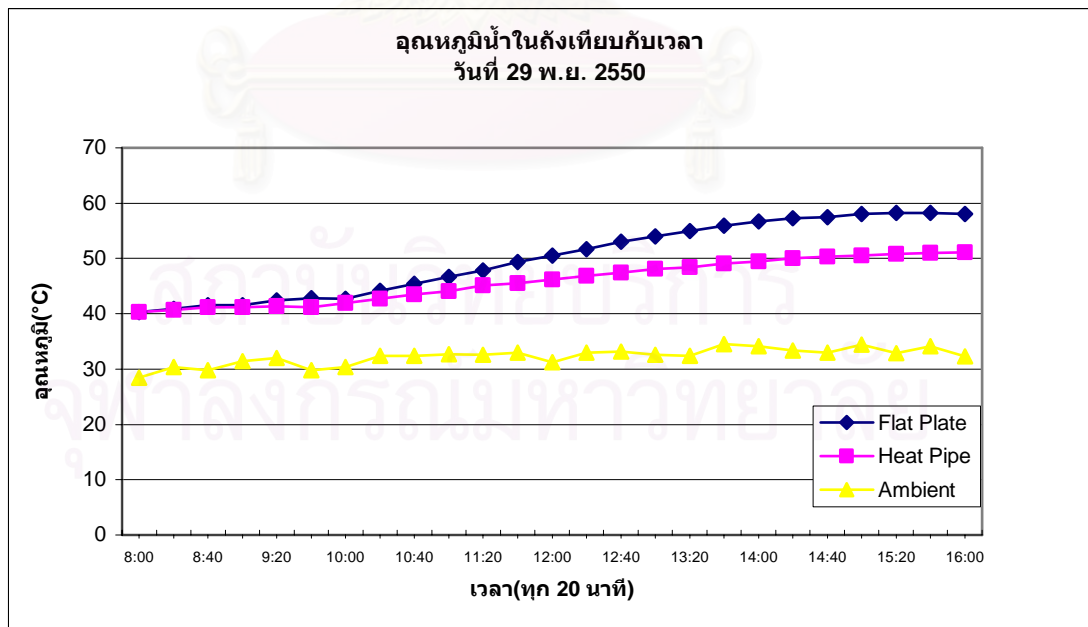
วันที่ทดสอบ	29 พย 50	30 พย 50	1 ธค 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m <sup>2</sup> )	526.23	535.8	518.2
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด (°C)	58.2	57.6	57.5
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	40.3	40.0	40.9
อุณหภูมิกาศภายนอกสูงสุด (°C)	35.6	36.0	35.0
อุณหภูมิกาศภายนอกต่ำสุด (°C)	28.4	27.9	27.2
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	30.31	30.86	29.85
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	11.11	10.93	10.31
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	36.66	35.41	34.53

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 40 °C ของแผงฮีตไปป์

วันที่ทดสอบ	29 พย 50	30 พย 50	1 ธค 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m <sup>2</sup> )	526.23	535.8	518.2
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด (°C)	51.2	50.6	49.5
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	40.3	40.5	39.9
อุณหภูมิกาศภายนอกสูงสุด (°C)	35.6	36.0	35.0
อุณหภูมิกาศภายนอกต่ำสุด (°C)	28.4	27.9	27.2
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	17.62	17.94	17.35
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	3.93	3.64	3.46
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	22.32	20.32	19.97

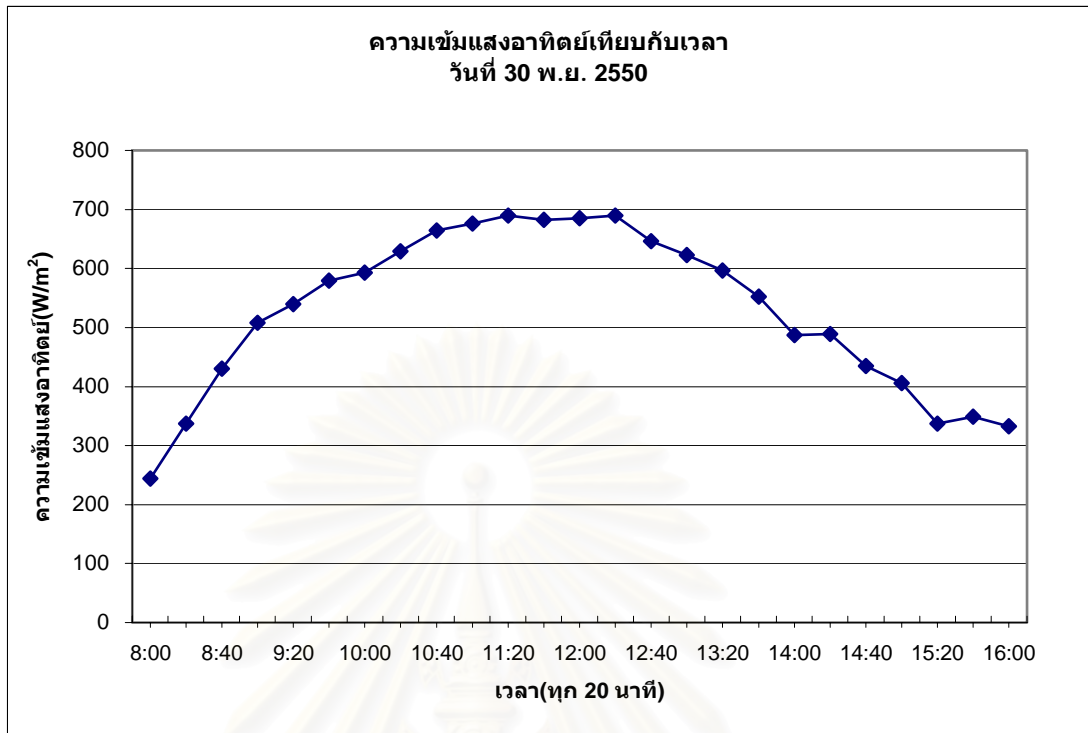


รูปที่ 5.19 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 29 พ.ย. 2550

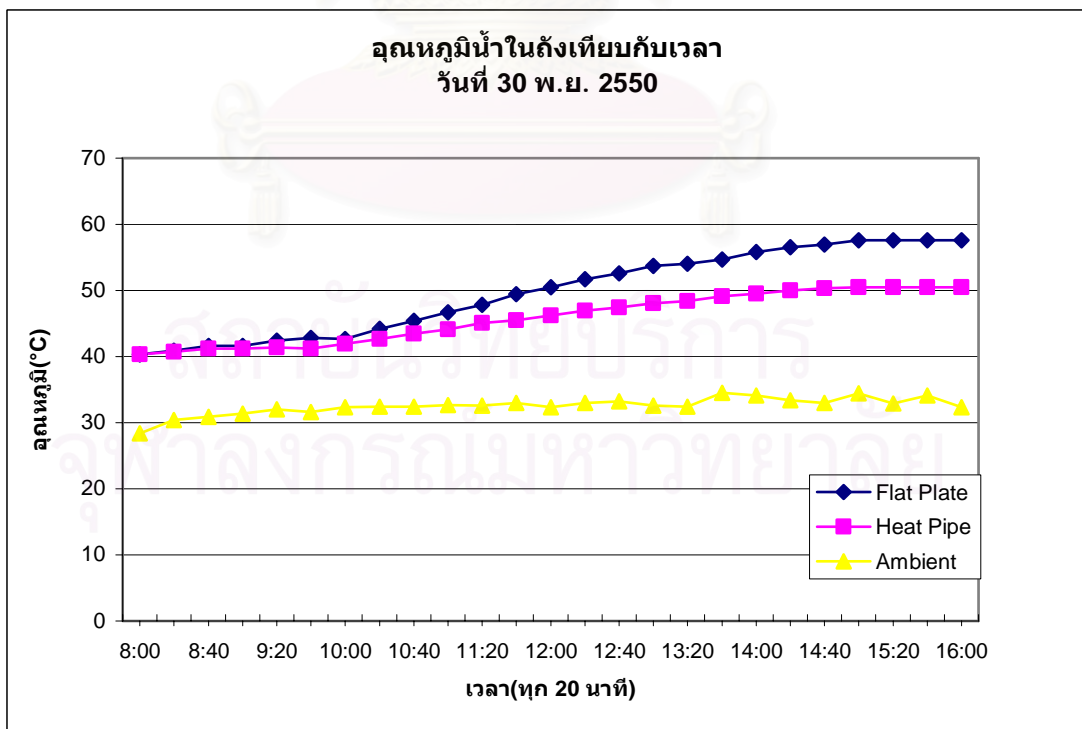


รูปที่ 5.20 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 29 พ.ย. 2550

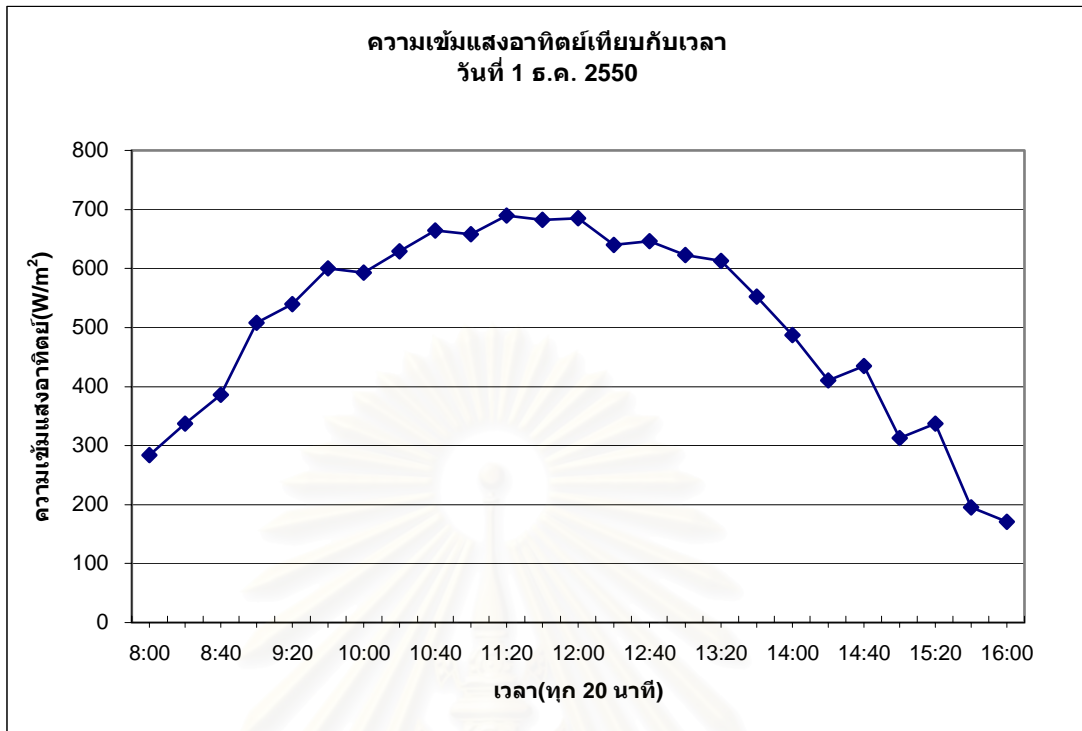




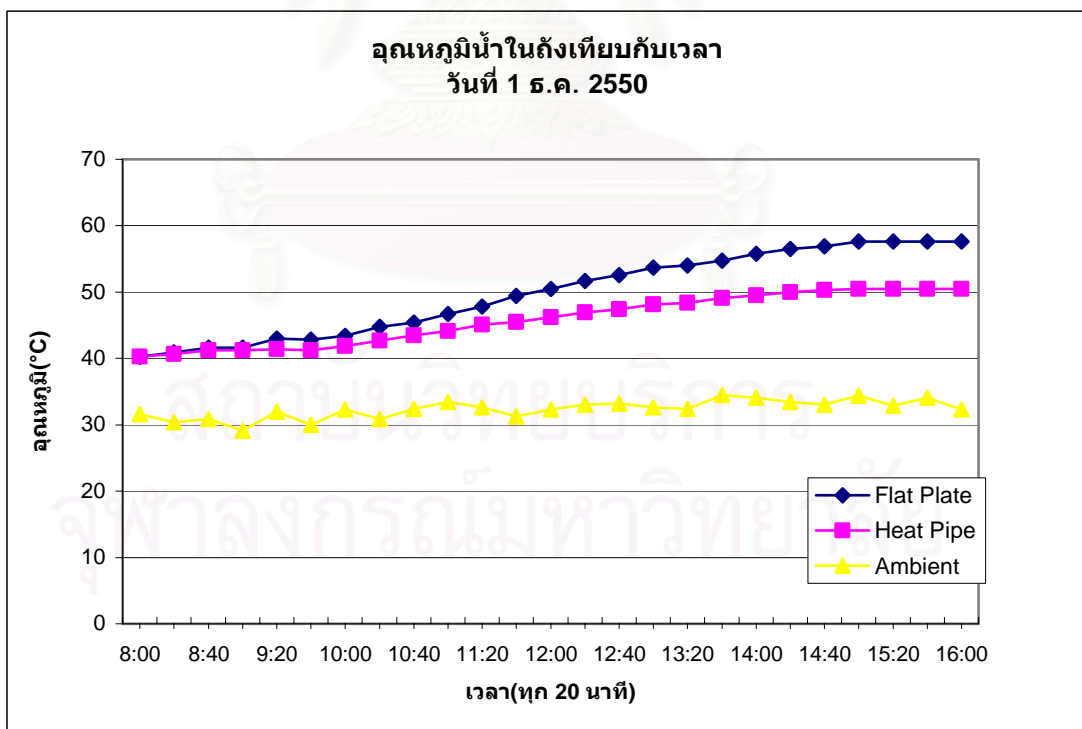
รูปที่ 5.21 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 30 พ.ย. 2550



รูปที่ 5.22 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 30 พ.ย. 2550



รูปที่ 5.23 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 1 ธ.ค. 2550



รูปที่ 5.24 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 1 ธ.ค. 2550

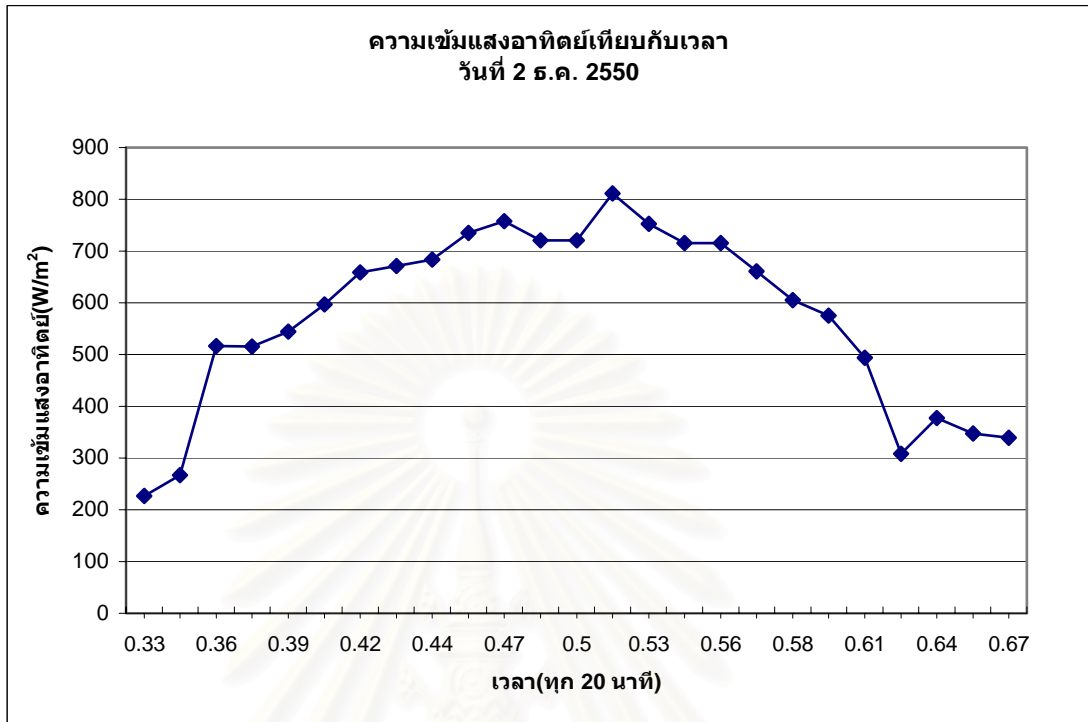
ตารางที่ 5.13 และ 5.19 ได้แสดงค่าการตรวจวัดประสิทธิภาพของระบบเมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 50 องศา ส่วนกราฟรูปที่ 5.25 ถึง 5.30 แสดงถึงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดวันและอุณหภูมิสะสมของน้ำในถังและอุณหภูมิอากาศภายนอกเทียบกับเวลา

ตารางที่ 5.19 ผลการทดสอบอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 50 °C ของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ

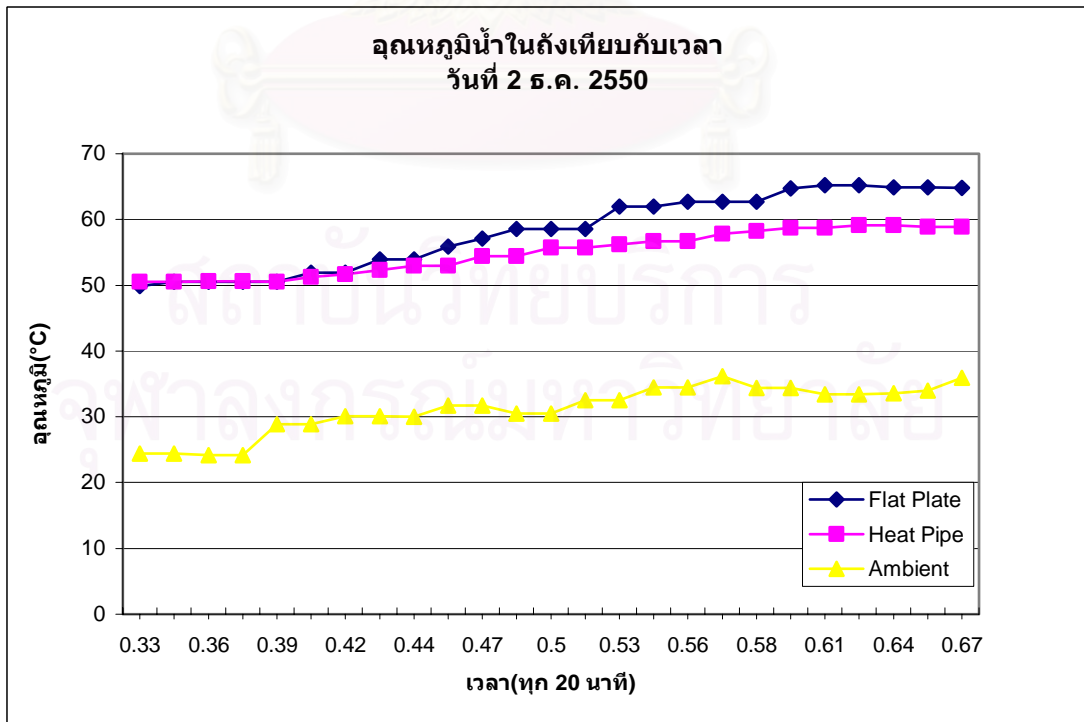
วันที่ทดสอบ	2 ธค 50	3 ธค 50	4 ธค 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m <sup>2</sup> )	586.52	523.2	548.2
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด (°C)	65.3	65.5	64.8
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	49.9	50.2	50.1
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (°C)	37.7	38.1	37.0
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด (°C)	23.8	23.1	23.8
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	33.78	30.14	31.58
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	9.56	9.50	9.13
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	28.30	31.52	28.90

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบอุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 50 °C ของแผงฮีตไปป์

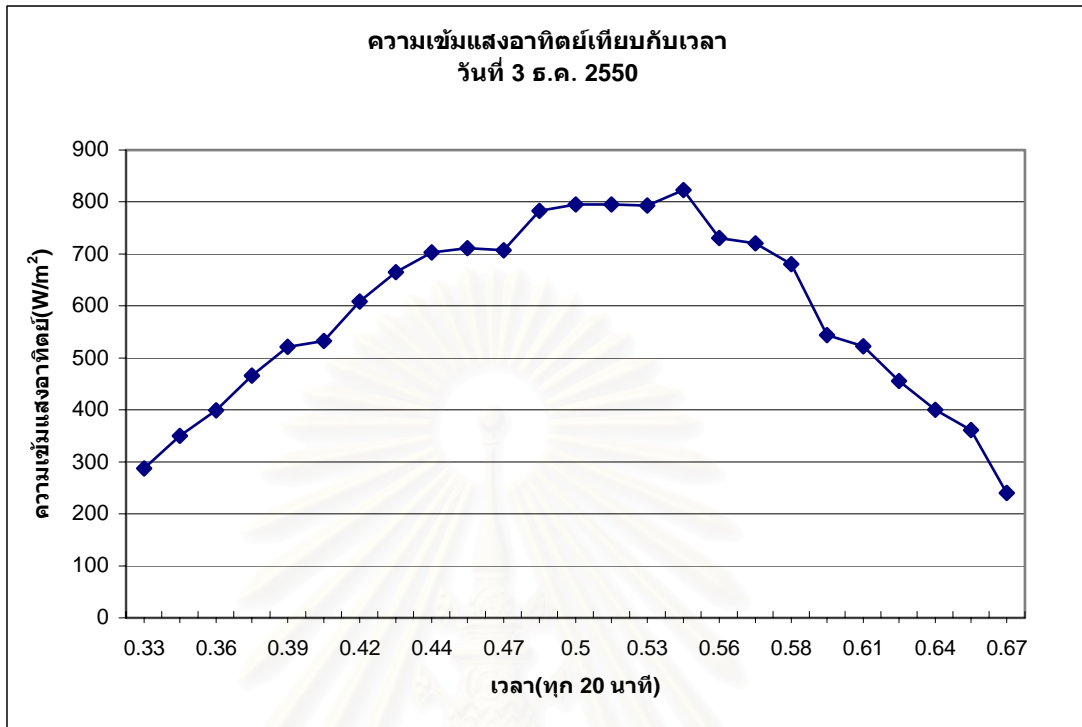
วันที่ทดสอบ	2 ธค 50	3 ธค 50	4 ธค 50
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย (W/m <sup>2</sup> )	586.52	523.2	548.2
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด (°C)	59.3	60.5	59.2
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	50.4	51.0	49.9
อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด (°C)	37.7	38.1	37.0
อุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำสุด (°C)	23.8	23.1	23.8
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	19.64	17.52	18.35
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	3.21	3.43	3.36
ประสิทธิภาพของระบบ (%)	16.35	19.57	18.28



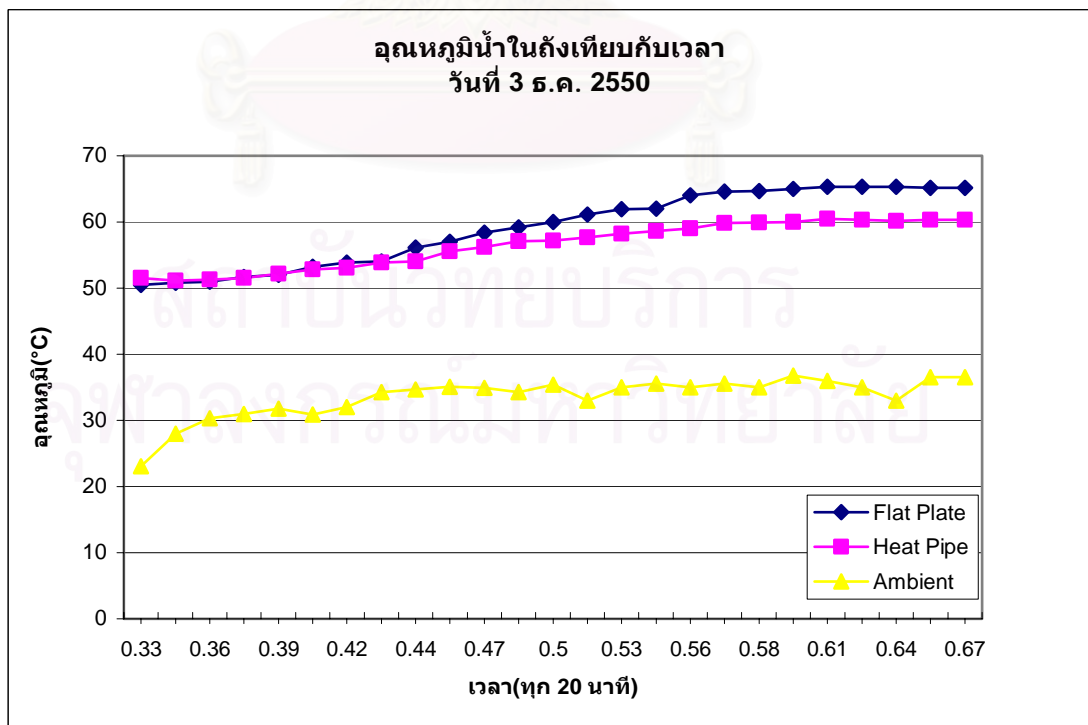
รูปที่ 5.25 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 2 ธ.ค. 2550



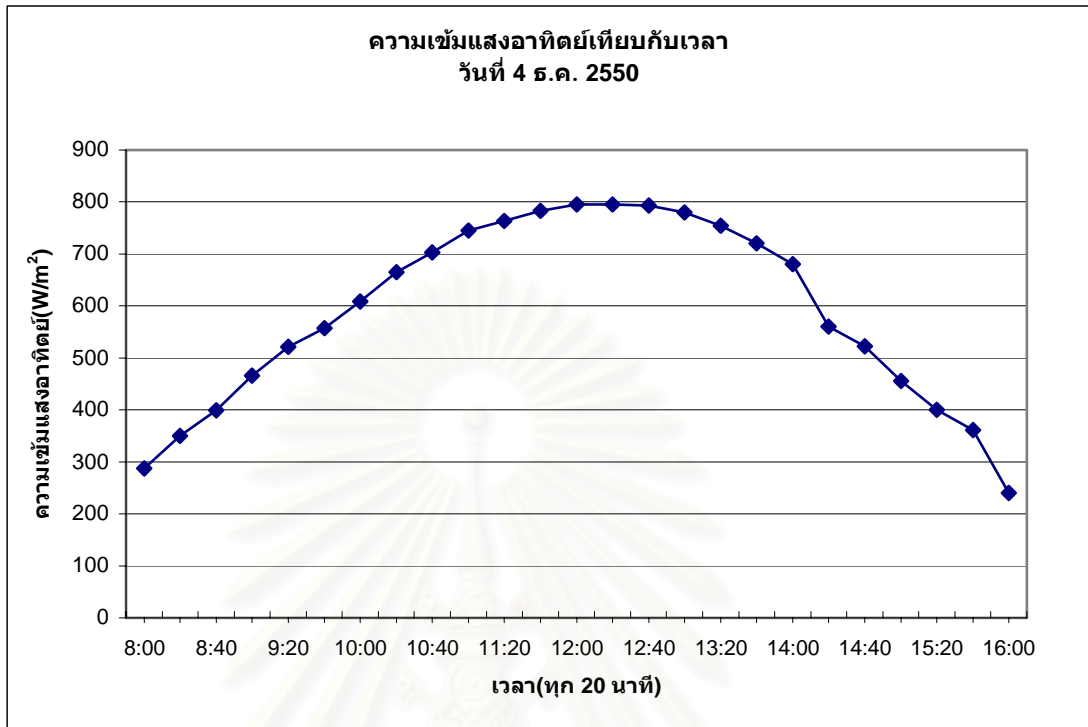
รูปที่ 5.26 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 2 ธ.ค. 2550



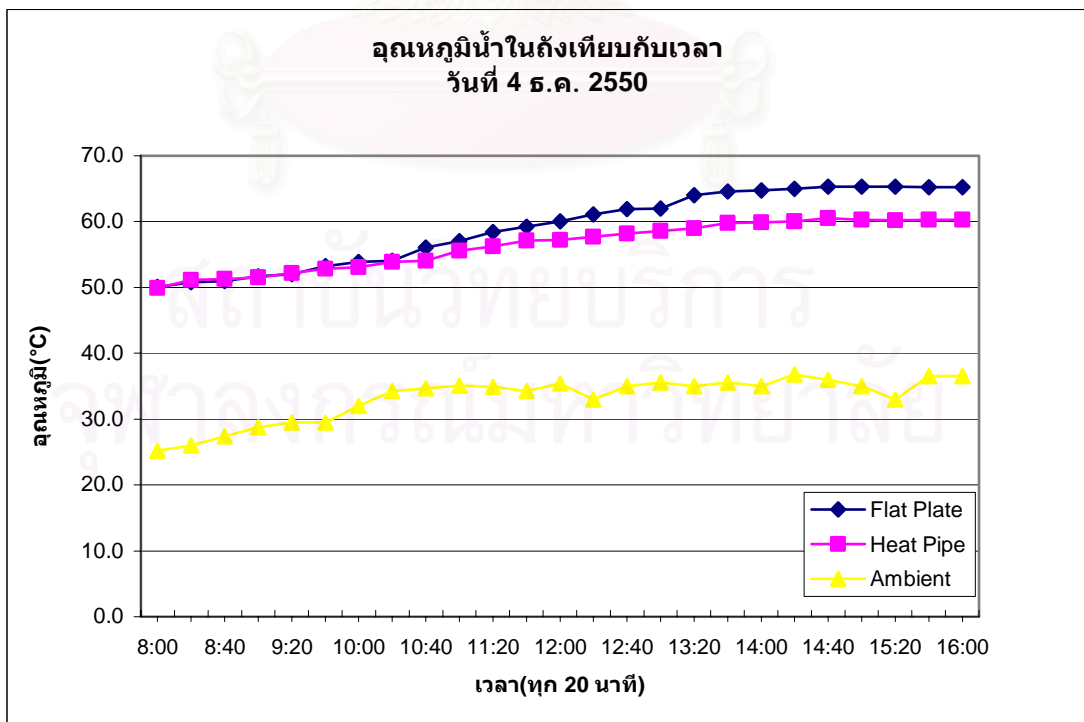
รูปที่ 5.27 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 3 ธ.ค. 2550



รูปที่ 5.28 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 3 ธ.ค. 2550



รูปที่ 5.29 กราฟความเข้มแสงอาทิตย์เทียบกับเวลาวันที่ 4 ธ.ค. 2550



รูปที่ 5.30 กราฟอุณหภูมิน้ำในถังเทียบกับเวลาวันที่ 4 ธ.ค. 2550

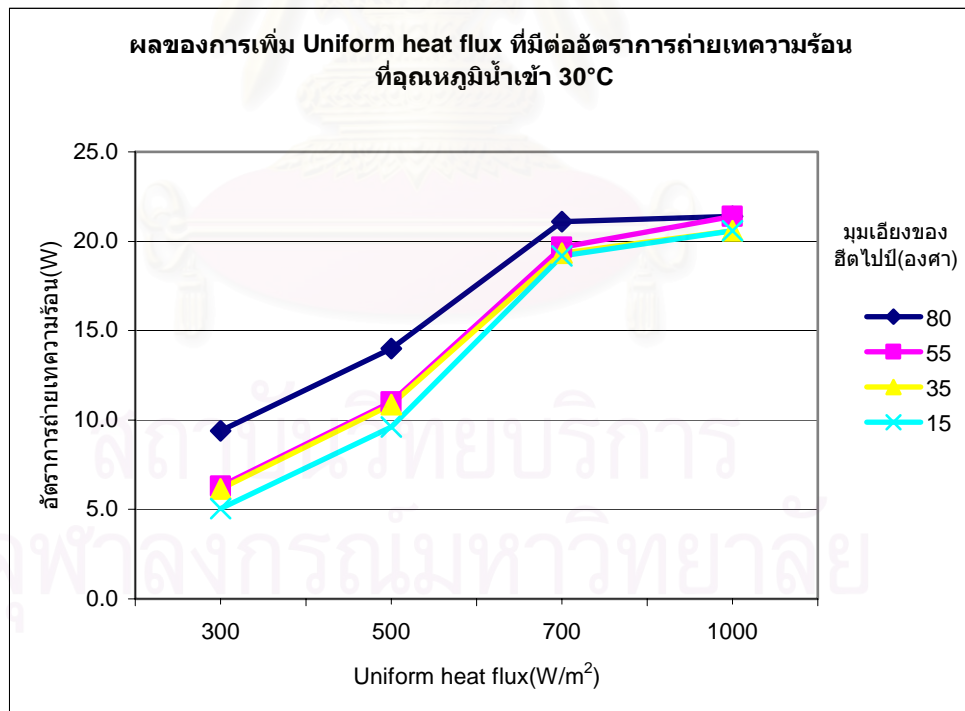


## บทที่ 6

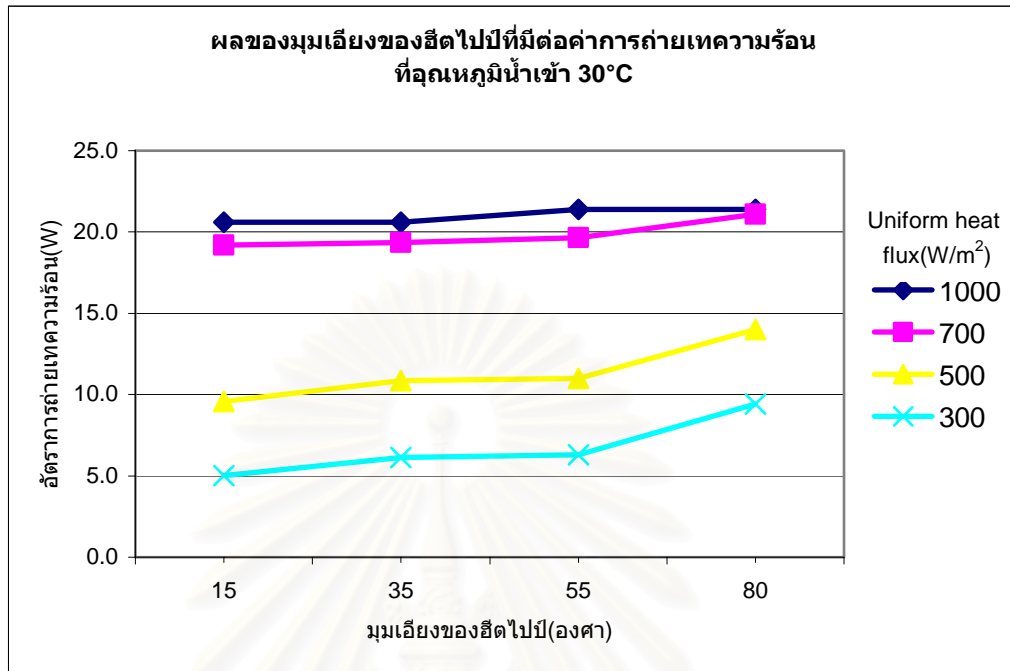
### สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการทดสอบแท่งฮีตไปป์

1. ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเข้า-ออกจากCondenser อยู่ในช่วง  $0.32 - 1.36\text{ }^{\circ}\text{C}$  โดยค่าที่น้อยที่สุด  $0.32\text{ }^{\circ}\text{C}$  เกิดขึ้นที่ Uniform heat flux  $300\text{ W/m}^2$  มุมเอียงของฮีตไปป์ 15 องศา ส่วนค่าที่มากที่สุด  $1.36\text{ }^{\circ}\text{C}$  เกิดขึ้นที่ Uniform heat flux  $1000\text{ W/m}^2$  มุมเอียงของฮีตไปป์ 55 องศา
2. อัตราการถ่ายเทความร้อนอยู่ในช่วง  $5 - 21.4\text{ W}$  โดยค่าที่น้อยที่สุด  $5\text{ W}$  เกิดขึ้นที่ Uniform heat flux  $300\text{ W/m}^2$  มุมเอียงของฮีตไปป์ 15 องศา ส่วนค่าที่มากที่สุด  $21.4\text{ W}$  เกิดขึ้นที่ Uniform heat flux  $1000\text{ W/m}^2$  มุมเอียงของฮีตไปป์ 55 องศา
3. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดที่ได้จากการทดสอบคือ  $86.0\%$  ซึ่งเกิดขึ้นที่ Uniform heat flux  $700\text{ W/m}^2$  มุมเอียงของฮีตไปป์ 80 องศา
4. Uniform heat flux และมุมเอียงของฮีตไปป์มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 6.1 และ 6.2



รูปที่ 6.1 ผลของการเพิ่ม Uniform heat flux ที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเข้า  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 6.2 ผลของมุมเอียงของฮีตไปป์ที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อนที่อุณหภูมิน้ำเข้า 30 °C

จากรูปที่ 6.1 และ 6.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่ม Uniform heat flux ก็จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่ม Uniform heat flux จะทำให้อุณหภูมิของ Condenser สูงขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้น แต่ในช่วง Uniform heat flux 700 ถึง 1000 W/m<sup>2</sup> จะพบว่าเมื่อเพิ่ม Uniform heat flux จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้นค่อนข้างน้อย ซึ่งเมื่อศึกษาจากงานวิจัยเรื่องแบบจำลองขีดจำกัดสมรรถนะของเทอร์โมไซฟอนปิดสองสถานะแบบเอียง ของ นิติพงศ์ โสภณพงศ์ พิพัฒน์ ซึ่งได้สร้างแบบจำลองเพื่อหาขีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนในเทอร์โมไซฟอนซึ่งหาได้จาก

$$Q = k_1 \frac{(T_v - T_c)}{\delta_{\text{mean}}} \times 2\pi r l_c \times \left( \frac{L_c}{L_c} \right)^{0.75} \quad (1)$$

โดยที่

$$\delta_{\text{mean}} = 0.8 \sqrt[4]{\frac{24k_1(T_v - T_c)L_c\mu_1}{h_{fg}\rho_1(\rho_1 - \rho_v)g \sin \beta \left[ 1 + \frac{\rho_1}{r_c(\rho_1 - \rho_v)} \cot \beta \sin \theta \right]}} \quad (2)$$

จากสมการ(1) จะเห็นได้ว่า จีดจำกัดการถ่ายเทความร้อนเนื่องจาก Dry out(Q) จะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิไอของช่วงEvaporator( $T_v$ ) อุณหภูมิแหล่งรับความร้อน(Condenser ,  $T_c$ ) ความยาวส่วน Condenser( $L_c$ ) ความยาวส่วนEvaporator( $L_e$ ) และความหนาของฟิล์มของเหลว( $\delta_{mean}$ ) ดังนั้นเมื่อ ป้อนพลังความร้อนสูงเข้าไป จะทำให้สารทำงานระเหยกลายเป็นไอและมีอุณหภูมิสูง ซึ่งสังเกตได้จากผลการทดสอบที่ Uniform heat flux 700 และ1000 W/m<sup>2</sup> อุณหภูมิผิวตรงช่วงกลางของแท่งฮีต ไปถึงจะเพิ่มขึ้นจากประมาณ 85 °C ไปถึงประมาณ 120 °C ทำให้สารทำงานภายในแท่งฮีตไประเหย กลายเป็นไอหมด ไม่สามารถแลกเปลี่ยนความร้อนได้ ซึ่งถือเป็นขีดจำกัดในการถ่ายเทความร้อนของ แท่งฮีต ไปถึง

และเมื่อพิจารณาผลของมุมเอียงที่มีต่อค่าการถ่ายเทความร้อน จากสมการ(2) จะเห็นได้ว่าเมื่อมี การปรับมุมเอียง( $\beta$ )ของฮีต ไปถึง โดย  $\beta$  เป็นมุมที่แท่งฮีต ไปถึงทำกับแนวระดับ จะส่งผลให้ความ หนาของฟิล์มของเหลวที่ส่วนควบแน่น( $\delta_{mean}$ )เปลี่ยนไปเนื่องจากผลของแรงโน้มถ่วง ซึ่งถ้า พิจารณาจากสมการ จะเห็นได้ว่าถ้าแท่งฮีต ไปถึงเอียงน้อย คือวางอยู่ใกล้แนวตั้งมาก จะทำให้ฟิล์ม ของเหลวมีขนาดบางกว่าที่วางแท่งฮีต ไปถึงในแนวระดับ ทำให้ความสามารถในการส่งผ่านความร้อน ผ่านฟิล์มของสารทำงานมีค่าสูงขึ้นทำให้แท่งฮีต ไปถึงสามารถส่งผ่านความร้อนได้มากขึ้น แต่ในขณะที่ แท่งฮีต ไปถึงถ้าเอียงมากขึ้นฟิล์มของสารทำงานที่หนามากขึ้น จะทำให้แท่งฮีต ไปถึงมีความสามารถ ในการส่งผ่านความร้อนลดลง

## สรุปผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์

### ผลการทดสอบในช่วงฤดูร้อน

แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ได้จะอยู่ในช่วง 22-27 % น้ำร้อนมีพลังงานสะสมอยู่ในช่วง 5-6 MJ/day และสามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 45.4 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29.5 °C ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 630.5 W/m<sup>2</sup>

แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ได้จะอยู่ในช่วง 41-49 % น้ำร้อนมีพลังงานสะสมอยู่ในช่วง 14-18 MJ/day และสามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 58.4 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29.5 °C ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 630.5 W/m<sup>2</sup>

### ผลการทดสอบในช่วงฤดูหนาว

แผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ได้จะอยู่ในช่วง 26-28 % น้ำร้อนมีพลังงานสะสมอยู่ในช่วง 3-5 MJ/day และสามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 43.0 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 29.2 °C ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 528.97 W/m<sup>2</sup>

แผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ได้จะอยู่ในช่วง 39-47 % น้ำร้อนมีพลังงานสะสมอยู่ในช่วง 8-14 MJ/day และสามารถทำให้น้ำร้อนมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 52.0 °C เมื่ออุณหภูมิน้ำเริ่มต้นเป็น 28.9 °C ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ในช่วง 519.2 W/m<sup>2</sup>

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบในน้ำร้อนกับน้ำหนาวจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ในน้ำร้อนจะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าในน้ำหนาว ซึ่งสาเหตุเกิดขึ้นได้จากปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดวันในน้ำร้อนมีค่าสูงกว่า และอุณหภูมิสะสมของน้ำในถังตลอดวันในน้ำร้อนก็มีค่าสูงกว่าในน้ำหนาว และอีกสิ่งหนึ่งก็คืออุณหภูมิของอากาศภายนอกในน้ำหนาวโดยเฉลี่ยต่ำกว่าน้ำร้อนทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนของระบบทำน้ำร้อนออกไปที่สิ่งแวดล้อมมากกว่าในน้ำร้อน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบแบบเติมน้ำหมุนเวียนเข้าระบบในระหว่างที่ทำการทดสอบ

จากผลการทดสอบสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบจะเห็นได้ว่าพลังงานน้ำร้อนที่ถูกใช้ไปอยู่ในช่วง 5-6 MJ เมื่อเติมน้ำกลับเข้าไปในถังจะทำให้อุณหภูมิสะสมของน้ำในถังลดลงประมาณ 5 – 6 °C ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงประมาณ 15 %

จากผลการทดสอบสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์จะเห็นได้ว่าพลังงานน้ำร้อนที่ถูกใช้ไปอยู่ในช่วง 4- 5 MJ เมื่อเติมน้ำกลับเข้าไปในถังจะทำให้อุณหภูมิสะสมของน้ำในถังลดลงประมาณ 3 – 5 °C ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพลดลงประมาณ 16 %

### ผลของมุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน

ในการทดสอบได้มีการปรับองศาของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์จาก 35 เป็น 55 องศาเพื่อที่จะศึกษาผลของมุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน

ตารางที่ 6.1 การปรับมุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์

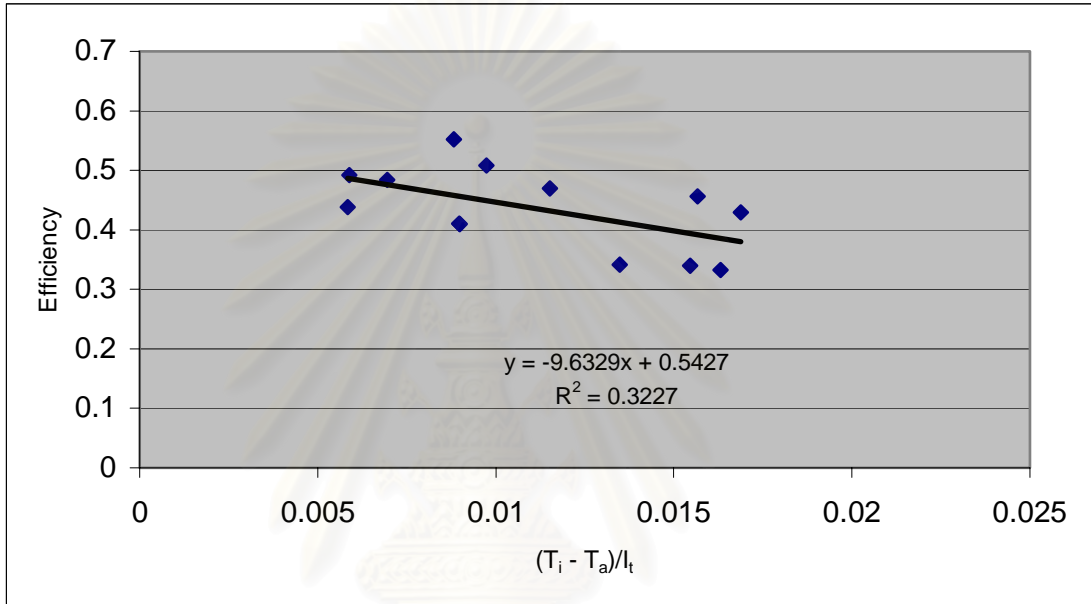
วันที่ทดสอบ	24 พ.ย. 50	27 ม.ค. 51	11 ธ.ค 50	28 ม.ค. 51
มุมเอียง	35	55	35	55
ลักษณะท้องฟ้า	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง	โปร่ง
ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย( $W/m^2$ )	519.2	503.2	535.8	526.2
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด (°C)	42.2	41.4	42.8	42.2
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น (°C)	28.9	28.8	27.9	28.5
พลังงานแสงอาทิตย์ (MJ)	17.38	16.85	17.94	17.62
พลังงานน้ำร้อนในถัง (MJ)	4.80	4.55	5.38	4.94
ประสิทธิภาพของระบบ(%)	27.61	26.99	29.97	28.06

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าการปรับมุมเอียงของแผงรับแสงอาทิตย์จาก 35 ไปเป็น 55 องศา ประสิทธิภาพของระบบจะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งมุมเอียง 35 องศาจะให้ประสิทธิภาพดีกว่ามุมเอียง 55 องศาอยู่ประมาณ 2-7 %

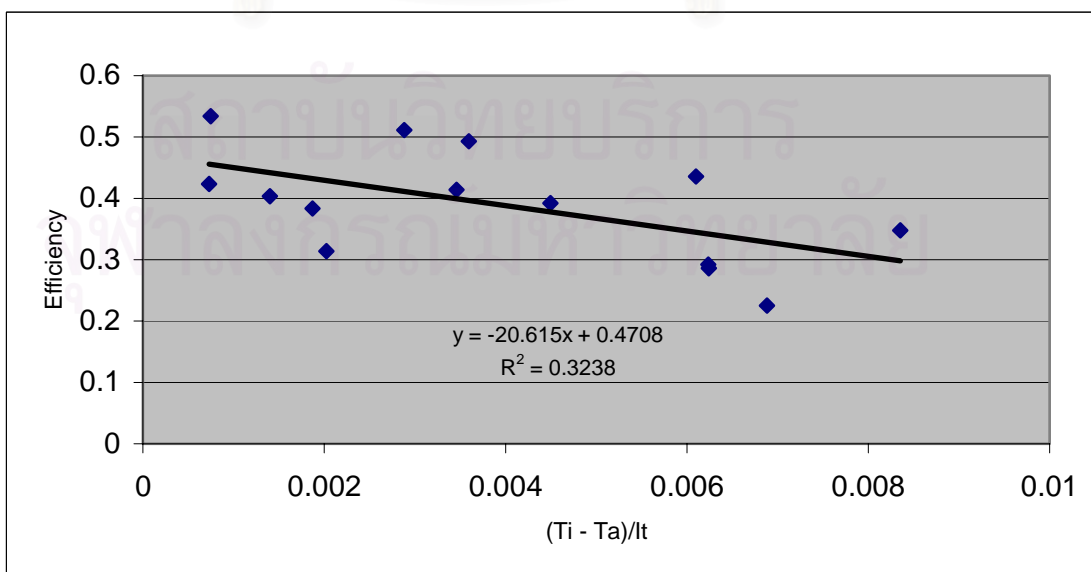
ซึ่งเมื่อนำผลการทดสอบของแท่งฮีตไปป์ที่ทดสอบในห้องปฏิบัติการมาเปรียบเทียบกันจะเห็นได้ว่า ผลการปรับมุมเอียงจาก 35 องศาไปเป็น 55 องศา อัตราการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นก็จะเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบที่ได้จากการปรับองศาของแผงจริง

### ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

ผลจากการทดสอบหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบและแบบฮีตไปป์ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น (Linear regression analysis) จะได้ว่าประสิทธิภาพสูงสุดของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบเท่ากับ 54.27 % ที่อุณหภูมิใช้งาน 36.4 – 46.9 °C ความเข้มแสงอาทิตย์ 611.83 – 770.39 W/m<sup>2</sup> และประสิทธิภาพสูงสุดของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์เท่ากับ 47.08 % ที่อุณหภูมิใช้งาน 33.1 – 38.4 °C ความเข้มแสงอาทิตย์ 611.83 – 770.39 W/m<sup>2</sup>



รูปที่ 6.3 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



รูปที่ 6.4 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์



จากผลการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์จะได้ว่า

$$\eta = -9.633(T_i - T_a)/I_t + 0.5427 \quad \text{สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ}$$

$$\eta = -20.615(T_i - T_a)/I_t + 0.4708 \quad \text{สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์}$$

โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ  $R^2 = 0.3227$  สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ และ  $R^2 = 0.3238$  สำหรับแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าค่อนข้างต่ำเนื่องจากค่าต่างๆในสมการเป็นค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาหนึ่งซึ่งไม่ได้คำนึงถึงการกระจายตัวของค่าที่เวลาต่างๆ

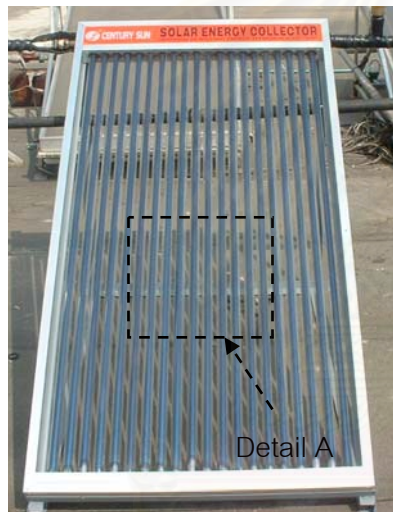


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## อภิปรายผลการทดสอบ

### 1.เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบกับแบบฮีตไปป์

จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบให้ประสิทธิภาพดีกว่าระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ซึ่งเมื่อพิจารณาจากโครงสร้างของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ดังรูปที่ 6.7 จะเห็นได้ว่าแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ที่นำมาใช้ในการทดสอบนี้มีลักษณะเป็นแท่งวางเรียงกันโดยเว้นระยะห่างของแท่งให้เท่ากัน ทำให้มีการสูญเสียความร้อนออกไปค่อนข้างมาก เนื่องจากเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบลงมาที่แผงจะมีรังสีบางส่วนที่ทะลุผ่านช่องว่างระหว่างแท่งของฮีตไปป์ที่แผงลงไปพื้นทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์มีค่าน้อยกว่าแผงรับแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ



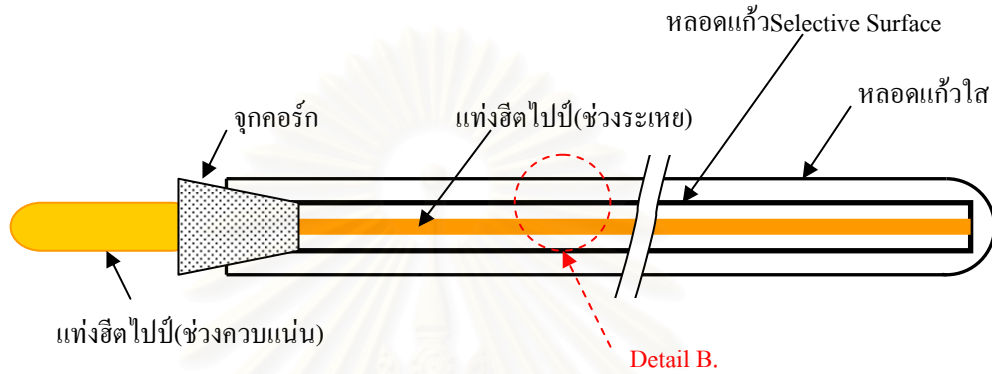
Detail A.

รูปที่ 6.7 โครงสร้างภายนอกของแผงรับแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์

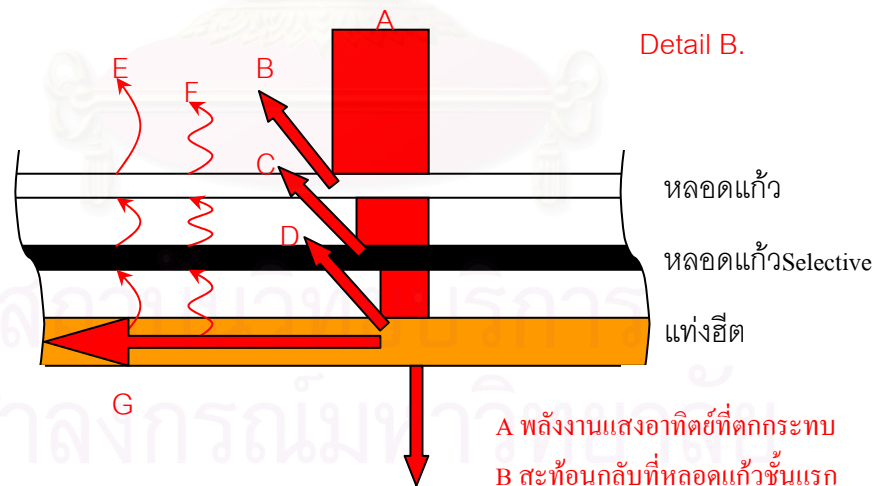
ซึ่งในการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการแก้ไขปัญหานี้ด้วยการใช้แผ่นสะท้อนแสงสอดเข้าไปไว้ได้แผงเพื่อให้รังสีดวงอาทิตย์สะท้อนกลับขึ้นมาเพื่อช่วยให้แท่งฮีตไปป์ดูดซับความร้อนได้เพิ่มขึ้น โดยวัสดุที่นำมาใช้ทำแผ่นสะท้อนจะต้องมีค่าการสะท้อนแสง(Reflectivity) สูง โดยได้เลือกใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอล์ย ซึ่งหาได้ง่าย มีราคาถูก

จากผลการทดสอบในตารางที่ 5.14 จะเห็นได้ว่าการเพิ่มแผ่นสะท้อนแสงที่ทำจากอลูมิเนียมฟอล์ย ทำให้น้ำในถังมีอุณหภูมิสะสมตลอดวันสูงขึ้น 3-5 °Cและทำให้ประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้น 11-13 %

และเหตุผลที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือเมื่อพิจารณาโครงสร้างของหลอดแก้วจากรูปที่ 6.8 จะเห็นได้ว่าเป็นหลอดแก้ว 2 ชั้นทำให้เกิดการสะท้อนกลับของแสงถึง 2 ครั้งทำให้เกิดการสูญเสียความร้อนมากกว่าหลอดแก้วชั้นเดียว และตรงปลายหลอดแก้วด้าน Condenser ถูกปิดด้วยจุกคอรัลซึ่งไม่ได้ป้องกันการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพา (Convection) อย่างแท้จริง



รูปที่ 6.8 โครงสร้างของแท่งฮีตไปป์



- Detail B.
- A พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ
  - B สะท้อนกลับที่หลอดแก้วชั้นแรก
  - C สะท้อนกลับที่หลอดแก้วชั้นที่สอง
  - D สะท้อนกลับที่แท่งฮีตไปป์
  - E ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการพา
  - F ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการแผ่รังสี
  - G ความร้อนที่ถ่ายเทให้กับสารทำงาน

รูปที่ 6.9 สมดุลย์พลังงานของแท่งฮีตไปป์

## ข้อเสนอแนะ

### การทดสอบประสิทธิภาพของแท่งฮีตไปป์

1. ในระหว่างที่ทำการทดสอบอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงของการควบคุมแน่นไม่ยอมเข้าสู่สภาวะคงที่ อย่างแท้จริงมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอยู่เป็นบางช่วง ซึ่งสาเหตุหนึ่งเกิดจากการควบคุมอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นให้คงที่ได้ยาก ซึ่งในการทดสอบได้มีการตรวจสอบอัตราการไหลอยู่เป็นระยะ และมีความจำเป็นต้องปรับอัตราการไหลด้วยมืออยู่บ้างในบางครั้ง

2. ควรมีการควบคุมอุณหภูมิห้องให้คงที่ หรือให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อย เพราะในการทดสอบในห้องปฏิบัติการนี้บางครั้งทำในช่วงเวลาที่แตกต่างกันทำให้ผลต่อการคำนวณหาประสิทธิภาพของแท่งฮีตไปป์

3. ในการทดสอบยังมีการรั่วซึมของน้ำอยู่บ้างผ่านทางข้อต่อและช่องต่ออุปกรณ์การวัดทำให้มีผลต่อการคำนวณหาประสิทธิภาพของแท่งฮีตไปป์

4. ควรใช้ฮีตไปป์หลายแท่งในการทดสอบเพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนและลดผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของการวัดค่าในการทดสอบ

### การทดสอบประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์

1. การเพิ่มประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์อีกวิธีหนึ่งคือ การทาหรือเคลือบผิวของแท่งฮีตไปป์ด้วยผิวเคลือบสีเพื่อช่วยเพิ่มการดูดซับความร้อนจากแสงอาทิตย์ได้ดีขึ้น

2. อุปกรณ์ควบคุมการทำงานของปั๊มที่ใช้ในการทดสอบนี้คือTimer ซึ่งควบคุมการตัด ต่อปั๊มด้วยการจับเวลาคือตัดทุก 3 นาทีและต่อทุก 1 นาที นี้มีข้อเสียคือในช่วงเช้าที่ความเข้มแสงอาทิตย์ยังไม่สูงมากนักและถ้ามีน้ำร้อนที่เก็บไว้ในถังอยู่แล้ว เมื่อเริ่มทำงาน น้ำร้อนที่ออกจากถังแล้วไหลผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ในช่วงที่ความเข้มแสงอาทิตย์ยังไม่สูงมาก จะกลายเป็นการสูญเสียความร้อนไป ดังนั้นควรเปลี่ยนอุปกรณ์ควบคุมปั๊มให้เป็นการตัด ต่อโดยใช้ผลต่างของอุณหภูมิแทน ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ได้

## รายการอ้างอิง

- Atipoang Nuntaphan. Performance Analysis of Heat Pipe Heat Exchanger Using Binary Working Fluids. Thesis (M.Eng.) Energy Technology Department King Mongkuts University of Technology Thonburi, 2000.
- Chen, Y.M.; Wu, S.C.; and Chu, C.I. Thermal Performance of Sintered Miniature Heat Pipes. Heat and Mass Transfer 37 (2001) : 611-616
- Chi, S.W. Heat Pipe Theory and Practice. United States of America : Hemisphere Publishing Corporation, 1976.
- Dunn, P.; and Reay, D.A. Heat Pipe. Second Edition. England : Pergamon Press, 1978.
- Klyuev, N.I. Antigravity heat pipe. Soviet Aeronautics (English translation of Izvestiya VUZ. Aviatsionnaya Tekhnika) 32, 1 (1989) : 152-154
- Leong, K.C.; Liu, C.Y.; and Lu, G.Q. Characterization of Sintered Copper Wicks Used in Heat Pipes. Journal of Porous Materials 4 (1997) : 303-308
- Peterson, G.P. An Introduction to Heat Pipes Modeling, Testing, and Applications. United States of America : John Wiley & Sons, Inc., 1994.
- Pichai Tangsathapornphanich. Fabrication & Performance Test of Heat Pipe Heat Exchanger and Development of Its Computer Design Program. Thesis (M.Eng.) Chemical Engineering Chulalongkorn University, 1986.
- Pruzan, D.A.; Klingensmith, L.K.; Torrance, K.E.; and Avedisian, C.T. Design of High-performance Sintered-wick Heat Pipes. Journal of Heat Mass Transfer 34, 6 (1991) : 1417-1427
- Said Salem, A. Experimental performance of a heat pipe. International Communications in Heat and Mass Transfer 26, 5 (1999) : 679-684
- Santi Wangnipparnto. Performance studies on evaporation & condensation of a thermosyphon heat pipe. Thesis (M.Eng.) Energy Technology Department King Mongkuts University of Technology Thonburi, 1994.
- Taweesak Taweewithyakarn. Design and Testing of A Heat Pipe Economizer. Thesis (M.Eng.) Mechanical Engineering Chiang Mai University, 1998.

Thanasak Chumwisoot. A study and development of wick structure for heat pipe. Thesis (M.Eng.) Mechanical Engineering Chulalongkorn University, 2003.

Wasan Theansuwan. The Study of An Internally Finned Thermosyphon Heat Pipe. Thesis (M.Eng.) Mechanical Engineering Khon Kaen University, 1999.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาคผนวก

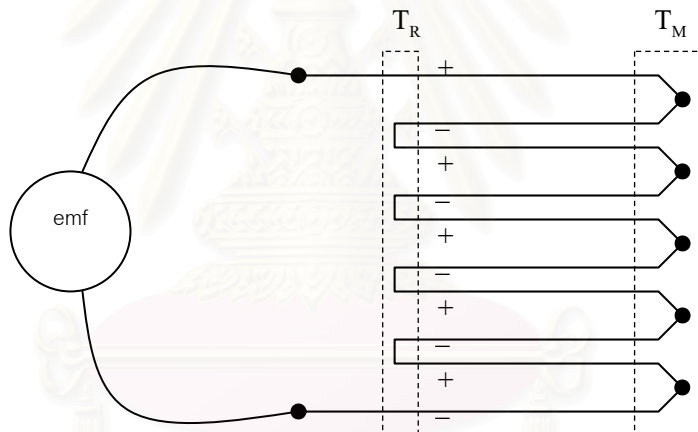
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาคผนวก ก

#### การวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัพเบิล

เนื่องจากการทดสอบหาประสิทธิภาพของแท่งสดีตไปป์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิจะเกิดขึ้นน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องนำเอาเทอร์โมคัพเบิลมาต่อกันเป็นการเพิ่มความไว(Sensitivity) ของเทอร์โมคัพเบิลโดยแรงเคลื่อนไฟฟ้า(emf) ที่เกิดขึ้นจะเท่ากับผลรวมของ emf ของเทอร์โมคัพเบิลแต่ละคู่กล่าวคือ

$$emf = \sum_{i=1}^n (emf)_i$$



#### ตัวอย่างการคำนวณ

$T_M$	อ่านค่าได้	42	$^{\circ}C$
$T_R$	อ่านค่าได้	27	$^{\circ}C$

เราสามารถหาค่า  $T_M$  ที่แท้จริงได้ดังนี้

จากกฎเทอร์โมอิเล็กทริก(Thermoelectric Laws) จะได้ว่า

$$emf_{0-T_R} + emf_{T_R-T_M} = emf_{0-T_M}$$

$$emf_{0-27} + emf_{27-42} = emf_{0-42} \quad (1)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{emf}_{0-27} \text{ เปิดตารางได้} = 1.081 \text{ mV} \\ \text{emf}_{0-42} \text{ เปิดตารางได้} = 1.694 \text{ mV} \end{array} \right\} \text{ แทนค่าใน (1) จะได้}$$

$$\text{emf}_{0-27} + \text{emf}_{27-42} = \text{emf}_{0-42}$$

$$1.081 + \text{emf}_{27-42} = 1.694$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{emf}_{27-42} &= 1.694 - 1.081 \\ &= 0.613 \text{ mV} \end{aligned}$$

คิดจากการต่ออนุกรม 1 คู่จะได้  $0.613/5 = 0.1226 \text{ mV}$  แล้วนำกลับเข้าไปแทนในสมการที่ (1) จะได้

$$\text{emf}_{0-27} + \text{emf}_{27-42} = \text{emf}_{0-42}$$

$$1.081 + 0.1226 = 1.2036 \text{ mV}$$

นำค่า  $1.2036 \text{ mV}$  ที่อ่านได้ไปเปิดตารางจะได้เท่ากับ  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$

ดังนั้น อุณหภูมิ  $T_M$  ที่อ่านได้จริงเท่ากับ  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### ภาคผนวก ข

#### ตัวอย่างการคำนวณการหาอัตราการถ่ายเทความร้อน และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแท่งฮีตไปป์

ตัวอย่างการคำนวณที่ความเข้มแสง  $700 \text{ W/m}^2$ , อุณหภูมิน้ำเข้า  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และมุมเอียงของฮีตไปป์ 55 องศา

##### 1. อัตราการไหล ( $\dot{m}$ )

ในการทดลองได้ทำการควบคุมอัตราการไหลให้มีค่าคงที่ โดยทำการจับเวลา ได้ปริมาณน้ำ  $800 \text{ mL}$  ใช้เวลา  $213$  วินาที ดังนั้นสามารถหาอัตราการไหลได้เท่ากับ

$$(0.8\text{L}/213\text{s})/1000\text{L} = 3.76 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

##### 2. อัตราการถ่ายเทความร้อน ( $Q$ )

ที่ความเข้มแสง  $700 \text{ W/m}^2$ , อุณหภูมิน้ำเข้า  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และมุมเอียงของฮีตไปป์ 55 องศา

$$Q = \dot{m}C_p\Delta T$$

โดยที่

$$\dot{m} = 3.76 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$C_p = 4.2 \text{ kJ/kgK}$$

$$\Delta T = 32.05 - 30.80 = 1.25 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

แทนค่าในสมการจะได้

$$\begin{aligned} Q &= (3.76 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s})(995.7 \text{ kg/m}^3)(4.2 \text{ kJ/kgK})(1.25 \text{ }^{\circ}\text{C}) \\ &= 0.01965 \text{ kJ/s} \\ &= 19.7 \text{ W} \end{aligned}$$

### 3. พลังงานที่ป้อนเข้าขดลวดความร้อน

#### 3.1 พื้นที่รับแสงของแท่งฮีตไปป์

ขนาดของฮีตไปป์	เส้นผ่าศูนย์กลาง	8	mm
	ความยาว	1.4	m

$$\begin{aligned}
 A &= 2\pi rl \\
 &= 2\pi(0.004\text{ m})(1.4\text{ m}) \\
 &= 0.035\text{ m}^2
 \end{aligned}$$

#### 3.2 คิดเทียบอัตราส่วนของความเข้มแสงต่อตารางเมตร

จะได้

$$300\text{ W/m}^2 = 10.5\text{ W}/0.035\text{ m}^2$$

$$500\text{ W/m}^2 = 17.5\text{ W}/0.035\text{ m}^2$$

$$700\text{ W/m}^2 = 24.5\text{ W}/0.035\text{ m}^2$$

$$1000\text{ W/m}^2 = 35.0\text{ W}/0.035\text{ m}^2$$

#### 4. ประสิทธิภาพเชิงความร้อน(Thermal Efficiency)

หาได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพเชิงความร้อน} = \frac{\text{พลังงานที่น้ำได้รับ}}{\text{พลังงานที่ป้อนเข้าไป}}$$

$$= \frac{19.7\text{ W}}{24.5\text{ W}}$$

$$= 80.2\%$$

## ภาคผนวก ก

## ตัวอย่างการคำนวณหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์

## ข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด

วันที่ทำการตรวจวัด	21 มี.ค. 2550	
สภาพท้องฟ้า	โปร่ง	
ความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดวัน( $I_{ave}$ )	630.5	W/m <sup>2</sup>
อุณหภูมิน้ำในถังสูงสุด( $T_p$ )	58.4	°C (Flat Plate)
	45.4	°C (Heat Pipe)
อุณหภูมิน้ำในถังเริ่มต้น( $T_i$ )	29.5	°C (Flat Plate)
	29.5	°C (Heat Pipe)
พื้นที่รับแสง(A)	2	m <sup>2</sup> (Flat Plate)
	1.1625	m <sup>2</sup> (Heat Pipe)
ปริมาตรน้ำในถัง(V)	150	L (Flat Plate)
	87	L (Heat Pipe)
ชั่วโมงทำงาน(hr)	8	hr

นำข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดมาคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบได้ดังนี้

## 1. ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate)

## 1.1 หาค่าพลังงานแสงอาทิตย์(S)

$$\begin{aligned}
 S &= I_{ave} \times A \times \text{hr} \\
 &= (630.5 \text{ W/m}^2) \times (2 \text{ m}^2) \times (8 \text{ hr}) \\
 &= 10.1 \text{ kW.hr} \\
 &= 10.1 \text{ kW.hr} \times 3.6 \text{ MJ} \\
 &= 36.32 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$



1.2 หาค่าพลังงานน้ำร้อนในถัง (Q)

$$\begin{aligned}
 Q &= MC_p \Delta T \\
 &= (V \times \rho)(C_p)(T_f - T_i) \\
 &= (0.15 \text{ m}^3 \times 984.18 \text{ kg/m}^3)(4.18 \text{ kJ/kgK})(58.4 - 29.5) \\
 &= 17.84 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

1.3 หาประสิทธิภาพ ( $\eta$ )

$$\begin{aligned}
 \eta &= \frac{Q}{S} \times 100 \\
 &= \frac{17.84}{36.32} \times 100 \\
 &= 49.13 \%
 \end{aligned}$$

2. ประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีทไปป์ (Heat Pipe)

2.1 หาค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (S)

$$\begin{aligned}
 S &= I_{\text{ave}} \times A \times \text{hr} \\
 &= (630.5 \text{ W/m}^2) \times (1.1625 \text{ m}^2) \times (8 \text{ hr}) \\
 &= 5.86 \text{ kW.hr} \\
 &= 5.86 \text{ kW.hr} \times 3.6 \text{ MJ} \\
 &= 21.11 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

2.2 หาค่าพลังงานน้ำร้อนในถัง (Q)

$$\begin{aligned}
 Q &= MC_p \Delta T \\
 &= (V \times \rho)(C_p)(T_f - T_i) \\
 &= (0.087 \text{ m}^3 \times 990.15 \text{ kg/m}^3)(4.18 \text{ kJ/kgK})(45.4 - 29.5) \\
 &= 5.73 \text{ MJ}
 \end{aligned}$$

2.3 หาประสิทธิภาพ( $\eta$ )

$$\begin{aligned}\eta &= \frac{Q}{S} \times 100 \\ &= \frac{5.73}{21.11} \times 100 \\ &= 27.17 \%\end{aligned}$$



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ง

ข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์

C:\FLUKE\17-03-50.csv

17/3/2007 7:27:02 Solar Heatpipe

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank</sub> HP °C	T <sub>tank</sub> FP °C	T <sub>ambient</sub> °C
17/3/2007 7:55	276.8	31.4	31.4	29.6
17/3/2007 7:57	280.9	31.4	31.4	30.2
17/3/2007 7:59	295.4	31.4	31.4	30.8
17/3/2007 8:01	311.1	31.4	31.4	30.8
17/3/2007 8:03	312.4	31.5	31.5	31.0
17/3/2007 8:05	326.6	31.6	31.6	31.1
17/3/2007 8:07	329.1	31.6	31.6	30.8
17/3/2007 8:09	340.8	31.6	31.6	30.6
17/3/2007 8:11	342.8	31.8	31.8	30.6
17/3/2007 8:13	356.7	31.9	31.9	30.5
17/3/2007 8:15	358.2	31.8	31.8	29.6
17/3/2007 8:17	344.2	32.0	32	29.4
17/3/2007 8:19	384.1	32.0	32	29.9
17/3/2007 8:21	389.1	32.1	32.7	29.9
17/3/2007 8:22	376.2	32.1	32.3	30.2
17/3/2007 8:23	319.8	32.2	32.3	30.6
17/3/2007 8:24	391.2	32.1	32.5	29.8
17/3/2007 8:25	402.2	32.2	32.5	30.1
17/3/2007 8:26	409.7	32.2	32.6	30.8
17/3/2007 8:27	410.3	32.2	32.6	31.2
17/3/2007 8:29	413.7	32.2	32.7	30.8
17/3/2007 8:31	420.6	32.3	33	31.0
17/3/2007 8:33	431.0	32.3	33.1	31.3
17/3/2007 8:35	426.7	32.3	33.2	31.0
17/3/2007 8:37	454.3	32.3	33.3	31.1
17/3/2007 8:39	440.1	32.4	33.4	31.7
17/3/2007 8:41	456.6	32.4	33.5	31.7
17/3/2007 8:43	471.2	32.5	33.7	31.8
17/3/2007 8:45	456.3	32.5	33.8	31.6
17/3/2007 8:47	489.4	32.5	33.8	32.2
17/3/2007 8:49	443.6	32.6	34	31.8
17/3/2007 8:51	479.9	32.6	34.1	32.3
17/3/2007 8:53	498.3	32.6	34.1	32.5
17/3/2007 8:55	501.2	32.6	34.2	32.6
17/3/2007 8:57	523.3	32.7	34.5	33.1
17/3/2007 8:59	584.0	32.7	34.5	33.3
17/3/2007 9:01	560.0	32.7	34.7	33.4
17/3/2007 9:03	580.0	32.8	34.8	33.0
17/3/2007 9:05	571.8	32.8	34.9	32.3
17/3/2007 9:07	592.6	32.8	34.9	32.3
17/3/2007 9:09	573.0	32.9	35.1	32.2
17/3/2007 9:11	508.2	33.0	35.3	33.0

T<sub>tank</sub> HP = อุณหภูมิน้ำในถังของแผงรับแสงแบบฮีตไปป์

T<sub>tank</sub> FP = อุณหภูมิน้ำในถังของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank</sub> HP °C	T <sub>tank</sub> FP °C	T <sub>ambient</sub> °C
17/3/2007 9:21	657.1	33.2	35.8	31.4
17/3/2007 9:23	676.4	33.3	35.9	32.1
17/3/2007 9:25	680.8	33.4	36	32.3
17/3/2007 9:27	655.4	33.4	36.1	32.1
17/3/2007 9:29	649.6	33.4	36.1	32.9
17/3/2007 9:31	422.0	33.4	36.1	31.3
17/3/2007 9:33	549.7	33.5	36.2	32.3
17/3/2007 9:35	616.4	33.5	36.3	31.9
17/3/2007 9:37	629.4	33.6	36.4	32.6
17/3/2007 9:39	502.9	33.7	36.5	31.4
17/3/2007 9:41	779.6	33.5	36.3	32.5
17/3/2007 9:43	594.4	33.6	36.5	32.3
17/3/2007 9:45	547.4	33.7	36.6	31.6
17/3/2007 9:47	641.4	33.9	36.8	31.6
17/3/2007 9:49	521.4	33.8	36.8	31.7
17/3/2007 9:51	453.9	34.0	37	32.1
17/3/2007 9:53	406.9	33.9	37	32.6
17/3/2007 9:55	365.2	34.1	37.2	32.1
17/3/2007 9:57	426.0	34.0	37.2	31.6
17/3/2007 9:59	428.2	34.2	37.4	31.3
17/3/2007 10:01	870.0	34.2	37.4	33.4
17/3/2007 10:03	405.6	34.3	37.5	33.0
17/3/2007 10:05	590.2	34.4	37.7	32.6
17/3/2007 10:06	658.1	34.3	37.6	32.1
17/3/2007 10:09	687.8	34.4	37.8	32.3
17/3/2007 10:10	793.3	34.4	37.7	32.3
17/3/2007 10:12	833.3	34.4	37.7	32.5
17/3/2007 10:14	763.4	34.6	38	31.8
17/3/2007 10:16	801.2	34.6	38	33.2
17/3/2007 10:18	857.2	34.5	37.9	33.7
17/3/2007 10:20	778.6	34.6	38	33.2
17/3/2007 10:22	410.2	34.8	38.2	33.0
17/3/2007 10:24	794.2	34.8	38.3	32.8
17/3/2007 10:26	845.8	34.7	38.2	32.5
17/3/2007 10:28	850.2	34.8	38.3	33.2
17/3/2007 10:30	734.3	34.9	38.5	33.0
17/3/2007 10:32	628.8	34.8	38.3	32.9
17/3/2007 10:34	541.7	34.9	38.5	32.1
17/3/2007 10:36	680.3	35.0	38.5	31.8
17/3/2007 10:38	906.8	35.1	38.7	32.5
17/3/2007 10:40	870.6	35.1	38.7	32.3
17/3/2007 10:42	871.7	35.3	38.8	34.4

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C	TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
17/3/2007 10:52	932.3	35.4	39	34.0	17/3/2007 12:24	859.2	37.6	42.5	33.6
17/3/2007 10:54	390.2	35.6	39.1	34.2	17/3/2007 12:26	899.5	37.6	42.7	33.9
17/3/2007 10:56	875.8	35.7	39.1	33.5	17/3/2007 12:28	933.5	37.6	42.6	34.2
17/3/2007 10:58	880.7	35.6	39	33.4	17/3/2007 12:30	898.6	37.7	42.8	34.8
17/3/2007 11:00	938.7	35.8	39.4	34.6	17/3/2007 12:32	927.7	37.7	43	35.5
17/3/2007 11:02	872.6	35.7	39.3	34.6	17/3/2007 12:34	913.3	37.8	43.2	35.4
17/3/2007 11:04	942.1	35.7	39.4	35.0	17/3/2007 12:36	939.6	37.8	43.1	35.2
17/3/2007 11:06	902.1	35.8	39.5	33.8	17/3/2007 12:38	937.3	37.8	43.5	35.8
17/3/2007 11:08	896.3	35.8	39.4	34.0	17/3/2007 12:40	939.1	37.9	43.7	35.6
17/3/2007 11:10	925.1	35.9	39.4	33.6	17/3/2007 12:42	936.2	37.9	43.8	35.3
17/3/2007 11:12	867.5	35.9	39.3	33.3	17/3/2007 12:44	959.7	37.9	43.9	35.7
17/3/2007 11:14	894.2	35.9	39.5	32.6	17/3/2007 12:46	888.6	38.1	44.1	36.7
17/3/2007 11:16	867.0	36.0	39.5	34.0	17/3/2007 12:48	896.5	38.0	44	35.1
17/3/2007 11:18	922.3	35.9	39.5	33.7	17/3/2007 12:50	895.9	38.2	44.2	35.6
17/3/2007 11:20	951.0	36.2	39.9	34.6	17/3/2007 12:52	912.8	38.3	44.3	36.2
17/3/2007 11:22	945.5	36.2	39.9	34.5	17/3/2007 12:54	878.4	38.2	44.5	36.5
17/3/2007 11:24	965.4	36.2	39.9	35.2	17/3/2007 12:56	902.3	38.2	44.6	36.3
17/3/2007 11:26	978.2	36.2	39.8	34.8	17/3/2007 12:58	865.9	38.4	44.8	36.3
17/3/2007 11:28	900.2	36.2	40	34.6	17/3/2007 13:00	906.3	38.4	44.8	34.8
17/3/2007 11:30	942.8	36.3	40.1	34.0	17/3/2007 13:02	921.6	38.5	44.8	34.6
17/3/2007 11:32	945.6	36.5	40.3	33.5	17/3/2007 13:04	899.7	38.5	44.9	35.3
17/3/2007 11:34	944.2	36.4	40.4	33.0	17/3/2007 13:06	878.6	38.4	45	35.0
17/3/2007 11:36	966.3	36.5	40.6	33.4	17/3/2007 13:08	908.3	38.6	45.2	36.3
17/3/2007 11:38	983.8	36.5	40.6	34.2	17/3/2007 13:10	876.1	38.6	45.4	35.9
17/3/2007 11:40	884.2	36.5	40.8	35.2	17/3/2007 13:12	887.9	38.6	45.6	35.2
17/3/2007 11:42	955.4	36.6	40.8	34.8	17/3/2007 13:14	844.3	38.7	45.7	35.3
17/3/2007 11:44	854.3	36.7	40.7	35.9	17/3/2007 13:16	865.4	38.8	46	36.2
17/3/2007 11:46	944.6	36.8	40.9	34.7	17/3/2007 13:18	895.3	38.9	46.1	36.0
17/3/2007 11:48	899.5	36.8	40.9	34.7	17/3/2007 13:20	892.7	38.9	46.1	35.9
17/3/2007 11:50	944.6	36.9	41	34.4	17/3/2007 13:22	807.7	39.0	46.3	36.5
17/3/2007 11:52	950.8	36.9	41.1	35.2	17/3/2007 13:24	757.6	39.0	46.5	36.7
17/3/2007 11:54	956.3	37.0	41.3	34.6	17/3/2007 13:26	788.9	39.3	46.5	37.5
17/3/2007 11:56	965.7	37.1	41.3	34.1	17/3/2007 13:28	787.6	39.1	46.7	36.9
17/3/2007 11:58	966.3	37.0	41.4	33.7	17/3/2007 13:30	767.8	39.2	46.8	37.5
17/3/2007 12:00	945.6	37.2	41.5	33.6	17/3/2007 13:30	766.4	39.0	46.9	37.2
17/3/2007 12:02	945.9	37.2	41.5	34.3	17/3/2007 13:32	766.4	39.1	47	38.8
17/3/2007 12:04	923.9	37.2	41.6	34.5	17/3/2007 13:34	787.6	39.2	47.2	37.5
17/3/2007 12:06	915.2	37.4	41.7	34.4	17/3/2007 13:36	797.4	39.2	47.3	37.1
17/3/2007 12:08	885.7	37.3	41.8	34.6	17/3/2007 13:37	797.0	39.3	47.5	36.6
17/3/2007 12:10	968.7	37.4	41.8	35.2	17/3/2007 13:38	790.3	39.4	47.7	37.6
17/3/2007 12:12	906.7	37.5	42	35.4	17/3/2007 13:40	790.7	39.3	47.8	36.8
17/3/2007 12:14	946.3	37.5	42.1	35.4	17/3/2007 13:42	769.0	39.6	47.9	37.1
17/3/2007 12:16	963.5	37.6	42.2	34.9	17/3/2007 13:44	795.6	39.5	47.9	37.2
17/3/2007 12:18	954.3	37.5	42.4	33.5	17/3/2007 13:46	789.1	39.8	48	36.0
17/3/2007 12:20	966.3	37.5	42.4	33.3	17/3/2007 13:48	773.3	39.4	48.2	35.6
17/3/2007 12:22	942.1	37.6	42.4	33.8	17/3/2007 13:50	796.6	39.4	48.1	36.0

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
17/3/2007 13:52	798.0	39.5	48.4	37.6
17/3/2007 13:54	777.5	39.6	48.6	36.8
17/3/2007 13:56	784.3	39.6	49	37.6
17/3/2007 13:58	784.6	39.6	49.2	38.2
17/3/2007 14:00	735.1	39.8	49.2	37.2
17/3/2007 14:02	741.1	39.9	49.2	37.8
17/3/2007 14:04	755.6	39.9	49.3	37.6
17/3/2007 14:06	702.6	40.0	49.4	37.7
17/3/2007 14:08	692.3	39.9	49.5	36.6
17/3/2007 14:10	637.3	39.9	49.8	36.7
17/3/2007 14:12	668.2	40.0	50	35.2
17/3/2007 14:14	664.9	40.0	50.2	34.6
17/3/2007 14:16	667.9	40.1	50.3	34.8
17/3/2007 14:18	665.2	40.2	50.5	34.2
17/3/2007 14:20	681.0	40.2	50.5	34.6
17/3/2007 14:22	687.6	40.3	50.7	34.7
17/3/2007 14:24	635.7	40.3	50.9	35.7
17/3/2007 14:26	665.3	40.3	50.9	37.0
17/3/2007 14:28	648.2	40.6	50.8	36.6
17/3/2007 14:29	674.9	40.3	50.9	36.2
17/3/2007 14:30	665.4	40.3	51.2	36.0
17/3/2007 14:32	646.2	40.4	51.4	36.8
17/3/2007 14:34	646.5	40.5	51.4	37.4
17/3/2007 14:36	637.5	40.5	51.8	37.6
17/3/2007 14:38	640.0	40.6	52.2	39.5
17/3/2007 14:40	640.1	40.6	52.5	37.9
17/3/2007 14:42	640.2	40.7	51.7	37.9
17/3/2007 14:42	647.2	40.7	51.8	37.4
17/3/2007 14:44	625.8	40.8	52	38.8
17/3/2007 14:46	612.7	41.0	52.5	37.9
17/3/2007 14:48	601.0	40.8	52.8	38.2
17/3/2007 14:50	592.0	40.9	52.8	39.2
17/3/2007 14:52	582.5	40.9	53	38.1
17/3/2007 14:54	589.6	41.0	53.2	36.6
17/3/2007 14:56	577.3	41.0	53.5	36.1
17/3/2007 14:58	588.7	41.1	53.7	35.9
17/3/2007 15:00	435.6	41.1	53.8	35.9
17/3/2007 15:02	412.5	41.1	53.9	35.8
17/3/2007 15:04	454.2	41.2	54	36.6
17/3/2007 15:06	466.3	41.3	54.3	35.0
17/3/2007 15:08	441.0	41.3	54.6	35.2
17/3/2007 15:10	439.8	41.2	54.5	34.6
17/3/2007 15:12	445.8	41.3	54.8	33.8
17/3/2007 15:14	435.8	41.3	54.9	34.3
17/3/2007 15:16	462.8	41.4	55.1	34.3
17/3/2007 15:18	420.0	41.5	55.4	33.6
17/3/2007 15:20	415.0	41.5	55.6	33.6

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
17/3/2007 15:22	412.8	41.5	55.8	34.2
17/3/2007 15:24	455.0	41.6	55.9	34.5
17/3/2007 15:26	442.0	41.7	56	34.3
17/3/2007 15:28	456.3	41.7	56.2	34.4
17/3/2007 15:30	468.0	41.7	56.2	34.7
17/3/2007 15:32	441.1	41.8	56.5	35.4
17/3/2007 15:34	430.6	41.8	56.6	35.5
17/3/2007 15:36	421.7	41.8	56.8	35.2
17/3/2007 15:38	422.8	41.8	57	36.2
17/3/2007 15:40	400.1	41.9	57	36.7
17/3/2007 15:42	416.7	41.9	57.1	37.1
17/3/2007 15:44	418.7	42.0	57.3	37.3
17/3/2007 15:44	420.0	42.0	57.3	37.6
17/3/2007 15:44	419.6	42.1	57.4	37.6
17/3/2007 15:46	405.2	42.2	57.6	37.0
17/3/2007 15:48	327.5	42.2	57.7	36.8
17/3/2007 15:50	422.5	42.3	57.7	37.4
17/3/2007 15:52	411.1	42.2	57.8	37.5
17/3/2007 15:54	364.2	42.1	57.9	37.7
17/3/2007 15:55	372.3	42.3	57.9	36.5
17/3/2007 15:56	254.3	42.3	58	36.0
17/3/2007 15:58	251.3	42.3	58.1	34.9
17/3/2007 16:00	224.0	42.3	58.1	34.5
17/3/2007 16:00	227.8	42.4	58.3	34.3
17/3/2007 16:02	238.1	42.3	58.3	34.4
17/3/2007 16:02	222.0	42.4	58.3	34.5



C:\FLUKE\19-03-50.csv  
19/3/2007 7:27:02 Solar Heatpipe

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
19/3/2007 8:01	311.1	31.4	31.4	30.8
19/3/2007 8:03	312.4	31.5	31.5	31.0
19/3/2007 8:05	326.6	31.6	31.6	31.1
19/3/2007 8:07	329.1	31.6	31.6	30.8
19/3/2007 8:09	340.8	31.6	31.6	30.6
19/3/2007 8:11	342.8	31.8	31.8	30.6
19/3/2007 8:13	356.7	31.9	31.9	30.5
19/3/2007 8:15	358.2	31.8	31.8	29.6
19/3/2007 8:17	344.2	32.0	32	29.4
19/3/2007 8:19	384.1	32.0	32	29.9
19/3/2007 8:21	389.1	32.1	32.7	29.9
19/3/2007 8:22	386.2	32.1	32.3	30.2
19/3/2007 8:23	379.8	32.2	32.3	30.6
19/3/2007 8:24	391.2	32.1	32.5	29.8
19/3/2007 8:25	402.2	32.2	32.5	30.1
19/3/2007 8:26	409.7	32.2	32.6	30.8
19/3/2007 8:27	410.3	32.2	32.6	31.2
19/3/2007 8:29	413.7	32.2	32.7	30.8
19/3/2007 8:31	420.6	32.3	33	31.0
19/3/2007 8:33	431.0	32.3	33.1	31.3
19/3/2007 8:35	426.7	32.3	33.2	31.0
19/3/2007 8:37	454.3	32.3	33.3	31.1
19/3/2007 8:39	440.1	32.4	33.4	31.7
19/3/2007 8:41	456.6	32.4	33.5	31.7
19/3/2007 8:43	471.2	32.5	33.7	31.8
19/3/2007 8:45	456.3	32.5	33.8	31.6
19/3/2007 8:47	489.4	32.5	33.8	32.2
19/3/2007 8:49	443.6	32.6	34	31.8
19/3/2007 8:51	479.9	32.6	34.1	32.3
19/3/2007 8:53	498.3	32.6	34.1	32.5
19/3/2007 8:55	501.2	32.6	34.2	32.6
19/3/2007 8:57	523.3	32.7	34.5	33.1
19/3/2007 8:59	584.0	32.7	34.5	33.3
19/3/2007 9:01	560.0	32.7	34.7	31.3
19/3/2007 9:03	580.0	32.8	34.8	33.0
19/3/2007 9:05	571.8	32.8	34.9	32.3
19/3/2007 9:07	592.6	32.8	34.9	32.3
19/3/2007 9:09	573.0	32.9	35.1	32.2
19/3/2007 9:11	508.2	33.0	35.3	33.0
19/3/2007 9:13	599.8	33.0	35.3	32.2
19/3/2007 9:15	600.3	33.1	35.5	32.1
19/3/2007 9:17	612.0	33.1	35.6	32.2
19/3/2007 9:19	626.6	33.1	35.6	31.9
19/3/2007 9:21	657.1	33.2	34	31.4
19/3/2007 9:23	676.4	33.3	35.9	32.1

T<sub>tank HP</sub> = อุณหภูมิน้ำในถังของแผงรับแสงแบบฮีตไปป์  
T<sub>tank FP</sub> = อุณหภูมิน้ำในถังของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
19/3/2007 9:27	655.4	33.4	36.1	32.1
19/3/2007 9:29	649.6	33.4	36.1	32.9
19/3/2007 9:31	422.0	33.4	36.1	31.3
19/3/2007 9:33	549.7	33.5	36.2	32.3
19/3/2007 9:35	616.4	33.5	36.3	31.9
19/3/2007 9:37	629.4	33.6	36.4	32.6
19/3/2007 9:39	652.9	33.7	36.5	31.4
19/3/2007 9:41	743.0	33.5	34.7	32.5
19/3/2007 9:43	694.4	33.6	36.5	32.3
19/3/2007 9:45	647.4	33.7	36.6	31.6
19/3/2007 9:47	641.4	33.9	36.8	31.6
19/3/2007 9:49	621.4	33.8	36.8	31.7
19/3/2007 9:51	653.9	34.0	37	32.1
19/3/2007 9:53	606.9	33.9	37	32.6
19/3/2007 9:55	665.2	34.1	37.2	32.1
19/3/2007 9:57	726.0	34.0	37.2	31.6
19/3/2007 9:59	828.2	34.2	37.4	31.3
19/3/2007 10:01	840.0	34.2	36	33.4
19/3/2007 10:03	705.6	34.3	37.5	33.0
19/3/2007 10:05	690.2	34.4	37.7	32.6
19/3/2007 10:06	658.1	34.3	37.6	32.1
19/3/2007 10:09	687.8	34.4	37.8	32.3
19/3/2007 10:10	793.3	34.4	37.7	32.3
19/3/2007 10:12	833.3	34.4	37.7	32.5
19/3/2007 10:14	863.4	34.6	38	31.8
19/3/2007 10:16	801.2	34.6	38	33.2
19/3/2007 10:18	857.2	34.5	37.9	33.7
19/3/2007 10:20	895.0	34.6	36.5	33.2
19/3/2007 10:22	810.2	34.8	38.2	33.0
19/3/2007 10:24	794.2	34.8	38.3	32.8
19/3/2007 10:26	845.8	34.7	38.2	32.5
19/3/2007 10:28	850.2	34.8	38.3	33.2
19/3/2007 10:30	734.3	34.9	38.5	33.0
19/3/2007 10:32	628.8	34.8	38.3	32.9
19/3/2007 10:34	841.7	34.9	38.5	32.1
19/3/2007 10:36	880.3	35.0	38.5	31.8
19/3/2007 10:38	906.8	35.1	38.7	32.5
19/3/2007 10:40	932.0	35.1	38	32.3
19/3/2007 10:42	871.7	35.3	38.8	34.4
19/3/2007 10:44	887.6	35.3	38.8	34.4
19/3/2007 10:46	897.4	35.3	38.9	33.6
19/3/2007 10:48	899.7	35.4	39	33.7
19/3/2007 10:50	910.5	35.4	39	33.7
19/3/2007 10:52	932.3	35.4	39	34.0
19/3/2007 10:54	390.2	35.6	39.1	34.2



TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
19/3/2007 10:58	880.7	35.6	39	33.4
19/3/2007 11:00	906.3	38.4	44.8	34.8
19/3/2007 11:02	902.6	35.7	39.3	34.6
19/3/2007 11:04	942.1	35.7	39.4	35.0
19/3/2007 11:06	902.1	35.8	39.5	33.8
19/3/2007 11:08	896.3	35.8	39.4	34.0
19/3/2007 11:10	925.1	35.9	39.4	33.6
19/3/2007 11:12	867.5	35.9	39.3	33.3
19/3/2007 11:14	894.2	35.9	39.5	32.6
19/3/2007 11:16	867.0	36.0	39.5	34.0
19/3/2007 11:18	922.3	35.9	39.5	33.7
19/3/2007 11:20	966.3	37.5	42.4	33.3
19/3/2007 11:22	945.5	36.2	39.9	34.5
19/3/2007 11:24	965.4	36.2	39.9	35.2
19/3/2007 11:26	978.2	36.2	39.8	34.8
19/3/2007 11:28	900.2	36.2	40	34.6
19/3/2007 11:30	942.8	36.3	40.1	34.0
19/3/2007 11:32	945.6	36.5	40.3	33.5
19/3/2007 11:34	944.2	36.4	40.3	33.0
19/3/2007 11:36	966.3	36.5	40.3	33.4
19/3/2007 11:38	983.8	36.5	40.2	34.2
19/3/2007 11:40	939.1	37.9	43.7	33.4
19/3/2007 11:42	955.4	36.6	40.4	34.8
19/3/2007 11:44	854.3	36.7	40.3	35.9
19/3/2007 11:46	944.6	36.8	40.3	34.7
19/3/2007 11:48	899.5	36.8	40.4	34.7
19/3/2007 11:50	944.6	36.9	40.4	34.4
19/3/2007 11:52	950.8	36.9	40.6	35.2
19/3/2007 11:54	956.3	37.0	40.8	34.6
19/3/2007 11:56	965.7	37.1	40.9	34.1
19/3/2007 11:58	966.3	37.0	40.7	33.7
19/3/2007 12:00	945.6	37.2	41.5	33.6
19/3/2007 12:02	945.9	37.2	41	34.3
19/3/2007 12:04	923.9	37.2	40.9	34.5
19/3/2007 12:06	915.2	37.4	41.1	34.4
19/3/2007 12:08	885.7	37.3	40.9	34.6
19/3/2007 12:10	968.7	37.4	41	35.2
19/3/2007 12:12	906.7	37.5	41.2	35.4
19/3/2007 12:14	946.3	37.5	41.3	35.4
19/3/2007 12:16	963.5	37.6	41.4	34.9
19/3/2007 12:18	954.3	37.5	41.4	33.5
19/3/2007 12:20	966.3	37.5	42.4	33.3
19/3/2007 12:22	942.1	37.6	41.5	33.8
19/3/2007 12:24	859.2	37.6	41.4	33.6
19/3/2007 12:26	899.5	37.6	41.2	33.9
19/3/2007 12:28	933.5	37.6	41.1	34.2

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
19/3/2007 12:30	898.6	37.7	41.3	34.8
19/3/2007 12:32	927.7	37.7	41.4	35.5
19/3/2007 12:34	913.3	37.8	41.6	35.4
19/3/2007 12:36	939.6	37.8	41.6	35.2
19/3/2007 12:38	937.3	37.8	41.7	35.8
19/3/2007 12:40	939.1	37.9	43.7	33.4
19/3/2007 12:42	936.2	37.9	41.9	35.3
19/3/2007 12:44	959.7	37.9	41.9	35.7
19/3/2007 12:46	888.6	38.1	42.2	36.7
19/3/2007 12:48	896.5	38.0	41.9	35.1
19/3/2007 12:50	895.9	38.2	42.1	35.6
19/3/2007 12:52	912.8	38.3	42.3	36.2
19/3/2007 12:54	878.4	38.2	42.3	36.5
19/3/2007 12:56	902.3	38.2	42.4	36.3
19/3/2007 12:58	865.9	38.4	42.6	36.3
19/3/2007 13:00	906.3	38.4	44.8	34.8
19/3/2007 13:02	921.6	38.5	42.7	34.6
19/3/2007 13:04	899.7	38.5	42.6	35.3
19/3/2007 13:06	878.6	38.4	42.5	35.0
19/3/2007 13:08	908.3	38.6	42.5	36.3
19/3/2007 13:10	876.1	38.6	42.8	35.9
19/3/2007 13:12	887.9	38.6	42.8	35.2
19/3/2007 13:14	844.3	38.7	43	35.3
19/3/2007 13:16	865.4	38.8	42.9	36.2
19/3/2007 13:18	895.3	38.9	43	36.0
19/3/2007 13:20	892.7	38.9	46.1	35.9
19/3/2007 13:22	807.7	39.0	43.2	36.5
19/3/2007 13:24	799.6	39.0	43.2	36.7
19/3/2007 13:26	788.9	39.3	43.6	37.5
19/3/2007 13:28	787.6	39.1	43.5	36.9
19/3/2007 13:30	767.8	39.2	43.6	37.5
19/3/2007 13:30	766.4	39.0	43.3	37.2
19/3/2007 13:32	766.4	39.1	43.3	38.8
19/3/2007 13:34	787.6	39.2	43.3	37.5
19/3/2007 13:36	797.4	39.2	43.7	37.1
19/3/2007 13:37	797.0	39.3	43.8	36.6
19/3/2007 13:38	800.3	39.4	43.9	37.6
19/3/2007 13:40	822.0	39.3	47.8	34.5
19/3/2007 13:42	801.0	39.6	44	37.1
19/3/2007 13:44	795.6	39.5	43.9	37.2
19/3/2007 13:46	789.1	39.8	44.4	36.0
19/3/2007 13:48	773.3	39.4	44.5	35.6
19/3/2007 13:50	796.6	39.4	44.7	36.0
19/3/2007 13:52	798.0	39.5	45.1	37.6
19/3/2007 13:54	777.5	39.6	45.3	36.8
19/3/2007 13:56	784.3	39.6	45.5	37.6

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
19/3/2007 13:58	784.6	39.6	45.5	38.2
19/3/2007 14:00	735.1	39.8	49.2	35.2
19/3/2007 14:02	741.1	39.9	46.5	37.8
19/3/2007 14:04	755.6	39.9	46.9	37.6
19/3/2007 14:06	702.6	40.0	47	37.7
19/3/2007 14:08	692.3	39.9	47.3	36.6
19/3/2007 14:10	637.3	39.9	47.4	36.7
19/3/2007 14:12	668.2	40.0	47.5	35.2
19/3/2007 14:14	664.9	40.0	47.8	34.6
19/3/2007 14:16	667.9	40.1	48	34.8
19/3/2007 14:18	665.2	40.2	48.5	34.2
19/3/2007 14:20	681.0	39.3	50.5	34.6
19/3/2007 14:22	687.6	40.3	48.8	34.7
19/3/2007 14:24	635.7	40.3	49.5	35.7
19/3/2007 14:26	665.3	40.3	49.7	37.0
19/3/2007 14:28	648.2	40.6	50	36.6
19/3/2007 14:29	674.9	40.3	50.2	36.2
19/3/2007 14:30	665.4	40.3	50.3	36.0
19/3/2007 14:32	646.2	40.4	50.4	36.8
19/3/2007 14:34	646.5	40.5	50.7	37.4
19/3/2007 14:36	637.5	40.5	51.1	37.6
19/3/2007 14:38	640.0	40.6	51.4	39.5
19/3/2007 14:40	634.0	39.6	52.5	36.0
19/3/2007 14:42	640.2	40.7	51.7	37.9
19/3/2007 14:42	647.2	40.7	51.8	37.4
19/3/2007 14:44	625.8	40.8	52	38.8
19/3/2007 14:46	612.7	41.0	52.5	37.9
19/3/2007 14:48	601.0	40.8	52.8	38.2
19/3/2007 14:50	592.0	40.9	52.8	39.2
19/3/2007 14:52	582.5	40.9	53	38.1
19/3/2007 14:54	589.6	41.0	53.2	36.6
19/3/2007 14:56	577.3	41.0	53.5	36.1
19/3/2007 14:58	588.7	41.1	53.7	35.9
19/3/2007 15:00	548.0	40.2	53.8	35.9
19/3/2007 15:02	412.5	41.1	53.9	35.8
19/3/2007 15:04	454.2	41.2	54	36.6
19/3/2007 15:06	466.3	41.3	54.3	35.0
19/3/2007 15:08	441.0	41.3	54.6	35.2
19/3/2007 15:10	439.8	41.2	54.5	34.6
19/3/2007 15:12	445.8	41.3	54.8	33.8
19/3/2007 15:14	435.8	41.3	54.9	34.3
19/3/2007 15:16	462.8	41.4	55.1	34.3
19/3/2007 15:18	460.2	41.5	55.4	33.6
19/3/2007 15:20	451.0	40.5	54.8	33.6
19/3/2007 15:22	442.8	41.5	55.8	34.2
19/3/2007 15:24	455.0	41.6	55.9	34.5

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
19/3/2007 15:26	442.0	41.7	56	34.3
19/3/2007 15:28	456.3	41.7	56.2	34.4
19/3/2007 15:30	468.0	41.7	56.2	34.7
19/3/2007 15:32	441.1	41.8	56.5	35.4
19/3/2007 15:34	430.6	41.8	56.6	35.5
19/3/2007 15:36	421.7	41.8	56.8	35.2
19/3/2007 15:38	422.8	41.8	57	36.2
19/3/2007 15:40	400.1	40.8	56.3	34.0
19/3/2007 15:42	416.7	41.9	57.1	37.1
19/3/2007 15:44	418.7	42.0	57.3	37.3
19/3/2007 15:44	420.0	42.0	57.3	37.6
19/3/2007 15:44	419.6	42.1	57.4	37.6
19/3/2007 15:46	405.2	42.2	57.6	37.0
19/3/2007 15:48	327.5	42.2	57.7	36.8
19/3/2007 15:50	422.5	42.3	57.7	37.4
19/3/2007 15:52	411.1	42.2	57.8	37.5
19/3/2007 15:54	364.2	42.1	57.9	37.7
19/3/2007 15:55	372.3	42.3	57.9	36.5
19/3/2007 15:56	254.3	42.3	58	36.0
19/3/2007 15:58	251.3	42.3	58.1	34.9
19/3/2007 16:00	324.0	42.3	58.1	34.5
19/3/2007 16:00	329.0	41.1	56.9	34.5
19/3/2007 16:02	338.1	42.3	58.3	34.4
19/3/2007 16:02	333.0	42.4	58.3	34.5

C:\FLUKE\21-03-50.csv  
21/3/2007 7:27:02 Solar Heatpipe

T<sub>tank</sub> HP = อุณหภูมิน้ำในถังของแผงรับแสงแบบฮีตไปป์  
T<sub>tank</sub> FP = อุณหภูมิน้ำในถังของแผงรับแสงแบบแผ่นเรียบ

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank</sub> HP °C	T <sub>tank</sub> FP °C	T <sub>ambient</sub> °C
21/3/2007 8:03	312.4	31.5	31.5	31.0
21/3/2007 8:05	326.6	31.6	31.6	31.1
21/3/2007 8:07	329.1	31.6	31.6	30.8
21/3/2007 8:09	340.8	31.6	31.6	30.6
21/3/2007 8:11	342.8	31.8	31.8	30.6
21/3/2007 8:13	356.7	31.9	31.9	30.5
21/3/2007 8:15	358.2	31.8	31.8	29.6
21/3/2007 8:17	344.2	32.0	32	29.4
21/3/2007 8:19	354.1	32.0	32	29.9
21/3/2007 8:21	353.0	32.1	32.7	29.9
21/3/2007 8:22	376.2	32.1	32.3	30.2
21/3/2007 8:23	389.8	32.2	32.3	30.6
21/3/2007 8:24	391.2	32.1	32.5	29.8
21/3/2007 8:25	402.2	32.2	32.5	30.1
21/3/2007 8:26	409.7	32.2	32.6	30.8
21/3/2007 8:27	410.3	32.2	32.6	31.2
21/3/2007 8:29	413.7	32.2	32.7	30.8
21/3/2007 8:31	420.6	32.3	33	31.0
21/3/2007 8:33	431.0	32.3	33.1	31.3
21/3/2007 8:35	426.7	32.3	33.2	31.0
21/3/2007 8:37	454.3	32.3	33.3	31.1
21/3/2007 8:39	440.1	32.4	33.4	31.7
21/3/2007 8:41	487.0	32.4	33.5	30.0
21/3/2007 8:43	471.2	32.5	33.7	31.8
21/3/2007 8:45	456.3	32.5	33.8	31.6
21/3/2007 8:47	489.4	32.5	33.8	32.2
21/3/2007 8:49	443.6	32.6	34	31.8
21/3/2007 8:51	479.9	32.6	34.1	32.3
21/3/2007 8:53	498.3	32.6	34.1	32.5
21/3/2007 8:55	501.2	32.6	34.2	32.6
21/3/2007 8:57	523.3	32.7	34.5	33.1
21/3/2007 8:59	584.0	32.7	34.5	33.3
21/3/2007 9:01	560.0	32.7	34.7	31.3
21/3/2007 9:03	580.0	32.8	34.8	33.0
21/3/2007 9:05	571.8	32.8	34.9	32.3
21/3/2007 9:07	592.6	32.8	34.9	32.3
21/3/2007 9:09	573.0	32.9	35.1	32.2
21/3/2007 9:11	508.2	33.0	35.3	33.0
21/3/2007 9:13	599.8	33.0	35.3	32.2
21/3/2007 9:15	600.3	33.1	35.5	32.1
21/3/2007 9:17	612.0	33.1	35.6	32.2
21/3/2007 9:19	606.6	33.1	35.6	31.9
21/3/2007 9:21	579.0	33.2	34	31.4
21/3/2007 9:23	616.4	33.3	35.9	32.1
21/3/2007 9:25	620.8	33.4	36	32.3

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank</sub> HP °C	T <sub>tank</sub> FP °C	T <sub>ambient</sub> °C
21/3/2007 9:27	655.4	33.4	36.1	32.1
21/3/2007 9:29	649.6	33.4	36.1	32.9
21/3/2007 9:31	622.0	33.4	36.1	31.3
21/3/2007 9:33	649.7	33.5	36.2	32.3
21/3/2007 9:35	656.4	33.5	36.3	31.9
21/3/2007 9:37	689.4	33.6	36.4	32.6
21/3/2007 9:39	702.9	33.7	36.5	31.4
21/3/2007 9:41	768.0	33.5	34.7	30.6
21/3/2007 9:43	694.4	33.6	36.5	32.3
21/3/2007 9:45	647.4	33.7	36.6	31.6
21/3/2007 9:47	641.4	33.9	36.8	31.6
21/3/2007 9:49	521.4	33.8	36.8	31.7
21/3/2007 9:51	553.9	34.0	37	32.1
21/3/2007 9:53	606.9	33.9	37	32.6
21/3/2007 9:55	665.2	34.1	37.2	32.1
21/3/2007 9:57	726.0	34.0	37.2	31.6
21/3/2007 9:59	798.2	34.2	37.4	31.3
21/3/2007 10:01	816.0	34.2	36	31.3
21/3/2007 10:03	805.6	34.3	37.5	33.0
21/3/2007 10:05	790.2	34.4	37.7	32.6
21/3/2007 10:06	758.1	34.3	37.6	32.1
21/3/2007 10:09	697.8	34.4	37.8	32.3
21/3/2007 10:10	793.3	34.4	37.7	32.3
21/3/2007 10:12	833.3	34.4	37.7	32.5
21/3/2007 10:14	763.4	34.6	38	31.8
21/3/2007 10:16	801.2	34.6	38	33.2
21/3/2007 10:18	857.2	34.5	37.9	33.7
21/3/2007 10:20	895.0	34.6	36.5	31.6
21/3/2007 10:22	810.2	34.8	38.2	33.0
21/3/2007 10:24	794.2	34.8	38.3	32.8
21/3/2007 10:26	845.8	34.7	38.2	32.5
21/3/2007 10:28	850.2	34.8	38.3	33.2
21/3/2007 10:30	734.3	34.9	38.5	33.0
21/3/2007 10:32	728.8	34.8	38.3	32.9
21/3/2007 10:34	741.7	34.9	38.5	32.1
21/3/2007 10:36	780.3	35.0	38.5	31.8
21/3/2007 10:38	806.8	35.1	38.7	32.5
21/3/2007 10:40	816.0	35.1	38	32.3
21/3/2007 10:42	871.7	35.3	38.8	34.4
21/3/2007 10:44	887.6	35.3	38.8	34.4
21/3/2007 10:46	897.4	35.3	38.9	33.6
21/3/2007 10:48	899.7	35.4	39	33.7
21/3/2007 10:50	910.5	35.4	39	33.7
21/3/2007 10:52	932.3	35.4	39	34.0
21/3/2007 10:54	890.2	35.6	39.1	34.2

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
21/3/2007 10:56	875.8	35.7	39.1	33.5
21/3/2007 10:58	900.7	35.6	39	33.4
21/3/2007 11:00	938.7	35.8	39.4	32.0
21/3/2007 11:02	912.6	35.7	39.3	34.6
21/3/2007 11:04	942.1	35.7	39.4	35.0
21/3/2007 11:06	902.1	35.8	39.5	33.8
21/3/2007 11:08	896.3	35.8	39.4	34.0
21/3/2007 11:10	925.1	35.9	39.4	33.6
21/3/2007 11:12	867.5	35.9	39.3	33.3
21/3/2007 11:14	894.2	35.9	39.5	32.6
21/3/2007 11:16	867.0	36.0	39.5	34.0
21/3/2007 11:18	922.3	35.9	39.5	33.7
21/3/2007 11:20	914.0	36.2	39.9	33.4
21/3/2007 11:22	945.5	36.2	39.9	34.5
21/3/2007 11:24	965.4	36.2	39.9	35.2
21/3/2007 11:26	978.2	36.2	39.8	34.8
21/3/2007 11:28	900.2	36.2	40	34.6
21/3/2007 11:30	942.8	36.3	40.1	34.0
21/3/2007 11:32	945.6	36.5	40.3	33.5
21/3/2007 11:34	944.2	36.4	40.3	33.0
21/3/2007 11:36	966.3	36.5	40.3	33.4
21/3/2007 11:38	983.8	36.5	40.2	34.2
21/3/2007 11:40	938.0	36.5	40.8	32.0
21/3/2007 11:42	955.4	36.6	40.4	34.8
21/3/2007 11:44	854.3	36.7	40.3	35.9
21/3/2007 11:46	944.6	36.8	40.3	34.7
21/3/2007 11:48	899.5	36.8	40.4	34.7
21/3/2007 11:50	944.6	36.9	40.4	34.4
21/3/2007 11:52	950.8	36.9	40.6	35.2
21/3/2007 11:54	956.3	37.0	40.8	34.6
21/3/2007 11:56	965.7	37.1	40.9	34.1
21/3/2007 11:58	966.3	37.0	40.7	33.7
21/3/2007 12:00	932.0	37.2	41.5	33.6
21/3/2007 12:02	945.9	37.2	41	34.3
21/3/2007 12:04	923.9	37.2	40.9	34.5
21/3/2007 12:06	915.2	37.4	41.1	34.4
21/3/2007 12:08	885.7	37.3	40.9	34.6
21/3/2007 12:10	968.7	37.4	41	35.2
21/3/2007 12:12	906.7	37.5	41.2	35.4
21/3/2007 12:14	946.3	37.5	41.3	35.4
21/3/2007 12:16	963.5	37.6	41.4	34.9
21/3/2007 12:18	954.3	37.5	41.4	33.5
21/3/2007 12:20	950.0	37.5	42.4	33.3
21/3/2007 12:22	942.1	37.6	41.5	33.8
21/3/2007 12:24	859.2	37.6	41.4	33.6
21/3/2007 12:26	899.5	37.6	41.2	33.9

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
21/3/2007 12:28	933.5	37.6	41.1	34.2
21/3/2007 12:30	898.6	37.7	41.3	34.8
21/3/2007 12:32	927.7	37.7	41.4	35.5
21/3/2007 12:34	913.3	37.8	41.6	35.4
21/3/2007 12:36	939.6	37.8	41.6	35.2
21/3/2007 12:38	937.3	37.8	41.7	35.8
21/3/2007 12:40	939.1	37.9	43.7	33.4
21/3/2007 12:42	936.2	37.9	41.9	35.3
21/3/2007 12:44	959.7	37.9	41.9	35.7
21/3/2007 12:46	888.6	38.1	42.2	36.7
21/3/2007 12:48	896.5	38.0	41.9	35.1
21/3/2007 12:50	895.9	38.2	42.1	35.6
21/3/2007 12:52	912.8	38.3	42.3	36.2
21/3/2007 12:54	878.4	38.2	42.3	36.5
21/3/2007 12:56	902.3	38.2	42.4	36.3
21/3/2007 12:58	865.9	38.4	42.6	36.3
21/3/2007 13:00	860.0	38.4	44.8	34.8
21/3/2007 13:02	921.6	38.5	42.7	34.6
21/3/2007 13:04	899.7	38.5	42.6	35.3
21/3/2007 13:06	878.6	38.4	42.5	35.0
21/3/2007 13:08	908.3	38.6	42.5	36.3
21/3/2007 13:10	876.1	38.6	42.8	35.9
21/3/2007 13:12	887.9	38.6	42.8	35.2
21/3/2007 13:14	844.3	38.7	43	35.3
21/3/2007 13:16	865.4	38.8	42.9	36.2
21/3/2007 13:18	895.3	38.9	43	36.0
21/3/2007 13:20	892.7	38.9	47.3	34.0
21/3/2007 13:22	807.7	39.0	43.2	36.5
21/3/2007 13:24	797.6	39.0	43.2	36.7
21/3/2007 13:26	788.9	39.3	43.6	37.5
21/3/2007 13:28	787.6	39.1	43.5	36.9
21/3/2007 13:30	767.8	39.2	43.6	37.5
21/3/2007 13:30	766.4	39.0	43.3	37.2
21/3/2007 13:32	766.4	39.1	43.3	38.8
21/3/2007 13:34	787.6	39.2	43.3	37.5
21/3/2007 13:36	797.4	39.2	43.7	37.1
21/3/2007 13:37	797.0	39.3	43.8	36.6
21/3/2007 13:38	790.3	39.4	43.9	37.6
21/3/2007 13:40	822.0	39.3	47.8	34.5
21/3/2007 13:42	769.0	39.6	44	37.1
21/3/2007 13:44	795.6	39.5	43.9	37.2
21/3/2007 13:46	789.1	39.8	44.4	36.0
21/3/2007 13:48	773.3	39.4	44.5	35.6
21/3/2007 13:50	796.6	39.4	44.7	36.0
21/3/2007 13:52	798.0	39.5	45.1	37.6
21/3/2007 13:54	777.5	39.6	45.3	36.8



TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
21/3/2007 13:56	784.3	39.6	45.5	37.6
21/3/2007 13:58	784.6	39.6	45.5	38.2
21/3/2007 14:00	675.0	39.8	49.2	35.2
21/3/2007 14:02	741.1	39.9	46.5	37.8
21/3/2007 14:04	755.6	39.9	46.9	37.6
21/3/2007 14:06	702.6	40.0	47	37.7
21/3/2007 14:08	692.3	39.9	47.3	36.6
21/3/2007 14:10	637.3	39.9	47.4	36.7
21/3/2007 14:12	668.2	40.0	47.5	35.2
21/3/2007 14:14	664.9	40.0	47.8	34.6
21/3/2007 14:16	667.9	40.1	48	34.8
21/3/2007 14:18	665.2	40.2	48.5	34.2
21/3/2007 14:20	681.0	40.5	50.5	34.6
21/3/2007 14:22	687.6	40.3	48.8	34.7
21/3/2007 14:24	635.7	40.3	49.5	35.7
21/3/2007 14:26	665.3	40.3	49.7	37.0
21/3/2007 14:28	648.2	40.6	50	36.6
21/3/2007 14:29	674.9	40.3	50.2	36.2
21/3/2007 14:30	665.4	40.3	50.3	36.0
21/3/2007 14:32	646.2	40.4	50.4	36.8
21/3/2007 14:34	646.5	40.5	50.7	37.4
21/3/2007 14:36	637.5	40.5	51.1	37.6
21/3/2007 14:38	640.0	40.6	51.4	39.5
21/3/2007 14:40	634.0	40.9	52	36.0
21/3/2007 14:42	640.2	40.7	51.7	37.9
21/3/2007 14:42	647.2	40.7	51.8	37.4
21/3/2007 14:44	625.8	40.8	52	38.8
21/3/2007 14:46	612.7	41.0	52.5	37.9
21/3/2007 14:48	601.0	40.8	52.8	38.2
21/3/2007 14:50	592.0	40.9	52.8	39.2
21/3/2007 14:52	582.5	40.9	53	38.1
21/3/2007 14:54	589.6	41.0	53.2	36.6
21/3/2007 14:56	577.3	41.0	53.5	36.1
21/3/2007 14:58	588.7	41.1	53.7	35.9
21/3/2007 15:00	594.0	40.9	53.8	35.9
21/3/2007 15:02	412.5	41.1	53.9	35.8
21/3/2007 15:04	454.2	41.2	54	36.6
21/3/2007 15:06	466.3	41.3	54.3	35.0
21/3/2007 15:08	441.0	41.3	54.6	35.2
21/3/2007 15:10	439.8	41.2	54.5	34.6
21/3/2007 15:12	445.8	41.3	54.8	33.8
21/3/2007 15:14	435.8	41.3	54.9	34.3
21/3/2007 15:16	462.8	41.4	55.1	34.3
21/3/2007 15:18	460.0	41.5	55.4	33.6
21/3/2007 15:20	451.0	41.2	54.8	33.6
21/3/2007 15:22	442.8	41.5	55.8	34.2

TIME	Intensity W/m <sup>2</sup>	T <sub>tank HP</sub> °C	T <sub>tank FP</sub> °C	T <sub>ambient</sub> °C
21/3/2007 15:24	455.0	41.6	55.9	34.5
21/3/2007 15:26	442.0	41.7	56	34.3
21/3/2007 15:28	456.3	41.7	56.2	34.4
21/3/2007 15:30	468.0	41.7	56.2	34.7
21/3/2007 15:32	441.1	41.8	56.5	35.4
21/3/2007 15:34	430.6	41.8	56.6	35.5
21/3/2007 15:36	421.7	41.8	56.8	35.2
21/3/2007 15:38	422.8	41.8	57	36.2
21/3/2007 15:40	400.1	42.0	56.3	34.0
21/3/2007 15:42	416.7	41.9	57.1	37.1
21/3/2007 15:44	418.7	42.0	57.3	37.3
21/3/2007 15:44	420.0	42.0	57.3	37.6
21/3/2007 15:44	419.6	42.1	57.4	37.6
21/3/2007 15:46	405.2	42.2	57.6	37.0
21/3/2007 15:48	327.5	42.2	57.7	36.8
21/3/2007 15:50	422.5	42.3	57.7	37.4
21/3/2007 15:52	411.1	42.2	57.8	37.5
21/3/2007 15:54	364.2	42.1	57.9	37.7
21/3/2007 15:55	372.3	42.3	57.9	36.5
21/3/2007 15:56	254.3	42.3	58	36.0
21/3/2007 15:58	251.3	42.3	58.1	34.9
21/3/2007 16:00	260.0	42.6	58	34.5
21/3/2007 16:00	257.8	42.4	58.3	34.3
21/3/2007 16:02	238.1	42.3	58.3	34.4
21/3/2007 16:02	222.0	42.4	58.3	34.5

## ภาคผนวก จ

## ข้อมูลที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพของแท่งฮีตไปป์

1. Intensity 300 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 15 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
54.7	55.3	25.4	45.8	58.4	34.3
55.4	56.0	25.3	46.7	59.1	34.2
56.1	56.9	25.4	47.6	59.8	34.5
55.9	56.2	25.4	48.3	60.1	34.7
54.1	54.6	25.4	49.1	60.7	34.9
52.7	53.6	25.5	49.8	61.5	34.9
51.8	52.4	25.6	50.3	62.3	34.7
51.6	51.9	25.5	50.8	62.9	34.8
50.6	50.6	25.6	51.4	62.9	34.8
50.6	50.8	25.7	51.9	63.1	35.0
49.6	49.7	25.7	52.4	63.5	35.2
49.5	49.6	25.8	52.7	64.0	35.3
51.1	51.3	25.8	53.1	62.9	35.6
53.2	53.3	25.7	53.5	63.2	36.0
52.7	52.9	25.7	53.9	63.5	36.0
53.7	53.8	25.7	54.2	62.8	36.1
54.8	54.4	25.6	54.4	62.8	36.1
55.3	55.3	25.6	54.7	61.9	36.3
55.6	55.2	25.6	54.9	62.6	36.6
55.7	55.8	25.5	55.3	62.1	36.6
53.7	53.9	25.5	55.3	62.2	36.9
52.5	52.4	25.7	55.6	61.5	37.1
51.5	51.3	25.6	55.7	61.7	37.4
50.6	50.2	25.7	55.9	61.8	37.6
50.4	50.1	25.8	56.1	62.4	37.9
49.9	49.6	25.8	56.2	62.1	38.0
49.2	48.6	25.8	56.4	62.2	38.1
49.0	48.4	25.9	56.6	62.0	38.6
49.3	49.3	26.0	56.8	62.2	37.6
51.6	51.5	25.9	56.9	62.2	37.5
52.7	52.8	25.7	56.9	61.7	36.9
53.2	54.2	25.8	57.0	62.2	36.5
53.2	55.0	25.8	57.0	62.4	36.3
55.9	56.2	25.7	57.2	62.3	36.3
54.5	54.6	25.7	57.3	61.8	37.0
54.8	55.3	25.6	57.1	61.2	37.7
55.4	54.7	25.5	57.2	61.7	38.0
54.7	55.7	25.5	57.1	61.7	38.3
54.4	55.3	25.5	57.2	62.5	38.2
52.7	53.4	25.6	57.0	62.1	38.3

2. Intensity 300 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 35 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
47.9	50.7	25.9	56.8	62.3	34.5
47.5	50.2	25.9	56.7	61.5	34.3
48.8	51.4	25.9	56.8	61.8	34.2
50.2	52.3	25.8	56.7	61.9	34.3
51.7	54	25.8	56.5	62.2	34.2
51.5	55.3	25.8	56.6	62.2	34.1
51.9	54.5	25.8	56.5	62.5	34.5
50.4	53.5	25.7	56.6	62.1	34.1
51.4	54.8	25.7	56.6	61.9	34.1
50	51.8	25.5	56.5	62.3	33.8
51.7	54.7	25.5	56.5	62.4	33.7
52.5	55.8	25.5	56.2	61.5	33.9
51.7	54.7	25.5	56.3	61.4	33.9
52.4	54.1	25.5	56.2	61.6	33.8
50.9	53.2	25.6	56.1	61.8	33.8
49.7	51.8	25.7	56.1	61.9	34
49	51.5	25.7	56.1	62.2	33.9
47.7	49.9	25.7	56.1	62.5	33.7
47.9	49.8	25.8	56.1	62.4	33.6
47.7	49.8	25.7	56	62.1	33.8
47.5	49.1	25.8	56	62.4	33.7
46.5	48.5	25.9	56.1	62.7	33.7
46.9	49	25.9	56.1	62.7	33.6
48.8	50.3	25.9	56.1	62.2	33.6
48.9	50.6	25.8	56.1	62.3	33.6
49.3	50.7	25.9	56.1	62.3	33.6
50.6	50.6	25.6	51.4	62.9	34.8
50.6	50.8	25.7	51.9	63.1	35.0
49.6	49.7	25.7	52.4	63.5	35.2
49.5	49.6	25.8	52.7	64.0	35.3
51.1	51.3	25.8	53.1	62.9	35.6
53.2	53.3	25.7	53.5	63.2	36.0
52.7	52.9	25.7	53.9	63.5	36.0
53.7	53.8	25.7	54.2	62.8	36.1
54.8	54.4	25.6	54.4	62.8	36.1
49.9	49.6	25.8	56.2	62.1	38.0
49.2	48.6	25.8	56.4	62.2	38.1
49.0	48.4	25.9	56.6	62.0	38.6
49.3	49.3	26.0	56.8	62.2	37.6
51.6	51.5	25.9	56.9	62.2	37.5



3. Intensity 300 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 55 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
50.2	52.3	25.8	56.7	61.9	34.3
51.7	54	25.8	56.5	62.2	34.2
51.5	55.3	25.8	56.6	62.2	34.1
51.9	54.5	25.8	56.5	62.5	34.5
50.4	53.5	25.7	56.6	62.1	34.1
51.4	54.8	25.7	56.6	61.9	34.1
50	51.8	25.5	56.5	62.3	33.8
51.7	54.7	25.5	56.5	62.4	33.7
52.5	55.8	25.5	56.2	61.5	33.9
51.7	54.7	25.5	56.3	61.4	33.9
52.4	54.1	25.5	56.2	61.6	33.8
50.9	53.2	25.6	56.1	61.8	33.8
49.7	51.8	25.7	56.1	61.9	34
51.6	51.5	25.9	56.9	62.2	37.5
52.7	52.8	25.7	56.9	61.7	36.9
53.2	54.2	25.8	57.0	62.2	36.5
53.2	55.0	25.8	57.0	62.4	36.3
55.9	56.2	25.7	57.2	62.3	36.3
54.5	54.6	25.7	57.3	61.8	37.0
54.8	55.3	25.6	57.1	61.2	37.7
55.4	54.7	25.5	57.2	61.7	38.0
54.7	55.7	25.5	57.1	61.7	38.3
54.4	55.3	25.5	57.2	62.5	38.2
52.7	53.4	25.6	57.0	62.1	38.3
56.8	57.7	25.7	55.9	63.3	34.4
56.4	57.7	25.7	55.8	63	34.9
56.1	57.4	25.7	55.9	63.1	34.8
55.9	56.7	25.8	56	63.1	34.7
55.8	56.8	25.8	55.9	63.7	34.4
55.8	56.4	25.9	56.1	64.3	34.2
55.3	56	25.9	56	64.4	34.3
56.9	57.6	25.9	56	64.8	34.3
57.4	59.8	25.7	56	65.4	34.2
59	61.1	25.8	56	65	34.2
60	62	25.8	56.1	63.9	34.4
60.3	62.7	25.7	56	63.4	35.1
59.8	62.7	25.6	56.1	62.8	34.8
59.4	63.4	25.7	56.2	63.1	34.6
60.7	63.2	25.6	56.2	63.2	34.3
59.2	61.8	25.5	56.2	62.9	34.4
59.9	62.7	25.5	56.1	62.9	34
58.2	61.3	25.5	56.1	63.1	34
58.3	60	25.5	56.1	63.3	34
56.6	58.4	25.6	55.9	63.8	34

4. Intensity 300 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 80 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
48.8	51.4	25.9	56.8	61.8	34.2
50.2	52.3	25.8	56.7	61.9	34.3
51.7	54	25.8	56.5	62.2	34.2
51.5	55.3	25.8	56.6	62.2	34.1
51.9	54.5	25.8	56.5	62.5	34.5
50.4	53.5	25.7	56.6	62.1	34.1
51.4	54.8	25.7	56.6	61.9	34.1
50	51.8	25.5	56.5	62.3	33.8
51.7	54.7	25.5	56.5	62.4	33.7
52.5	55.8	25.5	56.2	61.5	33.9
51.7	54.7	25.5	56.3	61.4	33.9
52.4	54.1	25.5	56.2	61.6	33.8
50.9	53.2	25.6	56.1	61.8	33.8
49.7	51.8	25.7	56.1	61.9	34
49	51.5	25.7	56.1	62.2	33.9
47.7	49.9	25.7	56.1	62.5	33.7
47.9	49.8	25.8	56.1	62.4	33.6
47.7	49.8	25.7	56	62.1	33.8
47.5	49.1	25.8	56	62.4	33.7
46.5	48.5	25.9	56.1	62.7	33.7
46.9	49	25.9	56.1	62.7	33.6
48.8	50.3	25.9	56.1	62.2	33.6
48.9	50.6	25.8	56.1	62.3	33.6
49.9	49.6	25.8	56.2	62.1	38.0
49.2	48.6	25.8	56.4	62.2	38.1
49.0	48.4	25.9	56.6	62.0	38.6
49.3	49.3	26.0	56.8	62.2	37.6
51.6	51.5	25.9	56.9	62.2	37.5
52.7	52.8	25.7	56.9	61.7	36.9
53.2	54.2	25.8	57.0	62.2	36.5
53.2	55.0	25.8	57.0	62.4	36.3
55.9	56.2	25.7	57.2	62.3	36.3
54.5	54.6	25.7	57.3	61.8	37.0
54.8	55.3	25.6	57.1	61.2	37.7
55.4	54.7	25.5	57.2	61.7	38.0
54.7	55.7	25.5	57.1	61.7	38.3
54.4	55.3	25.5	57.2	62.5	38.2
52.7	53.4	25.6	57.0	62.1	38.3
56.8	57.7	25.7	55.9	63.3	34.4
56.4	57.7	25.7	55.8	63	34.9
56.1	57.4	25.7	55.9	63.1	34.8
55.9	56.7	25.8	56	63.1	34.7
55.8	56.8	25.8	55.9	63.7	34.4
55.8	56.4	25.9	56.1	64.3	34.2
55.3	56	25.9	56	64.4	34.3
56.9	57.6	25.9	56	64.8	34.3
57.4	59.8	25.7	56	65.4	34.2
59	61.1	25.8	56	65	34.2
60	62	25.8	56.1	63.9	34.4
60.3	62.7	25.7	56	63.4	35.1
59.8	62.7	25.6	56.1	62.8	34.8
59.4	63.4	25.7	56.2	63.1	34.6
60.7	63.2	25.6	56.2	63.2	34.3
59.2	61.8	25.5	56.2	62.9	34.4
59.9	62.7	25.5	56.1	62.9	34
58.2	61.3	25.5	56.1	63.1	34
58.3	60	25.5	56.1	63.3	34
56.6	58.4	25.6	55.9	63.8	34

5. Intensity 500 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 15 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
60	59.1	24.6	41.6	62.1	33.7
59.3	59.3	24.7	43.4	64.5	33.9
59.4	58.8	24.6	45.2	66.8	34
59.2	59.2	24.6	47	69	33.9
59.6	59.5	24.7	48.5	71	34.7
60	59	24.7	50.1	72.6	34.8
59.2	59.3	24.6	51.4	74.2	34.8
59.6	59.4	24.6	52.7	75.4	35.5
59.4	59.7	24.6	53.8	76.4	35.8
59.5	59.8	24.6	54.9	77	36.6
58.7	60.2	24.6	56	77.3	36.7
59.7	60.5	24.7	56.9	78	37
57.9	59.7	24.6	57.6	77.7	38.1
56.9	59.8	24.6	58.5	70.1	38.1
58.8	62.4	24.4	59.2	67.5	38.6
58.8	62	24.4	59.8	65.8	40.3
58.6	61.9	24.5	60.6	66.8	40.3
57.7	61.5	24.5	61.1	67.5	39.4
58	61.5	24.4	61.5	67.8	41.4
59.3	62.6	24.4	61.9	67.6	40.9
58.6	62.5	24.3	62.2	67	40
58.9	61.7	24.4	62.6	67.7	41.9
57.6	60.7	24.4	62.8	66.7	40.4
55.8	58.4	24.6	63.1	67.1	39.8
54	56.9	24.6	63.3	67.2	39.9
53	55.7	24.7	63.7	68.8	40.4
52.3	55.1	24.8	63.9	67.9	40.1
51.6	54.4	24.9	64.2	67.5	41.2
51.3	54.3	24.9	64.4	67.2	40.4
52.9	55.5	24.9	64.6	67.9	41.2
53.6	56.4	24.9	64.9	68.5	40.6
53.1	57.5	24.8	64.8	68.1	41
53.9	57.5	24.9	64.8	68.7	40.7
55.3	57.5	24.8	64.9	67.5	42.4
54.1	57.7	25	65	67	41.3
54.4	58.3	24.9	64.8	67.1	40.7
55.4	58.7	24.9	64.6	67	40.7
55.3	58.9	24.8	64.4	67.7	41.5
55.3	60.2	24.8	64.3	66.9	40.4
53.8	58.8	24.8	64.3	68.2	40.5
55.3	58.3	24.8	64.4	68.2	40.4
54.1	59.2	24.7	64.2	67.4	38.4
55	60.1	24.7	63.9	67.3	37.5
54.8	59.5	24.7	63.6	68.3	36.8

6. Intensity 500 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 35 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
54.2	54.5	25	43.1	63.8	32.9
56.3	56.6	25	44.9	66	33.1
56.5	56.9	25	46.5	68	33.1
54.9	56	24.9	48.1	69.9	33.2
54.4	57	24.9	49.5	71.5	33.3
55	57.4	24.8	50.8	73	33.4
58	59.8	25	52.1	74.4	33.6
55.5	57.7	24.9	53.2	75.6	33.7
56	57.3	24.9	54.2	76.8	34.2
56.7	58.8	24.9	55.2	76.2	36.4
56.5	59.3	24.8	56	69.2	36.8
55.9	58.2	24.7	56.7	70.7	35.9
55.5	57.9	24.9	57.5	68.4	36.8
54.9	57.1	25	58.2	69.1	36.3
52.5	55.5	25.1	58.6	68.6	36.7
51.7	54.9	25.1	59.1	67.8	36.7
51.2	53.7	25.3	59.6	67.8	37.2
50.7	53.4	25.2	60	69	36.7
52	55.3	25.1	60.2	67.3	37.2
53.6	56.3	25.1	60.5	67.9	37.5
53.8	57.3	25.1	60.7	67.8	36.5
53.4	56.2	25.1	61	67.1	37.2
53.8	57.5	25	61.1	69.3	36.1
55	58.5	25	61.2	71.7	35.7
54	57.4	25	61.4	73.6	35.6
54.8	58.6	25	61.6	74.6	35.9
53.4	56.5	25	61.9	67.4	37
54.1	57.9	24.9	62	70.3	36.3
54.6	57.6	24.9	62.2	68.2	36.8
53.7	57.9	25	62.3	68.6	36.7
55.9	59.1	24.9	62.3	72.1	35.3
56.3	58.9	24.9	62.4	74.7	34.5
56	59	24.8	62.4	76.6	34.4
56	59.2	24.9	62.6	78.3	35.5
54.8	58.5	24.8	62.6	71.1	37.4
53.6	57.6	24.8	62.6	71.3	36.5
52.7	55.8	25	62.7	71.8	36.1
52.4	54.6	25	62.9	70.3	36.3
50.9	53.6	25.1	62.9	74.1	35.3
50.5	52.8	25.2	63	75.1	36.4
50.1	52.5	25.3	63.2	68.3	37.4
50.7	54.1	25.2	63.2	68.1	37.3
53	56	25.2	63.3	68.6	37.4
52	56.2	25.1	63.3	68.6	37

7. Intensity 500 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 55 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
56.7	56.2	25.1	41.4	42.5	31.3
57.1	56.6	25.1	42.1	47.4	31.9
56.2	57.2	25	43.2	51.1	32.1
57.3	58.2	25	44.5	53.4	32.2
56.4	58.1	25	45.8	56.3	32.6
58.3	59.2	24.9	47.2	59.5	32.8
56.3	58.9	25	48.7	61.8	32.9
57.3	59.3	24.9	49.9	64.3	33.2
57.7	59.2	24.9	51.2	67	33.2
58.4	60.9	24.8	52.4	69.4	33.3
59.6	62.3	24.9	53.5	71.1	34.6
56.9	61.2	24.8	54.5	66.8	35.9
57.2	60.3	24.7	55.4	67	36
55.8	58.5	24.9	56.3	67.1	36.5
54.3	57.5	25	57.1	68.2	36.4
54.1	56.8	25	57.9	68.5	36.5
53.5	56.2	25.1	58.6	68	37.2
53	55.8	25.1	59.2	70	36.3
54.9	58.4	25.1	59.9	73	36.5
55	59.7	25.1	60.7	70.1	38.2
55.8	60.4	25	61.4	71.3	37.1
58	62.5	25	61.7	71.6	36.7
56.3	61.8	24.9	62.1	69.1	37.7
55.9	61.3	24.9	62.3	69.8	37.6
58.3	63.5	24.8	62.4	70.2	36.5
57.3	62.2	24.8	62.3	73.6	35.8
56.8	61.4	24.8	62.5	70.4	37.9
56.9	62.3	24.8	62.5	69.7	36.8
56.7	63.5	24.7	62.4	73.3	35.5
56.3	62.2	24.6	62.3	75.5	34.9
57.6	62.9	24.7	62.3	77.4	34.8
58	63.6	24.6	62.3	72.9	38
57.4	63.1	24.6	62.3	71.3	37.1
57.1	63.1	24.4	62.2	69.6	37.3
56	61.4	24.6	62.1	72.3	36.4
54.8	60.2	24.6	62	75	35.3
53	58	24.7	62.2	77.1	34.7
52.4	57.3	24.8	62.3	78.8	34.6
51.8	56	24.8	62.4	80.3	34.5
51.6	55.8	24.9	62.5	75.2	37.4
50.7	54.7	25	62.5	76.6	35.8
50.8	54.8	25.1	62.7	71.2	38.7
52.9	57.9	25	62.8	73	36
53.7	58.6	25	62.9	76.4	35.3

8. Intensity 500 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 80 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
54.1	56.8	25	57.9	68.5	36.5
53.5	56.2	25.1	58.6	68	37.2
53	55.8	25.1	59.2	70	36.3
54.9	58.4	25.1	59.9	73	36.5
55	59.7	25.1	60.7	70.1	38.2
55.8	60.4	25	61.4	71.3	37.1
58	62.5	25	61.7	71.6	36.7
56.3	61.8	24.9	62.1	69.1	37.7
55.9	61.3	24.9	62.3	69.8	37.6
58.3	63.5	24.8	62.4	70.2	36.5
57.3	62.2	24.8	62.3	73.6	35.8
56.8	61.4	24.8	62.5	70.4	37.9
56.9	62.3	24.8	62.5	69.7	36.8
56.7	63.5	24.7	62.4	73.3	35.5
56.3	62.2	24.6	62.3	75.5	34.9
54.9	61.5	24.8	63.1	73.2	36.5
54.3	61.4	24.7	63	69.8	37.7
54.7	61.7	24.7	63	69.6	37.2
55.4	63.1	24.8	62.9	69.3	37.8
55.6	63.4	24.7	62.6	71.7	36.2
54.7	63.3	24.6	62.6	69.8	37.2
54.6	62.8	24.6	62.5	71	36.2
53.4	61.2	24.7	62.6	69.7	37
51.6	59	24.8	62.5	71.1	36.1
50.2	57.4	24.8	62.5	74.3	35.1
49.6	56.2	24.9	62.6	76.5	34.7
49	55.4	25	62.7	78.3	34.6
49	54.9	25.1	63	74.7	39
51.2	56.6	25	63	71	37.9
51.5	58.8	24.9	63	69.2	37.7
52.8	61.1	24.9	63.1	72.2	36.3
53	61.2	24.8	62.9	69.8	37.2
52.4	61	24.8	63	71.2	36.4
53.7	62.2	24.8	62.8	74.2	35.2
53	61.8	24.6	62.9	76.6	34.8
54.1	61.1	24.8	63	70.6	36.9
56.6	61.3	24.7	62.9	68.8	36
54.8	59.2	24.7	62.8	72.4	34.8
52.8	56.8	24.8	62.7	69.8	35.8
50.6	54.6	25	62.7	68.7	36
49.4	53.4	25.1	62.6	69.2	35
49	51.6	25.1	62.5	73.1	33.8
48	50.4	25.2	62.5	75.5	33.5
49.9	52.4	25.2	62.6	77.5	33.6

9. Intensity 700 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 15 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
58.9	61.2	24.9	51.3	68.5	40.5
59	62.3	24.8	53.8	69.3	41.6
58.4	60.8	24.9	56.1	70.3	43.6
59.2	62.9	24.8	58.2	70.3	42.8
57.4	62	24.8	60.1	72	42.4
57.5	62.3	24.8	61.8	75.9	42.3
59.1	63.3	24.8	63.3	77.5	42.8
58.8	62.8	24.8	64.7	76.2	43.1
57.1	61.2	24.7	65.9	77.3	43.4
57.7	62.8	24.7	67.3	79.1	43.6
57.7	61.8	24.8	68.5	76.2	43.8
58	63.3	24.8	69.6	74.1	44.6
57.6	63.1	24.5	70.4	81.7	43.5
57.6	62.9	24.6	71.3	81.8	44
56.9	62.5	24.6	72.2	74.4	49.7
57.7	63.6	24.7	72.4	74.2	48
58	64.7	24.6	72.4	76	48.6
57	64	24.6	72.5	76.4	47.6
57	64.4	24.7	72.4	75.1	48.3
57.2	64.5	24.6	72.6	74.9	49.8
57.8	65.7	24.6	72.7	74.8	51.4
58.2	66.4	24.6	72.5	75.8	49.9
57.3	65.5	24.6	72.4	75.4	50.3
56.9	65.8	24.5	72.5	76.1	52
57.8	66.8	24.6	72.5	75.5	50.7
57.5	65.5	24.4	72.2	75.8	52
57.4	66.4	24.6	72.2	76.2	51.8
57	66.7	24.5	71.9	77.5	44.8
57.6	65.2	24.5	71.3	77.2	46.6
56.8	64.4	24.5	71.2	75.3	46.9
56.5	64.2	24.4	70.9	74.4	48.9
58	64.9	24.5	70.8	74.9	48.3
58	65.1	24.4	71	76.4	48.2
55.3	62.2	24.6	70.9	74.6	47.8
52.9	59.7	24.7	70.6	74.3	48.3
51.6	58.2	24.9	70.7	75.2	45.6
49.9	56.1	25.1	70.5	77.5	48
49.6	55.8	25.2	70.3	75.4	48.8
49.3	55.8	25.2	70.2	76	47.7
50.3	57	25.2	70.1	74.3	49.4
50.8	57.7	25.3	70.3	76	48.6
51	57.9	25.2	70.3	75.2	49.7
51.6	59.1	25.2	70.5	75.5	48.8
52.7	60.4	25.2	70.6	75.4	49.7

10. Intensity 700 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 35 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
57	57.9	24.7	44.8	66.7	33.6
57	58.5	24.8	47.7	72	34.1
57.2	59.7	24.6	50.2	70.8	38.7
57.9	60.5	24.7	52.8	72.4	38.4
58.8	61.8	24.7	55.2	71.4	39.2
57.3	60.5	24.7	57.3	72.6	39.8
57	61.6	24.6	59	76.8	39.8
58.2	62.1	24.6	60.6	72	40.8
58	61.8	24.6	62.1	76.6	39.9
57.1	62.8	24.6	63.2	83	39.2
56.9	62.3	24.7	64.5	86	41.2
58.8	66	24.6	65.5	84.2	41.6
57.9	64.5	24.5	65.8	81.7	42.3
57.4	65.5	24.6	66	82.9	41.8
58.3	65.6	24.6	66.3	82.7	42.4
58.6	66.5	24.6	66.5	85.6	41.5
57.8	64.6	24.5	66.5	85.4	41.9
57.2	64.3	24.5	66.7	89.8	42
56.7	64	24.6	66.8	87.1	42.8
56.4	63	24.6	66.9	88.4	42.2
54.6	61.4	24.7	66.9	92.5	41.1
54	59.5	24.8	66.9	91.9	41.8
53.5	59.5	24.9	67	91.3	41.7
52.4	57.9	24.9	66.8	93.5	42.7
52.7	58.8	25	66.8	92.7	41.2
54.2	59.8	24.9	66.8	93.1	42
54.4	60.2	25	66.9	94	42
54.7	60.6	24.9	66.8	93	41.1
54.9	61.3	24.9	66.7	94.9	41.2
55.4	62.4	24.9	66.6	93.5	41.6
55.4	62.6	24.9	66.7	93.6	41.8
56.9	62.9	24.8	66.4	93.5	41.4
55.5	62.5	24.8	66.5	93.4	41.8
55.1	63.2	24.8	66.5	92.4	41.8
54	60.9	25	66.5	94	42.3
52	58.8	25.1	66.6	95.1	42.4
51.1	57.8	25	66.5	96.2	41.3
50.7	57.3	25.2	66.7	97.5	42.7
49.7	56.4	25.3	66.7	98.1	41.4
49.7	56.8	25.3	66.7	98.9	41.4
51.1	58.1	25.3	66.8	99.4	42.2
52.7	60.4	25.2	66.8	99.8	41.9
52.3	59.9	25.2	66.9	100.3	41.1
51.7	59.4	25.2	66.8	100.6	41.5



11. Intensity 700 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 55 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
54.7	56.4	25.2	53.1	71.1	37.2
54.5	57.1	25.1	55.1	72.6	37.5
54.5	58.4	25.2	57.1	73.6	38.2
54.7	59.3	25.1	58.7	74	38.5
55	59.2	25.1	60.3	79.8	38.4
54	60.4	25	61.6	75.9	40.1
54.7	60.2	25	62.8	80.9	39.4
55.9	62.2	25	63.7	83.6	39.8
55.4	62.3	25	64.4	84.9	39.9
55.2	62.1	24.9	64.8	86.5	39.7
55	61.4	24.8	65.1	89	39.7
55.3	61.3	24.9	65.3	90.1	40.2
55.1	60.6	25	65.8	91.6	40.8
53.2	59.2	25.1	66	92.4	40.6
51.7	58.3	25.2	66.2	93.9	40.2
51.5	57.8	25.3	66.4	93.5	41.3
50.9	58	25.3	66.5	93.8	40.8
50.8	57.2	25.4	66.7	94.6	41.1
50.9	58	25.4	66.8	95.8	41.2
51.6	58.8	25.4	66.7	96.3	40.8
51.8	58.5	25.4	66.9	97.4	40.8
51.9	59.5	25.1	66.7	98.6	40.3
51.5	59.4	25.2	66.7	99.6	41.1
53.7	61.9	25.2	66.9	100.6	40.8
53.4	60.6	25.2	66.8	101.4	40.6
53.1	61.1	25.1	66.7	101.7	41
52.5	61	25.1	66.6	102	40.6
53.4	62.3	25	66.5	102.8	41.2
53.2	61.1	25	66.6	102.5	40.3
53.3	62.4	25.1	66.6	102.5	40.4
55	63.9	25.1	66.6	102.3	40.3
55	62.6	24.9	66.5	102.1	39.9
53.6	62.1	25	66.6	102.2	40.4
54.5	60.8	25	66.5	101.7	40
52.5	59.2	25.1	66.5	101.4	40.2
51.4	58.2	25.2	66.5	101.7	39.7
50.2	56.9	25.2	66.4	102.5	39.8
49.9	56.1	25.4	66.4	103.2	40.4
49.5	56	25.4	66.4	103.6	40.8
48.8	55.5	25.4	66.5	103.9	40.4
49.7	56.8	25.4	66.5	104.2	40
50.1	56.4	25.3	66.6	104.6	40.5
51.5	59.7	25.3	66.6	104.7	39.5
52.1	60.2	25.3	66.6	104.7	39.8

12. Intensity 700 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 80 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
57.1	62.8	24.6	63.2	83	39.2
56.9	62.3	24.7	64.5	86	41.2
58.8	66	24.6	65.5	84.2	41.6
57.9	64.5	24.5	65.8	81.7	42.3
57.4	65.5	24.6	66	82.9	41.8
58.3	65.6	24.6	66.3	82.7	42.4
58.6	66.5	24.6	66.5	85.6	41.5
57.8	64.6	24.5	66.5	85.4	41.9
55.9	62.2	25	63.7	83.6	39.8
55.4	62.3	25	64.4	84.9	39.9
55.2	62.1	24.9	64.8	86.5	39.7
55	61.4	24.8	65.1	89	39.7
55.3	61.3	24.9	65.3	90.1	40.2
55.1	60.6	25	65.8	91.6	40.8
57.2	64.5	24.6	72.6	74.9	49.8
57.8	65.7	24.6	72.7	74.8	51.4
58.2	66.4	24.6	72.5	75.8	49.9
57.3	65.5	24.6	72.4	75.4	50.3
55.4	62.6	24.9	66.7	93.6	41.8
56.9	62.9	24.8	66.4	93.5	41.4
55.5	62.5	24.8	66.5	93.4	41.8
55.1	63.2	24.8	66.5	92.4	41.8
57.4	62	24.8	60.1	72	42.4
57.5	62.3	24.8	61.8	75.9	42.3
59.1	63.3	24.8	63.3	77.5	42.8
58.8	62.8	24.8	64.7	76.2	43.1
57.1	61.2	24.7	65.9	77.3	43.4
57.7	62.8	24.7	67.3	79.1	43.6
57.7	61.8	24.8	68.5	76.2	43.8
58	63.3	24.8	69.6	74.1	44.6
57.6	63.1	24.5	70.4	81.7	43.5
57.6	62.9	24.6	71.3	81.8	44
56.9	62.5	24.6	72.2	74.4	49.7
57.8	64.6	24.5	66.5	85.4	41.9
57.2	64.3	24.5	66.7	89.8	42
56.7	64	24.6	66.8	87.1	42.8
56.4	63	24.6	66.9	88.4	42.2
54.6	61.4	24.7	66.9	92.5	41.1
54	59.5	24.8	66.9	91.9	41.8
53.5	59.5	24.9	67	91.3	41.7
52.4	57.9	24.9	66.8	93.5	42.7
52.7	58.8	25	66.8	92.7	41.2
54.2	59.8	24.9	66.8	93.1	42
53.3	62.4	25.1	66.6	102.5	40.4

13. Intensity 1000 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 15 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
48.2	45.6	25.8	25.1	26.6	29.6
48.6	46.2	25.8	26.2	34.9	30.7
50.2	48.3	25.7	28.9	46.6	32.2
51.9	50.6	25.7	32.4	55.6	33.7
52.3	52.1	25.7	36.4	63.5	35.7
54.2	54.4	25.6	40.8	73.2	37.4
53.9	55.2	25.6	45.1	80.9	39.4
54.4	55.5	25.6	49.4	86.7	40.9
55.2	57.5	25.6	53.6	92.2	42.3
54.3	57.6	25.6	57.2	96.4	43.9
54.7	58.5	25.5	60.4	99.9	46
55.6	59	25.3	63	98.5	43.8
55.6	60.5	25.4	65.3	100.6	43.3
56	61.1	25.5	67.8	104.8	44.6
55.4	61.9	25.3	69.8	106.9	47.7
56.1	62.4	25.3	70.5	104.3	43.9
54.6	60	25.3	71.4	103.7	48.4
53	58.9	25.5	72.2	97.7	49.9
51.8	58.2	25.6	72.1	82.1	49.3
50.8	57.3	25.6	72.1	78.2	48.9
49.8	56.7	25.6	72.2	77.1	48.8
49.5	55.9	25.7	72.2	77.5	48.8
49	55.5	25.7	72.5	79.9	50.5
50.9	58.2	25.7	73.1	79.5	54.3
51.9	59.5	25.6	73.9	80.7	55.1
52.3	60.6	25.6	74.7	81.7	54.3
52.2	61.2	25.6	75.1	91.8	54.8
52.2	61.2	25.6	75.5	92.9	48.4
53.4	61.9	25.5	75.6	101	47.2
53.5	63.2	25.5	75.7	106.3	49.4
55.3	63	25.5	75.7	110.6	50.5
54.6	62.8	25.3	75.8	111	49.8
54.6	61.9	25.3	76.4	106.5	52.3
54.9	63.3	25.4	76.6	105.1	50
54.3	62.3	25.2	76.5	106.8	50.7
54	62.8	25.2	76.9	92	54.2
54.3	63.4	25.3	77.1	85.1	52.5
53.7	63.4	25.1	76.8	99	47.1
54.4	62.8	25.2	76.3	108.6	45.9
53.1	60.5	25.2	76.2	115.1	47.2
52.3	58.8	25.2	76.2	119.8	50.7
51.4	59	25.3	76.1	123.6	53.4
50.9	58.8	25.3	76.3	127.1	53.8
49.8	58.3	25.4	76.4	129.5	51.1

14. Intensity 1000 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 35 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
49.1	48.7	24.8	31.7	52.7	30.9
52	51.1	24.6	35.7	60.3	32.5
55.2	54.3	24.6	40.2	68.2	36.1
56.8	56.9	24.6	45	74.4	40.6
57.2	59.2	24.5	49.7	83.5	39.2
57.2	59.9	24.4	53.6	90.7	40.3
58.8	60.3	24.5	56.8	94.7	39.8
58	62	24.4	59.3	99.2	40.9
58.8	63.8	24.5	61.5	103.7	42.1
59.4	63.3	24.4	63.3	107.4	42.3
58.8	63.1	24.5	64.6	111.5	43.8
57.3	62.2	24.5	65.8	113.9	43
56.3	60.7	24.6	66.5	115.5	42.3
55.4	61	24.8	67.1	117.5	43.9
54.2	59.6	24.8	67.6	118.9	43.6
53.6	59.2	24.8	67.8	119.7	42.4
53	58.4	24.9	68.1	121.3	45.6
52.7	58.2	25	68.6	123.2	44
52.4	57.9	25.1	69.2	125.3	43.3
51.7	57.7	25.1	69.3	127.6	42.7
51.4	57.6	25.2	69.5	129	43.7
52	59.4	25.2	69.3	128.6	41.5
52.6	58.4	25.1	69	127.8	42.9
53.6	60.2	25.1	68.6	127.5	40.9
53.8	59.4	25.1	68.5	128.8	41.4
54.3	60.2	25	68.4	130.2	43.2
54.9	60.8	25	68.5	131.1	42.2
55.3	61.2	24.9	68.5	131.8	41.9
55.2	61.9	24.9	68.5	133.6	41.6
55	62.6	25	68.7	135.5	44.7
55	62.1	24.9	68.9	137.4	43.1
55.2	62.5	24.9	69.2	139	42.1
54.7	62.3	24.8	69.2	140.6	43.1
54.6	62.7	24.8	69.3	142	42.9
54.5	61.9	24.8	69.6	143.6	42.5
54.1	62.2	24.7	69.5	144.8	42.5
55.9	64.4	24.9	69.6	145.3	42.4
54.5	62.1	24.7	69.5	145.3	43.1
55	61.4	24.7	69.4	145	42.7
53.1	59.9	24.8	69.4	144.9	42.9
52.1	58.2	24.8	69.2	144.7	42.8
51.3	57.6	24.9	69.4	144.7	43.5
51	57.3	25.1	69.5	144.4	44
49.7	56.5	25.1	69.5	144	42.9



15. Intensity 1000 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 55 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
54.3	54.5	24.8	31	52.9	31.1
55.5	56.3	24.7	35	61.1	32.4
58.4	59.8	24.7	39.2	69.7	34.1
60.1	61.9	24.7	43.4	73.1	35.8
59.7	62.6	24.7	47	80.1	35.5
60.4	63.4	24.5	50.3	86.2	36.6
59.6	63.6	24.6	53.6	92.1	38.1
60.2	64.6	24.6	56.8	98	37.9
61.3	64.8	24.6	59.6	103.4	40
59.4	65.3	24.6	61.7	108.5	41.2
59.7	65	24.6	63.8	117.3	43
60.4	67.2	24.5	65.4	121.7	41.5
59.8	66.8	24.7	66.5	124.2	41.7
59.7	65.7	24.8	67	126	41.7
59.5	65.8	24.7	67.3	126.9	41.4
59.8	66.1	24.6	67.4	127.3	41.7
58.7	66	24.6	67.6	129.2	41.1
58.9	66.7	24.6	67.9	130.8	41.6
59.1	66.8	24.6	68.1	132.2	42.2
60	67.4	24.6	68.2	133.5	40.9
60.1	67.2	24.5	68.2	135	41.8
60	67.8	24.5	68.5	137.5	41.3
58.6	66.1	24.4	68.5	138.7	41.6
57.9	65.5	24.6	68.7	139.9	41.6
58.4	65.2	24.6	68.5	138.8	41.2
57.2	65.2	24.6	68	136.6	40.6
57.3	64.6	24.5	67.7	136.9	41.1
57	64.4	24.7	67.8	136.9	41.7
56.4	64.7	24.6	67.5	135.7	40.5
57.8	66.2	24.6	67.5	134.4	39.9
58.5	66.5	24.6	67.2	133.2	39.8
56.1	64.7	24.6	67.1	133.2	40.4
56.6	64.7	24.7	67.1	133.3	40.5
57.3	65.9	24.6	67.2	134.3	40.6
57	64.7	24.6	67.4	135.9	40.6
57.4	65.9	24.6	67.7	137.3	41
58.2	65.7	24.6	67.8	138.2	40.3
57.8	65.8	24.5	67.8	138.7	40.3
57.1	65.9	24.5	67.7	138.5	40.6
56.4	65	24.6	67.9	139.2	40.6
56	65.1	24.6	67.8	139.9	40.9
56.8	66.5	24.5	68.1	141.3	40.9
56.9	64.8	24.5	68.3	142.6	40.8
56	64.8	24.6	68.4	143.2	41.1

16. Intensity 1000 W/m<sup>2</sup>T<sub>in</sub> 30 °C , มุมเอียง 80 องศา

T <sub>in</sub> °C	T <sub>out</sub> °C	T <sub>R</sub> °C	T <sub>evap</sub> °C	T <sub>mid</sub> °C	T <sub>cond</sub> °C
55.2	54.3	24.6	40.2	68.2	36.1
56.8	56.9	24.6	45	74.4	40.6
57.2	59.2	24.5	49.7	83.5	39.2
57.2	59.9	24.4	53.6	90.7	40.3
58.8	60.3	24.5	56.8	94.7	39.8
58	62	24.4	59.3	99.2	40.9
58.8	63.8	24.5	61.5	103.7	42.1
59.4	63.3	24.4	63.3	107.4	42.3
58.8	63.1	24.5	64.6	111.5	43.8
57.3	62.2	24.5	65.8	113.9	43
56.3	60.7	24.6	66.5	115.5	42.3
55.4	61	24.8	67.1	117.5	43.9
53.9	55.2	25.6	45.1	80.9	39.4
54.4	55.5	25.6	49.4	86.7	40.9
55.2	57.5	25.6	53.6	92.2	42.3
54.3	57.6	25.6	57.2	96.4	43.9
54.7	58.5	25.5	60.4	99.9	46
55.6	59	25.3	63	98.5	43.8
55.6	60.5	25.4	65.3	100.6	43.3
56	61.1	25.5	67.8	104.8	44.6
55.4	61.9	25.3	69.8	106.9	47.7
56.1	62.4	25.3	70.5	104.3	43.9
54.6	60	25.3	71.4	103.7	48.4
53	58.9	25.5	72.2	97.7	49.9
47.7	55.5	25.7	75.7	132.3	48.6
49.5	57.6	25.5	75	133.4	52.1
50.2	59.5	25.5	74.6	134.7	51.4
50.7	59.7	25.5	74.4	135.5	48.5
51.1	59	25.4	73.9	136.6	48.9
51.4	59.7	25.4	73.7	137.7	48.1
52.1	59.9	25.4	73.6	138.9	49.3
53.9	60	25.2	73.4	140.1	49.2
53.5	61.3	25.3	73.5	141	51.4
52.3	60.6	25.2	73.8	142	50
52.7	61.5	25.2	74	142.3	49.3
52.9	61.4	25.2	73.7	142.2	50.9
53	61.1	25.1	73.7	141.6	50.4
53.7	62.3	25.1	73.6	140.8	49.3
48.8	55.9	25.2	69.8	143.5	45.2
48.6	55.4	25.3	69.9	143.2	44.3
49.7	56.6	25.2	70.1	143.1	43.5
50.6	56.9	25.2	70.2	142.9	44.7
50.5	59	25.1	70.2	142.6	44.8
51	58.3	25.1	70.1	142.3	43.9

## ภาคผนวก จ

## ข้อมูลอุณหภูมิอากาศภายนอกตลอดปี 2005

Day	Ambient Temperature (Celsius)								
	January 2005								
	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	19.6	21.5	23.5	24.8	26.0	26.5	28.0	28.9	27.7
2	19.3	22.4	24.3	26.0	27.4	28.5	28.5	28.4	29.0
3	19.5	22.5	25.4	26.3	29.3	30.8	30.0	30.4	30.0
4	21.4	24.5	27.3	29.5	31.3	32.1	33.2	33.6	32.6
5	23.5	26.4	28.3	30.0	31.9	33.0	33.8	33.9	33.0
6	24.5	26.6	28.5	29.8	30.8	31.4	31.4	32.4	32.0
7	23.2	25.3	28.0	29.9	31.7	31.5	32.2	33.0	32.0
8	27.5	28.6	29.9	32.0	32.9	32.9	33.2	33.8	33.5
9	24.9	27.5	27.0	30.9	32.2	31.8	33.8	33.5	32.3
10	24.0	26.3	29.2	31.2	31.6	32.5	32.9	33.5	33.8
11	23.2	28.1	30.5	32.0	33.2	33.5	33.8	33.5	34.2
12	25.0	26.1	28.0	30.4	32.2	31.8	32.8	33.2	32.0
13	25.8	28.0	29.9	32.2	32.8	33.5	32.9	33.5	33.5
14	27.0	27.6	28.3	29.4	30.5	31.9	31.3	31.9	31.3
15	23.0	22.5	22.6	24.1	23.0	21.2	21.3	20.8	21.1
16	23.1	22.6	23.5	24.4	25.1	25.6	26.3	27.0	28.1
17	23.9	25.0	26.0	29.0	29.3	29.6	29.1	30.5	30.8
18	25.8	27.4	28.5	30.1	31.2	31.0	30.5	30.7	30.5
19	25.6	26.2	27.3	28.3	28.3	30.5	31.6	31.3	30.2
20	26.5	27.6	27.8	28.3	30.1	30.3	30.8	30.7	29.8
21	26.1	27.4	29.4	30.9	31.0	32.1	32.5	31.6	31.2
22	25.3	26.8	28.3	30.3	31.4	32.7	33.6	32.9	32.3
23	25.8	27.5	28.1	29.7	31.7	32.7	32.4	32.7	31.9
24	25.9	26.9	27.8	30.5	30.8	32.8	32.4	31.5	31.4
25	25.9	27.8	29.6	30.6	31.4	31.9	32.1	31.4	31.0
26	26.5	27.5	28.5	30.1	-	31.8	31.9	31.6	31.0
27	26.5	28.5	30.5	30.0	32.1	32.2	32.9	32.8	31.8
28	26.4	27.6	30.0	32.6	33.4	33.2	33.0	33.0	31.6
29	27.1	28.4	30.6	31.4	32.9	34.0	33.7	33.1	32.6
30	26.5	28.3	30.6	32.8	33.5	34.8	34.0	33.2	32.9
31	27.4	28.6	30.6	31.2	31.5	32.6	33.5	32.0	32.0
Mean	24.7	26.4	28	29.6	30.7*	31.3	31.6	31.6	31.2

Ambient Temperature (Celsius)									
February 2005									
Day	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	27.2	28.7	29.3	31.5	31.3	32	32.5	31.8	31.5
2	27.8	28.5	30.1	31.5	30.8	31.3	32.4	32.1	31.8
3	27.5	29.1	29.5	30.9	31	33.1	33.5	32.4	31.9
4	27.6	28.4	29.3	30.1	32.1	32	32.4	32.2	31.8
5	26.5	28.7	29.9	30.7	31.8	32.2	33.6	32.7	32
6	26	28.4	30.3	31.9	31.9	32.6	32.6	33.5	33
7	28	29.4	30.4	31.5	32.9	33.5	34	33.7	33
8	27.4	29.6	31.3	30.8	32.6	34.6	34.6	33.5	33.5
9	27.2	28	29.7	32	31.9	32.6	33.5	33.7	32.8
10	28.4	29.6	32	32.3	32	33.4	33	32.5	32.7
11	27.5	28.5	29.5	29.9	30.6	32.7	32.4	32.3	31.8
12	26.8	28.5	30.2	32	31.3	31.6	32.6	30.9	32.4
13	26.8	28.9	30.4	31	31.9	32.2	32.6	33	33
14	27.6	28.4	30.5	31.3	31.7	32.5	32.3	32	31.7
15	27	29.7	31	33.1	33.2	32.6	33.2	33.2	33.5
16	28.2	29.6	30.6	32.4	32.7	33.7	34	34.5	34.2
17	27.8	30.1	31.7	32.7	34.4	35.1	34.3	34.4	33.6
18	27.1	29	29.9	33.6	34	34.5	33.5	34.2	33.2
19	27.8	30	30.9	31.5	32.5	34.2	35.3	35.5	34.9
20	28	30.2	31	32.3	33.4	33.4	33.2	33.5	32.3
21	28.5	29.6	30	32.3	33.5	34.8	33.9	34.3	33.8
22	28.1	29	30.4	32.3	32.5	33.5	34.1	33.4	33
23	27.7	30	30.3	32.2	32.5	33.3	33.5	33.4	33.2
24	28.8	29.9	30.4	32.5	32.9	34	33	33.4	32.5
25	29	30.6	30.5	32.1	32.9	33.1	33.6	33.4	34
26	27.7	29.7	30.7	32.6	33.4	34.5	35.7	35	34
27	27.6	29.6	31.4	31.5	33.5	33.9	34.1	33.6	33.4
28	28	30.4	30.8	31.5	31.9	33.1	33	33.4	33
Mean	27.6	29.3	30.4	31.8	32.4	33.2	33.4	33.3	32.9

Ambient Temperature (Celsius)									
March 2005									
Day	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	28.5	30.5	31.7	32.4	32.8	33.3	33.3	33.4	33
2	28.5	29.5	30.5	32.4	32.9	33.9	33.3	33	33.4
3	28.6	30.6	31.2	32	33.2	33.5	33.9	34	34.1
4	26.4	27.8	29.3	29.7	31.7	32.1	33.2	32.6	32.6
5	22.1	22.6	23.1	24.1	24.1	25.6	26.5	27.2	27.1
6	21.1	24	24.4	26.2	28.1	29	29.6	30.2	30.1
7	23.8	25.5	28.2	30.7	31	31.7	31.8	33.7	34.1
8	24.8	27.4	29.6	32	33.5	33.5	34	33.8	33.3
9	28	29	30	31.1	31.6	32.4	32.5	32.1	32.3
10	27.5	29.5	30.6	31.6	32.4	32.8	32.7	32.5	32.3
11	27.9	29.5	31.5	32.7	33	33.4	33	33.5	32.5
12	28.4	29.8	30.5	32.5	32.5	32.4	33.6	33.2	32.9
13	27.6	29.5	31.9	32.7	33.6	34	34	36	35.6
14	27.9	30.5	32.6	31.5	32.7	34.6	33.7	33.5	33.2
15	27.8	29.2	29.7	28.9	29.3	30.6	27.5	32.3	32.5
16	26.5	27.1	25.7	26	28.3	30.4	32.2	33.1	32.9
17	28	29.8	31.2	33.5	33.7	33.8	34.6	34.2	34.3
18	29	30.2	31.2	32.3	33.5	34	34	34.5	34.1
19	29	30.3	31.4	31.9	33.6	34.4	35.3	36	35.8
20	28.8	30	32.4	34.5	36.2	36.4	37.3	37.2	37.5
21	29.4	31.1	31	32.9	33.9	34.5	34.5	35	34.1
22	29.4	31.4	32.4	33.1	33.9	34.9	35	35	34.6
23	29.2	31.1	31	33.8	34.1	34.8	34.4	34.9	34
24	30	31.8	34.2	34	34.3	35.1	35.5	34.8	33.3
25	27.1	28.8	29.1	32.5	32.6	33.4	35	33	32
26	28	27.7	28.5	30.2	32.2	31.1	30	33.6	33.3
27	27.8	28.6	30.3	31	31.4	32.9	34.4	34.2	34.3
28	29.3	30.2	31.9	32.8	33.4	34.6	36	34.8	34.7
29	30	31.4	33	34.9	35.6	36.2	35.6	35.3	35.4
30	30.5	31.9	32	33.4	34.7	35.5	35.3	35.8	34
31	29.8	30.7	31.5	33	35.4	35	35.5	35.8	34.8
Mean	27.8	29.3	30.4	31.6	32.6	33.2	33.5	33.8	33.5

Ambient Temperature (Celsius)									
April 2005									
Day	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	30.8	31.9	32.4	33.2	34.3	35.9	34.9	35.2	35.5
2	30.5	31	31.5	35	35.6	34.7	35.2	35.3	34.3
3	29.5	30.5	32.3	33	34.2	36.2	36.7	35.6	33.8
4	24.1	23.6	23.1	22.6	23.7	24.6	26	27.5	28.1
5	24.6	25	26.5	27.3	30.3	31.6	31	31.1	30.9
6	25.8	27.6	28.9	31	32.4	33.4	34.1	33.9	35.5
7	29	31	31.8	32.8	34	34.5	34.5	35.2	35
8	29.6	31	33.2	33.9	35.2	34.2	33.5	33.2	34
9	29.6	30.5	32.1	34.1	34.1	34	34.6	34.7	34.8
10	30.8	32.4	33.7	34	35.3	36	35.8	35.3	34.6
11	30.6	31.3	33	33	34.1	35.1	33.3	31.7	31.6
12	29.9	31.8	33.4	34.2	34	34.3	35.4	34.6	34.6
13	30.4	30.8	32	33	31.5	33.8	34.5	35.1	34.5
14	29.3	31	33.6	33.7	35.2	35.7	34.9	35	34.5
15	30.1	30.9	32.2	33.2	31.8	32	32.8	31.4	32.7
16	30.2	31.6	33.3	35	35.2	35	31.6	30.8	32.2
17	31	31.8	32.9	34	33.7	34.4	35.1	35.4	34.5
18	30.5	31.7	33	32.8	34.6	34.4	34.7	35.1	34
19	30	32	32.5	34.5	35.6	35.8	34.9	35.5	35.2
20	29.1	30.3	32.4	32.7	34.9	35.6	34.8	35.6	34.5
21	30.4	31.3	32	33.2	35	34	29.3	33	34.7
22	30.4	32.6	33	34.6	35.5	35.6	35.6	35.5	35.4
23	30.9	32.6	33.1	34.5	35.4	34.8	35.4	35.5	35.1
24	30.5	31.8	32.6	34.3	35.5	35.9	36.1	35.1	35
25	31.4	32.6	34.5	35.5	35.5	35.6	35.6	35.6	35.8
26	36.9	32.4	34.5	34.7	35.4	35.8	36.7	37.3	36.3
27	31.7	29.2	25.8	28	31	34.6	35.9	36.5	35.8
28	24.1	28.5	31.6	33.6	35.5	35.6	35.8	36.8	36.6
29	31.1	32.5	32.3	33.6	34.6	34.4	35.1	35.2	35.3
30	30.9	33.1	34.1	35.1	35	34.9	34.5	35.8	35.2
Mean	29.8	30.8	31.9	33	33.9	34.4	34.3	34.5	34.3

Ambient Temperature (Celsius)									
May 2005									
Day	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	29	31.8	33.5	35.4	35.1	35	35.6	35.6	36.4
2	32	33.5	33.6	33.7	34.7	35.1	34.9	34.8	35.2
3	30.6	32.3	34	35.5	35.7	36.9	36.6	37.2	37.7
4	31.5	34	35.2	35.6	36	36	35.5	35.2	34.5
5	31.3	32.5	32.5	34.9	35.6	36.4	36.4	35.7	36
6	31.8	33.2	35.5	36.1	36.8	36.2	36.8	37	36.7
7	31.4	32.7	35	36.1	36.9	36.6	36.8	36	34.1
8	30.5	31	31	30.8	31.1	31.2	31.3	31	31.4
9	29.4	30.1	31.6	33.2	34.2	35	36	36	35.2
10	30	31	33.2	35.4	35.6	35.7	35.6	35	34.5
11	31.4	32.9	33.6	34.3	34.6	34.9	35.9	36	34.9
12	30	32.1	32.8	33.3	33.8	33.5	33.7	34.4	34.5
13	28.1	29	30.8	32	32.6	33.7	33.9	33.6	34
14	29.2	30.2	32	33.2	33.9	35	35.5	35.2	35.5
15	30.1	30.5	32.6	33.4	34.6	35.5	36.4	34.2	34.4
16	31.6	32.6	33	34.1	36	35	33.4	32.4	31.4
17	30.4	31.5	31.1	28.5	29.7	32.8	32.6	31.4	31
18	27.5	29.3	31.5	32.6	34.1	29.6	29.7	32.2	33.7
19	28.8	29.5	30.2	30.8	29.4	28.4	29.9	31.9	31.3
20	28.2	31	31	29.5	31.6	29.4	28.2	28.4	29.2
21	29.5	30.6	29.6	28.4	30	31.5	32.5	32	31.3
22	29.5	30.7	32.6	34	34.6	34.7	34.2	34.5	34.4
23	29.6	32.3	32.8	33	33.6	33.5	33.9	33.8	33.1
24	31.3	32.6	33.1	33.7	34	33.8	33.4	34	32.5
25	29.9	30	32.1	34.1	34.9	34.6	34.5	34.8	34.1
26	31	32.4	33	32.9	33.5	34	34.5	35.4	34.9
27	29.2	30.8	32.4	33.7	34	35.1	35.1	34.7	35
28	30	31.5	32.3	33.7	34.6	35.2	35.1	35.3	35.6
29	30.7	32.1	33.1	33.6	34.2	35.1	35.6	35.8	35.4
30	28.6	30.9	31.1	31.7	31.5	31.7	32.5	32.7	33.1
31	28.6	31.1	31.3	33.6	34.3	33.9	32.5	32.6	32.9
Mean	30	31.5	32.5	33.3	33.9	34	34.1	34.2	34



Ambient Temperature (Celsius)									
June 2005									
Day	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	29.3	31.2	31.6	32.3	32.5	32.2	33.5	32.3	32.2
2	29.7	31.6	31.3	32.4	32.3	32.6	33.2	32.8	33.5
3	30.5	31.2	32	33.4	33.4	33.8	34.8	34	33.2
4	31.2	31.4	31.4	33.1	33.5	34.4	33.5	33.3	32.5
5	30.5	31.7	32.3	32.5	33.5	32.8	33.8	33.5	32.8
6	29	30.6	31.4	32.9	33.5	33.4	32.6	32.9	33.5
7	30.4	31.6	32.1	32.6	33.4	33.3	32.9	33.6	33.5
8	29.9	30.7	31.7	31.5	33	34.2	33.9	33.8	33.3
9	30.2	30.8	32.1	33.1	33.2	33.8	33.6	32.6	31.6
10	30	30.7	30.6	31.6	32.1	32.3	31.8	37.6	30.2
11	30.2	31.3	32.4	32.7	33.1	33.5	34.2	34.1	34.2
12	31.3	32	32.7	33.2	34	34	34.4	34	33.5
13	31.3	32.7	33.2	33.3	33.1	32.9	33.1	33.4	32.9
14	30.2	31.2	32.3	33.3	33.4	33.2	32.4	33	32.7
15	30	30.8	31.5	32.5	32.2	32.8	33.5	32.9	32.6
16	30.6	32.4	33	33.7	33.9	33.5	33.3	32.9	33.3
17	30.4	30.5	31	31.7	33	32.6	33.7	32.5	31.6
18	30	31	31.6	31.6	32.3	33.1	33.5	33.9	31.9
19	29.9	30.9	29.7	28	31.1	32.3	31.1	31	30.5
20	29.5	30.3	31.5	32	32.4	32.6	32.4	33	32.2
21	30	31.4	31.3	32.6	32.6	35	34	34	33.8
22	30.1	31.2	33	32.8	33	32.6	33.7	33.6	33.9
23	29.2	30.2	29.1	31.2	32	32.8	32.9	32.8	32.2
24	28.2	30.1	31	31.9	32.6	32.6	32.6	32.6	32.9
25	29.4	30.4	31.6	31.7	31.4	32	32.6	32.8	32.7
26	29.8	31.5	31.3	32.2	32.4	33.4	27	28.2	30.4
27	29.8	31	31.5	32.7	33.1	32.5	33.4	34.5	33.5
28	31.1	30.7	31	30.3	33.1	33.3	34.3	34.3	32.8
29	28.1	28.5	29.2	29.6	30.4	31.6	31.9	31	30.5
30	27.6	29	30.3	31.9	32	33.2	33.4	33.5	32.9
Mean	29.9	31	31.5	32.1	32.7	33.1	33	33.1	32.6

Ambient Temperature (Celsius)									
July 2005									
Day	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	29.6	30.9	31.3	31	32	33	32.6	32.5	33.4
2	28.1	29.2	29.9	30.9	31.9	32.9	33.6	33.9	33.9
3	28.9	31.1	32.7	32.9	34.5	34.9	34.5	33.5	25.5
4	28.9	29.4	30.4	31.6	32.3	33	33.1	34	33.8
5	27.1	28	29	29.8	30.6	30.6	31.4	31.8	31.5
6	28.4	29.5	30.5	32.5	32.5	32.5	32.5	30.4	31.2
7	30	30.8	32	32.4	32.4	32.3	32.6	31.8	25
8	28.8	30	30.5	32.1	31.9	31.6	33.8	32.7	32.7
9	29.2	30.3	31.4	31.6	32.2	32.2	33	32.8	28.1
10	29.2	30.4	31.2	32.1	33.4	33	32.3	33.7	33.7
11	29.9	31.2	32.5	33.4	34.1	34.2	34.8	35	34.9
12	30.1	30.6	31.4	32.7	33.5	33.6	34	33.2	31.5
13	27.5	26.4	25.2	25.1	25	25.5	26.5	27.3	27.9
14	25.3	26	26.6	27.8	29.6	30.6	32.5	32.7	33.4
15	29.2	30.2	31.3	33.6	33.9	33.6	33.4	29.9	28.2
16	28	30.4	31.5	32.3	33.6	34.4	34.9	35.3	33.8
17	29.9	31.1	32	33.3	34.4	35.2	36.2	35.7	35.3
18	29.4	31.2	32	33.9	34.9	34.6	34.5	34.1	33.4
19	31.1	31.5	32.6	33.3	33.5	34.6	34.8	35.3	35.2
20	29.8	31.5	32.2	33.2	33.2	34	34.8	29.4	29
21	29	30	31.3	31.8	32.4	32.1	32.4	32.1	32.1
22	29.5	30.3	31.1	31	31.3	31.3	31.3	31.3	31.2
23	27.3	28.2	29.3	28.2	27.8	29.1	29.2	28.2	27.6
24	26.8	27.6	29	29.8	30.6	30.5	30.4	29.9	29.5
25	27.6	28.6	30.2	30	31.9	31.4	32.5	27	27.6
26	28.2	29.3	30.6	30.5	30.5	31.3	31.5	31.2	31.2
27	28.3	29	30	30.7	32.1	32.5	32.5	30.5	29.5
28	29	29.4	30.4	32	31.4	31.4	31.2	32.4	32.7
29	28.3	29	31.4	32.4	33.2	33.4	33.4	34	33.2
30	29.2	29.9	30.7	30.4	31.6	32.1	31	30	29.6
31	28.2	28.8	30	31	31.7	31.4	30.5	29.6	28.8
Mean	28.7	29.7	30.7	31.4	32.1	32.3	32.6	32	31.1

Ambient Temperature (Celsius)									
August 2005									
Day	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	27	27.8	27.9	28.5	28.2	27	27	26.9	26.8
2	26.3	27.8	27.8	28.4	29	30	30.7	30.2	29.9
3	25.1	26.6	27.9	30	31.4	32.2	33	31.3	30.7
4	28.3	25.3	27	29.3	28.7	30.5	31	31.2	32.1
5	27	28.8	30.1	30.8	31.1	31.6	31.2	31.4	31
6	28.5	29	30.2	31	32.9	32.7	32.9	32.4	32.3
7	29.5	30.8	31.4	32.6	32.2	32.2	32.5	32.1	27.5
8	29	30	30.5	31.3	31.9	32.1	32.2	31.4	28
9	29.1	30.1	30.5	30.9	31.4	32.3	32.2	31.9	32.1
10	28.9	30.6	31.1	31.3	31	32	31.5	31	31
11	29	30.7	30.5	31.8	31.4	31.2	31.6	30.7	31.4
12	28.5	29.3	29.5	29.8	30.2	30.9	30.7	30.5	29.5
13	28.7	29.2	29.4	30.5	31.2	31	32.1	31.7	31
14	28.4	29.5	30	30.6	31.7	32	31.5	30.4	30
15	28	29	29.5	31.1	31.9	32	31.9	30.1	31
16	24.9	24.8	25.2	25.7	26	26.6	27	26.8	26.5
17	29	30	31.1	32.4	32.5	33	33.3	33.5	34
18	30	31.1	32.2	33.4	34.2	33.9	33.8	33.5	34.2
19	28.7	30	31.7	31.2	31.5	31.5	32.4	32.7	31.7
20	28.6	30.5	31.8	33.1	33.8	34	35.1	34.6	34.5
21	29	29.9	30.7	31.9	32.1	34.1	34.3	34.7	33
22	29.3	30.3	31.6	31.6	33	33.6	32.2	32	30.4
23	27.5	29.7	31.2	32.4	33.2	33.4	33.7	34.2	34.3
24	28.6	30.4	31.4	31.6	33.4	33.3	34.3	34.5	34.1
25	28.5	29.7	31.3	32.8	33.6	34.8	35.6	36.5	35.2
26	29.5	30.8	32.2	34.4	35.1	36	36.2	34.5	35.5
27	30.6	30.5	33.1	33.5	34.7	34.8	34.7	34.6	33.8
28	28.3	30.1	32	33.2	34.1	34.8	33.5	33	33.4
29	27.5	29	30.4	31.1	32.1	33.6	33.4	33.4	32.6
30	27.5	28.4	29	30.9	32.3	32.6	33.5	33.8	33.1
31	28.5	29.8	31.4	32.2	32.1	33.2	33.6	34	33.5
Mean	28.3	29.3	30.3	31.3	31.9	32.4	32.5	32.2	31.7

Ambient Temperature (Celsius)									
September 2005									
Day	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	27.3	28.2	29.4	30.9	31.6	32.4	33.4	34	32.4
2	27.4	29.5	31.3	31.4	32.9	33.7	31.5	31.2	31.6
3	26.3	26.6	27.8	29.5	31.6	32.7	32.5	32.9	31.5
4	26.7	28.4	29.1	29.6	29.9	27.6	29.5	28.1	28.6
5	27.5	29	29.8	31.4	30.9	32.7	33	32.9	32.5
6	27.7	29.3	29.7	30.5	32	33.5	33.1	33.5	33.2
7	26.7	27.2	27.8	29.1	30.2	31.6	31.8	32	32.1
8	26.8	28.3	29	29.4	30	27.3	28.4	28.6	28.9
9	26.6	28.1	28.8	29.6	30	30.2	29.9	29.3	28.9
10	26.1	26.8	28.7	30.6	31.8	32.9	32	31.7	31.4
11	26.8	28.3	29	29.1	30	31.3	32.4	33.1	32.9
12	28.5	28.9	30.1	31.2	31.2	32.2	32.5	33.2	32.1
13	26	27	28.7	29.6	30.4	30.4	30.5	31.6	32
14	24.7	24.9	25	24.8	25	25.4	26	26.4	25.5
15	27.2	28.8	29.7	30.5	31.3	31.6	31.4	31	30.8
16	26.5	28.8	30.8	32	32.6	33	32.9	33.6	32.6
17	28.1	30	31.4	32.2	32.5	33	33.2	33.9	34.1
18	28.6	29.9	31.1	31.8	32.4	32.4	33	32	31.8
19	29	29.6	31.1	31.9	32.5	32.6	32	31.6	31.3
20	27.6	28.2	29	31	31.6	31.1	31.8	31.9	30.9
21	28.2	29.2	31.6	32	31.8	33.4	33	33.4	31.6
22	26	27	28	30.5	32	32.9	32.1	33.5	32.8
23	27.8	28.8	30.4	31.1	32.1	31.9	32.3	32.9	32.7
24	27.7	29.3	30.1	31.4	32.1	32.4	32	32.8	32.8
25	28	29.9	31.5	33.3	33.3	33.5	33.6	33	30.6
26	28.6	30.5	31.5	32	32.9	33.7	34	33.7	33.3
27	28.6	31.4	31.8	33.2	33.4	33.7	33.1	33.5	32.6
28	28.8	30.5	31	32	32.4	32.4	31.6	32.1	31.9
29	29.8	31.2	32	32.7	31.8	30.8	29.4	28.5	28.9
30	28	28.6	29.5	30.2	31	31.3	31.9	32.1	32
Mean	27.5	28.7	29.8	30.8	31.4	31.8	31.8	31.9	31.5

## Ambient Temperature (Celsius)

October 2005

Day	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	27	28.8	30.5	32.5	34.3	34.9	34.2	33.9	32
2	28.6	31.4	32.9	32.6	31.9	27.3	26.5	27.3	28.6
3	27	28.9	30	31.2	32.6	32.4	33.5	34.3	32.8
4	26.1	27.5	29.5	32.4	32.4	30.5	27.8	28.1	27.8
5	27.5	28.8	30	30.2	30.8	30.2	28.2	26.1	26.4
6	26	27.7	30	31.5	32.7	33.4	34.8	34	33.5
7	26.7	28.8	31	33.3	33.4	33	29.6	26.9	28.7
8	27.6	29.6	30.6	32	32.4	32.5	32.8	32.9	31.9
9	26.5	28.6	30.5	31	31.6	29.2	30.4	31.8	31.5
10	28.4	29.5	31.6	32.9	33.6	33.4	33.6	33.9	33.8
11	28.8	31.5	31.9	32	33.3	33.7	33.7	33	33.2
12	28.9	31	32.3	32	32.8	31.6	31.5	32.5	31.6
13	28	30.1	31.9	32	28.9	27.1	30.4	32.3	32.4
14	25.6	27.9	28.1	29.4	30.8	32.6	31.1	29.3	27.4
15	27.7	29.5	31.1	31.4	33.1	34.7	34.4	34.4	34.5
16	27.3	29.4	30.9	32	32.1	33	33	30.4	28.4
17	28	30.1	31.8	31.4	32.8	32.7	33	32.3	31.8
18	27	29.3	30.8	31.2	32.5	33.7	33.8	33.4	33.6
19	28.2	29.5	31.4	32.6	33.6	34.6	33.7	33.5	32.3
20	27.4	28.7	29.5	30.5	31.6	31.5	32.5	32.7	32.1
21	28.3	29.9	30.6	31.8	31.8	33.8	33.6	33.1	32.5
22	27.6	29	30.3	31.6	31.9	32.4	33.6	33.8	32.4
23	27.2	27	27.4	28.7	29	28.8	29.3	29.3	29.9
24	25.5	25.8	27.4	29.2	28.9	29.9	30.3	31.1	30.7
25	26	27	28	30.1	29.9	30.4	31	27.6	27.4
26	26.9	28.3	30.3	30.9	31.9	31.5	32.4	31.3	31.3
27	26.5	27.7	27.9	27.4	28.8	30	31	32	32.1
28	27.1	28.5	30.2	32.5	33	34.5	33.4	34.5	34.1
29	28.7	31.6	33	33	33.6	34	33.7	34.5	33.7
30	29	31	32.8	33.2	34	33.2	34.5	35	33
31	28	29.5	30.5	32.1	32.5	32.9	33.9	32.1	31.1
Mean	27.4	29.1	30.5	31.4	32	32	32.1	31.8	31.4

Ambient Temperature (Celsius)									
November 2005									
Day	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	28	29.4	30.9	30.8	32	30.9	31.1	30.5	31
2	27.2	28.8	30	30.3	31.5	32.3	32.5	33	32
3	29	30.3	33.3	32.5	34.1	34.2	34.2	32.8	33
4	30.9	31.6	32.6	33.4	34.8	33.9	35	34.4	33.8
5	25.9	26.8	27.8	29.5	30.2	30.8	29.9	29.6	29.3
6	26	27.5	28.5	30.1	31.9	32.4	32.1	31.1	30
7	29.1	29.3	30.9	32.3	32.5	33.3	32.1	30	29.3
8	28.1	29.6	29.7	29.2	25	24.5	25	25.4	26.2
9	26	27	28.8	29	30.6	30.5	31.9	29.7	28.8
10	28.6	29.6	31.6	31	32.7	32.6	32.8	33.4	33.2
11	27.9	30.1	31.4	32.4	32.5	31.7	28.1	27.4	28
12	27.8	30.2	31.1	34.5	34.7	31.9	29.6	30.6	30.5
13	29.5	31.1	32.4	30.1	31.7	33.1	28	29	30.4
14	29.2	30.7	31.3	33.3	34.2	33	29.6	32	31.5
15	28.6	30.6	31.4	30.5	28.1	29.6	28.3	29.6	29.6
16	27.6	28.2	29.4	30	31.2	31.3	32.5	33.5	33.3
17	27.1	28.6	30.3	31.8	32.7	33	33.6	33	32.2
18	27.4	29.3	30.9	33	32.6	31.9	31.8	31.5	31.4
19	27.5	28.6	29.1	29.4	29.2	30.1	29.9	29.9	29.9
20	25.6	27	28.3	29.1	30	30.2	31	31.4	31.1
21	25.5	27.1	28.5	29	29.6	29.2	29.8	29.7	29.5
22	21.9	24	25.5	26.4	27.5	27.5	28	28.5	27.8
23	22.5	23.9	24	25.8	26.7	27.1	26.5	26.5	26.6
24	22.7	24.8	26.2	28.5	28.8	30.1	30.2	29.4	29
25	25.6	27.8	28.6	29.4	29.4	29.7	29	29.9	29.5
26	25.6	27	28.4	29	30.6	29.9	29	28.4	28.4
27	26.3	26.5	26.1	29.7	32.1	32.5	32	31.5	31.6
28	28.1	29.1	30.9	31.6	32.5	32	31.9	32.5	31.6
29	27.1	29.2	31.7	31.7	32.2	32.2	32.4	33.1	32.4
30	26.4	27.9	29.4	31.6	32.5	32.8	33	33.1	33
Mean	27	28.4	29.6	30.5	31.1	31.1	30.7	30.7	30.5



Ambient Temperature (Celsius)									
December 2005									
Day	Time								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	27.2	28.6	31.9	32.7	32.6	33.2	33.5	32.5	32.6
2	27.1	28.7	29.4	31.5	32.7	33.3	32.8	32.8	32.4
3	28	29.2	29.4	32.2	33.2	32.5	32.4	32.2	31.8
4	27.6	29.5	31.1	32.1	34.1	33.7	33.4	33.9	33.4
5	26.7	29.3	31.4	30.5	30.4	31	30.8	31.2	30.6
6	25	26	28.5	31.1	30.5	30.7	30.3	30.2	30
7	25.6	27.3	27.9	28.3	27.7	27.9	28.5	28.5	28.3
8	23.6	26.2	27	28.8	29.2	30	31	31.5	31
9	24	26.6	28.1	31.1	31.5	32.1	32.3	32.4	32.4
10	25	27.4	28.5	30	31	32	32.3	31.4	30.9
11	25.5	26.8	28.8	30.1	31.1	32.7	32.6	32.9	32.8
12	26.4	27.4	28.8	31	30.4	31.6	31.3	31.4	30.8
13	24.6	26.4	27.2	27.9	29	29	30	30	30.1
14	23.2	25.2	26.4	27.7	28.7	30.2	30	30.1	29.6
15	23.6	23.6	24.2	25.5	26.4	26.5	26.4	26.2	25.5
16	22.5	23	24.4	25	25.5	25.7	26.4	27.3	27
17	22	22.9	25.3	26.4	27.4	28.8	27.9	28.7	29.2
18	20.6	22.3	24	24.5	25	26.2	26.6	27.5	27.5
19	19	21	22.6	23.8	24.9	25.6	26	26.6	26.4
20	19.7	21.4	24.3	25.4	27.4	28.3	28.6	28.6	28
21	22.5	23	23.4	24.4	25.5	26.7	26.8	26	24.5
22	19.5	20	20.9	20.8	22.5	23.5	23.3	22.7	22.8
23	20.2	21.3	22.6	23.9	25.4	26.4	26.8	26.5	26.9
24	21.5	22.2	22.6	23.6	25	25.4	26.1	26.6	26.9
25	23.6	25.6	28.2	30.4	32.1	32.5	31.3	31	29.8
26	25	27	28.5	30	29.6	29.3	30.5	30.9	31.2
27	23.6	23.7	24.6	28.2	27.4	27.9	28.8	28.8	28.3
28	25.6	27.4	27.9	29.4	30.5	30.1	29.4	28.5	29
29	23.6	26.4	28.4	29.5	30.5	31.5	32.6	31.6	30.8
30	23.5	25.6	27.4	25.5	30.4	31.2	31.5	32.1	32
31	25.2	26.9	28.6	30.4	31.8	31.7	32.8	33.1	33.1
Mean	23.9	25.4	26.8	28.1	29	29.6	29.8	29.8	29.5

## ภาคผนวก ช

## ข้อมูลความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดปี 2005

date	Radiation						Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>		
	January 2005								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	89	183	243	274	293	278	234	168	88
2	119	193	248	276	288	276	218	149	75
3	110	174	237	262	284	247	209	126	89
4	96	163	214	250	268	242	198	137	70
5	112	186	242	273	289	273	230	157	88
6	106	181	239	265	294	274	238	167	87
7	109	181	234	268	266	251	186	122	69
8	98	174	230	259	277	256	224	136	84
9	108	180	240	268	283	264	218	155	83
10	101	171	228	258	280	248	211	161	84
11	97	167	224	257	272	265	226	160	79
12	33	76	159	207	253	235	205	149	78
13	69	115	194	277	277	268	234	172	91
14	51	87	127	242	263	237	186	130	90
15	23	49	106	51	59	18	96	41	22
16	18	51	68	115	85	101	143	89	48
17	44	61	131	154	121	110	184	118	41
18	63	154	199	232	263	250	206	90	60
19	40	94	128	115	195	227	193	122	89
20	29	44	124	166	208	225	196	141	77
21	81	127	179	142	206	257	210	155	83
22	86	153	219	254	174	259	211	148	82
23	79	121	163	232	200	257	211	150	85
24	70	69	162	216	267	258	217	156	90
25	69	127	229	218	258	237	213	158	84
26	76	91	173	276	310	266	224	159	105
27	91	160	231	225	290	284	236	174	97
28	97	169	231	274	292	281	243	183	106
29	92	133	212	260	287	278	242	184	107
30	81	151	209	246	269	240	212	157	87
31	83	148	204	232	238	268	226	166	94
MEAN	78	133	194	227	245	240	209	145	81

		Radiation					Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>			
							February 2005			
		Time								
date	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
1	84	129	147	171	214	241	209	153	88	
2	68	118	157	215	228	254	210	157	93	
3	92	167	210	236	286	276	238	177	100	
4	87	110	146	235	259	265	228	170	97	
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	97	148	233	280	306	270	256	191	118	
9	86	179	241	280	291	282	242	181	105	
10	86	136	218	231	227	252	239	177	103	
11	54	83	83	196	226	169	150	153	83	
12	98	158	191	127	62	219	212	165	94	
13	57	156	156	225	235	277	249	181	108	
14	81	150	203	261	301	290	241	183	111	
15	116	199	267	313	334	321	278	216	137	
16	110	192	263	322	338	325	286	223	141	
17	100	200	271	315	328	317	276	216	138	
18	76	119	217	271	267	298	-	195	117	
19	101	180	243	295	311	299	257	196	118	
20	114	179	222	286	237	271	246	180	106	
21	73	88	115	156	287	273	245	181	105	
22	74	144	191	246	280	266	233	174	104	
23	108	144	165	265	293	294	262	199	117	
24	98	127	203	249	325	307	269	207	127	
25	118	156	215	286	337	312	276	209	131	
26	139	185	271	328	341	330	291	225	146	
27	113	180	226	221	298	318	283	219	141	
28	100	163	228	232	289	311	284	179	143	
MEAN	93	152	203	250	276	281	248	188	115	

REMARKS : "-" IS MISSING VALUE OR NO DATA REPORTED

\*\*\* MEANS INCOMPLETE DATA IN THE SPECIFIED HOUR

		Radiation					Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>			
		March 2005								
		Time								
date	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
1	123	198	218	261	329	313	261	193	125	
2	103	123	155	213	289	280	257	187	125	
3	108	172	187	249	300	307	268	205	128	
4	113	174	114	240	302	200	185	76	64	
5	40	50	106	120	214	296	239	173	101	
6	132	213	279	320	334	316	267	191	113	
7	86	185	215	277	311	275	264	191	109	
8	112	183	236	281	287	283	239	175	102	
9	103	159	243	291	294	289	249	186	109	
10	111	180	235	294	311	292	249	188	109	
11	93	130	197	185	260	282	251	193	116	
12	93	138	195	288	316	305	256	197	119	
13	124	202	270	310	328	311	265	205	128	
14	88	184	170	242	249	301	230	193	119	
15	47	52	46	151	190	108	198	210	109	
16	31	43	59	168	275	247	260	196	120	
17	125	199	246	263	296	300	257	193	111	
18	113	149	217	218	232	302	263	197	115	
19	81	120	136	254	119	271	238	170	97	
20	107	182	222	294	227	225	252	170	85	
21	129	182	232	306	327	329	286	219	132	
22	161	241	304	342	354	338	288	222	137	
23	94	134	182	310	287	328	280	194	126	
24	119	201	273	309	318	318	269	204	127	
25	91	98	234	175	249	256	225	161	82	
26	131	78	228	161	191	-	-	172	74	
27	69	56	107	156	301	302	243	223	118	
28	142	181	264	290	352	335	275	232	80	
29	132	244	306	333	345	326	279	212	98	
30	103	219	250	267	293	334	278	211	95	
31	117	201	247	335	343	318	280	212	89	
MEAN	104	157	206	255	285	290	255	192	108	

		Radiation					Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>			
		April 2005								
		Time								
date	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
1	137	204	215	289	333	313	268	202	89	
2	128	207	265	324	330	328	276	199	85	
3	79	132	241	189	174	227	263	198	53	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	39	-	164	299	318	272	228	129	84	
6	153	230	288	315	318	319	193	142	96	
7	156	197	248	280	337	325	270	145	126	
8	157	241	300	337	355	344	153	109	108	
9	143	165	272	314	345	332	263	145	133	
10	152	171	187	281	346	326	257	136	155	
11	107	199	200	299	247	135	24	51	51	
12	131	187	194	364	248	296	225	148	126	
13	79	125	151	215	269	211	226	135	61	
14	158	192	260	289	351	332	204	197	135	
15	152	181	151	98	142	170	153	206	112	
16	107	227	228	247	348	353	216	196	86	
17	135	168	259	263	258	329	225	232	120	
18	84	138	189	211	238	302	255	218	88	
19	111	178	294	318	339	312	269	241	54	
20	166	209	224	185	146	157	117	176	89	
21	152	167	210	317	332	51	204	186	118	
22	154	246	295	328	339	323	253	215	86	
23	105	185	248	295	342	324	264	217	122	
24	123	185	256	303	353	342	271	194	49	
25	194	171	192	224	210	300	266	196	72	
26	147	240	291	337	348	318	275	217	122	
27	85	21	54	283	338	305	280	213	137	
28	-	135	308	332	296	318	278	201	120	
29	130	160	258	211	252	300	279	213	31	
30	172	240	319	261	343	330	284	224	143	
MEAN	130	182	233	276	296	286	232	182	98	

		Radiation					Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>			
		May 2005								
		Time								
date	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
1	180	204	293	352	356	334	285	221	99	
2	153	176	220	229	316	343	283	223	143	
3	175	198	295	326	317	309	291	230	146	
4	121	151	299	328	335	332	222	185	145	
5	120	142	246	276	360	215	186	222	144	
6	156	237	271	303	314	335	274	230	149	
7	146	223	260	328	299	351	217	127	49	
8	72	92	92	100	105	108	93	88	54	
9	107	237	289	320	309	318	269	210	69	
10	136	238	286	279	320	321	227	163	87	
11	178	166	279	237	292	338	286	173	107	
12	132	132	101	144	152	165	218	156	90	
13	53	118	150	199	187	166	120	141	90	
14	120	200	310	344	336	294	254	212	151	
15	87	130	125	195	216	305	207	196	115	
16	99	213	246	188	261	255	56	23	12	
17	119	80	51	97	217	129	33	47	49	
18	152	224	293	232	331	291	208	192	102	
19	124	207	116	61	69	123	199	94	59	
20	153	89	189	173	162	42	37	47	31	
21	163	82	60	118	239	186	185	92	74	
22	198	222	274	357	355	337	287	229	159	
23	179	190	300	326	308	263	224	178	129	
24	185	249	301	322	333	219	184	106	98	
25	127	167	267	327	337	321	262	197	115	
26	181	252	226	214	235	267	270	217	144	
27	140	238	281	222	306	286	245	208	143	
28	149	195	217	316	340	325	236	215	98	
29	173	253	314	350	296	279	136	109	66	
30	179	87	50	54	91	293	230	174	108	
31	176	226	303	346	325	285	255	215	143	
MEAN	143	181	226	247	272	262	209	165	102	



		Radiation						Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>	
		June 2005							
		Time							
date	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	140	151	228	261	274	268	190	95	89
2	165	188	181	350	273	275	251	206	145
3	121	195	289	274	321	281	209	155	94
4	130	195	308	321	315	319	251	108	56
5	192	249	215	327	327	318	258	176	120
6	168	233	256	292	263	258	164	166	104
7	158	199	200	232	192	185	191	161	69
8	98	135	154	204	239	305	230	199	155
9	119	215	288	326	310	261	189	124	72
10	127	156	173	248	285	198	83	113	112
11	145	231	277	300	273	295	259	243	110
12	186	160	168	331	292	337	283	186	52
13	182	241	289	282	291	244	220	179	131
14	176	132	212	273	250	162	122	118	128
15	121	133	235	135	166	112	78	49	42
16	140	178	249	322	315	219	161	148	91
17	104	170	279	242	211	202	162	102	54
18	98	105	146	137	312	229	167	51	29
19	81	163	58	286	269	214	91	94	99
20	116	168	271	261	218	235	219	180	125
21	167	189	229	332	309	353	256	222	149
22	145	212	252	267	221	205	253	198	108
23	109	86	153	208	269	205	186	124	79
24	140	214	215	247	208	186	175	183	135
25	112	213	200	184	253	302	207	145	78
26	192	202	222	214	300	215	65	43	59
27	99	165	297	256	322	258	241	158	99
28	123	107	100	212	327	322	242	155	114
29	100	106	134	123	241	233	130	72	82
30	150	179	261	326	306	222	178	131	110
MEAN	137	176	218	259	272	247	190	143	96

		Radiation					Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>			
		July 2005								
		Time								
date	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
1	149	146	181	250	286	189	177	171	142	
2	74	117	138	271	278	313	238	215	128	
3	157	249	288	309	310	354	170	19	11	
4	154	191	228	240	258	234	179	126	90	
5	63	101	152	141	191	152	184	146	110	
6	110	148	186	240	223	182	166	73	132	
7	179	244	280	221	241	202	200	39	37	
8	68	192	252	277	227	266	178	120	89	
9	80	179	206	166	172	191	136	86	35	
10	113	142	161	260	219	182	249	213	143	
11	158	228	272	195	209	108	212	207	128	
12	64	84	145	197	194	191	175	26	10	
13	11	4	6	17	34	88	76	65	41	
14	78	76	99	170	254	312	249	180	120	
15	165	204	267	147	300	154	138	42	60	
16	168	228	290	323	318	237	212	182	96	
17	176	242	295	332	349	336	274	215	151	
18	162	236	275	349	228	103	139	108	78	
19	201	244	300	336	330	310	213	185	111	
20	127	192	274	286	263	314	237	31	40	
21	112	178	188	234	259	176	201	145	78	
22	101	177	170	206	197	161	182	133	88	
23	72	118	118	121	150	135	67	48	49	
24	110	151	205	257	212	156	117	78	32	
25	99	139	160	264	186	174	49	30	43	
26	83	180	160	180	222	205	118	147	63	
27	85	137	200	155	294	115	141	61	55	
28	129	260	214	215	212	220	167	154	78	
29	76	212	306	336	181	212	188	217	161	
30	78	139	91	212	206	169	112	93	32	
31	74	128	233	265	222	119	85	66	62	
MEAN	112	170	205	231	233	202	169	117	80	

		Radiation								Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>
		August 2005								
	Time	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
date										
1	68	73	101	77	63	57	42	39	22	
2	65	113	125	137	144	209	96	99	111	
3	26	107	268	283	353	262	109	83	48	
4	48	116	198	151	184	213	115	149	133	
5	128	204	185	140	217	136	137	75	59	
6	55	110	181	250	251	176	136	146	111	
7	125	180	244	308	227	254	153	77	8	
8	104	145	189	150	179	152	138	17	5	
9	80	145	141	198	212	205	128	126	84	
10	186	220	239	134	214	149	168	42	89	
11	174	162	213	254	178	160	56	65	67	
12	81	107	136	208	285	237	144	82	50	
13	103	152	165	229	201	226	210	174	147	
14	92	131	206	203	273	269	197	134	45	
15	75	94	207	214	233	258	95	91	68	
16	195	219	239	281	256	238	174	140	63	
17	111	160	242	258	215	228	268	212	134	
18	172	214	315	315	286	327	279	222	138	
19	112	223	202	168	115	129	189	119	95	
20	165	208	244	292	298	247	263	236	118	
21	81	131	299	210	255	259	198	124	99	
22	99	208	246	169	229	195	121	61	48	
23	171	242	308	280	313	288	221	211	110	
24	179	198	234	258	294	248	241	222	104	
25	159	217	293	322	334	328	233	205	108	
26	178	251	312	298	240	263	203	169	38	
27	162	261	271	332	355	345	220	141	70	
28	175	243	240	312	293	197	105	104	127	
29	123	126	130	188	229	158	178	97	77	
30	70	100	142	194	219	115	134	165	108	
31	91	150	146	256	216	210	201	141	120	
MEAN	118	168	215	228	237	217	166	128	84	

date	Radiation						Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>			
	Time						September 2005			
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
1	48	123	202	155	173	237	220	103	72	
2	96	230	269	328	253	163	76	102	79	
3	23	66	131	190	262	161	184	134	61	
4	65	114	115	229	256	82	80	60	50	
5	69	178	211	159	253	236	266	140	69	
6	86	163	211	225	291	279	246	162	130	
7	13	37	104	148	186	151	148	108	65	
8	86	235	190	192	139	83	50	26	48	
9	81	134	127	136	151	147	109	38	22	
10	96	174	147	166	136	167	171	65	76	
11	126	193	171	154	248	248	237	166	65	
12	75	151	193	231	307	280	206	117	71	
13	131	149	148	200	146	126	197	179	60	
14	12	53	65	75	87	101	22	33	18	
15	108	135	231	255	257	283	196	129	39	
16	170	247	236	288	232	221	287	173	53	
17	166	225	308	334	306	327	152	190	98	
18	174	229	262	340	164	277	134	111	59	
19	122	205	196	254	193	270	213	84	28	
20	61	136	220	305	242	271	200	169	72	
21	189	239	221	175	164	210	76	57	40	
22	56	170	173	279	176	222	129	81	22	
23	88	161	252	315	266	206	198	102	44	
24	132	168	244	299	264	191	215	126	106	
25	179	256	194	271	99	141	67	23	84	
26	155	222	291	334	303	189	253	172	97	
27	166	221	280	329	333	249	239	147	60	
28	117	153	212	284	280	143	135	163	71	
29	157	260	243	137	59	33	71	63	47	
30	103	119	157	234	246	149	99	64	35	
MEAN	105	172	200	234	216	195	163	110	61	

		Radiation					Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>			
		October 2005								
		Time								
date	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
1	168	191	270	334	330	248	119	103	105	
2	174	248	191	93	29	22	40	98	56	
3	176	222	244	240	259	204	118	167	72	
4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
5	117	172	227	318	240	25	11	13	14	
6	81	227	295	309	237	262	215	173	15	
7	117	170	160	312	150	25	59	173	55	
8	142	130	247	259	252	187	132	97	82	
9	105	130	188	205	183	277	223	108	81	
10	157	243	294	326	294	319	164	174	90	
11	133	165	221	258	261	277	189	96	27	
12	171	163	232	144	283	174	96	64	9	
13	171	154	177	173	207	299	230	153	102	
14	70	169	248	240	247	141	30	30	23	
15	130	237	258	235	252	223	236	172	15	
16	156	183	208	213	155	92	65	30	16	
17	168	238	263	300	291	306	242	131	23	
18	163	232	220	258	247	230	168	131	59	
19	137	224	284	315	300	221	183	38	4	
20	84	141	165	211	326	233	232	175	64	
21	163	205	267	281	302	247	201	146	77	
22	146	224	248	218	301	294	232	110	51	
23	46	61	130	149	116	151	91	121	35	
24	44	109	178	102	124	163	199	117	57	
25	96	113	190	140	121	88	25	36	32	
26	184	200	238	168	163	210	79	97	36	
27	65	19	42	102	141	187	231	211	72	
28	157	228	293	320	247	222	155	127	77	
29	156	232	298	304	263	234	226	167	83	
30	164	238	291	290	273	306	234	125	57	
31	139	195	245	316	282	277	132	65	33	
MEAN	133	182	227	238	229	205	152	115	51	

date	Radiation						Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>		
	November 2005								
	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
1	136	238	268	215	151	99	105	150	43
2	152	166	203	262	178	194	158	78	27
3	147	136	139	239	138	200	80	91	20
4	157	192	263	303	272	264	195	49	35
5	60	102	176	151	171	164	88	49	12
6	94	205	234	157	38	158	141	83	61
7	114	113	227	239	248	185	172	90	32
8	119	96	63	155	264	272	217	75	26
9	171	161	197	223	251	160	184	157	70
10	151	219	271	291	324	284	204	171	86
11	144	207	234	157	38	158	141	83	61
12	114	113	227	239	248	185	172	90	32
13	119	96	63	155	264	272	217	75	26
14	171	161	197	223	251	160	184	157	70
15	127	178	68	100	178	114	232	112	68
16	76	166	155	150	180	147	129	110	53
17	117	209	287	301	291	269	221	115	31
18	118	208	257	203	169	80	139	92	30
19	78	157	176	135	166	118	120	53	22
20	150	218	268	297	298	274	224	149	75
21	148	216	268	295	273	214	138	143	68
22	148	229	280	306	301	226	170	105	45
23	87	128	182	174	126	86	106	163	69
24	137	200	271	272	280	257	202	100	32
25	142	190	149	130	80	78	170	91	29
26	71	154	185	211	72	48	67	35	25
27	80	197	237	266	256	141	115	66	29
28	141	186	192	290	297	178	70	71	41
29	138	204	246	250	174	149	66	41	34
30	140	179	234	221	259	231	175	130	66
MEAN	125	174	207	220	208	179	153	99	44



		Radiation					Unit : x 0.01 MJ/m <sup>2</sup>			
		December 2005								
		Time								
date	8.00	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00	
1	154	217	251	243	241	190	197	75	28	
2	63	83	219	279	253	200	156	130	53	
3	89	155	157	240	117	87	99	74	19	
4	131	195	236	246	268	258	156	142	48	
5	151	172	116	135	142	136	118	77	54	
6	86	194	267	167	101	93	94	83	34	
7	147	206	201	213	129	131	99	41	31	
8	137	207	243	288	288	229	193	148	75	
9	129	203	249	281	292	269	221	157	79	
10	128	171	240	243	258	247	161	51	25	
11	97	217	228	273	287	267	223	151	34	
12	68	185	208	177	190	150	94	73	40	
13	129	196	235	268	266	201	194	125	62	
14	126	195	248	283	275	254	220	107	42	
15	37	85	91	102	120	77	67	52	34	
16	101	97	138	256	242	269	204	145	76	
17	104	170	242	272	274	233	197	133	80	
18	121	175	233	272	279	253	200	138	64	
19	123	193	235	255	236	182	158	95	78	
20	120	179	220	262	260	228	158	121	36	
21	34	44	131	130	178	113	53	27	13	
22	32	76	87	195	227	205	106	89	59	
23	60	122	142	185	260	187	165	161	83	
24	36	37	74	104	125	140	127	83	31	
25	67	168	233	267	269	127	110	76	40	
26	83	128	158	51	23	144	101	113	58	
27	56	109	237	173	185	145	170	131	93	
28	96	173	227	267	257	196	27	44	41	
29	107	179	235	261	256	246	199	152	57	
30	120	189	237	261	195	221	198	150	74	
31	123	194	248	276	285	269	258	187	79	
MEAN	99	159	202	223	219	192	152	107	52	

**ภาคผนวก ข**  
**ตารางเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K**

ITS-90 Table for Type K Thermocouple (Ref Junction 0°C)

<http://iseinc.com>

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Thermoelectric Voltage in mV</b>											
0	0.000	0.039	0.079	0.119	0.158	0.198	0.238	0.277	0.317	0.357	0.397
10	0.397	0.437	0.477	0.517	0.557	0.597	0.637	0.677	0.718	0.758	0.798
20	0.798	0.838	0.879	0.919	0.960	1.000	1.041	1.081	1.122	1.163	1.203
30	1.203	1.244	1.285	1.326	1.366	1.407	1.448	1.489	1.530	1.571	1.612
40	1.612	1.653	1.694	1.735	1.776	1.817	1.858	1.899	1.941	1.982	2.023
50	2.023	2.064	2.106	2.147	2.188	2.230	2.271	2.312	2.354	2.395	2.436
60	2.436	2.478	2.519	2.561	2.602	2.644	2.685	2.727	2.768	2.810	2.851
70	2.851	2.893	2.934	2.976	3.017	3.059	3.100	3.142	3.184	3.225	3.267
80	3.267	3.308	3.350	3.391	3.433	3.474	3.516	3.557	3.599	3.640	3.682
90	3.682	3.723	3.765	3.806	3.848	3.889	3.931	3.972	4.013	4.055	4.096
100	4.096	4.138	4.179	4.220	4.262	4.303	4.344	4.385	4.427	4.468	4.509
110	4.509	4.550	4.591	4.633	4.674	4.715	4.756	4.797	4.838	4.879	4.920
120	4.920	4.961	5.002	5.043	5.084	5.124	5.165	5.206	5.247	5.288	5.328
130	5.328	5.369	5.410	5.450	5.491	5.532	5.572	5.613	5.653	5.694	5.735
140	5.735	5.775	5.815	5.856	5.896	5.937	5.977	6.017	6.058	6.098	6.138
150	6.138	6.179	6.219	6.259	6.299	6.339	6.380	6.420	6.460	6.500	6.540
160	6.540	6.580	6.620	6.660	6.701	6.741	6.781	6.821	6.861	6.901	6.941
170	6.941	6.981	7.021	7.060	7.100	7.140	7.180	7.220	7.260	7.300	7.340
180	7.340	7.380	7.420	7.460	7.500	7.540	7.579	7.619	7.659	7.699	7.739
190	7.739	7.779	7.819	7.859	7.899	7.939	7.979	8.019	8.059	8.099	8.138

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายธรรธรณ์ มาลาหอม เกิดที่ อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เมื่อวันที่ 27 ตุลาคม 2519 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2541 ได้เข้าทำงานเป็นวิศวกรฝ่ายผลิตของบริษัท โทไฮกุ ไฟโอเนียร์ประเทศไทย จำกัด จังหวัดพระนครศรีอยุธยาในปี 2542 ถึงปี 2544 และ บริษัทไซโก้ พีแอนดีซี ประเทศไทยจำกัด จังหวัดปทุมธานีในปี2545ถึงปี2547เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2548



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย