



เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลม
ร่วมกับท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ

**CIRCULAR TUBE SOLAR WATER HEATER
INTEGRATED CLOSED-LOOP
OSCILLATING HEAT PIPE
WITH CHECK VALVE**

ปริญญานิพนธ์

ของ

กล้าณรงค์ คำสมบัติ 47010370047

อมร ดอนเมือง 47010370065

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (พลังงาน)

ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ได้พิจารณาปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
(พลังงาน) ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

.....
(รศ. สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์)

ประธานกรรมการ

.....
(ผศ.ดร. สัมพันธ์ ฤทธิเดช)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์

มหาวิทยาลัยมหาสารคามได้อนุมัติให้รับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (พลังงาน) ของมหาวิทยาลัย
มหาสารคาม

.....
(ศ. ดร. ประดิษฐ์ เทอดทูล)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้ความรู้คำแนะนำอย่างเอาใจใส่ทุก ๆ ขั้นตอนของการทำปริญญานิพนธ์ทั้งในการทดลองการเขียนปริญญานิพนธ์ ตลอดจนการแก้ไขปัญหาดัง ๆ จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณท่าน รศ.สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ ประธานกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ และตรวจสอบปริญญานิพนธ์ ตลอดจนการสอนวิชาการความรู้ต่าง ๆ แนะนำการแก้ไขปัญหาดัง ๆ และปะสิทธิ์ปะสาทวิชาความรู้ในด้าน ต่าง ๆ ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ห้องวิจัยต่อความร้อน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งเป็นสถานที่ในการทดสอบและจัดทำปริญญานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัวและผู้มีพระคุณทั้งหลาย ที่คอยให้กำลังใจ เอาใจใส่ดูแลและสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างด้วยดี โดยเฉพาะการให้การศึกษาที่ดีแก่ผู้จัดทำตลอดมา ความ สำเร็จใด ๆ ที่มีในชีวิตขอมอบให้แก่ผู้ที่มีพระคุณที่กล่าวมาข้างต้นทั้งหมด

หากเนื้อหาหรือข้อมูลต่าง ๆ ในปริญญานิพนธ์นี้ เป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจที่จะศึกษาและ ผู้ทำการวิจัยท่านอื่น ๆ ผู้จัดทำก็ขอขอบคุณดีทั้งหลายนี้ให้แก่บุคคลทุกท่านที่กล่าวมา ท้ายที่สุด หากปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำต้องกราบขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

กถำณรงค์ คำสมบัติ

อมร คอนเมือง

ชื่อเรื่อง	เครื่องทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลมร่วมกับท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาวล์กันกลับ
ผู้วิจัย	นายกกล้าณรงค์ คำสมบัติ นายอมร คอนเมือง
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. สัมพันธ์ ฤทธิเดช
ปริญญา	วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล (พลังงาน)
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2550

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลมร่วมกับท่อความร้อนแบบส่นวงรอบที่ติดตั้งวาวล์กันกลับ โดยใช้ อัตราการไหล 0.61 ลิตรต่อนาทีโดยมุมที่ใช้ในการทดลอง คือ 18 องศา โดยใช้ R-134a เป็นสารทำงานขนาดของแผงรับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์เท่ากับ $0.1 \times 1.5 \text{ m}^2$ เป็นส่วนรับความร้อนให้กับท่อความร้อนท่อแก้วจำนวน 10 ชุด มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 58 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร ความยาวรวมภายในท่อความร้อนเท่ากับ 19.2 เมตร จำนวนเช็ควาวล์ 4 เช็ควาวล์

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพรวมสูงสุดเท่ากับ 63% ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 933.58 W/m^2



TITLE	Circular Tube Solar Water Heater Integrated Closed-Loop Oscillating Heat Pipe With Check Valve
AUTHOR	Mr. Klanarong Khumsombut Mr. Amorn Donmuang
ADVISOR	Assist . Prof . Dr. Sampan Rittidech
DEGREE	B.Eng . (Mechanical Engineering for Energy)
UNIVERSITY	Maharakham University DATE 2007

ABSTRACT

In this study experiment were performed on solar collector tube with a closed loop oscillating heat pipe with check valve (CLOHP/CV) to determine the efficiency of the system while operating at a flow rate 0.61 l/min. Inclination angle 18 degree R-134a was used as working fluid. The system use an absorber plate with dimension of 0.1 x 1.5 m² to heat the evaporator section of heat pipe. The systems glass tube of 10 units had an inside diameter of 58 mm and a length of 1.5 m. Total length of CLOHP/CV was 19.2 m and it contained 4 check valves.

It was found that a maximum efficiency of 63 % was achieved at a solar radiation level of 933.58 W/m²

สารบัญ

บทที่	หน้า
I บทนำ.....	1
ความเป็นมาของโครงการ.....	1
วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
ขอบเขตของโครงการ.....	3
ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
พลังงานแสงอาทิตย์.....	4
หลักการทำงานต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (COHP/CV).....	9
การศึกษาคุณลักษณะการทำเลความร้อนของท่อ(COHP/CV).....	10
3 วิธีทำการทดลอง.....	11
ส่วนประกอบที่สำคัญในการออกแบบ.....	11
อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ.....	13
การติดตั้งอุปกรณ์และการทดสอบ.....	16
วิธีการทดลอง.....	17
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	18
ผลการทดลอง.....	18
5 สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ.....	24
สรุปผลการทดสอบ.....	24
ข้อเสนอแนะ.....	25
เอกสารอ้างอิง.....	26

ภาคผนวก.....	28
ภาคผนวก ก. ผลการทดลองและการคำนวณ.....	29
ภาคผนวก ข. ตัวอย่างการคำนวณ.....	93
ภาคผนวก ค. ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ.....	103
ภาคผนวก ง. ภาพแสดงชุดทดลอง.....	107
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	117

บัญชีตาราง

ตาราง

หน้า

1 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง มุม 18 องศา (30/03/2550).....	30
2 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่น้ำได้รับ.....	31
3 แสดงการคำนวณหาอุณหภูมิที่ตกกระทบ.....	32
4 สรุปผลการคำนวณ.....	33
5 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง มุม 18 องศา (31/03/2550).....	37
6 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่น้ำได้รับ.....	38
7 แสดงการคำนวณหาอุณหภูมิที่ตกกระทบ.....	39
8 สรุปผลการคำนวณ.....	40
9 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง มุม 18 องศา (01/04/2550).....	44
10 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่น้ำได้รับ.....	45
11 แสดงการคำนวณหาอุณหภูมิที่ตกกระทบ.....	46
12 สรุปผลการคำนวณ.....	47
13 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง มุม 18 องศา (02/04/2550).....	51
14 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่น้ำได้รับ.....	52
15 แสดงการคำนวณหาอุณหภูมิที่ตกกระทบ.....	53
16 สรุปผลการคำนวณ.....	54
17 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง มุม 18 องศา (03/04/2550).....	58
18 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่น้ำได้รับ.....	59
19 แสดงการคำนวณหาอุณหภูมิที่ตกกระทบ.....	60
20 สรุปผลการคำนวณ.....	61
21 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง มุม 18 องศา (04/04/2550).....	65
22 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่น้ำได้รับ.....	66
23 แสดงการคำนวณหาอุณหภูมิที่ตกกระทบ.....	67
24 สรุปผลการคำนวณ.....	68
25 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง มุม 18 องศา (05/04/2550).....	72
26 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่น้ำได้รับ.....	73

27 แสดงการคำนวณหาหามุมที่ตกกระทบ.....	74
28 สรุปผลการคำนวณ.....	75
29 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง มุม 18 องศา (28/04/2550).....	79
30 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่น้ำได้รับ.....	80
31 แสดงการคำนวณหาหามุมที่ตกกระทบ.....	81
32 สรุปผลการคำนวณ.....	82
33 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง มุม 18 องศา (29/04/2550).....	86
34 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่น้ำได้รับ.....	87
35 แสดงการคำนวณหาหามุมที่ตกกระทบ.....	88
36 สรุปผลการคำนวณ.....	89
37 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี.....	104
38 แสดงคุณสมบัติของของเหลว.....	105
39 แสดงดัชนีบ่งชี้การแบ่งสภาพท้องฟ้า.....	106

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ

หน้า

1 ภาพการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์.....	6
2 แสดงมุมตกกระทบและมุมหักเหของแสง.....	7
3 แสดงการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ.....	10
4 แสดงการถ่ายเทความร้อนของแผงรับรังสี.....	12
5 แสดงแผงรับรังสีแสงอาทิตย์.....	13
6 แสดงปั้มน้ำ.....	13
7 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหล.....	14
8 แสดงไฟรานอมิเตอร์.....	14
9 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูล รุ่น DX230.....	15
10 แสดงเครื่องวัดความเร็วลม.....	15
11 แสดงระบบทำน้ำร้อนและการติดตั้งเครื่องมือ.....	16
12 แสดงแบบโครงสร้างของถังแลกเปลี่ยนความร้อน.....	108
13 แสดงการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลบนแผ่นรับรังสี	109
14 แสดงการติดตั้งท่อน้ำเข้า – ออก	110
15 แสดงแบบโครงสร้างของแผง	111
16 แสดงแบบแผงรับรังสี	111
17 แสดงแบบโครงสร้างที่ติดตั้งแผงรับรังสี	112
18 แสดงแบบโครงสร้างที่ติดตั้งแผงรับรังสี.....	112
19 แสดงแบบการติดตั้งชุดแผงรับรังสีเข้ากับโครงสร้าง.....	113
20 แสดงแบบโครงสร้างการติดตั้งแผงรับรังสี	113
21 แสดงถังแลกเปลี่ยนความร้อน.....	114
22 แสดงถังเก็บน้ำอุ่น.....	114
23 แสดงปั้มน้ำและชุดควบคุมอุณหภูมิ.....	115
24 แสดงถังเติมน้ำสำรอง.....	115
25 แสดงการทำงานของถังเติมน้ำจากถังน้ำสำรอง.....	116
26 แสดงการทำงานแบบครบวงจร.....	116

บัญชีกราฟ

กราฟ

หน้า

1 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา.....	18
2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา.....	19
3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา.....	20
4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้สภาพท้องฟ้ากับเวลา.....	21
5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลา.....	22
6 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา 30/03/2550.....	34
7 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 30/03/2550.....	34
8 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา 30/03/2550.....	35
9 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 30/03/2550.....	35
10 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 30/03/2550.....	36
11 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 30/03/2550.....	36
12 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา 31/03/2550.....	41
13 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 31/03/2550.....	41
14 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา 31/03/2550.....	42
15 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 31/03/2550.....	42
16 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 31/03/2550.....	43
17 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 31/03/2550.....	43
18 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา 01/04/2550.....	48
19 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 01/04/2550.....	48
20 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา 01/04/2550.....	49
21 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 01/04/2550.....	49
22 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 01/04/2550.....	50
23 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 01/04/2550.....	50
24 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา 02/04/2550.....	55
25 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 02/04/2550.....	55
26 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา 02/04/2550.....	56

27 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 02/04/2550	56
28 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 02/04/2550	57
29 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 02/04/2550	57
30 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา 03/04/2550	62
31 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 03/04/2550	62
32 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา 03/04/2550	63
33 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 03/04/2550	63
34 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 03/04/2550	64
35 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 03/04/2550	64
36 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา 04/04/2550	69
37 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 04/04/2550	69
38 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา 04/04/2550	70
39 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 04/04/2550	70
40 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 04/04/2550	71
41 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 04/04/2550	71
42 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา 05/04/2550	76
43 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 05/04/2550	76
44 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา 05/04/2550	77
45 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 05/04/2550	77
46 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 05/04/2550	78
47 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 05/04/2550	78
48 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา 28/04/2550	83
49 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 28/04/2550	83
50 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา 28/04/2550	84
51 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 28/04/2550	84
52 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 28/04/2550	85
53 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 28/04/2550	85

54 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบางรังสีกับเวลา 29/04/2550 90

55 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 29/04/2550 90

56 แสดงค่าความร้อนที่สะสมบางรังสีกับเวลา 29/04/2550 91

57 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบางกับเวลา 29/04/2550 91

58 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 29/04/2550 92

59 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลา กับเวลา 29/04/2550 92

บทที่ 1

บทนำ

ปัญหาและความต้องการของโครงการ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าในปัจจุบันการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมในประเทศไทย ได้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วและในการเจริญเติบโตเหล่านี้จำเป็นอย่างมากในการใช้พลังงานและเชื้อเพลิงต่าง ๆ เพื่อที่จะทำให้กิจการมีความเจริญก้าวหน้าต่อไป ประเทศไทยจึงได้มีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นจำนวนมากและจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการนำเข้าพลังงานเหล่านั้นมากเช่นกัน ดังนั้นจึงได้มีการคิดหาพลังงานที่จะมาทดแทนซึ่งก็คือพลังงานจากธรรมชาติที่มีอยู่แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ได้แก่ การนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้โดยใช้เทคโนโลยีในการถ่ายเทความร้อน ซึ่งก็น่าจะเกิดประโยชน์เป็นอย่างมากและจะเป็นการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยใช้เทคโนโลยีการแลกเปลี่ยนความร้อน

สรุปสาระสำคัญที่เกี่ยวข้อง

Miyazaki et al. (2001 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ได้ทำการศึกษา CLOHP/CV ที่ทำจากท่อทองแดงแบบคาปิลลารีมีวาล์วก้นกลับ 3 ตัว ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร 14 โค้งเลี้ยวใช้สาร R 134a เป็นสารทำงานมีความยาวส่วนทำระเหย และส่วนควบแน่น คือ 50 มิลลิเมตร และส่วนกันความร้อนยาวเท่ากับ 500 มิลลิเมตร จากผลการทดลอง ของไหลที่ไหลเข้าส่วนที่มีการถ่ายเทความร้อนจะรักษาไว้ให้คงที่ตลอดถึงแม้ว่าแอมปีจูดของการไหลจะมีค่าน้อย การไหลเวียนจะไหลในทิศทางเดียวและทำการเปรียบเทียบระหว่างกรณีติดตั้งวาล์วก้นกลับ 3 ชุดและกรณีไม่ได้ติดตั้งวาล์วก้นกลับ พบว่าท่อความร้อนที่ไม่ได้ติดตั้งวาล์วก้นกลับ จะทำงานเมื่อส่วนทำระเหยอยู่ด้านล่าง (Bottom heat mode) และจะไม่ทำงานในแนวระดับ (Horizontal mode) ในทางตรงกันข้าม ท่อความร้อนที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับไม่เพียงแต่จะทำงานในแนวระดับแต่ยังสามารถทำงานเมื่อส่วนทำระเหยอยู่ด้านบน (Top heat mode) ด้วย ดังนั้นในการติดตั้งวาล์วก้นกลับจะช่วยในส่วนตำแหน่งการทำงาน ของท่อความร้อน และทิศทางการไหลให้ไปทิศทางเดียวกัน

A.balzar.et.al (1996 : 63-66) (เครื่องทำอาหารด้วยพลังงานแสงอาทิตย์)

ศึกษาเกี่ยวกับเครื่องทำอาหารด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยท่อสุญญากาศ ตัวดูดซับ โดยท่อความร้อนเป็นตัวนำส่งความร้อนไปยังถาด วันที่ทำการทดลองอาหารมีอากาศแจ่มใสในเมือง Marburg ในการทดลองที่เวลาอุณหภูมิเย็นสุด และร้อนสุด โดยรายละเอียดการแผ่ความร้อนของ อุณหภูมิที่แตกต่างจากการวัดพบว่า อุณหภูมิสูงสุดที่หม้อบรรจุอาหาร 5 ลิตรของน้ำมันพืช คือ 252 องศาเซลเซียสจากการทำการทดลองทำอาหารที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ใช้ความร้อนเวลาสั้นๆทำได้โดยการทำอาหารด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย ท่อสุญญากาศ ซึ่งท่อความร้อนใช้น้ำเป็นสารในการทำงาน ตัวรับพลังงานแบ่งออกเป็น ท่อความร้อน เป็นเครื่องดูดพลังงานความร้อน แบบอยู่ติดกัน 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นตัวสะสมความร้อน ชั้นบนเป็นท่อความร้อน ตัวควบแน่นเชื่อมต่อไปยังถาดอบ การทำงานจะดีทั้งตัวสะสมความร้อน และท่อความร้อน

ณัฐวุฒิ ยืนยง , เสวต นามโยธา (2548 : 2-3) การทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลมที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ

ในการศึกษานี้ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลมที่ติดตั้งท่อความร้อน แบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ โดยใช้อัตราการไหล 0.7 ลิตรต่อนาที โดยมุมที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกัน คือ 30 องศา และ 15 องศา โดยใช้ R-134a เป็นสารทำงาน ขนาดของแผงรับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์เท่ากับ 0.1×0.5 ตารางเมตร เป็นส่วนรับความร้อนให้กับท่อความร้อนท่อแก้วมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 58 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร ความยาวรวมภายในท่อความร้อนเท่ากับ 10.8 เมตร จำนวนเช็ควาล์ว 2 เช็ควาล์ว

จากการทดลองพบว่าประสิทธิภาพรวมสูงสุดเท่ากับ 62.77 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 985.32 วัตต์/ตารางเมตร

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อศึกษาคุณลักษณะของแผงรับรังสีแบบท่อแก้วโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ
2. หาอุณหภูมิสะสมของน้ำที่รับได้ตลอด 7 วัน
3. หาพลังงานที่ท่อรับรังสีที่สามารถดูดซับได้
4. หาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแบบท่อแก้วโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ

ขอบเขตของโครงการ

1. ท่อรับรังสีแสงอาทิตย์ขนาด ϕ 58 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร 10 ท่อ
2. ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ จำนวน 4 ชุด ความยาวรวม 19.2 เมตร/
ท่อ
3. สารทำงาน R – 134a
4. อัตราส่วนการเติมสาร 50% โดยประมาณโดยรวมภายในท่อ
5. จำนวน โค้งเลี้ยว 6 โค้งเลี้ยว
6. ท่อทองแดงชนิดสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ ϕ 3 มิลลิเมตร
7. ถังบรรจุน้ำ 100 ลิตร

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เข้าใจหลักการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ
2. ทำให้ทราบลักษณะทางความร้อนเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบท่อความร้อนสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ
3. ทำให้ทราบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับดูดซับ
ไว้ได้
4. ทำให้ทราบประสิทธิภาพของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ
5. สามารถนำความรู้และทักษะในทางทฤษฎีที่ศึกษาไปประยุกต์ใช้งานได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พลังงานแสงอาทิตย์

ในปัจจุบันได้มีการนำพลังงานต่างๆ มาใช้มากมายไม่ว่าจะพลังงาน ลม ดังนั้นเราควรนำพลังงานที่มีอยู่แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์คือ พลังงานแสงอาทิตย์ จึงได้นำพลังงานแสงอาทิตย์มาทำงานในการทำเครื่องทำความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

1. ค่าคงที่ของพลังงานแสงอาทิตย์ (solar constant)

ค่าคงที่สุริยะ (The solar constant , G) เป็นค่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ต่อหน่วยเวลาที่ตกกระทบบนพื้นผิว 1 หน่วย ซึ่งตั้งฉากกับรังสีที่ลงมาตกกระทบวัดที่ระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ที่ใช้เฉลี่ยและอยู่ภายนอกบรรยากาศโลกซึ่งมีค่าเท่ากับ 1367 W/m^2 และค่าคงที่นี้ขึ้นอยู่กับ

1.1 พลังงานของดวงอาทิตย์ที่ส่งออกมา โดยทั่วไปพลังงานของดวงอาทิตย์ที่ส่งออกมามีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยและค่าความแตกต่างจะมีผลกระทบไม่มากต่อลักษณะอากาศในแต่ละวัน แต่อาจจะมีผลต่อสภาพเปลี่ยนแปลง (Fluctuation) ของอุณหภูมิบางอย่างได้ความแตกต่างในองค์ประกอบของสเปกตรัมของรังสีแสงอาทิตย์บางอย่างอาจมีส่วนสำคัญที่มีผลต่อสภาพอากาศได้

1.2 ระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ เนื่องจากโลกหมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีดังนั้นระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์ในแต่ละวันจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลารังสีทั้งหมดที่ตกถึงโลกมีค่าแปรผันไม่เกินร้อยละ 1.5 จึงถือว่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกถึงบรรยากาศชั้นนอกมีค่าคงที่ เติมการวัดหาค่าคงที่นี้จะกระทำที่ภาคพื้นดินซึ่งที่ค่าความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการวัดรังสีในบรรยากาศ

2. การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์พิจารณาที่ผิวโลก

เนื่องจากบรรยากาศของโลกประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ ไอน้ำ ฝุ่น และอนุภาคต่าง ๆ จึงทำให้อิทธิพลที่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บางส่วนถูกดูดกลืนบางส่วนกระจัดกระจายมีทิศทาง

เบี่ยงเบนไปจึงเหลือรังสีอยู่บริเวณหนึ่งมาถึงผิวโลก ดังนั้นการแผ่รังสีมาผิวโลกจึงแบ่งได้ 3 ลักษณะ
เนื่องมาจากได้ผ่านชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งแบ่งได้ดังนี้

2.1 การแผ่รังสีโดยตรง (Beam or direct radiation)

คือ การแผ่รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์โดยไม่นับพลังงานแสงอาทิตย์ที่หักเหจาก
สิ่งอื่น ๆ เช่น กระจกของอาคาร ฝุ่น เมฆ เป็นต้น

2.2 การแผ่รังสีแบบแพร่กระจาย (Diffuse radiation)

คือ รังสีที่พื้นผิวโลกรับหลังจากหักเห สะท้อน และกระเจิง จากสิ่งต่างๆ เช่น อาคาร
ฝุ่น เมฆ เป็นต้น

2.3 การแผ่รังสีรวม (Total solar global radiation)

คือ ผลรวมของการแผ่รังสีโดยตรงและการแผ่รังสีแบบแพร่กระจายที่พื้นผิวโลก
ได้รับ

3. ปัจจัยที่มีต่อพลังงานที่โลกจะได้รับจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

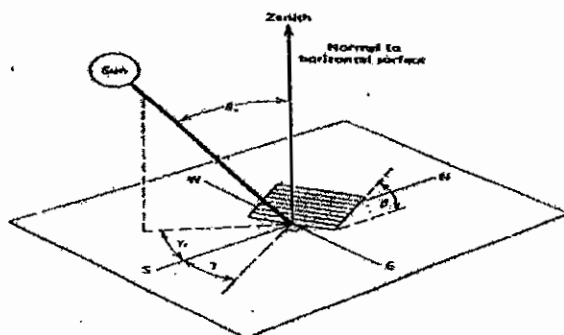
ปริมาณที่โลกจะได้รับจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์จะมากหรือน้อยนอกเหนือจาก
ค่าคงที่ของพลังงานดวงอาทิตย์ ปริมาณยังขึ้นอยู่กับ

3.1 ความโปร่งใสของอากาศเนื่องจากบรรยากาศประกอบด้วย ฝุ่น เมฆ ไอน้ำ และ
ก๊าซซึ่งมีส่วนในการกระจายการสะท้อนและการดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ในบริเวณเมฆหนาที่บหรือ
อากาศที่มีผลภาวะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงน้อย

3.2 ความยาวนานของกลางวัน มีค่าความแตกต่างไปตามละติจูดและฤดูกาล ในวันที่
มีระยะเวลากลางวันยาวจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มาก บริเวณศูนย์สูตรจะมีระยะเวลากลางวัน
และกลางคืนเท่ากัน

4. มุมของแสงอาทิตย์ส่งกระทบบนพื้นโลก

ในตอนเที่ยงวันดวงอาทิตย์จะอยู่ตรงศีรษะพอดี ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์จะมีมาก
ที่สุด แต่ในตอนเช้าและตอนเย็นรังสีจากดวงอาทิตย์จะส่องเป็นมุมเอียง ดังนั้นความเข้มของรังสีจาก
ดวงอาทิตย์จะน้อย และจากหลักการเดียวกันนี้ นำมาใช้กับละติจูดและฤดูกาลคือที่ละติจูดสูงๆ ในฤดู
หนาวแม้เวลาเที่ยงมุมเอียงของดวงอาทิตย์จะส่องเป็นมุมเอียง ส่วนในฤดูร้อนในบริเวณละติจูดต่ำ



ภาพประกอบ 1 แสดงการแผ่รังสีโดยตรงของดวงอาทิตย์

5. ทิศทางการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ทิศทางการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่ส่งมายังแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของแผงรับแสงอาทิตย์บนโลกและตำแหน่งของโลกเทียบกับดวงอาทิตย์โดยสามารถอธิบายความสัมพันธ์ในรูปของมุมต่างๆ ดังภาพประกอบที่ 1 ได้แก่

5.1 ตำแหน่งเส้นรุ้ง (Latitude , ϕ) คือ ตำแหน่งที่ตั้งของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์บนโลก บอกตำแหน่งเป็นสายรุ้ง ส่วนเส้นใต้เส้นศูนย์สูตร โดยถ้าอยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรจะมีค่าเป็นบวก ส่วนใต้เส้นศูนย์สูตรจะมีค่าเป็นลบ , $-90^\circ \leq \phi \leq 90$

5.2 มุมเดคลิเนชัน (Declination angle , δ) คือ มุมที่แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ขณะที่อยู่ตอนเที่ยงวันเทียบกับระดับอิกวาทอร์ ซึ่งจะมีค่าเป็นบวกถ้าวัดไปทางทิศเหนือของอิกวาทอร์ มุมเดคลิเนชันในหน่วยองศาสำหรับแต่ละวันจะคำนวณได้จากสูตร

$$\delta = 23.45 \sin(366(284 + n) / 365) \dots\dots\dots (2.1)$$

โดยที่ n คือจำนวนนับวันที่ 1 มกราคม

5.3 มุมเอียง (Slope angle , β) คือ มุมที่ระนาบของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ทำกับแนวระนาบ (Horizon) โดยมุมเอียงมีค่าตั้งแต่ 0 องศา ถึง 180 องศา ในการทดลองนี้ใช้มุม 15 องศา

5.4 มุมอะซิมูท (Surface azimuth angle , γ) คือ มุมการหันหน้าการรับพลังงานแสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ โดยจะมีค่าเป็น 0 องศา ถ้าแผงหันหน้าไปทางทิศใต้ ถ้าเบนหันไปทางทิศตะวันออกจะมีค่าเป็นบวก และถ้าเบนหันหน้าไปทางทิศตะวันตกจะมีค่าเป็นลบ

$$Q_{abs} = (\tau\alpha)GA \dots\dots\dots (2.3)$$

เมื่อ G = ความเข้มของรังสี

A = พื้นที่ของแผงแสงอาทิตย์

τ = ค่าการส่งผ่านพลังงานที่คิดการสูญเสียเนื่องมาจากการดูดกลืนของกระจก

ซึ่งค่า $(\tau\alpha)$ คือ ผลคูณระหว่างค่าการส่งผ่านและค่าการดูดกลืนพลังงานสมบูรณ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับมุมตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์บนแผงรังสีแสงอาทิตย์ (θ_1) และมุมหักเห (θ_2) ซึ่งหาได้จาก

$$(\tau\alpha) = K_{\tau\alpha} X(\tau\alpha)_n \dots\dots\dots (2.4)$$

เมื่อ $K_{\tau\alpha}$ = ค่าแก้ไขสำหรับมุมตกกระทบ (Incidence angle Modifier)

$(\tau\alpha)_n$ = ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีและค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์

$$(\tau\alpha)_n = (\tau\alpha) \tau \alpha \dots\dots\dots (2.5)$$

เมื่อ α = ค่าการดูดกลืนพลังงานของแผ่รังสี (Absorptance)

τ = ค่าการส่งผ่านพลังงานที่คิดการสูญเสียเนื่องมาจากการสะท้อนกลับ

$\tau\alpha$ = ค่าการส่งผ่านพลังงานที่คิดการสูญเสียเนื่องมาจากการดูดกลืนของกระจกซึ่งค่า

หาได้จาก

$$\tau\alpha = e^{(-kl / \cos \theta_2)} \dots\dots\dots (2.6)$$

เมื่อ K = ค่า Extinction coefficient มีค่าเท่ากับ $4m^{-1}$

L = ความหนาของกระจก

6. การประเมินหารูปแบบของท้องฟ้า

ตามมาตรฐาน CIE และ IESNA ท้องฟ้าจะแบ่งเป็น 3 แบบ คือ ฟ้าใส ฟ้ามีเมฆบางส่วน และ ฟ้าครึ้ม ใช้ดัชนีการบ่งชี้ท้องฟ้า 2 ดัชนีคือ สกายเรโซ (Sky Ratio , S.R.) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และดัชนีความสว่างของ เปเรซ (Perez 's Clearness Index, ϵ) มีค่าระหว่าง 1.00 ถึง > 4.50 แต่ในงานวิจัยนี้ใช้ ดัชนี สกายเรโซ (Sky Ratio , S.R.) เป็นตัววัด

$$\text{Sky Ratio : } S.R. = \frac{E_{cd}}{E_{eg}} \dots\dots\dots (2.7)$$

เมื่อ E_{cd} = ปริมาณพลังงานรังสีท้องฟ้า (W/m^2)

E_{eg} = ปริมาณพลังงานสัรวม (W/m^2)

ประสิทธิภาพของแผงรับรังสีคำนวณได้จาก

$$\eta = \dot{m} c_p (T_{w.out} - T_{w.in}) / GA \quad (2.8)$$

เมื่อ $\dot{m}$ = อัตราการไหล

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะ

$T_{w.out}$ = อุณหภูมิน้ำเข้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน

$T_{w.in}$ = อุณหภูมิน้ำออกที่แลกเปลี่ยนความร้อน

G = ความเข้มของรังสี

A = พื้นที่ของแผงแสงอาทิตย์

ความร้อนที่สามารถใช้ประโยชน์ได้คำนวณได้จาก

$$Q = \dot{m} c_p (T_{w.out} - T_{w.in}) \quad (2.9)$$

เมื่อ $\dot{m}$ = อัตราการไหล

C_p = ค่าความร้อนจำเพาะ

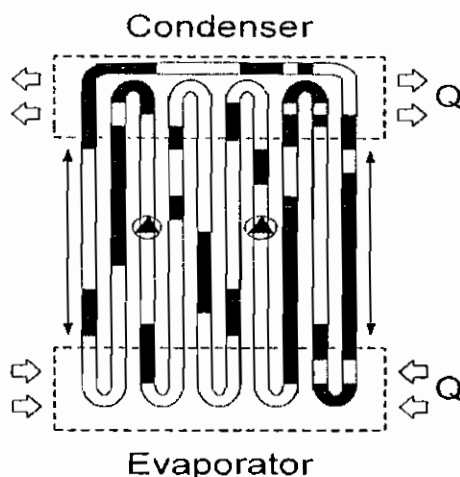
$T_{w.out}$ = อุณหภูมิน้ำเข้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน

$T_{w.in}$ = อุณหภูมิน้ำออกที่แลกเปลี่ยนความร้อน

หลักการทางานต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ (COHP/CV)

หลักการทางานโดยทั่วไปของต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับมีหลักการทางานคล้ายกับการทางานของต่อความร้อนแบบสั่นวงรอบคือมีลักษณะเป็นระบบปิดประกอบด้วยส่วนดังนี้ ส่วนทำระเหย (L_e) ส่วนกักความร้อน (L_s) ส่วนควบแน่น (L_c) สามารถทางานได้โดยเมื่อสารทางานถูกบรรจุลงในท่อที่ทำมาจากท่อคาปิลารีซึ่งอยู่ในสภาวะของเหลวอิ่มตัวเกิดการเดือดแบบฟองและรวมตัวเป็นก้อนไอ (Vapor slug) โดยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอและลอยผ่านส่วนกักความร้อนไปส่วนควบแน่นซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำกว่าก้อนไอจะเกิดการควบแน่นและยุบตัวลงไปในที่สุด ดังนั้นสารทางานที่เป็นก้อนไอจึงสามารถถ่ายเทความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่อีกปลายด้านหนึ่งได้ อุณหภูมิระหว่างส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่นมีค่าแตกต่างกันลักษณะการเคลื่อนตัวของก้อนไอ (Vapor slug) มีลักษณะการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันโดยตลอด เนื่องจากถูกบังคับทิศทางโดยการไหล

โดยวาล์วก้นกลับเป็นผลให้ก้อนไอสามารถเคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นและประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของก้อนไอจากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นมีความถี่เพิ่มมากขึ้นทำให้สามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าท่อความร้อนแบบสันชนิดอื่นดังแสดงในภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 แสดงการทำงานของท่อความร้อนแบบสันวงจรที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ

การศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อ (COHP/CV)

Pipatpaiboon et al. (2004 : ไม่ปรากฏเลขหน้า) ศึกษาถึง ผลของมุมเอียงและจำนวนวาล์วก้นกลับที่มีผลต่อลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสันวงจรที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ (COHP/CV) ใช้ท่อทองแดงเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.03 mm ความยาวของส่วนทำระเหย 50 mm จำนวนโค้งเลี้ยว 40 โค้งเลี้ยวความยาวรวม 10 เมตร วาล์วก้นกลับ 2,5,8 และ 10 ชุด มุมเอียง 0-90 องศา อัตราส่วนการเติมสารทำงาน 50% ของปริมาตร โดยรวมภายในท่อ จากการทดลองพบว่าท่อความร้อนแบบสันวงจรที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ 2 ชุดให้ปริมาณการถ่ายเทความร้อนสูงที่มุม 90 องศา ท่อ (COHP/CV) ที่ติดตั้งวาล์ว 8 และ 10 ชุดจะสามารถทำงานได้ดีเมื่อมุมเอียงการทำงานลดลง

จากการวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการนำพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้ในรูปแบบต่าง ๆ มาก เช่น การอบแห้ง หรือการทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งมีลักษณะตัวรับรังสีเป็นแบบแผ่นเรียบ หรือแบบลอน ซึ่งยังไม่มีนักวิจัยท่านใดได้ทำการศึกษาดัวยรับรังสีที่เป็นแบบท่อแก้ว โดยใช้ท่อความร้อนแบบสันวงจรที่ติดตั้งวาล์วก้นกลับ (COHP/CV) เป็นชุดส่งถ่ายความร้อนเพื่อทำน้ำร้อน ดังนั้นการศึกษากาทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้จึงมุ่งเน้นที่จะทำการศึกษหาพลังงานที่ท่อรับ

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

วิเคราะห์ประสิทธิภาพของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

แผงรับรังสีแสงอาทิตย์เป็นลักษณะของเครื่องเปลี่ยนความร้อนชนิดหนึ่ง โดยเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ ให้กลายเป็นความร้อนเพื่อนำมาใช้งานซึ่งส่วนใหญ่จะถูกออกแบบให้ใช้งานในระบบทำน้ำร้อน หรือในกระบวนการความร้อนในทางอุตสาหกรรมการใช้ความร้อนในการสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ความร้อนสามารถนำความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถสะสมพลังงานแสงอาทิตย์ในแผ่นดูดรังสีแล้วถ่ายเทพลังงานให้กับน้ำ

ในการวิเคราะห์แผงรับรังสีอาทิตย์จะต้องพิจารณาถึง ปัญหาความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีค่าความเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และมีค่าต่ำ และปัญหาสำคัญ คือการแผ่รังสี แผงรับแสงอาทิตย์ จึงถูกออกแบบสามารถผลิตพลังงานที่ใช้อุณหภูมิปานกลาง ต้องการบำรุงรักษาน้อย และอาจจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเทคโนโลยีใหม่ ๆ แต่ตัวแปรสำคัญในการเลือกใช้ ต้องออกแบบแผงให้ราคาถูก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการทำนายสมรรถนะของแผง

ส่วนประกอบที่สำคัญในการออกแบบ

1. แผ่นดูดรังสี ควรออกแบบให้มีความสามารถในการดูดรังสีแสงอาทิตย์มากที่สุดเพื่อถ่ายเทให้กับท่อทางความร้อน ซึ่งในที่นี้เราจะใช้แผ่นดูดเป็นแผ่น อลูมิเนียมเรียบ เพื่อที่จะสะท้อนแสงเข้าหาท่อความร้อนที่ได้ดียิ่งขึ้น พิจารณาที่หาซื้อง่ายและราคาถูก

2. ท่อแก้ว จะทำหน้าที่รวมแสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของแผงในการดูดรังสีสูงขึ้นทั้งยังลดการสูญเสียเนื่องจากการพาความร้อนของอากาศระหว่างแผ่นดูดรังสีกับแก้ว และการสูญเสียเนื่องจากการแผ่ความร้อนเหนือแผ่นดูดรังสี
ท่อ PVC ปิดหัวท้าย ช่วยลดการสูญเสียความร้อนเนื่องจากการนำความร้อน ไม่ให้ความร้อนออกจากท่อแก้วหรือแผ่กระจายความร้อนที่สามารถใช้ประโยชน์ได้

คำนวณจากปริมาณความร้อนที่ได้รับ

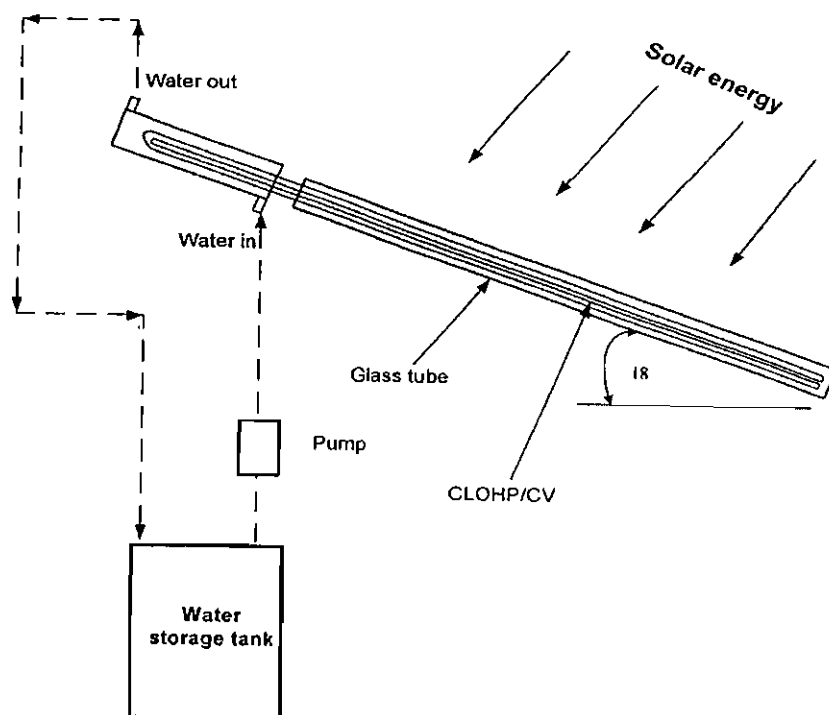
$$Q = \dot{m} c_p (T_{w.out} - T_{w.in}) \dots\dots\dots (3.1)$$

- เมื่อ Q_w = ค่าปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ
 $\dot{m}$ = อัตราการไหล
 C_p = ค่าความร้อนจำเพาะ
 $T_{w.out}$ = อุณหภูมิน้ำเข้าที่แลกเปลี่ยนความร้อน
 $T_{w.in}$ = อุณหภูมิน้ำออกที่แลกเปลี่ยนความร้อน

ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรับรังสี

$$Q_1 = GA \dots\dots\dots (3.2)$$

- เมื่อ G = ความเข้มของรังสี
 A = พื้นที่ของแผงแสงอาทิตย์

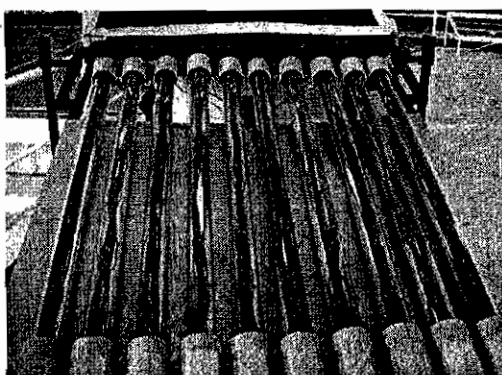


ภาพประกอบ 4 แสดงการถ่ายเทความร้อนของแผงรับรังสี

อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1. ท่อแก้วทรงกลม แผ่นอะลูมิเนียมและท่อทองแดง

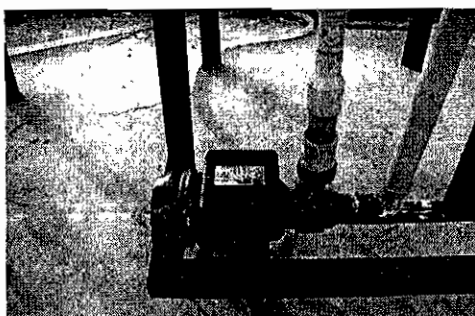
ประกอบด้วยถังเก็บน้ำร้อน และท่อแก้วทรงกลม ยาว 1.5 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 58 มิลลิเมตร ในส่วนของแผงรับรังสีนี้ ประกอบด้วยแผ่นคูริงสี และถังแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่แผ่นคูริงสีมีลักษณะแผ่นอะลูมิเนียมขนาด 0.1×1.5 ตารางเมตร และท่อความร้อนใช้ท่อทองแดงเป็นท่อความร้อนชนิดสันปลายปิดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตรจำนวน 6 โค้งเลี้ยวของไหลทำงานภายในท่อเป็น สาร %R-134a ในสภาพของเหลวไอ



ภาพประกอบ 5 แสดงแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

2. ปั๊มน้ำ (Pump)

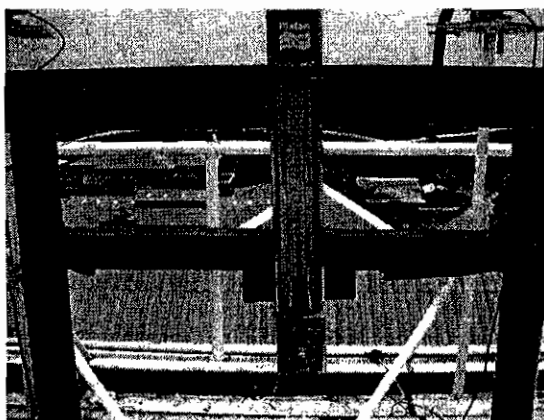
มีหน้าที่ในการส่งผ่านเข้าไปยังถังแลกเปลี่ยนความร้อน และทำให้เกิดการไหลเวียนของน้ำในระบบทำน้ำร้อนพลังงานอาทิตย์ ในการทดลองนี้ใช้ปั๊มน้ำที่ถังเก็บในตัวและควบคุมอุณหภูมิน้ำเข้าได้



ภาพประกอบ 6 แสดงปั๊มน้ำ

3. เครื่องวัดอัตราการไหล (Flow meter)

เครื่องวัดอัตราการไหลนี้จะทำหน้าที่วัดปริมาณการไหลเข้าสู่ถังแลกเปลี่ยนความร้อนในการทดลองนี้ใช้เครื่องวัดอัตราการไหล 2 ตัว ตัวสามารถอ่านค่าอัตราการไหลได้ในช่วง 0.1 – 1.5 ลิตร/นาที่ ส่วนตัวที่สองสามารถอ่านค่าอัตราการไหลในช่วง 2 – 40 ลิตร



ภาพประกอบ 7 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหล

4. ไพรานอมิเตอร์ (pyranometer)

เครื่องวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (Pyrometer) ยี่ห้อ EKO รุ่น MS-802 สำหรับใช้ในการวัดค่ารังสีรวม (Global Solar Radiation) ในขณะที่ทำการทดลองการรับรังสีแสงอาทิตย์



ภาพประกอบ 8 แสดงไพรานอมิเตอร์

5. เครื่องบันทึกข้อมูล

เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DX230 มี 20 Channel สำหรับใช้บันทึกอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้า ทางออก และภายในตัวเก็บรังสี คือ ช่วงของการไหลของอากาศของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ ในท่อของกระป๋องอะลูมิเนียม ผิวของกระจก และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพประกอบ 9 แสดงเครื่องบันทึกข้อมูล รุ่น DX230

6. เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)

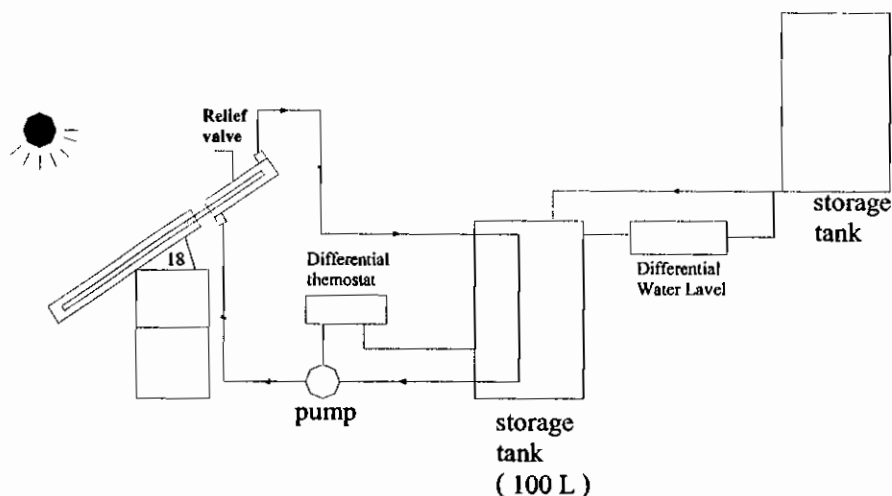
เป็นอุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิ ประกอบด้วยโลหะสองชนิดที่แตกต่างกัน ในการทดลองนี้ใช้เฉพาะ Type K

7. เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)

เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความเร็วลม ยี่ห้อ Digicon รุ่น DA-42 Vanes ใช้ในการวัดความเร็วอากาศแวดล้อม รอบตัวเก็บรังสีอาทิตย์ โดยติดตั้งจากพื้น 1.5 เมตร และทิศทางตั้งฉากกับด้านข้างของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ดังแสดงในภาพประกอบที่ 16 ซึ่งในการทดลองนี้ใช้ยี่ห้อ Testoterm type 4510



ภาพประกอบ 10 แสดงเครื่องวัดความเร็วลม



ภาพประกอบ 11 แสดงระบบทำน้ำร้อนและการติดตั้งเครื่องมือ

การติดตั้งอุปกรณ์และวิธีทดสอบ

การติดตั้งอุปกรณ์

1. นำสายเทอร์โมคัปเปิลมาติดตั้งยังแผงรับรังสีแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลมที่ติดตั้งท่อความร้อนชนิดสั้นวงรอบแบบติดตั้งวาล์วก้นกลับยังจุดการติดตั้งอุปกรณ์และวิธีทดลอง

1.1 ต่าง ๆ ดังนี้

ท่อแก้ว	4 จุด
แผ่นดูดรังสีแสงอาทิตย์	5 จุด
ส่วนของ condenser	3 จุด
ที่ขาเข้าและขาออกถึงแลกเปลี่ยนความร้อน	2 จุด
ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน	5 จุด

และติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องอ่านข้อมูล พร้อมติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลของอุณหภูมิอากาศอีก 2 สาย

1.2 นำแผงรับรังสีไปติดตั้งเพื่อรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยหันแผงหันไปทางทิศใต้ และทำมุมเอียง 18 องศา กับแนวระดับติดตั้งปั๊มและเครื่องวัดอัตราการไหลเข้ากับถังแลกเปลี่ยนความร้อนที่อุณหภูมิขาเข้าและขาออก

1.3 ติดตั้งไพรานอมิเตอร์ให้ได้รับกับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์และต่อสายเข้ากับเครื่องอ่านข้อมูล

1.4 ติดตั้งเครื่องวัดความเร็วลม โดยหันหน้าในทิศทางเดียวกับแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์

วิธีการทดลอง

1. จากภาพประกอบ เปิดวาล์วให้น้ำไหลที่ระดับอัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที่ทางด้านล่าง และน้ำก็จะไหลออกทางด้านบน

2. เดินเครื่องปั้มน้ำเพื่อให้อัดเข้าถังแลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเห็นน้ำไหลออกทางวาล์วหมายเลข 3 แสดงว่าน้ำเต็มถังแล้ว

3. รอให้ระบบน้ำเข้าสู่สภาวะการไหลคงตัว

4. ปรับตัวอัตราการไหลของน้ำให้คงที่ที่ระดับ 0.61 ลิตร/นาที่

5. ทำการวัดและบันทึกค่าข้อมูลที่จุดต่าง ๆ ของเครื่องทำน้ำร้อนและอุณหภูมิอากาศ

6. บันทึกความต่างศักย์ที่อ่านได้จากเครื่องอ่านข้อมูล ที่ต่อเข้ากับไพรานอมิเตอร์ซึ่งค่านี้จะต้องแปลงค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์

7. ทำการวัดบันทึกความเร็วลมบริเวณเหนือแผงรับรังสี

8. ทำการบันทึกค่าต่าง ๆ ข้างต้นทุก ๆ 30 นาที ในช่วงเวลา 8.00 – 16.00 น.

9. นำผลการทดลองที่ได้ในแต่ละวันมาคำนวณเพื่อหาค่าต่าง ๆ

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

ผลการทดลอง

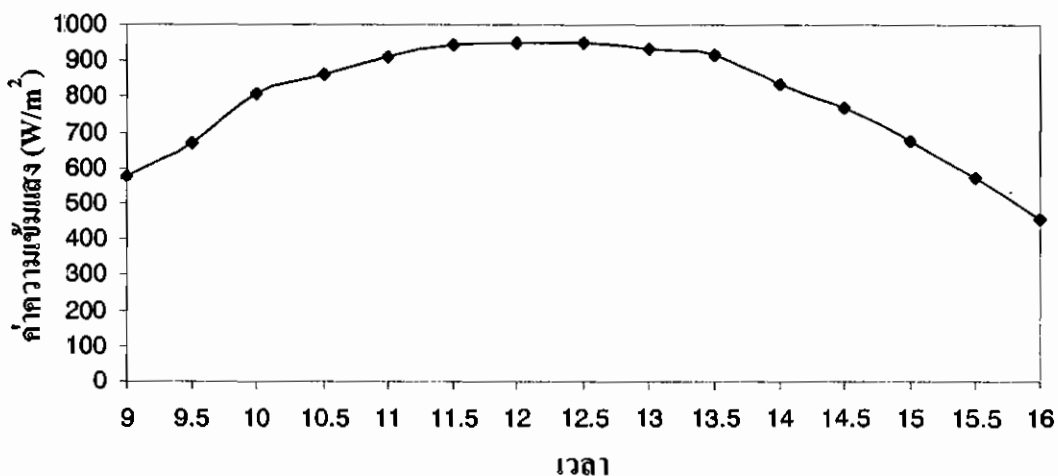
ในการทดสอบนี้เริ่มทำการทดลองตั้งแต่เวลา 8.00 – 16.00 น. และทำการบันทึกข้อมูล ทุก ๆ 30 นาที โดยอัตราการไหล เท่ากับ 0.61 ลิตร / นาที วันที่ทำการทดสอบ คือ

วันที่ 30 มีนาคม 2550 มุม 18 องศา ถึง

วันที่ 5 เมษายน 2550 มุม 18 องศา

ค่าแสงอาทิตย์แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสี (G) เฉลี่ยในช่วงทำการทดลอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับเวลา



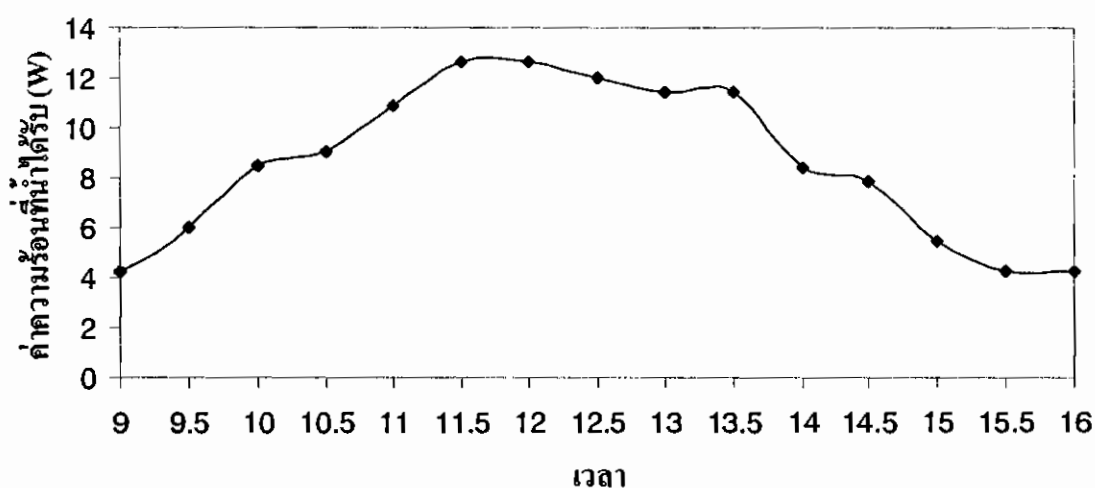
กราฟ 1 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา

จะเห็นว่าในแต่ละวันค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ที่แผงได้รับจะไม่เท่ากัน เช่นบางวันที่สภาพอากาศท้องฟ้าสว่างและมีอากาศร้อนค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากจะทำให้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงรับรังสีมีค่ามากขึ้นด้วย แต่บางวันที่มีสภาพอากาศไม่ค่อยดีอากาศไม่ร้อน ทำให้ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงรับรังสีมีค่าน้อย และจากกราฟค่าที่ได้ ช่วงเวลา 8.00 น. จะมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงรับรังสี ประมาณ $390.62 W/m^2$ เมื่อเวลาผ่านไป ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาโดยช่วงเวลา 12.30 น. จะมีค่าสูงที่สุดแล้วก็จะลดลง

ช่วงเวลา 8.00 น. จะมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผงรับรังสี ประมาณ 390.62 W/m^2 เมื่อเวลาผ่านไป ก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาโดยช่วงเวลา 12.30 น. จะมีค่าสูงที่สุดแล้วก็จะลดลง

ค่าความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) เฉลี่ยในช่วงทำการทดลอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา

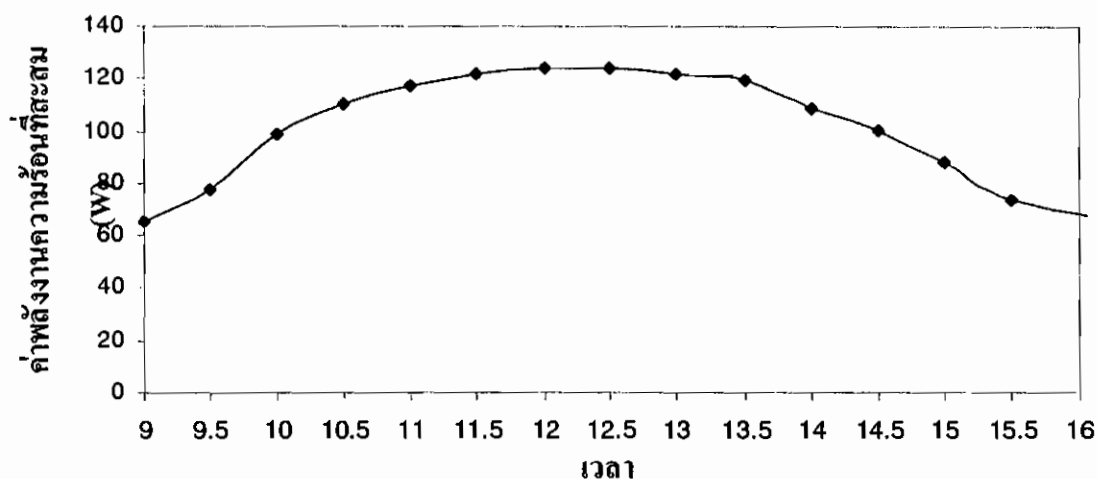


กราฟ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา

จากกราฟ 2 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับในอัตราการไหลของน้ำที่เท่ากันของมุมที่แตกต่างกันจะเห็นได้ว่าที่เวลา 10.00 น. ค่าความร้อนที่น้ำได้รับนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรับรังสีมีค่าใกล้เคียงกัน และที่เวลา 12.30 น. ค่าความร้อนที่น้ำได้รับที่อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที จะได้ค่าความร้อนที่สูงที่สุดที่ 19.67 W และได้ค่าความร้อนที่น้อยที่สุดจะได้ค่าความร้อน 5.51 W สาเหตุเนื่องจากขึ้นอยู่กับค่ามวล (m) ของน้ำและการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างน้ำเข้า (T_{in}) และอุณหภูมิน้ำออก (T_{out}) และจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในวันที่มีอากาศร้อน จะทำให้ค่าความร้อนที่น้ำได้รับ Q_w ก็จะมีค่าสูงเพราะจะทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงและค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำในถัง มีค่าที่แตกต่างกันมาก ที่เวลา 12.00 น. ค่า Q_w จะมีค่าสูงเพราะว่าค่าของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรับรังสีมีค่าสูง และเวลา 8.00 น. ค่าความร้อนที่น้ำได้รับ จะมีค่าต่ำและจะมีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามเวลา

ค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสี (Q_{abs}) เฉลี่ยในช่วงทำการทดลอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา

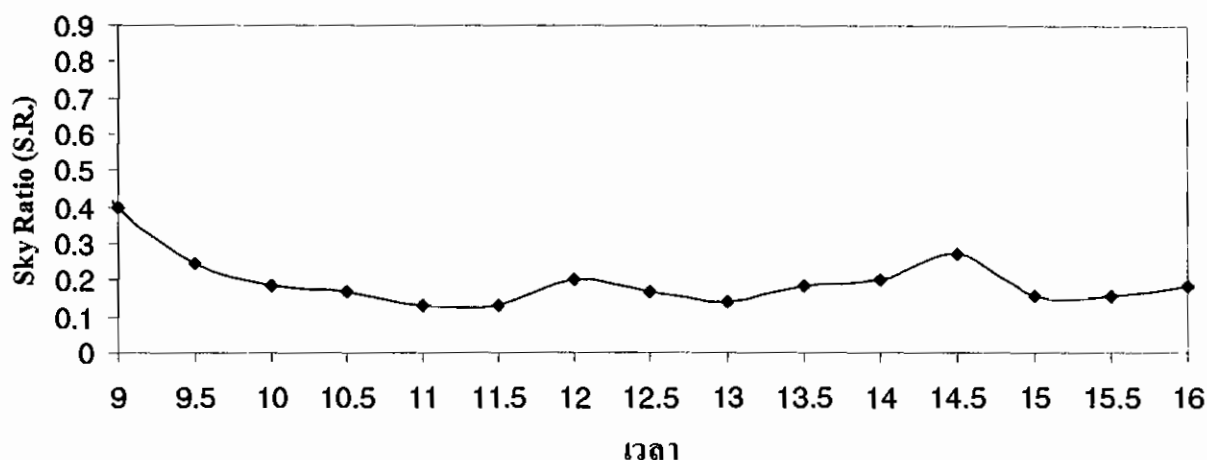


กราฟ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา

จากกราฟ 3 จะเห็นว่าค่าความร้อนที่สะสมของแผงรับรังสีในแต่ละวันมีค่าความร้อนสะสมของแผงรับรังสีมีค่าไม่เท่ากันซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะเห็นว่าตอนเช้าที่เวลา 8.00 น. ค่าความร้อนที่สะสมของแผงรับรังสีจะมีค่าใกล้เคียงกัน และจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ค่าที่สูงที่สุดอยู่ที่ มีค่าเท่ากับ 12.67 W และค่าความร้อนสะสมของแผงรับรังสี มีปัจจัยอย่างอื่นด้วย เช่น มุมของเส้นรัง มุมเอียงของแผงรับรังสี มุมชั่วโมง มุมเดคลิเนชัน และมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ ซึ่งค่าในแต่ละวันแต่ละชั่วโมงและมุมเอียงจะมีค่าไม่เท่ากัน

ค่าดัชนีบ่งชี้สภาพท้องฟ้า Sky Ratio (S.R.) เฉลี่ยในช่วงทำการทดลอง

กราฟแสดงค่าดัชนีบ่งชี้สภาพท้องฟ้ากับเวลา

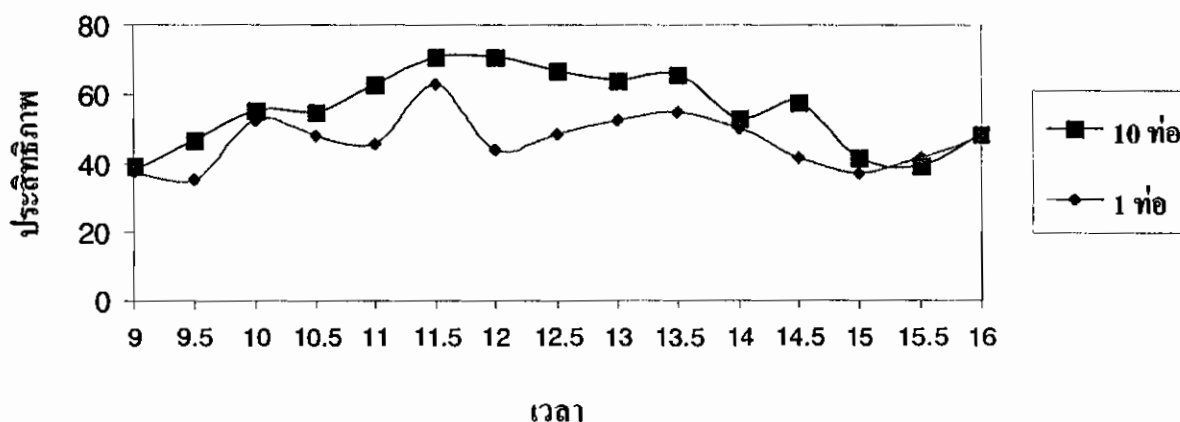


กราฟ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีบ่งชี้สภาพท้องฟ้ากับเวลา

จากกราฟ 4 แสดงค่าดัชนีบ่งชี้สภาพท้องฟ้าในช่วงเวลา 9.00 – 16.00 น. เป็นกราฟเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งสภาพท้องฟ้าจะแบ่งเป็น 3 แบบ คือ ฟ้าใส ฟ้ามีเมฆบางส่วน และฟ้าครึ้ม โดยใช้ดัชนีบ่งชี้ คือ สกายเรโซ (Sky Ratio, S.R.) ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ถ้า $S.R. \leq 0.3$ จะมีสภาพท้องฟ้าใส แต่ถ้า $0.3 < S.R. < 0.8$ จะมีสภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน และ $0.8 \leq S.R.$ จะมีสภาพท้องฟ้าครึ้ม จากกราฟจะเห็นได้ว่าในช่วงที่ทำการทดลองเวลา 9.00 น. สภาพท้องฟ้าจะมีลักษณะมีเมฆบางส่วน แต่หลังจาก 9.30 น. ถึง 16.00 น. จะมีสภาพท้องเป็นแบบฟ้าใส ท้องฟ้าลักษณะเช่นนี้เหมาะที่จะทำการทดลอง ซึ่งจะทำให้เครื่องทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและจะได้ค่าประสิทธิภาพสูง

ประสิทธิภาพของแผงรับรังสี (η) เฉลี่ยในช่วงทำการทดลอง

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลา



กราฟ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลา

จากกราฟ 4 แสดงค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลมที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งว่าลวกกันกลับ ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงรับรังสีแบบ 10 ท่อของช่วงที่ทำการทดลองในเวลา 9.00 – 16.00 น. จะได้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุด 70.59 % แต่แผงรับรังสีแบบ 1 ท่อมีค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 62.93% ส่วนค่าประสิทธิภาพรวมของแผงรับรังสีแบบ 10 ท่อ จะมีค่าประสิทธิภาพสูงสุดในวันที่ 04 /04/2548 ซึ่งมีค่าประสิทธิภาพรวมของแผงรับรังสีเท่ากับ 63 % แต่แผงรับรังสีแบบ 1 ท่อมีค่าประสิทธิภาพรวมสูงสุดเท่ากับ 57.8% จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแบบ 10 ท่อ ทั้งค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยและประสิทธิภาพรวมจะมีค่ามากกว่าแผงรับรังสีแบบ 1 ท่อ อาจจะเกี่ยวเนื่องถึงปัจจัยหลายอย่าง เช่น จำนวนท่อ มุมของเส้นรัง มุมเอียงของแผงรับรังสี มุมชั่วโมง มุมเดคลิเนชัน และมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ ซึ่งค่าในแต่ละวันแต่ละชั่วโมงและมุมเอียงจะมีค่าไม่เท่ากันค่าของ ΔT จึงได้น้อย แต่พลังงานแสงอาทิตย์มาก จากสูตร $\eta = m^0 cp(T_{w,out} - T_{w,in}) / GA$ จะเห็นว่าค่า GA มากเท่าใดค่าประสิทธิภาพก็มีค่าน้อย

วิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์

รายการ	ค่าใช้จ่าย (บาท)
ค่าวัสดุ	67,301
ค่าจ้างช่าง	9,150
รวม	76,451

∴ จากการคำนวณจากสมการ

$$\text{ระยะเวลาที่คุ้มทุน} = \sqrt{\frac{2P}{m'}} \dots\dots\dots(4.1)$$

เมื่อ

P = ต้นทุนในการผลิต

m' = จำนวนค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นทุกปีของค่าซ่อมบำรุง

จากการคำนวณใน ภาคผนวก ข. จะเห็นได้ว่าระยะเวลาที่คุ้มทุนประมาณ 12 ปี จากต้นทุน 76,451 บาท และค่าซ่อมบำรุงทุกปี เช่น ค่าเปลี่ยนถ่ายสารทำงาน ระบบทางเดินของน้ำ ค่าบำรุงรักษา ปัมพ์น้ำและชุดควบคุมอุณหภูมิ ดังนั้น ถ้าเราใช้งานเกินกว่า 12 ปี ค่าซ่อมบำรุงอาจจะสูงกว่า ประสิทธิภาพที่จะได้รับจากเครื่องทำน้ำร้อนเครื่องนี้ เพราะฉะนั้นเครื่องนี้ระยะใช้งานที่เหมาะสมคือ 12 ปี ซึ่งไม่คุ้มกับการลงทุน แต่เครื่องที่สร้างขึ้นมานี้เป็นเพียงเครื่องต้นแบบ จะเห็นว่ายังจะต้องได้รับการพัฒนาในการเลือกใช้วัสดุอุปกรณ์และชิ้นส่วนประกอบ ของระบบให้เหมาะสมและมีราคาถูกลงกว่านี้ ก็จะสามารถนำเครื่องต้นแบบนี้ไปสร้างในเชิงพาณิชย์ได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบศึกษาระบบของแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลมที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสัณวรูปที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ ขนาดของท่อรับรังสีแสงอาทิตย์ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 58 มิลลิเมตร ยาว 1.5 เมตร ตัวนำความร้อน คือ ท่อทองแดงที่ใช้ทำมาจากทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3 mm ติดตั้งเช็ดวาล์ว 4 ตัว สารทำงานคือ R 134a ซึ่งพอสรุปได้ดังนี้

ค่าความร้อนที่ตกกระทบบนแผงรังสี (Q_r) แต่ละวันจะมีค่าไม่เท่ากันซึ่งจะเห็นว่าค่าพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดที่มุมเอียง 18 องศา มีค่าเท่ากับ 19.68W หลังจากนั้นค่าพลังงานแสงอาทิตย์ก็มีค่าลดลง ค่าพลังงานแสงอาทิตย์บางวันที่สภาพอากาศท้องฟ้าสว่างและมีอากาศร้อนค่าความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์มีค่ามากจะทำให้ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผงรังสีมีค่ามากขึ้นด้วย แต่บางวันที่มีสภาพอากาศไม่ค่อยดีอากาศไม่ร้อน ทำให้พลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผงรังสีมีค่าน้อย เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ รวมถึงความเร็วของลมของแต่ละวันที่ไม่เท่ากัน ดังนั้นค่าความร้อนที่ได้ในแต่ละวันก็จะไม่เท่ากัน ค่าความร้อนที่ได้รับ (Q_w) นั้นเราจะพิจารณาที่มุมในการทดลอง ซึ่งจะเห็นว่าค่าความร้อนที่น้ำได้รับมีค่าสูงสุดที่มุมเอียง 18 องศา มีค่าเท่ากับ 12.67 W และหลังจากนั้นก็จะมีค่าลดลงตามค่าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งค่าความร้อนที่ได้รับจะเพิ่มขึ้นด้วยเนื่องจากมีค่า มวล และค่าของ C_p การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำ (ΔT) แต่สภาพอากาศในวันที่มีอากาศร้อน จะทำให้เห็นค่าความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) ก็จะมีค่าสูง เพราะจะทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงและค่าเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำในถังมีค่าที่แตกต่างกันมาก ค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลมที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสัณวรูปที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ (η) ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีในตอนเริ่มทดลองมีค่าสูงสุดเพราะว่าทำการติดตั้งชุดทดลองก่อนที่จะมีการปล่อยน้ำมาแลกเปลี่ยนโดยตรง Condenser ทำให้ค่าความร้อนสะสมที่ชุดแลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูงมาก เมื่อเริ่มการทดลองค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีมีค่าสูงและหลังจากนั้นก็ลดลงจนถึงจุดสมดุล หลังจากนั้นค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีก็จะขึ้นอยู่กับค่าพลังงานแสงอาทิตย์ และค่าประสิทธิภาพก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ค่าประสิทธิภาพรวมของแผงรับรังสี มีค่าสูงสุด มีค่าเท่ากับ 63% ค่าที่ได้ขึ้นอยู่กับค่าความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) และการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของอุณหภูมิของน้ำ (ΔT) ค่าความร้อนที่สะสมของแผงรับรังสีในแต่ละวันมีค่าความ

ร้อนสะสมของแผงรับรังสีมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าพลังงานแสงอาทิตย์จะเห็นว่าตอนเช้า ค่าความร้อนที่สะสมของแผงรับรังสีจะมีค่าใกล้เคียงกัน และจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นซึ่งจะขึ้นอยู่กับค่าความร้อนที่ตกกระทบแผงรังสี (Q_1) แต่ละวันเนื่องจากมีปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิของอากาศ ความเข้มของแสงอาทิตย์รวมถึงความเร็วลมของแต่ละวัน ซึ่งในการทดลองจะเห็นได้ว่าถ้าจะนำไปใช้งาน ควรใช้มุม 18 องศา เพราะสามารถติดตั้งบนหลังคาบ้านได้

ข้อเสนอแนะ

1. ในการทดสอบแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ควรกำหนดสภาวะในการทดสอบให้แน่นอนและควบคุมสภาวะนั้นอย่างระมัดระวัง หรือถ้าในกรณีทำการทดสอบเปรียบเทียบกัน สภาวะที่กำหนดจะต้องเหมือนกันและควรทดสอบในวันเดียวกัน
2. ควรมีการเพิ่มพื้นที่ผิวของท่อความร้อนในส่วนที่ควบแน่น โดยการทำเป็นส่วนของครีป เพื่อช่วยในการเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน และช่วยลดอุณหภูมิการทำงานของท่อความร้อน และช่วยลดอุณหภูมิการทำงานของท่อความร้อน ทำให้การกลั่นตัวของสารทำงานเป็นไปอย่างต่อเนื่อง
3. ในการทำจะนำเครื่องทำน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้งานจริง ควรจะมีการทำถังแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีความแข็งแรงและทนต่อแรงดันได้สูงเพื่อความสามารถในการรับอัตราการไหลของน้ำให้ได้มากขึ้นซึ่งจะเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- ณัฐวุฒิ ยืนยง , เสวต นามโยธา การทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์แบบท่อแก้วทรงกลมที่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ติดตั้งวาล์วกันกลับ .
 ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาสารคาม : สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์เครื่องกล (การผลิต) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม , 2548.
- A.balzar, A solar Cooked using Vacumm – Tube Collectrs With Integated Heat pipe Solar Energy Vol.58 , Nos 1-3 , pp.63-68 , 1996.
- Miyazaki , Y., Polasek , F., Operating limits of Oscillating Heat Pipe , Institue of and Astronautical Science, Japan. 2001.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
ตารางการทดสอบและการคำนวณ

ตาราง 1 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง วันที่ 30/03/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที

Time	T_a °C	Q LPM L/m	T absorber (°C)					T glass °C		T water °C		ถึง เก็บ น้ำ	ความ เร็วลม (m/s)	Evaporater °C			Condenser °C		
			A1	A2	A3	A4	A5	Gi	Go	In	out			E1	E2	E3	C1	C2	C3
8.00	33.7	0.61	36.5	35.4	34.7	34.8	35.4	35.3	35.1	27.1	27.2	27.1	1.20	34.7	36.4	34.5	30.1	30.3	30.7
8.30	34.2	0.61	37.2	36.7	35.2	35.8	37.1	36.7	36.3	28.3	28.4	28.3	0.47	35.3	37.3	35.3	30.9	30.7	31.1
9.00	35.8	0.61	38.3	37.9	36.8	36.5	38.4	37.8	37.2	29.3	29.5	29.3	2.78	36.4	38.2	36.9	31.2	31.8	31.9
9.30	38.9	0.61	40.2	40.3	39.9	37.9	40.3	40.7	40.1	30.2	30.4	30.2	1.49	37.8	40.3	39.5	32.1	32.7	32.7
10.00	39.7	0.61	41.1	42.1	40.7	39.9	41.4	42.1	41.9	31.7	31.9	31.7	1.41	39.8	41.2	40.5	33.2	33.5	33.3
10.30	40.9	0.61	42.1	42.5	41.9	40.8	42.3	42.7	42.3	32.9	33.1	32.9	1.03	40.7	42.3	41.3	33.9	34.3	34.5
11.00	41.7	0.61	43.5	43.8	42.7	41.7	43.6	43.5	43.1	33.5	33.8	33.5	0.25	41.5	43.4	42.7	34.5	35.1	35.6
11.30	42.5	0.61	45.2	44.9	43.5	42.5	45.5	44.5	44.3	34.7	35.0	34.7	0.27	42.4	45.2	43.8	35.7	35.9	36.1
12.00	43.9	0.61	45.7	45.2	44.9	43.7	45.8	45.3	45.1	35.5	35.8	35.5	0.48	43.8	45.7	44.3	36.5	36.2	36.9
12.30	44.2	0.61	46.5	45.9	45.2	45.3	46.7	45.7	45.2	36.3	36.5	36.3	0.15	45.3	46.3	45.1	37.3	37.2	37.5
13.00	45.1	0.61	48.9	47.8	46.1	47.1	48.9	46.8	46.3	37.9	38.2	37.9	0.56	47.2	48.7	45.9	38.9	38.7	38.9
13.30	46.2	0.61	49.1	48.9	47.2	47.5	49.3	47.8	47.1	39.1	40.3	39.1	0.15	47.6	49.3	46.1	40.1	39.2	39.7
14.00	47.9	0.61	49.2	49.1	48.9	48.9	49.2	48.2	47.9	40.2	40.4	40.2	0.23	48.8	49.2	47.2	40.9	40.1	40.5
14.30	48.3	0.61	48.7	48.7	49.3	47.7	48.5	48.1	47.3	40.1	40.3	40.1	0.17	47.5	48.5	48.2	41.2	40.9	41.1
15.00	47.1	0.61	48.4	48.2	48.1	46.7	48.2	47.9	47.1	39.7	39.8	39.7	0.89	46.5	48.1	49.1	40.3	40.3	41.9
15.30	46.3	0.61	47.8	47.8	47.3	46.3	47.5	47.3	46.9	39.2	39.3	39.2	1.25	46.3	47.7	48.2	39.7	39.6	40.3
16.00	45.3	0.61	46.5	46.7	46.3	45.7	46.3	46.9	46.1	38.7	38.8	38.7	0.87	45.7	46.3	47.3	39.3	38.9	39.9

ตาราง 2 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่ได้รับ วันที่ 30/03/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที

Time	$G(w/m^2)$	$Q_1(w)$	$\rho(kg/m^3)$	$C_p(kj/kg.^{\circ}C)$	$m(kg/s)$	$\Delta T_w(^{\circ}C)$	S.R.
8.00	456.34	8.67	996.244	4.18	0.010128	0.1	0.80
8.30	565.86	10.75	995.812	4.18	0.010124	0.1	0.52
9.00	592.03	11.24	995.452	4.18	0.010120	0.1	0.34
9.30	752.20	14.29	995.128	4.18	0.010117	0.2	0.22
10.00	829.59	15.76	994.588	4.18	0.010112	0.2	0.22
10.30	860.88	16.35	994.156	4.18	0.010107	0.2	0.16
11.00	912.23	17.33	993.94	4.18	0.010105	0.3	0.18
11.30	947.23	17.99	993.508	4.18	0.010101	0.3	0.17
12.00	807.97	15.35	993.22	4.18	0.010098	0.3	0.30
12.30	801.14	15.22	992.932	4.18	0.010095	0.2	0.32
13.00	942.82	17.91	992.356	4.18	0.010089	0.3	0.14
13.30	893.60	16.97	991.924	4.18	0.010085	0.2	0.14
14.00	851.64	16.18	991.528	4.18	0.010081	0.2	0.15
14.30	773.54	14.69	991.564	4.18	0.010081	0.2	0.15
15.00	672.40	12.77	991.708	4.18	0.010082	0.1	0.16
15.30	569.42	10.81	991.888	4.18	0.010084	0.1	0.18
16.00	465.74	8.84	992.068	4.18	0.010086	0.1	0.19

ตาราง 3 แสดงการคำนวณหามุมตกกระทบ วันที่ 30/03/50 มุม 18 องศา

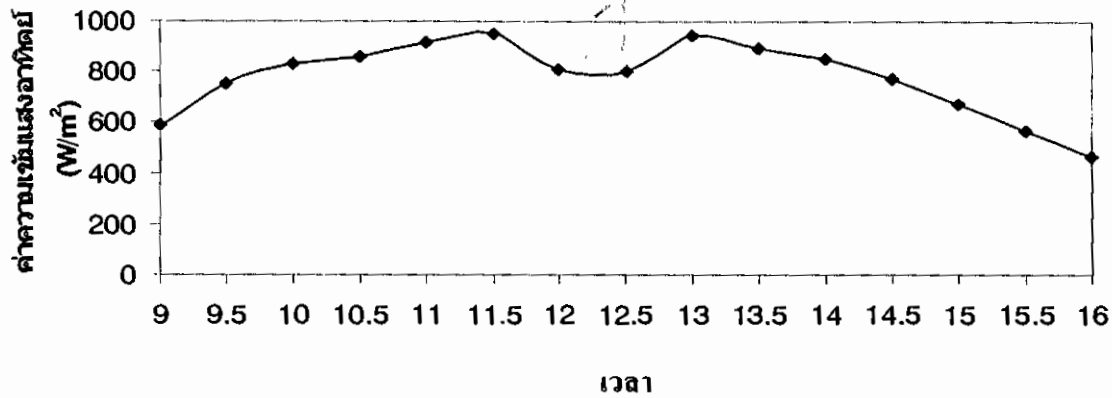
Time	ϕ	n	δ	β	ω	γ	$\cos \theta_1$	θ_1	$K\alpha\tau$	$(\tau\alpha)_n$	$\tau\alpha$
8.00	0.283	89	0.056	0.314	-1.047	1.571	0.204	78.23	0.88	0.87	0.76
8.30	0.283	89	0.056	0.314	-0.968	1.571	0.278	73.87	0.88	0.87	0.76
9.00	0.283	89	0.056	0.314	-0.785	1.571	0.442	63.77	0.88	0.87	0.76
9.30	0.283	89	0.056	0.314	-0.706	1.571	0.508	59.42	0.89	0.87	0.77
10.00	0.283	89	0.056	0.314	-0.523	1.571	0.651	49.40	0.95	0.87	0.82
10.30	0.283	89	0.056	0.314	-0.445	1.571	0.705	45.15	0.98	0.87	0.85
11.00	0.283	89	0.056	0.314	-0.262	1.571	0.816	35.34	0.99	0.87	0.86
11.30	0.283	89	0.056	0.314	-0.183	1.571	0.855	31.20	0.99	0.87	0.86
12.00	0.283	89	0.056	0.314	0	1.571	0.926	22.07	1	0.87	0.87
12.30	0.283	89	0.056	0.314	0.183	1.571	0.967	14.62	1	0.87	0.87
13.00	0.283	89	0.056	0.314	0.262	1.571	0.975	12.72	1	0.87	0.87
13.30	0.283	89	0.056	0.314	0.445	1.571	0.970	13.91	1	0.87	0.87
14.00	0.283	89	0.056	0.314	0.523	1.571	0.958	16.49	1	0.87	0.87
14.30	0.283	89	0.056	0.314	0.706	1.571	0.908	24.65	1	0.87	0.87
15.00	0.283	89	0.056	0.314	0.785	1.571	0.877	28.61	1	0.87	0.87
15.30	0.283	89	0.056	0.314	0.968	1.571	0.785	38.20	0.99	0.87	0.86
16.00	0.283	89	0.056	0.314	1.047	1.571	0.737	42.44	0.98	0.87	0.85

ตาราง 4 สรุปผลการคำนวณ วันที่ 30/03/50 นุ่ม 18 องศา

Time	Q_1 (W)	Q_{abs} (W)	Q_w (W)	η (%)
8.00	8.67	52.02276	4.233504	48.82934
8.30	10.75	64.50804	4.231832	39.36588
9.00	11.24	67.49142	4.23016	37.63488
9.30	14.29	86.8791	8.457812	59.18693
10.00	15.76	102.0396	8.453632	53.6398
10.30	16.35	109.7622	8.449452	51.67861
11.00	17.33	117.6777	12.67167	73.11985
11.30	17.99	122.1927	12.66665	70.40939
12.00	15.35	105.4401	12.66289	82.4944
12.30	15.22	104.5488	8.43942	55.44954
13.00	17.91	123.038	12.65161	70.63992
13.30	16.97	116.6148	8.43106	49.68214
14.00	16.18	111.139	8.427716	52.08724
14.30	14.69	100.947	8.427716	57.37043
15.00	12.77	87.7482	4.214276	33.00138
15.30	10.81	73.45518	4.215112	38.99271
16.00	8.84	59.38185	4.215948	47.69172

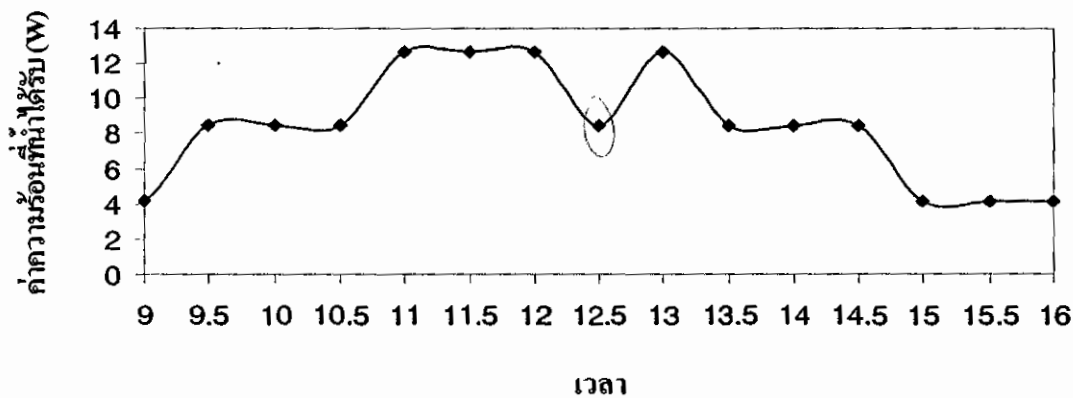
สรุป ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) = 65.85 W/day
 พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย = 128.75 W/day
 ประสิทธิภาพของระบบ (η) = 51.14 %

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา 30/03/2550



กราฟ 6 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรังสีกับเวลา 30/03/2550

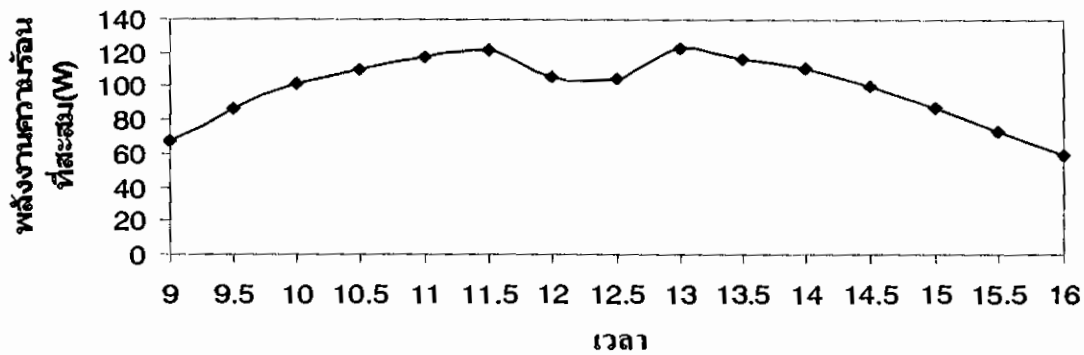
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 30/03/2550



กราฟ 7 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 30/03/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่สะสมแผ่รังสีกับเวลา

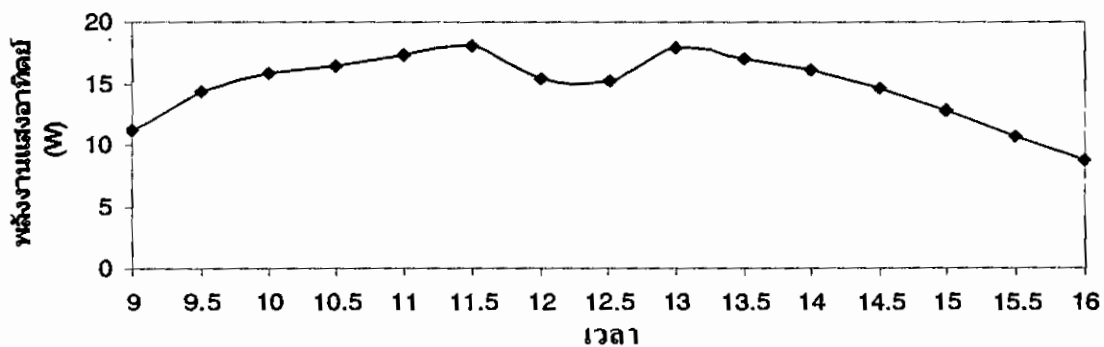
30/03/2550



กราฟ 8 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผ่รังสีกับเวลา 30/03/2550

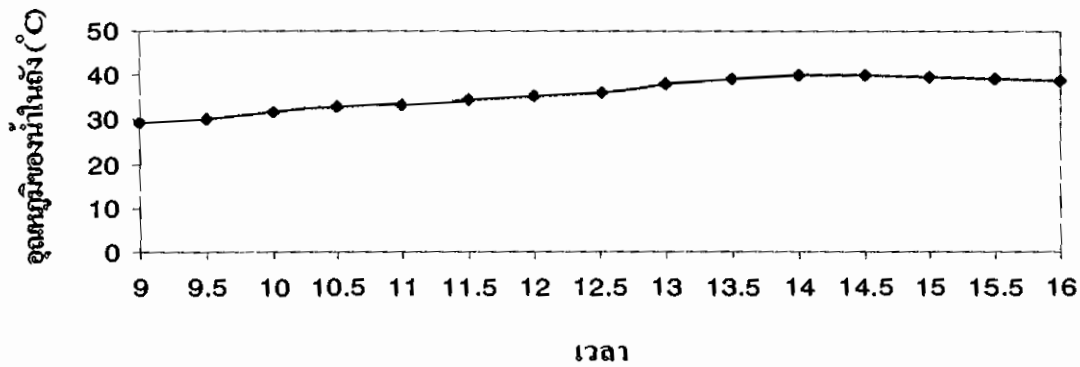
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงกับ

เวลา 30/03/2550



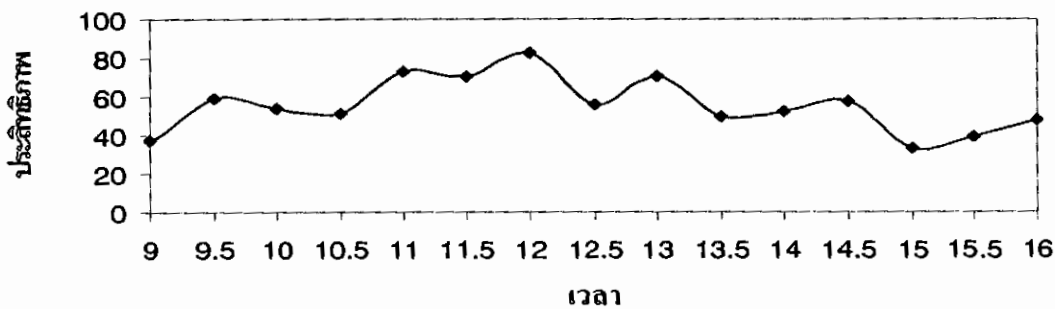
กราฟ 9 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงกับเวลา 30/03/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 30/03/2550



กราฟ 10 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 30/03/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลา 30/03/2550



กราฟ 11 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 30/03/2550

ตาราง 5 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง วันที่ 31/03/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที

Time	T_α °C	Q LPM L/m	T absorber (°C)					T glass °C		T water °C		ถึง เก็บ น้ำ	ความ เร็วลม (m/s)	Evaporater °C			Condenser °C		
			A1	A2	A3	A4	A5	Gi	Go	In	out			E1	E2	E3	C1	C2	C3
8.00	30.1	0.61	32.3	33.8	35.3	34.5	34.1	29.9	29.5	28.3	28.4	28.3	0.34	42.2	43.2	41.9	33.3	34.5	34.2
8.30	30.5	0.61	34.6	35.9	36.8	36.2	36.2	33.5	32.8	29.1	29.2	29.1	0.13	42.7	43.8	42.3	34.5	34.9	34.7
9.00	31.8	0.61	36.5	37.3	38.9	38.5	38.1	34.1	33.5	30.3	30.4	30.3	0.25	45.8	44.7	43.9	36.7	36.8	36.8
9.30	33.2	0.61	39.1	40.5	41.2	40.8	40.5	36.3	35.6	32.1	32.2	32.1	0.15	46.7	45.9	44.8	37.8	37.9	37.6
10.00	35.6	0.61	43.5	47.9	48.6	48.4	48.0	40.1	39.7	35.5	35.7	35.5	0.32	48.9	46.7	45.9	39.9	39.8	39.3
10.30	36.4	0.61	45.2	48.3	49.5	49.0	48.9	42.9	42.1	37.1	37.3	37.1	0.38	49.5	48.7	47.3	40.2	41.1	41.2
11.00	37.7	0.61	48.8	50.6	51.7	51.2	50.7	46.1	45.6	39.4	39.6	39.4	0.25	50.6	49.9	48.9	42.1	43.2	43.5
11.30	38.2	0.61	50.5	52.3	54.5	53.9	53.1	47.2	46.5	39.9	40.2	39.9	0.35	52.3	51.9	50.9	43.5	44.9	44.7
12.00	37.6	0.61	49.7	51.8	53.7	52.6	52.1	46.8	46.3	40.1	40.4	40.1	0.13	52.7	52.1	51.4	45.4	45.8	45.3
12.30	38.0	0.61	50.7	52.1	54.9	53.2	52.6	47.1	46.5	41.5	41.8	41.5	0.35	54.1	53.7	52.9	46.7	47.8	47.2
13.00	39.2	0.61	51.2	52.9	55.6	54.3	54.0	48.6	47.9	43.2	43.4	43.2	0.48	55.6	54.7	53.7	48.9	49.1	49.3
13.30	40.2	0.61	52.1	54.0	56.8	55.6	55.1	49.2	48.4	44.0	44.3	44.0	0.32	57.8	56.3	55.7	49.1	50.2	50.1
14.00	40.0	0.61	51.8	53.9	56.4	55.7	55.5	48.8	48.0	45.3	45.5	45.3	0.42	56.3	55.7	55.3	50.2	52.7	51.2
14.30	39.1	0.61	50.5	53.0	55.9	55.4	55.3	47.9	47.2	46.6	46.8	46.6	0.35	55.9	55.3	54.9	50.3	53.1	52.3
15.00	39.2	0.61	50.7	53.4	56.0	55.6	55.3	48.1	47.6	47.3	47.4	47.3	0.18	54.2	55.1	54.2	50.1	52.6	52.3
15.30	39.0	0.61	49.6	52.5	55.8	55.2	54.8	47.2	46.7	47.3	47.4	47.3	0.35	53.9	53.2	53.8	50.1	51.1	51.8
16.00	38.7	0.61	49.1	51.9	55.0	54.9	54.3	47.0	46.6	47.6	47.7	47.6	0.13	53.5	52.3	52.1	49.9	50.0	50.1

ตาราง 6 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่ได้รับ วันที่ 31/03/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที่

Time	$G(w/m^2)$	$Q_1(w)$	$\rho(kg/m^3)$	$C_p(kj/kg.^{\circ}C)$	$m(kg/s)$	$\Delta T_w(^{\circ}C)$	S.R.
8.00	452.65	8.60	995.812	4.18	0.010124	0.1	0.84
8.30	491.89	9.34	995.524	4.18	0.010121	0.1	0.58
9.00	606.83	11.53	995.092	4.18	0.010117	0.1	0.32
9.30	651.92	12.39	994.444	4.18	0.010110	0.1	0.24
10.00	736.98	14.01	993.220	4.18	0.010098	0.2	0.22
10.30	824.47	15.66	992.644	4.18	0.010092	0.2	0.20
11.00	889.76	16.90	991.816	4.18	0.010083	0.2	0.19
11.30	921.76	17.51	991.636	4.18	0.010082	0.3	0.19
12.00	1002.13	19.04	991.564	4.18	0.010081	0.3	0.45
12.30	1004.98	19.09	991.060	4.18	0.010076	0.3	0.19
13.00	832.86	15.82	990.448	4.18	0.010070	0.2	0.20
13.30	904.84	17.19	990.160	4.18	0.010067	0.3	0.19
14.00	817.07	15.52	989.692	4.18	0.010062	0.2	0.17
14.30	743.67	14.13	989.224	4.18	0.010057	0.2	0.20
15.00	669.56	12.72	988.972	4.18	0.010055	0.1	0.18
15.30	564.44	10.72	988.972	4.18	0.010055	0.1	0.18
16.00	453.94	8.62	988.864	4.18	0.010053	0.1	0.19

ตาราง 7 แสดงการคำนวณหามุมตกกระทบ วันที่ 31/03/50 มุม 18 องศา

Time	ϕ	n	δ	β	ω	γ	$\cos\theta_1$	θ_1	$K\alpha\tau$	$(\tau\alpha)_n$	$\tau\alpha$
8.00	0.283	90	0.063	0.314	-1.047	1.571	0.205	78.13	0.88	0.87	0.76
8.30	0.283	90	0.063	0.314	-0.968	1.571	0.279	73.76	0.88	0.87	0.76
9.00	0.283	90	0.063	0.314	-0.785	1.571	0.443	63.66	0.88	0.87	0.76
9.30	0.283	90	0.063	0.314	-0.706	1.571	0.510	59.31	0.89	0.87	0.77
10.00	0.283	90	0.063	0.314	-0.523	1.571	0.652	49.27	0.95	0.87	0.82
10.30	0.283	90	0.063	0.314	-0.445	1.571	0.706	45.03	0.98	0.87	0.85
11.00	0.283	90	0.063	0.314	-0.262	1.571	0.817	35.19	0.99	0.87	0.86
11.30	0.283	90	0.063	0.314	-0.183	1.571	0.856	31.03	0.99	0.87	0.86
12.00	0.283	90	0.063	0.314	0	1.571	0.928	21.84	1	0.87	0.87
12.30	0.283	90	0.063	0.314	0.183	1.571	0.969	14.29	1	0.87	0.87
13.00	0.283	90	0.063	0.314	0.262	1.571	0.976	12.33	1	0.87	0.87
13.30	0.283	90	0.063	0.314	0.445	1.571	0.972	13.56	1	0.87	0.87
14.00	0.283	90	0.063	0.314	0.523	1.571	0.960	16.19	1	0.87	0.87
14.30	0.283	90	0.063	0.314	0.706	1.571	0.910	24.45	1	0.87	0.87
15.00	0.283	90	0.063	0.314	0.785	1.571	0.879	28.43	1	0.87	0.87
15.30	0.283	90	0.063	0.314	0.968	1.571	0.787	38.05	0.99	0.87	0.86
16.00	0.283	90	0.063	0.314	1.047	1.571	0.739	42.30	0.98	0.87	0.85

ตาราง 8 สรุปผลการคำนวณ วันที่ 31/03/50 มุม 18 องศา

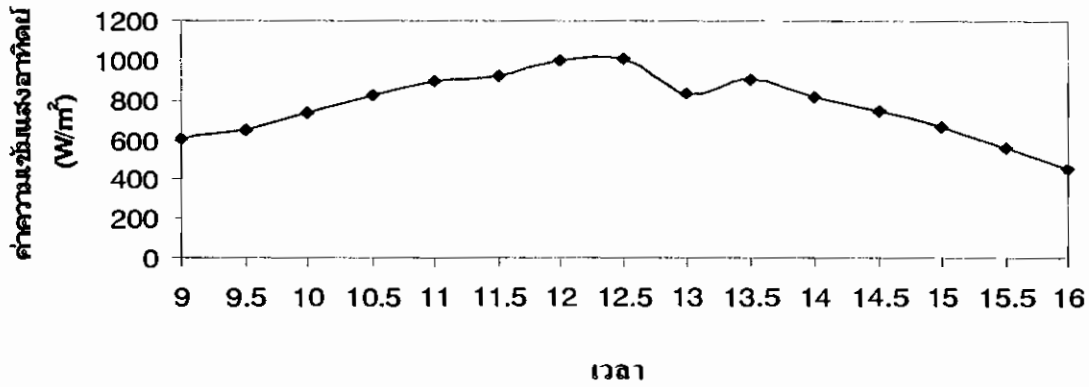
Time	Q_1 (W)	Q_{abs} (W)	Q_w (W)	η (%)
8.00	8.60	51.6021	4.231832	49.20735
8.30	9.34	56.07546	4.230578	45.29527
9.00	11.53	69.17862	4.228906	36.67742
9.30	12.39	75.29676	4.22598	34.10799
10.00	14.01	90.64854	8.441928	60.25645
10.30	15.66	105.1199	8.436912	53.87556
11.00	16.90	114.779	8.429388	49.87804
11.30	17.51	118.907	12.64283	72.20347
12.00	19.04	130.778	12.64157	66.39482
12.30	19.09	131.1499	12.6353	66.18808
13.00	15.82	108.6882	8.41852	53.21441
13.30	17.19	118.0816	12.62402	73.43815
14.00	15.52	106.6276	8.411832	54.19995
14.30	14.13	97.04894	8.407652	59.50214
15.00	12.72	87.37758	4.20299	33.04237
15.30	10.72	72.81276	4.20299	39.207
16.00	8.62	57.87735	4.202154	48.74889

สรุป ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) = 61.94 W/day

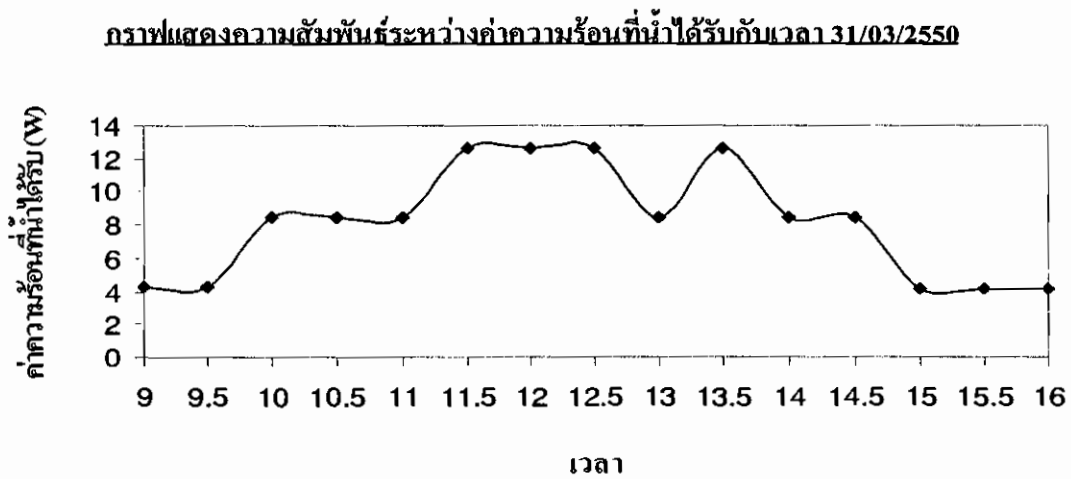
พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย = 114.66 W/day

ประสิทธิภาพของระบบ (η) = 54 %

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา 31/03/2550



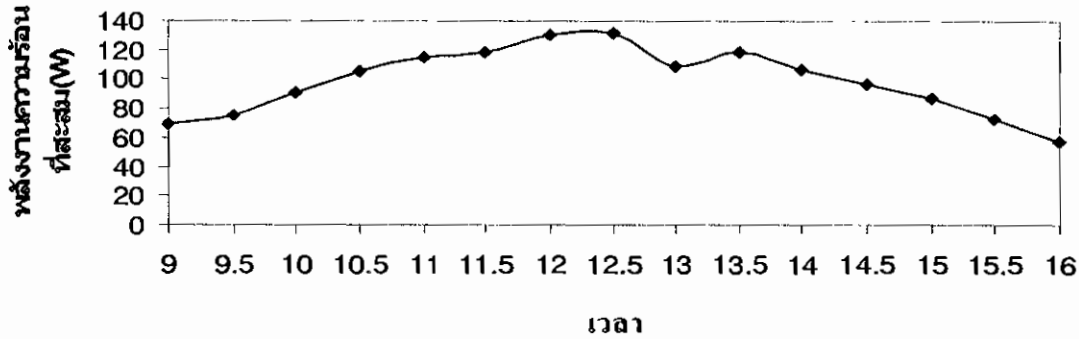
กราฟ 12 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา 31/03/2550



กราฟ 13 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 31/03/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา

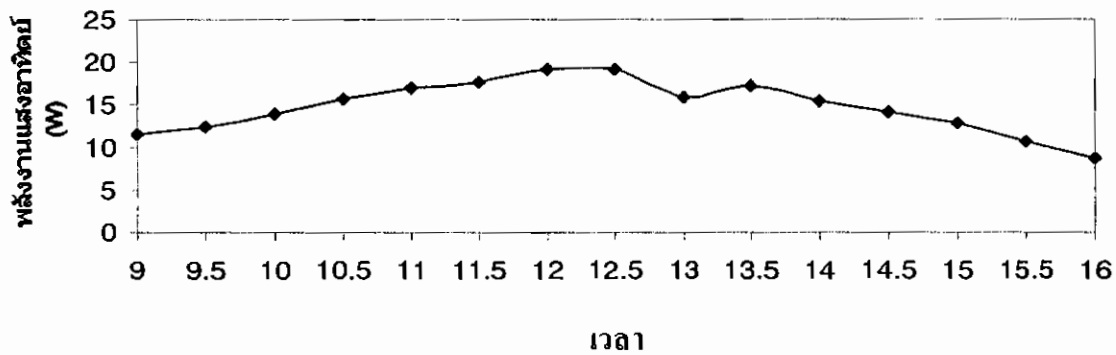
31/03/2550



กราฟ 14 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา 31/03/2550

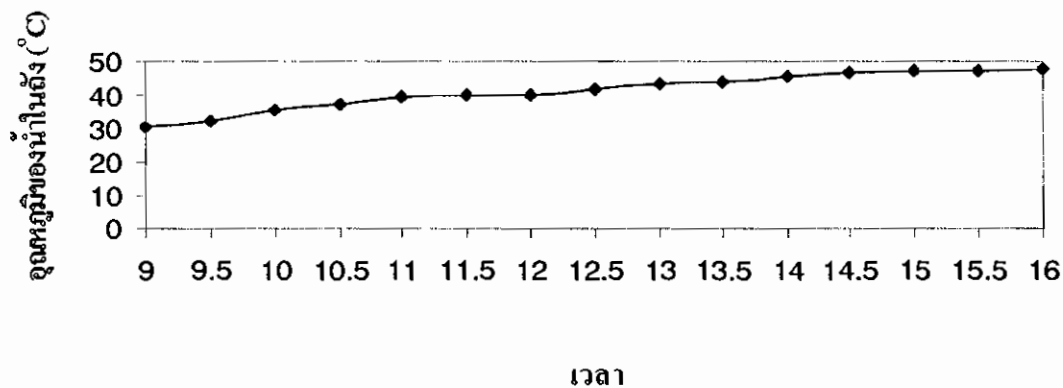
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับแผง

กับเวลา 31/03/2550

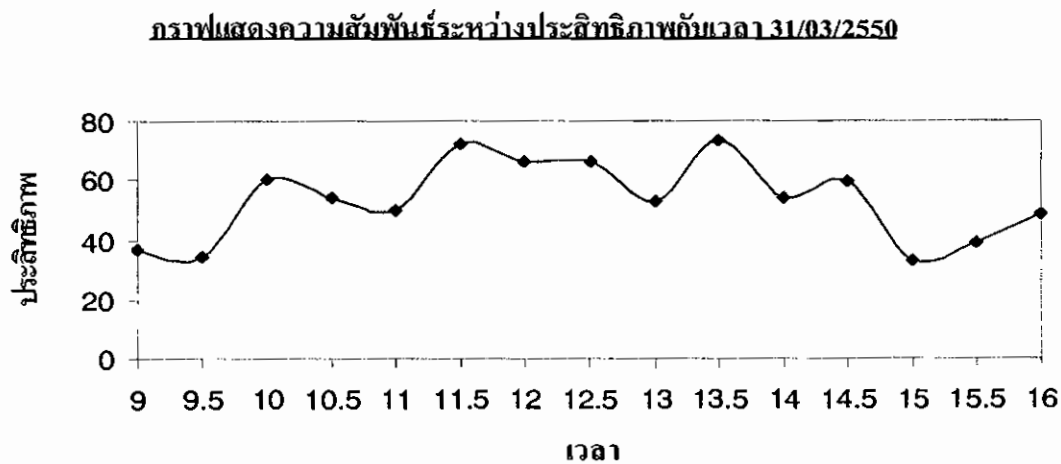


กราฟ 15 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 31/03/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 31/03/2550



กราฟ 16 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 31/03/2550



กราฟ 17 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 31/03/2550

ตาราง 9 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง วันที่ 01/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที

Time	T_a °C	Q LPM L/m	T absorber (°C)					T glass °C		T water °C		ถึง เก็บ น้ำ	ความ เร็วลม (m/s)	Evaporater °C			Condenser °C		
			A1	A2	A3	A4	A5	Gi	Go	In	out			E1	E2	E3	C1	C2	C3
8.00	30.1	0.61	39.5	39.3	38.9	39.4	39.4	39.2	39.0	28.1	28.2	28.1	0.48	39.4	39.4	38.3	35.4	35.3	35.8
8.30	32.9	0.61	40.3	40.4	39.9	40.4	40.5	40.3	40.1	29.2	29.4	29.2	1.2	40.3	40.4	39.9	38.3	38.5	38.9
9.00	34.5	0.61	43.2	43.5	42.9	42.9	43.6	43.4	43.2	31.4	31.6	31.4	0.15	43.5	43.5	42.2	39.9	39.8	39.4
9.30	35.1	0.61	44.1	44.7	43.8	43.8	44.8	44.6	44.4	31.7	31.8	31.7	0.28	44.1	44.5	43.8	40.3	40.7	40.3
10.00	36.7	0.61	45.5	45.8	44.9	44.8	45.9	45.7	45.5	33.8	34.0	33.8	0.47	45.5	45.8	44.9	41.7	41.7	41.5
10.30	36.5	0.61	48.2	48.5	46.7	47.7	48.6	48.4	48.2	35.3	35.6	35.3	1.22	48.2	48.5	46.7	43.1	43.2	43.7
11.00	37.1	0.61	47.7	47.3	46.9	47.5	47.4	47.2	47.0	36.4	36.7	36.4	0.48	47.7	47.7	46.9	43.9	43.5	43.4
11.30	38.1	0.61	48.5	48.7	47.8	48.4	48.8	48.6	48.4	39.7	40.0	39.7	0.42	48.5	48.7	47.2	44.1	44.3	44.2
12.00	38.0	0.61	50.9	50.8	49.9	49.9	50.9	50.7	50.5	40.5	40.8	40.5	0.45	50.4	50.8	49.9	44.9	44.3	44.1
12.30	37.9	0.61	51.2	51.3	50.7	50.9	51.4	51.2	51.0	42.3	42.6	42.3	0.36	51.2	51.3	50.7	45.2	45.4	45.3
13.00	39.1	0.61	52.3	52.7	51.2	51.5	52.8	52.6	52.5	44.4	44.7	44.4	1.56	52.3	52.9	51.9	46.1	46.7	46.7
13.30	41.4	0.61	53.1	53.7	52.7	52.9	53.8	53.6	53.5	45.3	45.5	45.3	0.96	53.2	53.7	52.7	46.5	46.8	46.6
14.00	39.9	0.61	52.1	52.3	51.6	52.3	52.4	52.2	52.0	47.9	48.1	47.9	0.92	52.1	52.3	51.5	45.9	45.5	45.4
14.30	39.0	0.61	50.7	50.1	49.9	51.1	50.2	50.0	49.8	48.8	49.00	48.8	2.27	50.7	50.1	49.9	43.8	43.2	43.3
15.00	38.7	0.61	49.5	49.2	48.3	49.7	49.3	49.1	48.9	49.7	49.9	49.7	0.52	49.5	49.2	48.3	40.2	40.4	40.8
15.30	38.5	0.61	48.9	48.2	47.9	48.3	48.3	48.1	47.9	49.8	49.9	49.8	0.47	48.7	48.9	47.7	40.1	40.3	40.5
16.00	38.2	0.61	48.3	47.9	47.2	47.9	47.5	47.8	47.6	48.9	49.00	48.9	0.71	48.3	47.3	47.1	40.0	40.1	40.1

ตาราง 10 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่ได้รับ วันที่ 01/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาทึ

Time	$G(w/m^2)$	$Q_1(w)$	$\rho(kg/m^3)$	$C_p(kj/kg.^{\circ}C)$	$m(kg/s)$	$\Delta T_w(^{\circ}C)$	S.R.
8.00	378.38	7.18	995.884	4.18	0.010125	0.1	0.9
8.30	501.56	9.53	995.488	4.18	0.010121	0.1	0.6
9.00	620.91	11.79	994.696	4.18	0.010113	0.1	0.3
9.30	725.04	13.77	994.588	4.18	0.010112	0.2	0.1
10.00	860.26	16.34	993.832	4.18	0.010104	0.2	0.1
10.30	875.53	16.63	993.292	4.18	0.010098	0.2	0.1
11.00	931.15	17.69	992.896	4.18	0.010094	0.3	0.1
11.30	970.55	18.44	991.708	4.18	0.010082	0.3	0.1
12.00	984.64	18.71	991.420	4.18	0.010079	0.3	0.1
12.30	968.77	18.41	990.772	4.18	0.010073	0.3	0.1
13.00	967.99	18.39	990.016	4.18	0.010065	0.3	0.1
13.30	932.57	17.72	989.692	4.18	0.010062	0.3	0.1
14.00	866.29	16.46	988.756	4.18	0.010052	0.2	0.1
14.30	781.22	14.84	988.432	4.18	0.010049	0.2	0.1
15.00	706.26	13.42	988.108	4.18	0.010046	0.2	0.1
15.30	588.34	11.18	988.072	4.18	0.010045	0.1	0.1
16.00	486.34	9.24	988.396	4.18	0.010049	0.1	0.1

ตาราง 11 แสดงการคำนวณหามุมตกกระทบ วันที่ 01/04/50 มุม 18 องศา

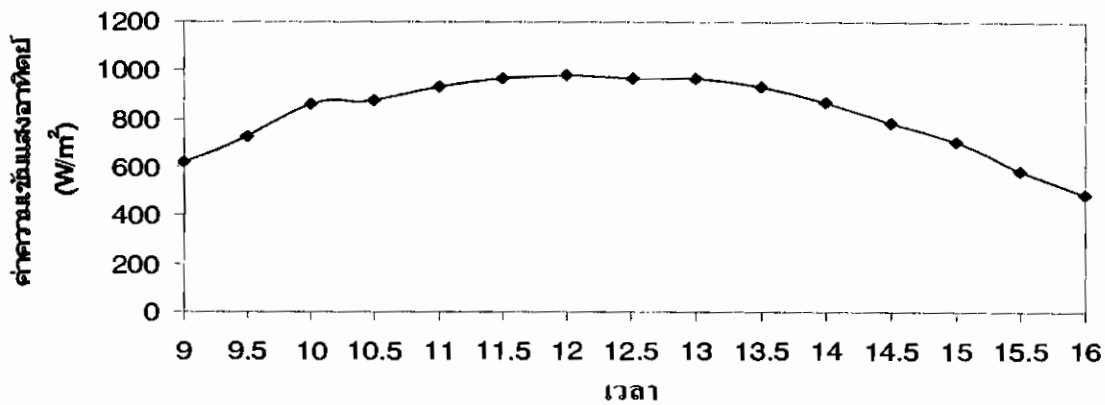
Time	ϕ	n	δ	β	ω	γ	$\cos\theta_1$	θ_1	$K\alpha\tau$	$(\tau\alpha)_n$	$\tau\alpha$
8.00	0.283	91	0.070	0.314	-1.047	1.571	0.207	78.02	0.88	0.87	0.76
8.30	0.283	91	0.070	0.314	-0.968	1.571	0.281	73.66	0.88	0.87	0.76
9.00	0.283	91	0.070	0.314	-0.785	1.571	0.445	63.56	0.88	0.87	0.76
9.30	0.283	91	0.070	0.314	-0.706	1.571	0.511	59.20	0.89	0.87	0.77
10.00	0.283	91	0.070	0.314	-0.523	1.571	0.653	49.16	0.95	0.87	0.82
10.30	0.283	91	0.070	0.314	-0.445	1.571	0.708	44.90	0.98	0.87	0.85
11.00	0.283	91	0.070	0.314	-0.262	1.571	0.818	35.04	0.99	0.87	0.86
11.30	0.283	91	0.070	0.314	-0.183	1.571	0.858	30.87	0.99	0.87	0.86
12.00	0.283	91	0.070	0.314	0	1.571	0.929	21.62	1	0.87	0.87
12.30	0.283	91	0.070	0.314	0.183	1.571	0.970	13.96	1	0.87	0.87
13.00	0.283	91	0.070	0.314	0.262	1.571	0.978	11.95	1	0.87	0.87
13.30	0.283	91	0.070	0.314	0.445	1.571	0.973	13.21	1	0.87	0.87
14.00	0.283	91	0.070	0.314	0.523	1.571	0.961	15.90	1	0.87	0.87
14.30	0.283	91	0.070	0.314	0.706	1.571	0.911	24.25	1	0.87	0.87
15.00	0.283	91	0.070	0.314	0.785	1.571	0.880	28.26	1	0.87	0.87
15.30	0.283	91	0.070	0.314	0.968	1.571	0.788	37.91	0.99	0.87	0.86
16.00	0.283	91	0.070	0.314	1.047	1.571	0.741	42.17	0.98	0.87	0.85

ตาราง 12 สรุปผลการคำนวณ วันที่ 01/04/50 นุ่ม 18 องศา

Time	Q_i (W)	Q_{abs} (W)	Q_w (W)	η (%)
8.00	7.18	43.13532	4.23225	58.94499
8.30	9.53	57.17784	4.230578	44.39221
9.00	11.79	70.78374	4.227234	35.8544
9.30	13.77	83.74212	8.453632	61.39166
10.00	16.34	105.812	8.446944	51.69488
10.30	16.63	111.6301	8.441928	50.76325
11.00	17.69	120.1184	12.65788	71.55385
11.30	18.44	125.201	12.64283	68.56197
12.00	18.71	128.4955	12.63907	67.55246
12.30	18.41	126.4245	12.63154	68.6124
13.00	18.39	126.3227	12.62151	68.63246
13.30	17.72	121.7004	12.61775	71.20625
14.00	16.46	113.0508	8.403472	51.0539
14.30	14.84	101.9492	8.400964	56.61027
15.00	13.42	92.16693	8.398456	62.58164
15.30	11.18	75.89586	4.19881	37.55644
16.00	9.24	62.00835	4.200482	45.45976

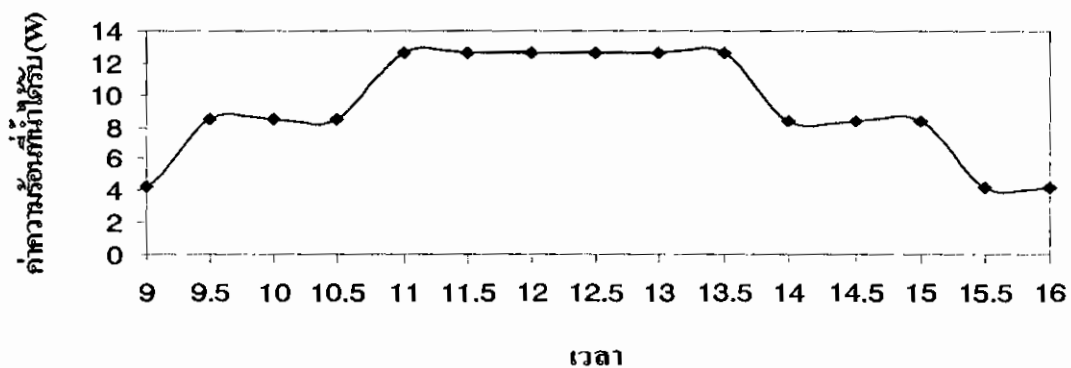
สรุป ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) = 67.2 W/day
 พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย = 119.18 W/day
 ประสิทธิภาพของระบบ (η) = 56 %

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา 01/04/2550



กราฟ 18 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงรังสีกับเวลา 01/04/2550

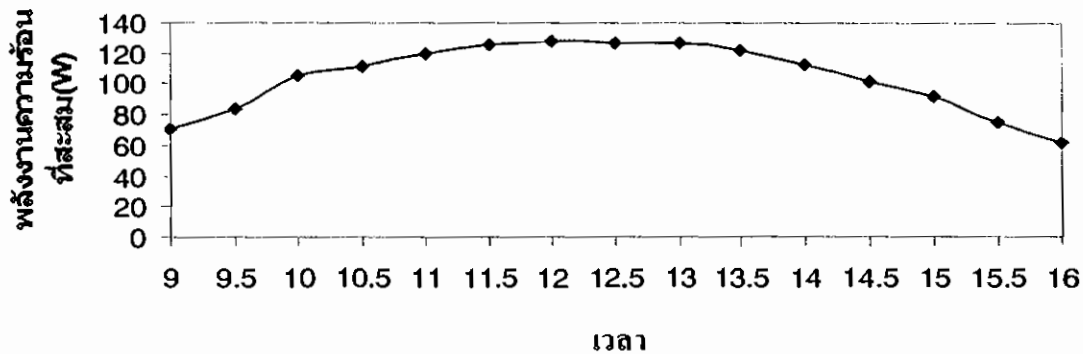
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 01/04/2550



กราฟ 19 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 01/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา

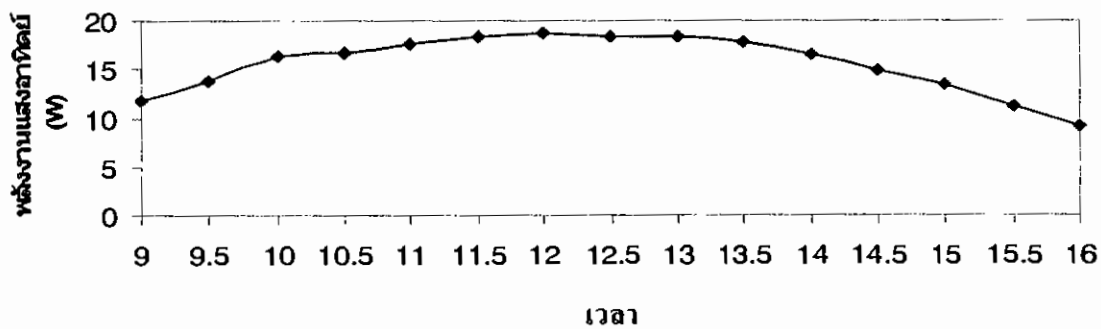
01/04/2550



กราฟ 20 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา 01/04/2550

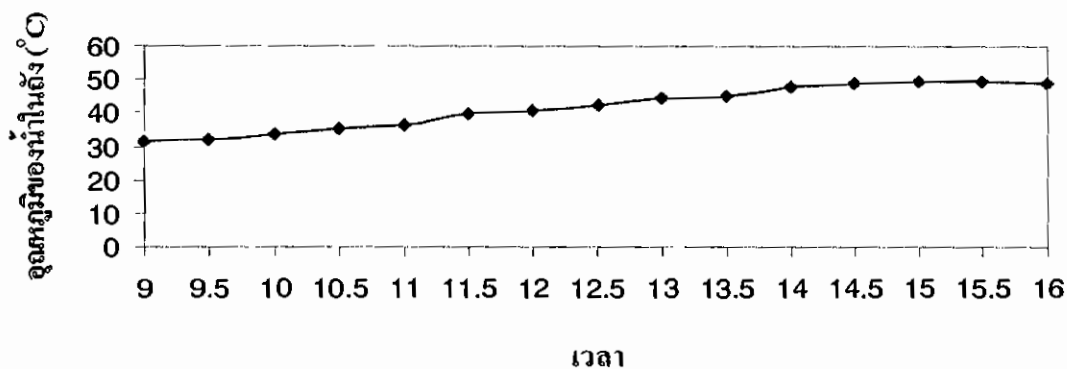
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงกับเวลา

01/04/2550



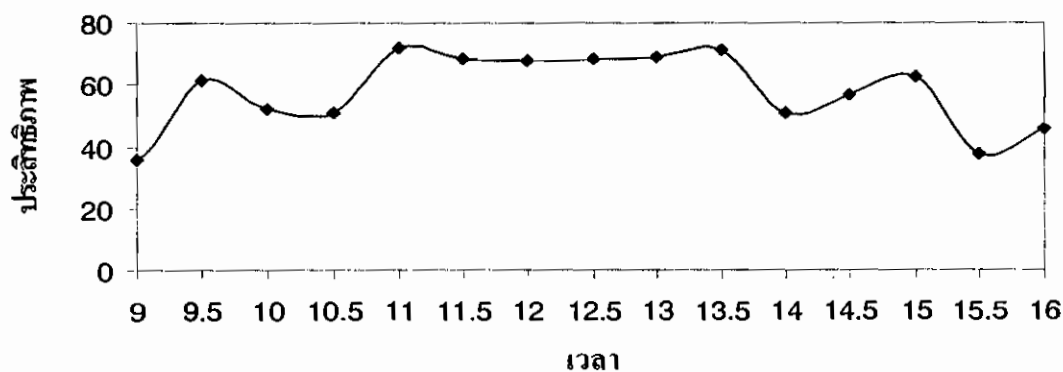
กราฟ 21 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงกับเวลา 01/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 01/04/2550



กราฟ 22 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 01/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลา 01/04/2550



กราฟ 23 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 01/04/255

ตาราง 13 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง วันที่ 02/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที

Time	T_a °C	Q LPM L/m	T absorber (°C)					T glass °C		T water °C		ถัง เก็บ น้ำ	ความ เร็วลม (m/s)	Evaporater °C			Condenser °C		
			A1	A2	A3	A4	A5	Gi	Go	In	out			E1	E2	E3	C1	C2	C3
8.00	31.3	0.61	36.4	35.9	35.4	36.5	35.6	39.2	39.0	33.1	33.2	33.1	0.37	42.2	43.2	41.9	33.3	34.5	34.2
8.30	31.9	0.61	38.4	37.5	36.7	38.3	37.3	40.3	40.1	34.2	34.3	34.2	0.28	42.7	43.8	42.3	34.5	34.9	34.7
9.00	33.5	0.61	39.4	39.5	38.7	39.3	39.7	43.4	43.2	36.3	36.5	36.3	0.23	45.8	44.7	43.9	36.7	36.8	36.8
9.30	34.1	0.61	40.8	40.5	39.8	40.7	40.8	44.6	44.4	37.4	37.6	37.4	0.75	46.7	45.9	44.8	37.8	37.9	37.6
10.00	35.7	0.61	41.3	40.9	40.3	41.2	40.3	45.7	45.5	39.5	39.7	39.5	0.27	48.9	46.7	45.9	39.9	39.8	39.3
10.30	35.8	0.61	43.8	42.5	42.8	43.7	42.2	48.4	48.2	40.1	40.4	40.1	0.33	49.5	48.7	47.3	40.2	41.1	41.2
11.00	36.1	0.61	45.8	44.3	44.7	45.7	44.7	47.2	47.0	42.2	42.5	42.2	0.21	50.6	49.9	48.9	42.1	43.2	43.5
11.30	37.1	0.61	47.4	46.1	46.3	47.3	46.6	48.6	48.4	43.3	43.6	43.3	0.09	52.3	51.9	50.9	43.5	44.9	44.7
12.00	37.8	0.61	50.4	49.8	50.1	50.3	49.9	50.7	50.5	45.1	45.4	45.1	0.28	52.7	52.1	51.4	45.4	45.8	45.3
12.30	39.1	0.61	52.8	51.7	51.3	52.7	51.8	51.2	51.0	46.3	46.6	46.3	0.37	54.1	53.7	52.9	46.7	47.8	47.2
13.00	39.5	0.61	54.8	53.8	53.3	54.6	53.3	52.6	52.5	48.6	48.9	48.6	0.53	55.6	54.7	53.7	48.9	49.1	49.3
13.30	40.3	0.61	55.3	54.6	54.3	55.5	54.3	53.6	53.5	49.2	49.4	49.2	0.63	57.8	56.3	55.7	49.1	50.2	50.1
14.00	41.8	0.61	58.4	56.8	55.9	58.8	56.9	52.2	52.0	50.1	50.3	50.1	0.29	56.3	55.7	55.3	50.2	52.7	51.2
14.30	41.3	0.61	57.2	55.2	55.3	57.9	55.4	50.0	49.8	50.1	50.3	50.1	0.18	55.9	55.3	54.9	50.3	53.1	52.3
15.00	41.1	0.61	56.8	54.6	53.9	56.7	54.7	49.1	48.9	50.2	50.3	50.2	0.27	54.2	55.1	54.2	50.1	52.6	52.3
15.30	40.7	0.61	54.6	52.1	52.7	54.6	52.5	48.1	47.9	50.3	50.4	50.3	0.80	53.9	53.2	53.8	50.1	51.1	51.8
16.00	39.8	0.61	52.3	51.8	51.3	52.4	51.6	47.8	47.6	49.7	49.8	49.7	0.17	53.5	52.3	52.1	49.9	50.0	50.1

ตาราง 14 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่ได้รับ วันที่ 02/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที

Time	$G(w/m^2)$	$Q_1(w)$	$\rho(kg/m^3)$	$C_p(kj/kg.^{\circ}C)$	$m(kg/s)$	$\Delta T_w(^{\circ}C)$	S.R.
8.00	384.92	7.31	994.084	4.18	0.010107	0.1	0.9
8.30	508.11	9.65	993.688	4.18	0.010102	0.1	0.7
9.00	620.34	11.78	992.932	4.18	0.010095	0.1	0.3
9.30	721.48	13.71	992.536	4.18	0.010091	0.2	0.1
10.00	818.63	15.55	991.78	4.18	0.010083	0.2	0.1
10.30	885.92	16.83	991.564	4.18	0.010081	0.2	0.1
11.00	930.01	17.67	990.808	4.18	0.010073	0.3	0.1
11.30	962.30	18.28	990.412	4.18	0.010069	0.3	0.1
12.00	977.10	18.56	989.764	4.18	0.010063	0.3	0.1
12.30	977.67	18.57	989.332	4.18	0.010058	0.3	0.1
13.00	974.68	18.52	988.504	4.18	0.010050	0.3	0.1
13.30	951.49	18.08	988.288	4.18	0.010048	0.3	0.1
14.00	852.92	16.20	987.964	4.18	0.010044	0.2	0.1
14.30	825.32	15.68	987.964	4.18	0.010044	0.2	0.1
15.00	701.17	13.32	987.928	4.18	0.010044	0.2	0.2
15.30	592.32	11.25	987.892	4.18	0.010044	0.1	0.2
16.00	484.35	9.20	988.108	4.18	0.010046	0.1	0.2

ตาราง 15 แสดงการคำนวณหามุมตกกระทบ วันที่ 02/04/50 มุม 18 องศา

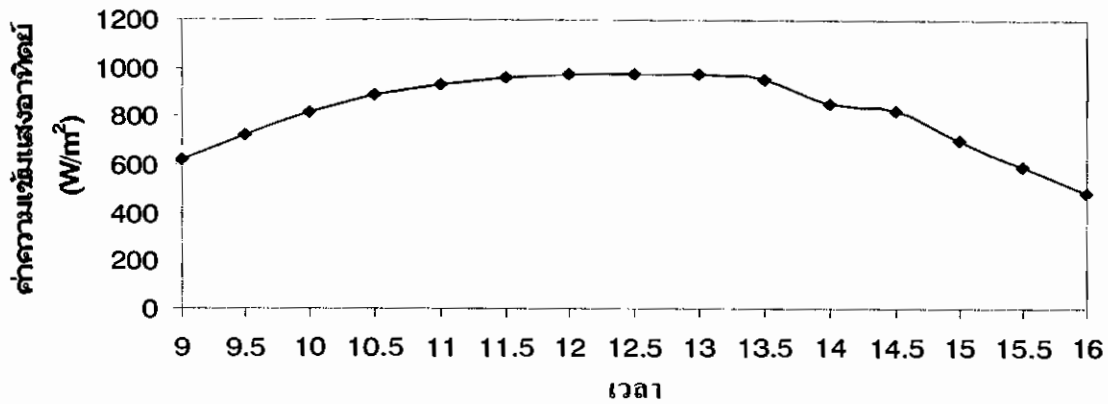
Time	ϕ	n	δ	β	ω	γ	$\cos\theta_1$	θ_1	$K\alpha\tau$	$(\tau\alpha)_n$	$\tau\alpha$
8.00	0.283	92	0.077	0.314	-1.047	1.571	0.209	77.92	0.88	0.87	0.76
8.30	0.283	92	0.077	0.314	-0.968	1.571	0.282	73.56	0.88	0.87	0.76
9.00	0.283	92	0.077	0.314	-0.785	1.571	0.446	63.45	0.88	0.87	0.76
9.30	0.283	92	0.077	0.314	-0.706	1.571	0.513	59.10	0.89	0.87	0.77
10.00	0.283	92	0.077	0.314	-0.523	1.571	0.655	49.04	0.95	0.87	0.82
10.30	0.283	92	0.077	0.314	-0.445	1.571	0.709	44.78	0.98	0.87	0.85
11.00	0.283	92	0.077	0.314	-0.262	1.571	0.820	34.90	0.99	0.87	0.86
11.30	0.283	92	0.077	0.314	-0.183	1.571	0.859	30.71	0.99	0.87	0.86
12.00	0.283	92	0.077	0.314	0	1.571	0.930	21.41	1	0.87	0.87
12.30	0.283	92	0.077	0.314	0.183	1.571	0.971	13.63	1	0.87	0.87
13.00	0.283	92	0.077	0.314	0.262	1.571	0.979	11.57	1	0.87	0.87
13.30	0.283	92	0.077	0.314	0.445	1.571	0.974	12.87	1	0.87	0.87
14.00	0.283	92	0.077	0.314	0.523	1.571	0.963	15.61	1	0.87	0.87
14.30	0.283	92	0.077	0.314	0.706	1.571	0.913	24.05	1	0.87	0.87
15.00	0.283	92	0.077	0.314	0.785	1.571	0.882	28.08	1	0.87	0.87
15.30	0.283	92	0.077	0.314	0.968	1.571	0.790	37.78	0.99	0.87	0.86
16.00	0.283	92	0.077	0.314	1.047	1.571	0.742	42.05	0.98	0.87	0.85

ตาราง 16 สรุปผลการคำนวณ วันที่ 02/04/50 มุม 18 องศา

Time	Q_1 (W)	Q_{abs} (W)	Q_w (W)	η (%)
8.00	7.31	43.88088	4.224726	57.79379
8.30	9.65	57.92454	4.222636	43.75789
9.00	11.78	70.71876	4.21971	35.82097
9.30	13.71	83.33094	8.436076	61.53228
10.00	15.55	100.6915	8.429388	54.20828
10.30	16.83	112.9548	8.427716	50.07556
11.00	17.67	119.9713	12.63154	71.48581
11.30	18.28	124.1367	12.62653	69.0729
12.00	18.56	127.5116	12.619	67.99031
12.30	18.57	127.5859	12.61273	67.91994
13.00	18.52	127.1957	12.6027	68.04914
13.30	18.08	124.1694	12.60019	69.69133
14.00	16.20	111.3061	8.396784	51.832
14.30	15.68	107.7043	8.396784	53.55092
15.00	13.32	91.50269	8.396784	63.03892
15.30	11.25	76.40928	4.198392	37.31904
16.00	9.20	61.75463	4.199228	45.64378

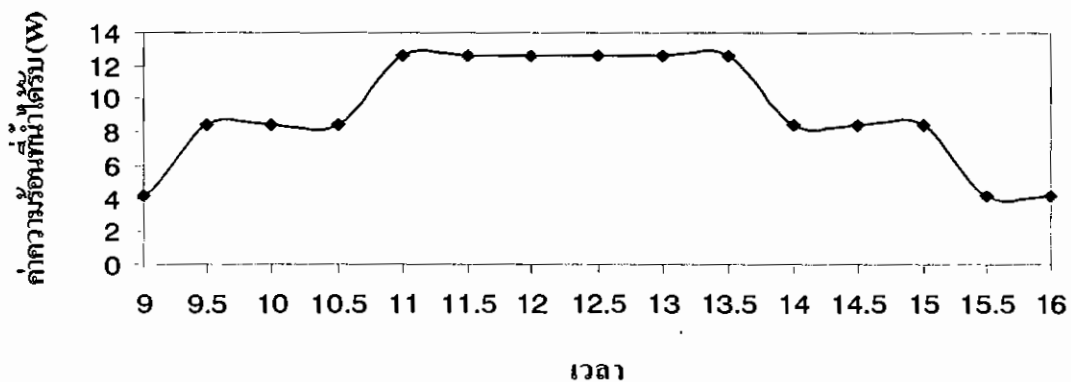
สรุป ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) = 68.3 W/day
 พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย = 119.8 W/day
 ประสิทธิภาพของระบบ (η) = 57%

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา 02/04/2550



กราฟ 24 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบางรังสีกับเวลา 02/04/2550

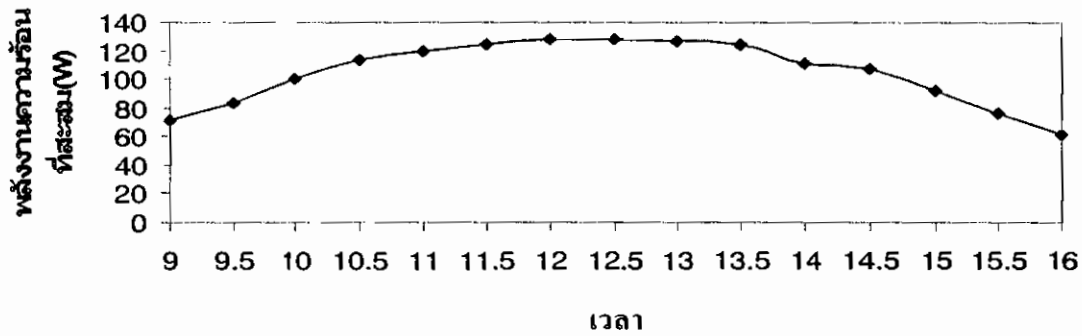
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 02/04/2550



กราฟ 25 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 02/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา

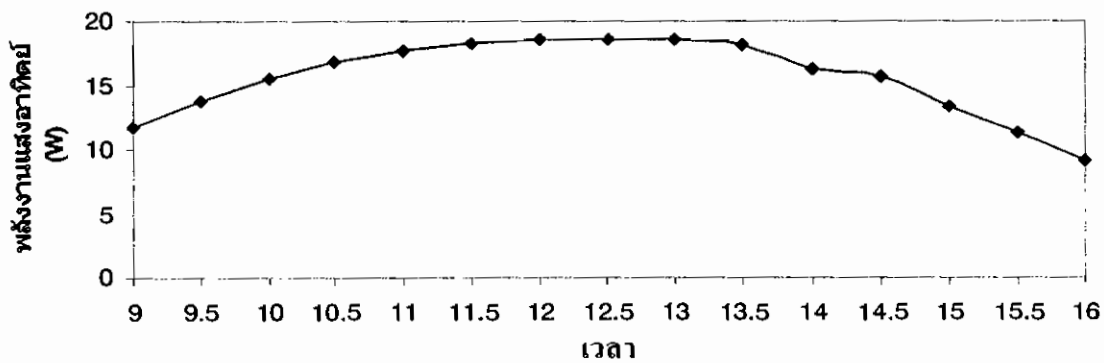
02/04/2550



กราฟ 26 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผงรับรังสีกับเวลา 02/04/2550

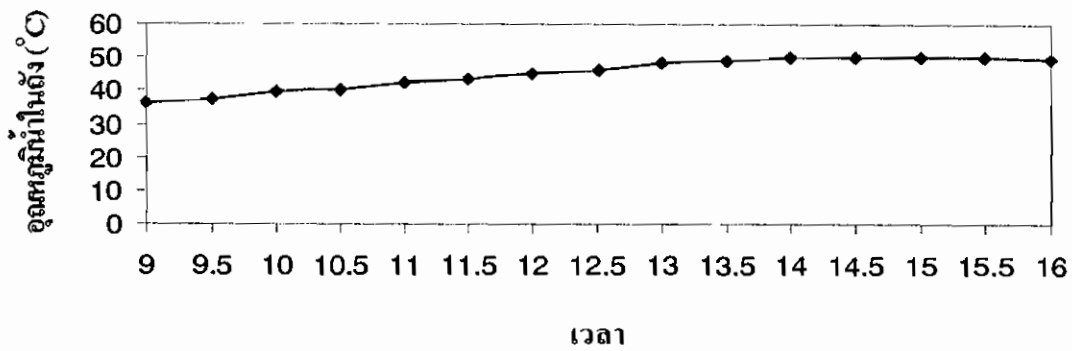
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับ

เวลา 02/04/2550

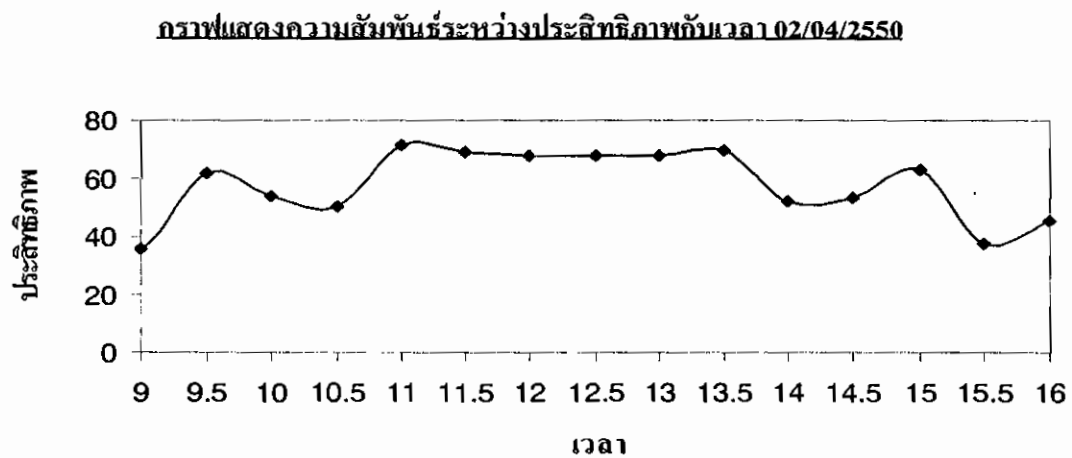


กราฟ 27 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 02/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 02/04/2550



กราฟ 28 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 02/04/2550



กราฟ 29 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลา กับเวลา 02/04/2550

ตาราง 17 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง วันที่ 03/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที

Time	T_a °C	Q LPM L/m	T absorber (°C)					T glass °C		T water °C		ถึง เก็บ น้ำ	ความ เร็วลม (m/s)	Evaporater °C			Condenser °C		
			A1	A2	A3	A4	A5	Gi	Go	In	out			E1	E2	E3	C1	C2	C3
8.00	30.7	0.61	34.7	36.4	34.5	34.8	35.4	39.2	39.0	27.8	27.9	27.8	0.15	36.5	35.4	34.7	30.1	30.3	30.7
8.30	31.1	0.61	35.3	37.3	35.3	35.8	37.1	40.3	40.1	28.3	28.4	28.3	0.07	37.2	36.7	35.2	30.9	30.7	31.1
9.00	31.9	0.61	36.4	38.2	36.9	36.5	38.4	43.4	43.2	28.2	28.3	28.2	0.14	38.3	37.9	36.8	31.2	31.8	31.9
9.30	32.7	0.61	37.8	40.3	39.5	37.9	40.3	44.6	44.4	29.5	29.6	29.5	0.22	40.2	40.3	39.9	32.1	32.7	32.7
10.00	33.3	0.61	39.8	41.2	40.5	39.9	41.4	45.7	45.5	30.7	30.9	30.7	0.12	41.1	42.1	40.7	33.2	33.5	33.3
10.30	34.5	0.61	40.7	42.3	41.3	40.8	42.3	48.4	48.2	32.3	32.5	32.3	0.24	42.1	42.5	41.9	33.9	34.3	34.5
11.00	35.6	0.61	41.5	43.4	42.7	41.7	43.6	47.2	47.0	33.4	33.7	33.4	0.40	43.5	43.8	42.7	34.5	35.1	35.6
11.30	36.1	0.61	42.4	45.2	43.8	42.5	45.5	48.6	48.4	34.8	35.1	34.8	0.19	45.2	44.9	43.5	35.7	35.9	36.1
12.00	36.9	0.61	43.8	45.7	44.3	43.7	45.8	50.7	50.5	35.9	36.2	35.9	0.34	45.7	45.2	44.9	36.5	36.2	36.9
12.30	37.5	0.61	45.3	46.3	45.1	45.3	46.7	51.2	51.0	35.7	36.0	35.7	0.76	46.5	45.9	45.2	37.3	37.2	37.5
13.00	38.9	0.61	47.2	48.7	45.9	47.1	48.9	52.6	52.5	36.3	36.6	36.3	0.37	48.9	47.8	46.1	38.9	38.7	38.9
13.30	39.7	0.61	47.6	49.3	46.1	47.5	49.3	53.6	53.5	36.2	36.5	36.2	0.85	49.1	48.9	47.2	40.1	39.2	39.7
14.00	40.5	0.61	48.8	49.2	47.2	48.9	49.2	52.2	52.0	37.1	37.3	37.1	0.65	49.2	49.1	48.9	40.9	40.1	40.5
14.30	41.1	0.61	47.5	48.5	48.2	47.7	48.5	50.0	49.8	37.5	37.7	37.5	0.55	48.7	48.7	49.3	41.2	40.9	41.1
15.00	41.9	0.61	46.5	48.1	49.1	46.7	48.2	49.1	48.9	37.4	37.5	37.4	0.09	48.4	48.2	48.1	40.3	40.3	41.9
15.30	40.3	0.61	46.3	47.7	48.2	46.3	47.5	48.1	47.9	37.3	37.4	37.3	0.07	47.8	47.8	47.3	39.7	39.6	40.3
16.00	39.9	0.61	45.7	46.3	47.3	45.7	46.3	47.8	47.6	37.5	37.6	37.5	0.12	46.5	46.7	46.3	39.3	38.9	39.9

ตาราง 18 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่ได้รับ วันที่ 03/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที่

Time	$G(w/m^2)$	$Q_1(w)$	$\rho(kg/m^3)$	$C_p(kj/kg.^{\circ}C)$	$m(kg/s)$	$\Delta T_w(^{\circ}C)$	S.R.
8.00	373.83	7.10	995.992	4.18	0.010126	0.1	0.9
8.30	482.22	9.16	995.812	4.18	0.010124	0.1	0.7
9.00	593.62	11.28	995.848	4.18	0.010124	0.1	0.4
9.30	687.47	13.06	995.38	4.18	0.01012	0.1	0.2
10.00	762.73	14.49	994.948	4.18	0.010115	0.2	0.2
10.30	843.56	16.03	994.372	4.18	0.010109	0.2	0.2
11.00	943.95	17.93	993.976	4.18	0.010105	0.3	0.1
11.30	952.20	18.09	993.472	4.18	0.010100	0.3	0.1
12.00	995.59	18.91	993.076	4.18	0.010096	0.3	0.1
12.30	1035.99	19.68	993.148	4.18	0.010097	0.3	0.2
13.00	1009.10	19.17	992.932	4.18	0.010095	0.3	0.2
13.30	956.85	18.18	992.968	4.18	0.010095	0.3	0.6
14.00	837.95	15.92	992.644	4.18	0.010092	0.2	0.6
14.30	750.92	14.26	992.500	4.18	0.010090	0.2	0.7
15.00	699.43	13.29	992.536	4.18	0.010091	0.1	0.2
15.30	587.34	11.16	992.572	4.18	0.010091	0.1	0.2
16.00	448.22	8.516	992.500	4.18	0.010090	0.1	0.2

ตาราง 19 แสดงการคำนวณหามุมตกกระทบ วันที่ 03/04/50 มุม 18 องศา

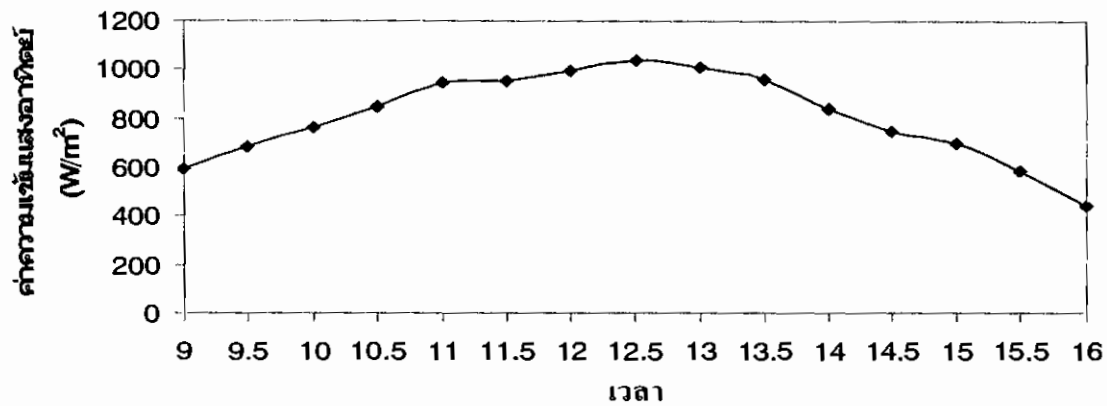
Time	ϕ	n	δ	β	ω	γ	$\cos \theta_1$	θ_1	$K\alpha\tau$	$(\tau\alpha)_n$	$\tau\alpha$
8.00	0.283	93	0.084	0.314	-1.047	1.571	0.210	77.82	0.88	0.87	0.76
8.30	0.283	93	0.084	0.314	-0.968	1.571	0.284	73.45	0.88	0.87	0.76
9.00	0.283	93	0.084	0.314	-0.785	1.571	0.448	63.35	0.88	0.87	0.76
9.30	0.283	93	0.084	0.314	-0.706	1.571	0.515	58.99	0.89	0.87	0.77
10.00	0.283	93	0.084	0.314	-0.523	1.571	0.656	48.93	0.95	0.87	0.82
10.30	0.283	93	0.084	0.314	-0.445	1.571	0.711	44.66	0.98	0.87	0.85
11.00	0.283	93	0.084	0.314	-0.262	1.571	0.821	34.75	0.99	0.87	0.86
11.30	0.283	93	0.084	0.314	-0.183	1.571	0.861	30.55	0.99	0.87	0.86
12.00	0.283	93	0.084	0.314	0	1.571	0.932	21.20	1	0.87	0.87
12.30	0.283	93	0.084	0.314	0.183	1.571	0.973	13.31	1	0.87	0.87
13.00	0.283	93	0.084	0.314	0.262	1.571	0.980	11.19	1	0.87	0.87
13.30	0.283	93	0.084	0.314	0.445	1.571	0.976	12.53	1	0.87	0.87
14.00	0.283	93	0.084	0.314	0.523	1.571	0.964	15.33	1	0.87	0.87
14.30	0.283	93	0.084	0.314	0.706	1.571	0.914	23.86	1	0.87	0.87
15.00	0.283	93	0.084	0.314	0.785	1.571	0.883	27.92	1	0.87	0.87
15.30	0.283	93	0.084	0.314	0.968	1.571	0.791	37.64	0.99	0.87	0.86
16.00	0.283	93	0.084	0.314	1.047	1.571	0.743	41.92	0.98	0.87	0.85

ตาราง 20 สรุปผลการคำนวณ วันที่ 03/04/50 มุม 18 องศา

Time	Q_1 (W)	Q_{abs} (W)	Q_w (W)	η (%)
8.00	7.10	42.61662	4.232668	59.61504
8.30	9.16	54.97308	4.231832	46.19904
9.00	11.28	67.67268	4.231832	37.51624
9.30	13.06	79.40279	4.23016	32.3902
10.00	14.49	93.81579	8.45614	58.35845
10.30	16.03	107.5539	8.451124	52.72067
11.00	17.93	121.7696	12.67167	70.67301
11.30	18.09	122.8338	12.6654	70.01327
12.00	18.91	129.9245	12.66038	66.95074
12.30	19.68	135.1967	12.66164	64.33759
13.00	19.17	131.6876	12.65913	66.03615
13.30	18.18	124.8689	12.65913	69.63218
14.00	15.92	109.3525	8.436912	52.99568
14.30	14.26	97.99506	8.43524	59.15316
15.00	13.29	91.27562	4.218038	31.73843
15.30	11.16	75.76686	4.218038	37.79604
16.00	8.516	57.14805	4.21762	49.52583

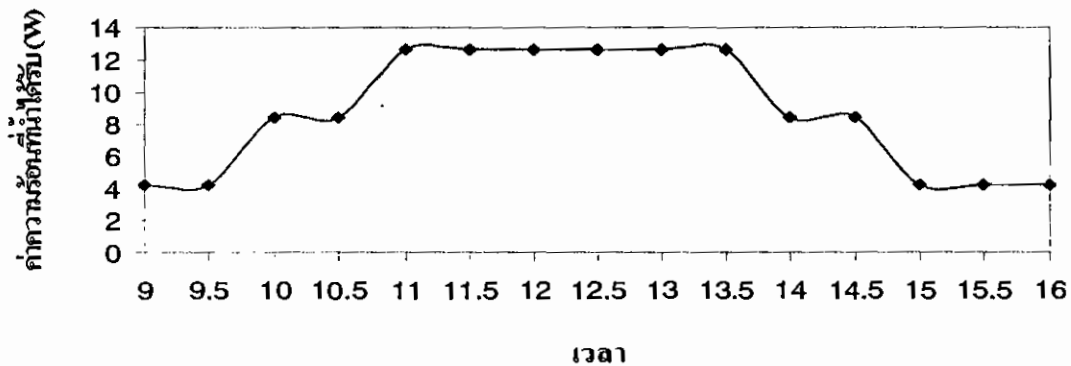
สรุป ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) = 67.71 W/day
 พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย = 115.58 W/day
 ประสิทธิภาพของระบบ (η) = 58 %

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา 03/04/2550



กราฟ 30 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา 03/04/2550

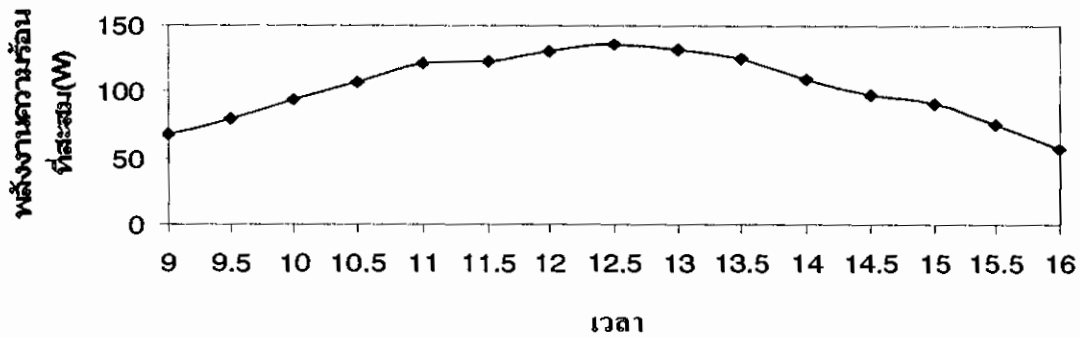
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 03/04/2550



กราฟ 31 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 03/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่สะสมแผ่รังสีกับเวลา

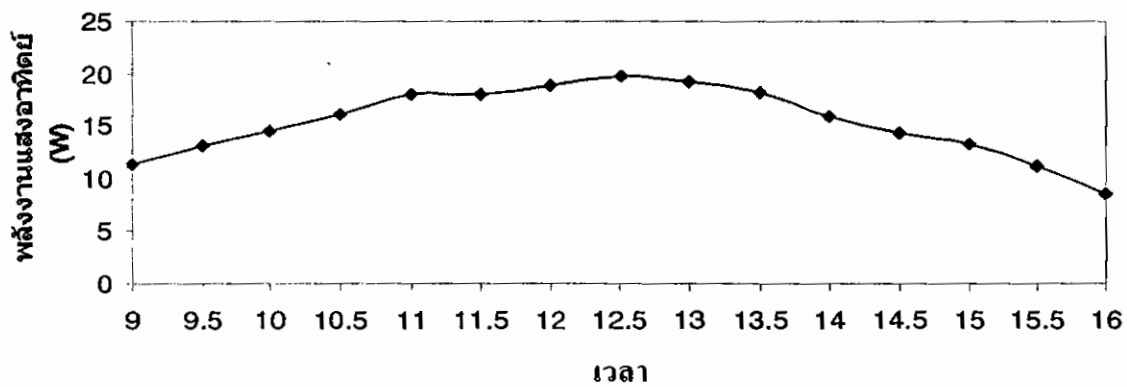
03/04/2550



กราฟ 32 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผ่รังสีกับเวลา 03/04/2550

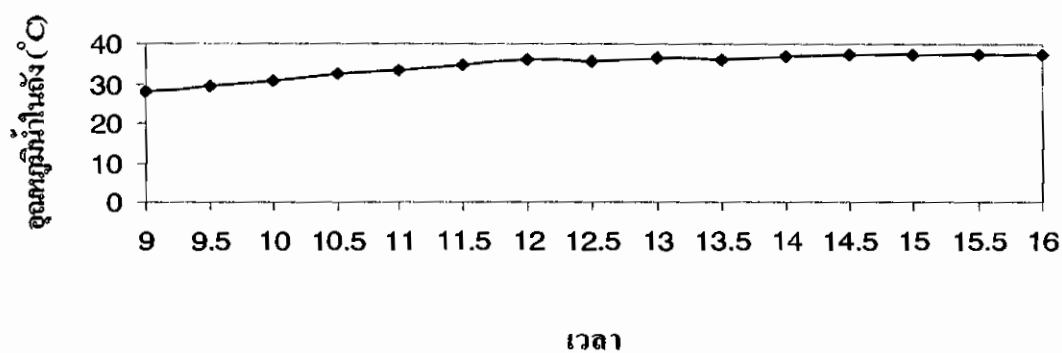
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผง

กับเวลา 03/04/2550



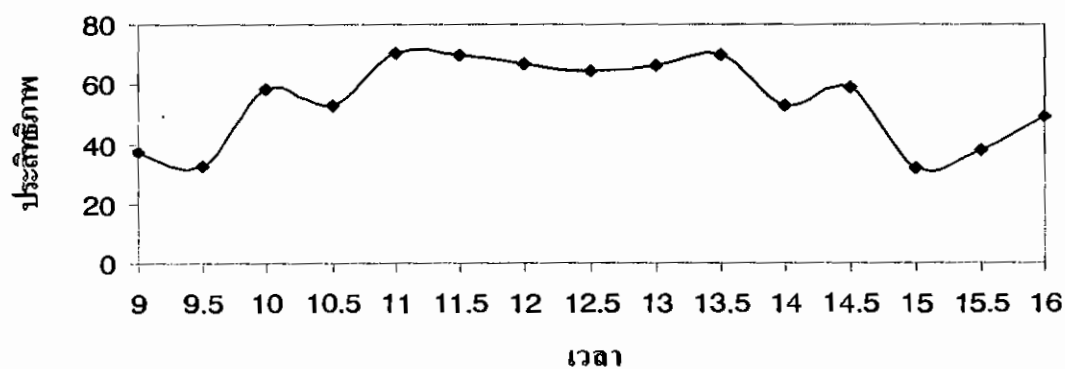
กราฟ 33 แสดงค่ากำลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 03/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในถังกับเวลา 03/04/2550



กราฟ 34 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 03/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลา 03/04/2550



กราฟ 35 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 03/04/2550

ตาราง 21 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง วันที่ 04/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที

Time	T_a °C	Q LPM L/m	T absorber (°C)					T glass °C		T water °C		ถัง เก็บ น้ำ	ความ เร็วลม (m/s)	Evaporater °C			Condenser °C		
			A1	A2	A3	A4	A5	Gi	Go	In	out			E1	E2	E3	C1	C2	C3
8.00	31.2	0.61	34.5	40.2	42.3	41.1	36.2	36.2	34.1	27.2	27.3	27.2	0.15	40.1	40.3	40.2	32.1	32.1	32.2
8.30	31.4	0.61	35.8	41.1	43.5	42.9	37.0	37.2	34.9	28.9	29.0	28.9	0.28	41.4	41.5	40.5	33.5	33.4	33.3
9.00	32.0	0.61	37.9	43.2	44.8	43.8	37.9	37.1	35.8	29.7	29.8	29.7	0.47	43.3	43.0	42.0	34.4	33.7	34.8
9.30	31.8	0.61	39.7	45.7	46.7	46.4	39.8	38.3	36.3	30.1	30.2	30.1	1.22	45.5	45.7	43.9	36.4	36.1	36.1
10.00	34.7	0.61	41.0	46.9	48.0	47.7	41.1	39.3	38.7	33.0	33.2	33.0	0.48	47.5	47.6	45.6	37.7	37.5	37.4
10.30	35.0	0.61	41.1	51.1	51.9	51.0	43.2	41.5	41.1	33.5	33.8	33.5	0.42	48.7	48.9	47.9	39.5	39.6	39.6
11.00	37.9	0.61	43.9	50.3	51.8	50.1	43.1	40.8	41.2	33.7	33.9	33.7	0.45	48.4	48.3	47.5	41.3	41.3	41.3
11.30	36.0	0.61	45.2	50.9	52.7	50.6	43.5	40.5	41.3	39.7	40.0	39.7	0.36	50.3	50.3	48.1	42.9	42.9	42.8
12.00	35.8	0.61	46.2	53.0	54.4	52.8	44.5	42.3	43.4	40.0	40.3	40.0	1.58	51.2	51.3	48.9	43.9	43.8	43.9
12.30	35.0	0.61	46.9	52.7	54.5	52.5	44.3	41.2	42.5	41.5	41.8	41.5	0.98	52.7	52.7	49.1	45.4	45.4	45.3
13.00	37.8	0.61	48.1	54.0	55.1	53.7	45.4	41.3	44.1	42.9	43.2	42.9	0.92	53.6	53.7	51.1	46.3	46.3	46.2
13.30	36.1	0.61	48.6	53.6	55.2	53.9	45.3	41.2	42.7	44.1	44.4	44.1	2.27	54.6	54.6	50.0	47.3	47.7	47.3
14.00	36.0	0.61	45.8	46.7	48.2	48.1	48.1	41.6	42.5	46.2	46.4	46.2	0.52	52.1	52.7	46.9	47.7	47.8	47.8
14.30	38.2	0.61	51.1	56.5	57.3	50.2	56.2	44.2	45.3	47.3	47.5	47.3	0.46	55.2	55.2	52.8	49.1	49.4	49.4
15.00	39.5	0.61	49.1	50.7	52.7	48.2	51.9	43.1	43.8	48.8	48.9	48.8	0.71	54.1	53.3	49.7	49.1	49.3	49.2
15.30	37.0	0.61	46.9	45.5	47.1	48.1	46.7	41.3	41.6	48.3	48.4	48.3	0.12	52.8	52.4	48.0	49.5	49.7	49.8
16.00	37.9	0.61	45.1	47.4	46.9	46.3	41.5	39.7	41.3	48.1	48.2	48.1	0.24	51.2	49.3	44.2	49.7	49.8	49.8

ตาราง 22 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่ได้รับ วันที่ 04/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที่

Time	$G(w/m^2)$	$Q_1(w)$	$\rho(kg/m^3)$	$C_p(kj/kg.^{\circ}C)$	$m(kg/s)$	$\Delta T_w(^{\circ}C)$	S.R.
8.00	289.85	5.51	996.208	4.18	0.010128	0.1	0.7
8.30	326.51	6.20	995.596	4.18	0.010122	0.1	0.7
9.00	415.36	7.89	995.308	4.18	0.010119	0.1	0.6
9.30	483.50	9.18	995.164	4.18	0.010118	0.1	0.6
10.00	858.32	16.30	994.120	4.18	0.010107	0.2	0.3
10.30	933.10	17.72	993.940	4.18	0.010105	0.3	0.3
11.00	874.40	16.61	993.868	4.18	0.010104	0.2	0.2
11.30	933.58	17.74	991.708	4.18	0.010082	0.3	0.2
12.00	928.59	17.64	991.600	4.18	0.010081	0.3	0.2
12.30	927.60	17.62	991.060	4.18	0.010076	0.3	0.2
13.00	903.98	17.17	990.556	4.18	0.010071	0.3	0.2
13.30	898.72	17.07	990.124	4.18	0.010066	0.3	0.2
14.00	811.10	15.41	989.368	4.18	0.010059	0.2	0.2
14.30	745.95	14.17	988.972	4.18	0.010055	0.2	0.5
15.00	647.23	12.29	988.432	4.18	0.010049	0.1	0.2
15.30	537.70	10.21	988.612	4.18	0.010051	0.1	0.2
16.00	413.09	7.84	988.684	4.18	0.010052	0.1	0.3

ตาราง 23 แสดงการคำนวณหามุมตกกระทบ วันที่ 04/04/50 มุม 18 องศา

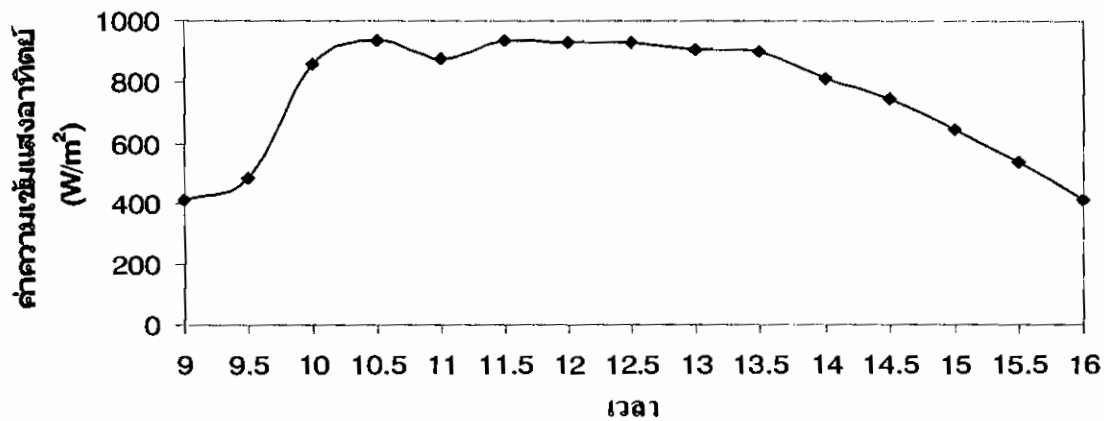
Time	ϕ	n	δ	β	ω	γ	$\cos\theta_1$	θ_1	$K\alpha\tau$	$(\tau\alpha)_n$	$\tau\alpha$
8.00	0.283	94	0.091	0.314	-1.047	1.571	0.212	77.72	0.88	0.87	0.76
8.30	0.283	94	0.091	0.314	-0.968	1.571	0.286	73.35	0.88	0.87	0.76
9.00	0.283	94	0.091	0.314	-0.785	1.571	0.450	63.25	0.88	0.87	0.76
9.30	0.283	94	0.091	0.314	-0.706	1.571	0.516	58.89	0.89	0.87	0.77
10.00	0.283	94	0.091	0.314	-0.523	1.571	0.658	48.82	0.95	0.87	0.82
10.30	0.283	94	0.091	0.314	-0.445	1.571	0.712	44.54	0.98	0.87	0.85
11.00	0.283	94	0.091	0.314	-0.262	1.571	0.822	34.62	0.99	0.87	0.86
11.30	0.283	94	0.091	0.314	-0.183	1.571	0.862	30.40	0.99	0.87	0.86
12.00	0.283	94	0.091	0.314	0	1.571	0.933	20.99	1	0.87	0.87
12.30	0.283	94	0.091	0.314	0.183	1.571	0.974	12.99	1	0.87	0.87
13.00	0.283	94	0.091	0.314	0.262	1.571	0.982	10.81	1	0.87	0.87
13.30	0.283	94	0.091	0.314	0.445	1.571	0.977	12.19	1	0.87	0.87
14.00	0.283	94	0.091	0.314	0.523	1.571	0.965	15.05	1	0.87	0.87
14.30	0.283	94	0.091	0.314	0.706	1.571	0.915	23.68	1	0.87	0.87
15.00	0.283	94	0.091	0.314	0.785	1.571	0.884	27.76	1	0.87	0.87
15.30	0.283	94	0.091	0.314	0.968	1.571	0.793	37.51	0.99	0.87	0.86
16.00	0.283	94	0.091	0.314	1.047	1.571	0.745	41.80	0.98	0.87	0.85

ตาราง 24 สรุปผลการคำนวณ วันที่ 04/04/50 มุม 18 องศา

Time	Q_1 (W)	Q_{abs} (W)	Q_w (W)	η (%)
8.00	5.51	33.0429	4.233504	76.83
8.30	6.20	37.22214	4.230996	68.24187
9.00	7.89	47.35104	4.229742	53.6089
9.30	9.18	55.84425	4.229324	46.07107
10.00	16.30	105.5734	8.449452	51.83713
10.30	17.72	118.9703	12.67167	71.51055
11.00	16.61	112.7976	8.446944	50.85457
11.30	17.74	120.4318	12.64283	71.26735
12.00	17.64	121.181	12.64157	71.66425
12.30	17.62	121.0518	12.6353	71.71001
13.00	17.17	117.9694	12.62903	73.55291
13.30	17.07	117.283	12.62276	73.94707
14.00	15.41	105.8486	8.409324	54.57056
14.30	14.17	97.34648	8.40598	59.32237
15.00	12.29	84.46352	4.200482	34.17805
15.30	10.21	69.3633	4.201318	41.14905
16.00	7.84	52.66898	4.201736	53.59357

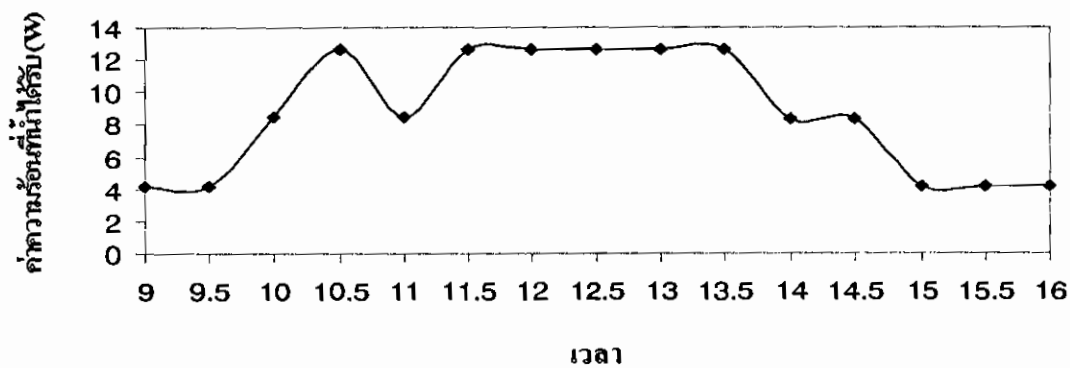
สรุป ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) = 69.61 W/day
พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย = 109.46 W/day
ประสิทธิภาพของระบบ (η) = 63 %

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา 04/04/2550



กราฟ 36 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงรังสีกับเวลา 04/04/2550

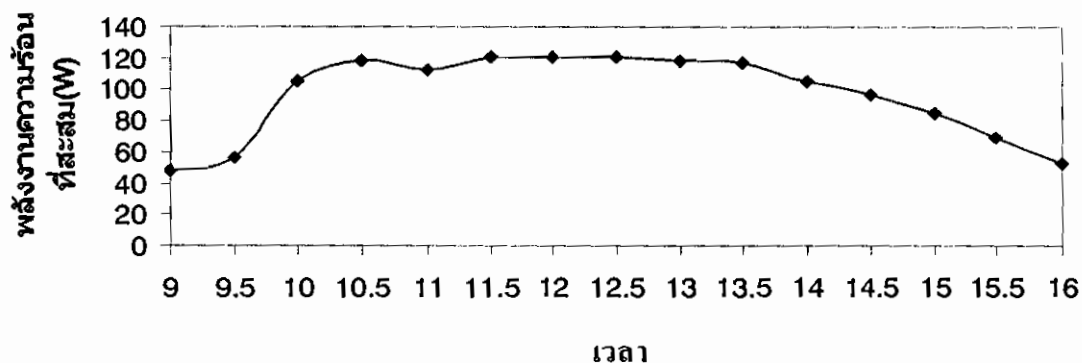
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 04/04/2550



กราฟ 37 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 04/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่สะสมแผ่รังสีกับเวลา

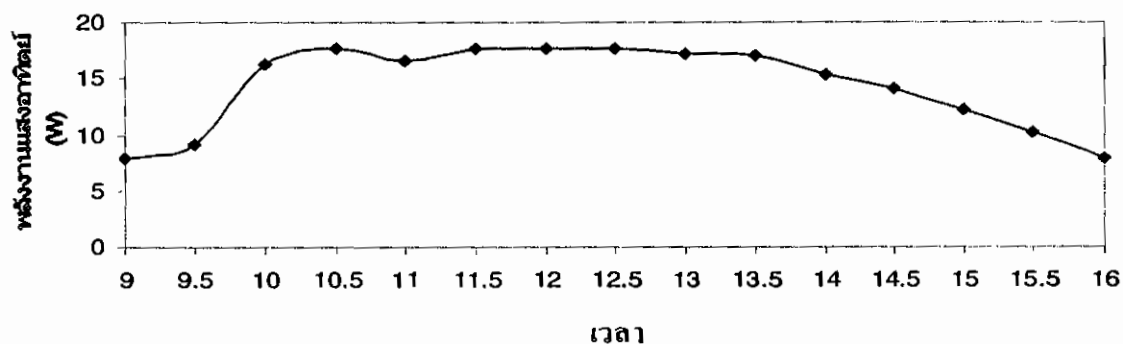
04/04/2550



กราฟ 38 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผ่รังสีกับเวลา 04/04/2550

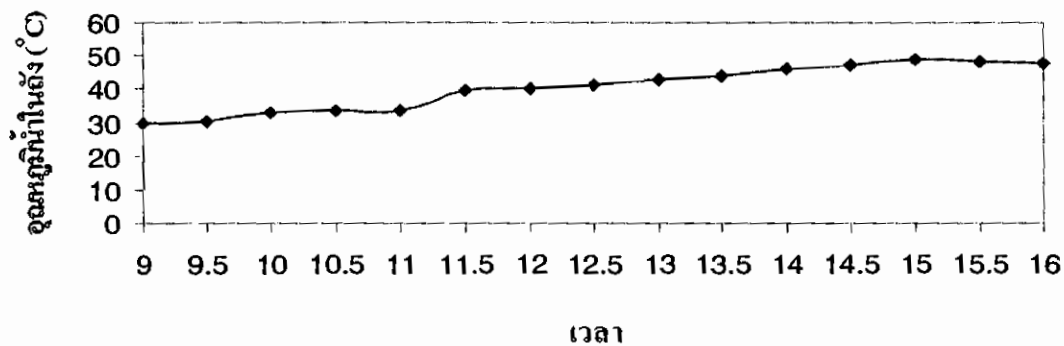
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผง

กับเวลา 04/04/2250



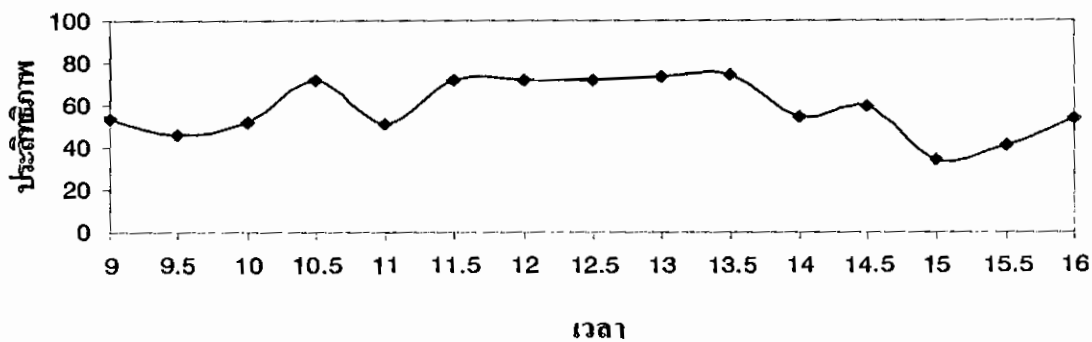
กราฟ 39 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 04/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 04/04/2550



กราฟ 40 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 04/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลา 04/04/2550



กราฟ 41 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 04/04/2550

ตาราง 25 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง วันที่ 05/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที

Time	T_a °C	Q LPM L/m	T absorber (°C)					T glass °C		T water °C		ถึง เก็บ น้ำ	ความ เร็วลม (m/s)	Evaporater °C			Condenser °C		
			A1	A2	A3	A4	A5	Gi	Go	In	out			E1	E2	E3	C1	C2	C3
8.00	31.4	0.61	37.5	42.5	45.1	43.2	35.6	35.2	35.1	33.3	33.4	33.3	1.20	42.2	43.1	41.9	32.3	34.2	34.5
8.30	32.9	0.61	38.3	44.4	46.1	45.9	37.8	37.4	36.6	33.9	34.0	33.9	0.47	42.5	45.1	42.4	33.4	34.4	34.5
9.00	34.5	0.61	40.2	46.7	48.2	48.3	40.6	40.2	39.1	36.5	36.6	36.5	2.78	45.9	48.7	43.7	36.1	36.7	36.8
9.30	35.1	0.61	42.1	46.8	48.5	48.5	41.1	40.9	39.6	37.9	38.1	37.9	1.48	46.5	46.8	46.7	37.8	37.9	37.9
10.00	36.7	0.61	43.5	49.1	50.4	50.4	43.2	42.5	40.9	39.6	39.8	39.6	1.41	48.1	48.2	47.6	39.8	39.8	39.8
10.30	36.5	0.61	46.2	53.1	54.0	52.9	45.5	44.1	42.8	41.8	42.0	41.8	1.02	49.9	49.9	49.5	42.0	42.0	42.1
11.00	37.1	0.61	45.7	51.2	54.0	52.1	44.4	42.8	42.4	42.6	42.9	42.6	0.25	50.7	50.6	49.2	43.1	43.0	43.1
11.30	38.1	0.61	46.5	47.0	53.8	55.9	54.1	45.6	44.8	44.1	44.4	44.1	0.50	52.0	51.9	49.9	44.3	44.3	44.3
12.00	38.0	0.61	48.9	53.9	55.8	53.9	47.1	44.9	44.1	45.1	45.4	45.1	0.47	52.7	52.6	51.4	45.4	45.4	45.4
12.30	37.9	0.61	49.2	49.7	50.7	51.1	47.5	46.6	45.0	46.2	46.4	46.2	0.10	56.1	58.4	51.1	46.7	46.8	46.7
13.00	39.1	0.61	46.1	52.5	54.0	52.7	43.5	43.5	42.8	46.7	46.9	46.7	0.56	52.0	51.5	45.2	47.8	47.2	47.2
13.30	41.4	0.61	49.2	55.5	56.6	55.7	45.7	45.4	44.8	47.6	47.8	47.6	0.15	55.2	55.6	49.0	48.1	48.2	48.1
14.00	39.9	0.61	48.8	56.1	57.1	56.4	45.3	45.3	43.5	48.1	48.3	48.1	0.23	55.4	56.6	48.3	48.6	48.7	48.6
14.30	39.0	0.61	47.3	45.0	46.1	46.2	44.6	42.3	42.1	48.6	48.7	48.6	0.17	51.8	51.0	47.8	49.1	49.1	49.1
15.00	40.7	0.61	51.1	54.5	56.0	55.7	47.8	46.2	44.1	49.5	49.6	49.5	0.89	56.6	56.5	50.9	49.9	50.1	49.9
15.30	40.0	0.61	51.0	50.1	51.6	50.7	47.2	43.8	42.8	50.5	50.6	50.5	1.25	56.9	56.8	52.7	50.8	50.9	50.9
16.00	38.2	0.61	47.7	48.1	49.9	49.3	43.8	42.1	41.2	50.9	51.0	50.9	0.80	53.6	53.5	47.0	50.4	50.4	50.5

ตาราง 26 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่ได้รับ วันที่ 05/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาทึ

Time	$G(w/m^2)$	$Q_1(w)$	$\rho(kg/m^3)$	$C_p(kj/kg.^{\circ}C)$	$m(kg/s)$	$\Delta T_w(^{\circ}C)$	S.R.
8.00	398.36	7.57	994.012	4.18	0.010106	0.1	0.8
8.30	474.23	9.01	993.796	4.18	0.010104	0.1	0.8
9.00	580.23	11.02	992.860	4.18	0.010094	0.1	0.6
9.30	676.39	12.85	992.356	4.18	0.010089	0.1	0.3
10.00	769.56	14.62	991.744	4.18	0.010083	0.2	0.2
10.30	833.57	15.84	990.952	4.18	0.010075	0.2	0.2
11.00	888.62	16.88	990.664	4.18	0.010072	0.2	0.2
11.30	914.79	17.38	990.124	4.18	0.010066	0.3	0.2
12.00	939.83	17.85	989.764	4.18	0.010063	0.3	0.2
12.30	929.59	17.66	989.368	4.18	0.010059	0.3	0.2
13.00	915.36	17.39	989.188	4.18	0.010057	0.2	0.1
13.30	871.41	16.55	988.864	4.18	0.010053	0.2	0.1
14.00	817.92	15.54	988.684	4.18	0.010052	0.2	0.2
14.30	746.51	14.18	988.504	4.18	0.010050	0.2	0.2
15.00	651.06	12.37	988.180	4.18	0.010046	0.1	0.2
15.30	547.37	10.40	987.820	4.18	0.010043	0.1	0.2
16.00	452.37	8.59	987.676	4.18	0.010041	0.1	0.2

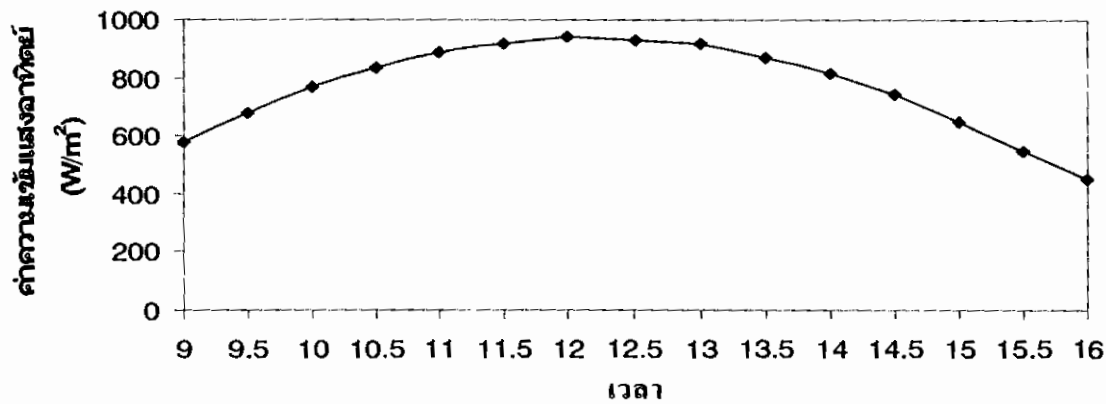
Time	ϕ	n	δ	β	ω	γ	$\cos\theta_1$	θ_1	$K\alpha\tau$	$(\tau\alpha)_n$	$\tau\alpha$
8.00	0.283	95	0.097	0.314	-1.047	1.571	0.214	77.63	0.88	0.87	0.76
8.30	0.283	95	0.097	0.314	-0.968	1.571	0.287	73.27	0.88	0.87	0.76
9.00	0.283	95	0.097	0.314	-0.785	1.571	0.451	63.16	0.88	0.87	0.76
9.30	0.283	95	0.097	0.314	-0.706	1.571	0.517	58.80	0.89	0.87	0.77
10.00	0.283	95	0.097	0.314	-0.523	1.571	0.659	48.72	0.95	0.87	0.82
10.30	0.283	95	0.097	0.314	-0.445	1.571	0.713	44.45	0.98	0.87	0.85
11.00	0.283	95	0.097	0.314	-0.262	1.571	0.824	34.50	0.99	0.87	0.86
11.30	0.283	95	0.097	0.314	-0.183	1.571	0.863	30.28	0.99	0.87	0.86
12.00	0.283	95	0.097	0.314	0	1.571	0.934	20.82	1	0.87	0.87
12.30	0.283	95	0.097	0.314	0.183	1.571	0.975	12.72	1	0.87	0.87
13.00	0.283	95	0.097	0.314	0.262	1.571	0.983	10.48	1	0.87	0.87
13.30	0.283	95	0.097	0.314	0.445	1.571	0.978	11.90	1	0.87	0.87
14.00	0.283	95	0.097	0.314	0.523	1.571	0.966	14.82	1	0.87	0.87
14.30	0.283	95	0.097	0.314	0.706	1.571	0.916	23.52	1	0.87	0.87
15.00	0.283	95	0.097	0.314	0.785	1.571	0.886	27.62	1	0.87	0.87
15.30	0.283	95	0.097	0.314	0.968	1.571	0.794	37.41	0.99	0.87	0.86
16.00	0.283	95	0.097	0.314	1.047	1.571	0.746	41.70	0.98	0.87	0.85

ตาราง 28 สรุปผลการคำนวณ วันที่ 05/04/50 มุม 18 องศา

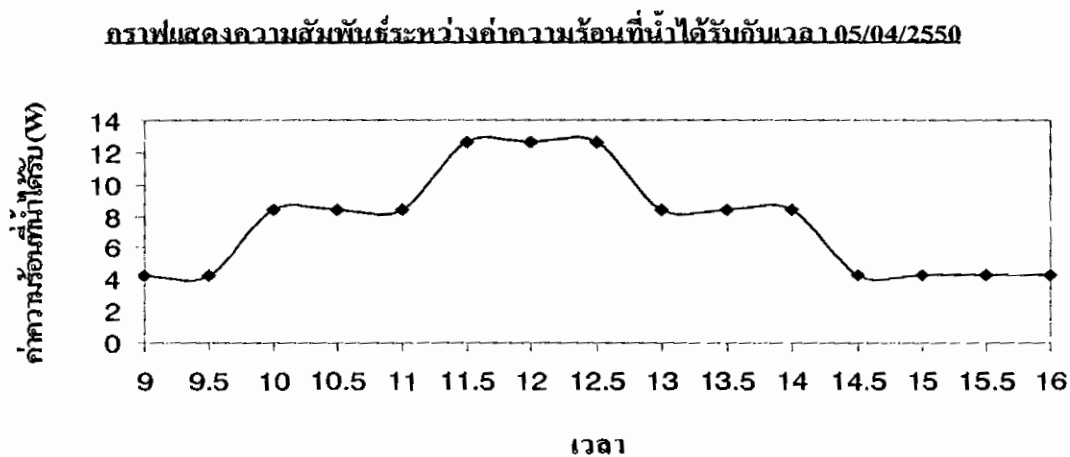
Time	Q_1 (W)	Q_{abs} (W)	Q_w (W)	η (%)
8.00	7.57	45.41304	4.224308	55.80
8.30	9.01	54.06222	4.223472	46.87538
9.00	11.02	66.14622	4.219292	38.28759
9.30	12.85	78.12305	4.217202	32.81869
10.00	14.62	94.65588	8.429388	57.65655
10.30	15.84	106.2802	8.4227	53.17361
11.00	16.88	114.632	8.420192	49.88265
11.30	17.38	118.0079	12.62276	72.6281
12.00	17.85	122.6478	12.619	70.69469
12.30	17.66	121.3115	12.61399	71.42687
13.00	17.39	119.4545	8.407652	48.34763
13.30	16.55	113.719	8.404308	50.78132
14.00	15.54	106.7386	8.403472	54.0764
14.30	14.18	97.41956	4.2009	59.25106
15.00	12.37	84.96333	4.199228	33.94687
15.30	10.40	70.61073	4.197974	40.36513
16.00	8.59	57.67718	4.197138	48.86075

สรุป ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) = 62.03 W/day
 พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย = 113.83 W/day
 ประสิทธิภาพของระบบ (η) = 54 %

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงอาทิตย์กับเวลา 05/04/2550



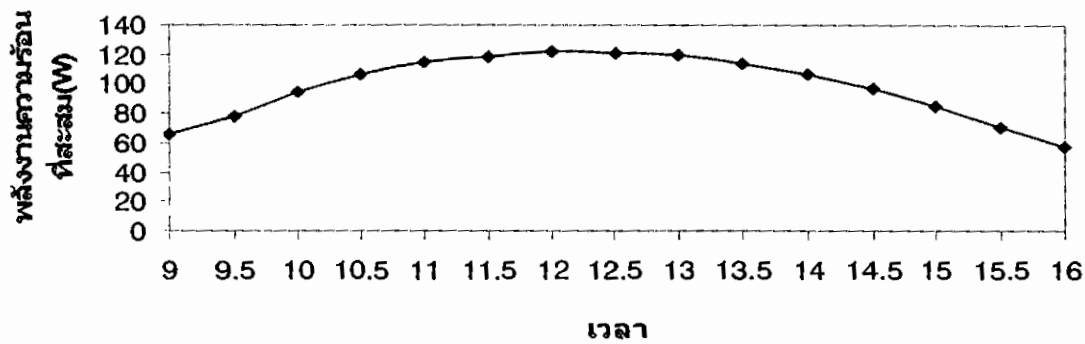
กราฟ 42 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบางรังสีกับเวลา 05/04/2550



กราฟ 43 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบางรังสีกับเวลา 05/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่สะสมแผ่รับรังสีกับเวลา

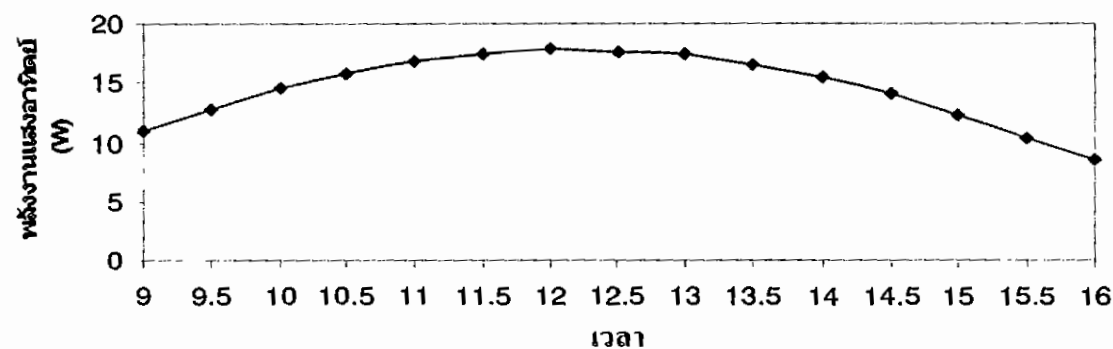
05/04/2550



กราฟ 44 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผ่รับรังสีกับเวลา 05/04/2550

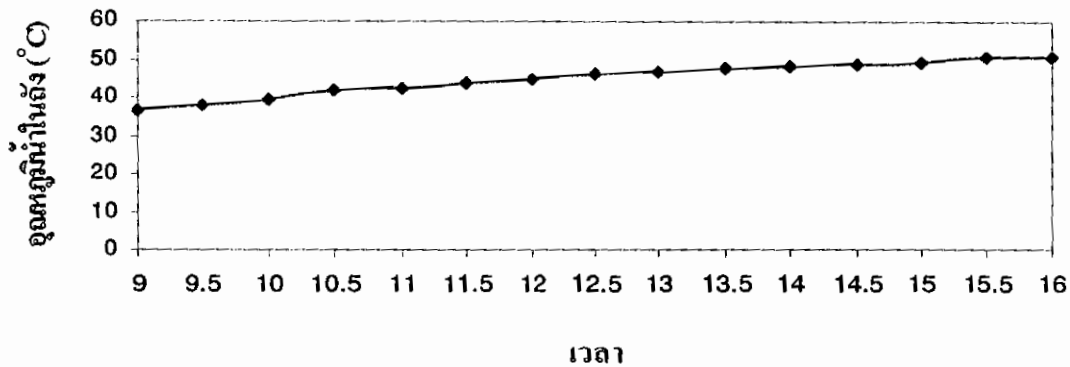
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงกับเวลา

05/04/2550

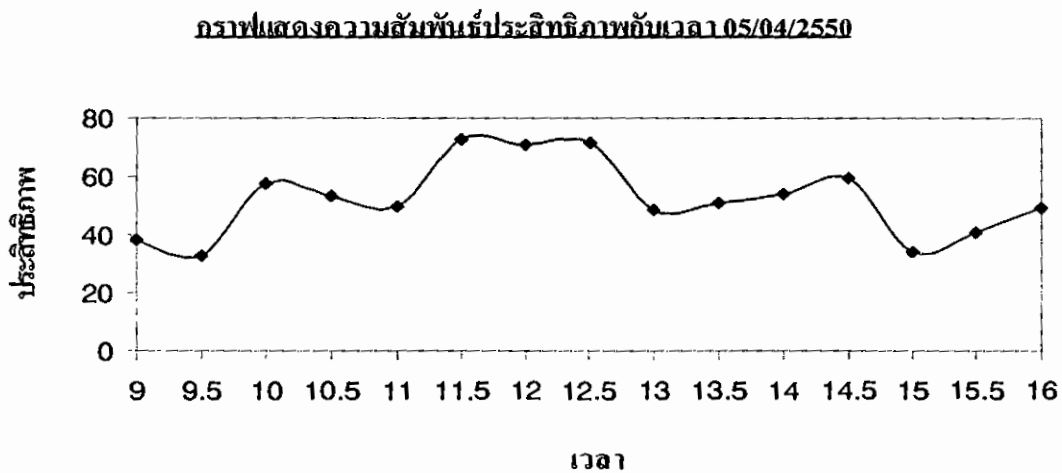


กราฟ 45 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงกับเวลา 05/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิน้ำในถังกับเวลา 05/04/2550



กราฟ 46 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 05/04/2550



กราฟ 47 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลา 05/04/2550

Time	T_a °C	Q LPM L/m	T absorber (°C)					T glass °C		T water °C		ถึง เก็บ น้ำ	ความ เร็วลม (m/s)	Evaporater °C			Condenser °C		
			A1	A2	A3	A4	A5	Gi	Go	In	out			E1	E2	E3	C1	C2	C3
8.00	30.1	0.61	42.5	43.2	42.0	42.4	41.7	37.2	37.0	30.1	30.2	30.1	0.35	46.3	43.1	42.3	30.6	30.1	30.3
8.30	31.7	0.61	41.4	42.7	41.4	42.1	40.9	37.8	37.4	30.5	30.6	30.5	0.12	50.1	42.7	42.3	30.9	30.5	30.5
9.00	33.9	0.61	40.2	40.8	41.7	43.2	41.3	38.0	37.8	31.0	31.1	31.0	0.23	52.6	40.9	43.2	31.7	31.0	31.3
9.30	38.3	0.61	40.7	40.9	41.8	42.4	41.4	38.9	38.3	31.8	31.9	31.8	0.14	53.8	40.9	42.4	32.3	31.8	31.8
10.00	38.8	0.61	40.9	41.4	42.9	43.7	42.2	39.3	38.7	32.4	32.6	32.4	0.32	54.0	41.3	43.5	32.9	32.4	32.4
10.30	34.8	0.61	40.5	40.9	40.3	41.4	39.9	37.4	37.0	33.6	33.8	33.6	0.38	55.3	40.9	41.4	34.3	33.6	33.9
11.00	39.7	0.61	43.2	43.6	44.1	44.5	43.4	40.3	40.1	35.4	35.6	35.4	0.22	56.2	43.7	44.4	35.8	35.4	35.6
11.30	41.6	0.61	43.5	46.4	43.3	45.7	42.6	44.9	44.5	37.1	37.3	37.1	0.34	56.3	46.4	45.6	37.6	37.1	37.5
12.00	44.1	0.61	45.6	46.5	45.1	45.8	44.9	45.3	44.8	38.3	38.5	38.3	0.17	57.2	46.4	45.8	39.0	38.3	38.6
12.30	41.7	0.61	46.4	47.2	44.4	45.5	44.3	45.8	45.6	39.7	40.0	39.7	0.31	55.8	47.2	45.6	40.1	39.7	39.8
13.00	43.8	0.61	46.0	46.8	45.7	46.7	45.4	47.4	47.1	41.1	41.3	41.1	0.37	54.5	46.9	46.6	41.6	41.1	41.5
13.30	45.3	0.61	47.9	48.3	46.5	46.9	46.0	45.4	45.0	43.6	43.8	43.6	0.25	50.4	48.3	46.5	44.3	43.6	43.4
14.00	39.2	0.61	47.0	48.8	43.6	44.5	41.7	44.2	44.0	44.4	44.6	44.4	0.45	51.2	48.7	44.4	44.8	44.4	44.7
14.30	40.3	0.61	48.0	49.8	45.2	47.0	45.5	46.7	46.4	45.4	45.6	45.4	0.31	51.3	49.8	47.1	45.9	45.4	45.2
15.00	39.2	0.61	45.1	46.9	40.0	41.7	39.2	43.0	42.6	46.1	46.2	46.1	0.19	49.7	46.6	41.4	46.5	46.1	46.1
15.30	39.8	0.61	46.4	46.6	39.8	41.7	41.2	41.7	41.3	46.4	46.5	46.4	0.38	49.1	46.4	41.8	46.8	46.9	46.1
16.00	45.2	0.61	48.1	49.3	45.8	47.2	45.7	44.1	43.8	50.4	50.5	50.4	0.14	51.0	49.1	47.4	51.0	50.4	50.3

Time	$G(w/m^2)$	$Q_1(w)$	$\rho(kg/m^3)$	$C_p(kj/kg.^{\circ}C)$	$m(kg/s)$	$\Delta T_w(^{\circ}C)$	S.R.
8.00	542.64	10.31	996.244	4.18	0.010128	0.1	0.3
8.30	585.48	11.12	995.812	4.18	0.010124	0.1	0.3
9.00	628.32	11.94	995.452	4.18	0.010120	0.1	0.2
9.30	728.28	13.84	995.128	4.18	0.010117	0.1	0.1
10.00	799.68	15.19	994.588	4.18	0.010112	0.2	0.1
10.30	871.08	16.55	994.156	4.18	0.010107	0.2	0.1
11.00	885.36	16.82	993.94	4.18	0.010105	0.2	0.1
11.30	928.20	17.63	993.508	4.18	0.010101	0.2	0.1
12.00	956.76	18.18	993.22	4.18	0.010098	0.2	0.1
12.30	1013.87	19.26	992.932	4.18	0.010095	0.3	0.1
13.00	927.23	17.62	992.356	4.18	0.010089	0.2	0.1
13.30	886.37	16.84	991.924	4.18	0.010085	0.2	0.1
14.00	857.81	16.29	991.528	4.18	0.010081	0.2	0.1
14.30	657.87	12.49	991.564	4.18	0.010081	0.2	0.2
15.00	672.42	12.77	991.708	4.18	0.010082	0.1	0.2
15.30	627.22	11.92	991.888	4.18	0.010084	0.1	0.2
16.00	527.34	10.02	992.068	4.18	0.010086	0.1	0.3

ตาราง 31 แสดงการคำนวณหามุมตกกระทบ วันที่ 28/04/50 มุม 18 องศา

Time	ϕ	n	δ	β	ω	γ	$\cos\theta_1$	θ_1	$K\alpha\tau$	$(\tau\alpha)_n$	$\tau\alpha$
8.00	0.283	118	0.243	0.314	-1.047	1.571	0.204	78.23	0.88	0.87	0.76
8.30	0.283	118	0.243	0.314	-0.968	1.571	0.278	73.87	0.88	0.87	0.76
9.00	0.283	118	0.243	0.314	-0.785	1.571	0.442	63.77	0.88	0.87	0.76
9.30	0.283	118	0.243	0.314	-0.706	1.571	0.508	59.42	0.89	0.87	0.77
10.00	0.283	118	0.243	0.314	-0.523	1.571	0.651	49.40	0.95	0.87	0.82
10.30	0.283	118	0.243	0.314	-0.445	1.571	0.705	45.15	0.98	0.87	0.85
11.00	0.283	118	0.243	0.314	-0.262	1.571	0.816	35.34	0.99	0.87	0.86
11.30	0.283	118	0.243	0.314	-0.183	1.571	0.855	31.20	0.99	0.87	0.86
12.00	0.283	118	0.243	0.314	0	1.571	0.926	22.07	1	0.87	0.87
12.30	0.283	118	0.243	0.314	0.183	1.571	0.967	14.62	1	0.87	0.87
13.00	0.283	118	0.243	0.314	0.262	1.571	0.975	12.72	1	0.87	0.87
13.30	0.283	118	0.243	0.314	0.445	1.571	0.970	13.91	1	0.87	0.87
14.00	0.283	118	0.243	0.314	0.523	1.571	0.958	16.49	1	0.87	0.87
14.30	0.283	118	0.243	0.314	0.706	1.571	0.908	24.65	1	0.87	0.87
15.00	0.283	118	0.243	0.314	0.785	1.571	0.877	28.61	1	0.87	0.87
15.30	0.283	118	0.243	0.314	0.968	1.571	0.785	38.20	0.99	0.87	0.86
16.00	0.283	118	0.243	0.314	1.047	1.571	0.737	42.44	0.98	0.87	0.85

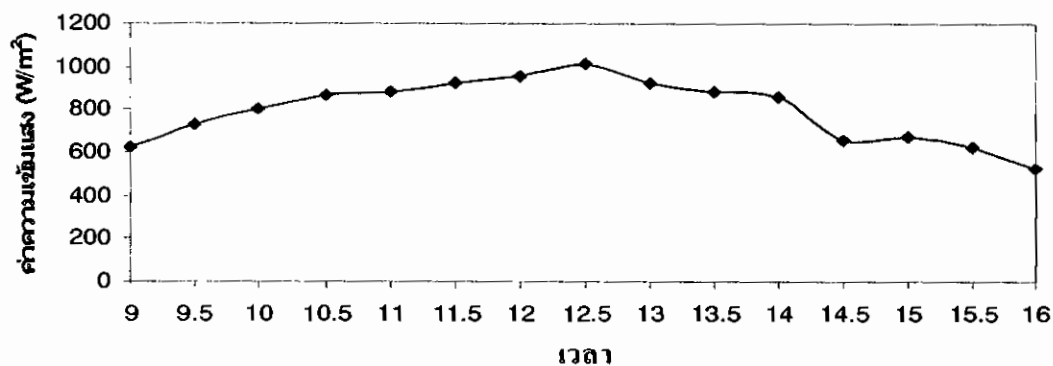
ตาราง 32 สรุปผลการคำนวณ วันที่ 28/04/50 มุม 18 องศา

Time	Q_i (W)	Q_{abs} (W)	Q_w (W)	η (%)
8.00	10.31	61.86096	4.233504	41.06211
8.30	11.12	66.74472	4.231832	39.00306
9.00	11.94	71.62848	4.23016	36.24816
9.30	13.84	84.11634	4.228906	33.88546
10.00	15.19	98.36064	8.453632	63.60897
10.30	16.55	111.0627	8.449452	52.61178
11.00	16.82	114.2114	8.44778	55.61409
11.30	17.63	119.7378	8.444436	56.5981
12.00	18.18	124.8572	8.441928	58.70604
12.30	19.26	132.31	12.65913	86.41044
13.00	17.62	121.0035	8.434404	56.53086
13.30	16.84	115.6713	8.43106	57.5499
14.00	16.29	111.9442	8.427716	72.21693
14.30	12.49	85.85204	8.427716	70.58389
15.00	12.77	87.75081	4.214276	36.99979
15.30	11.92	80.91138	4.215112	37.90568
16.00	10.02	67.23585	4.215948	39.84828

สรุป ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) = 57.4 W/day
 พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย = 119.4 W/day
 ประสิทธิภาพของระบบ (η) = 48.1%

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับเวลา

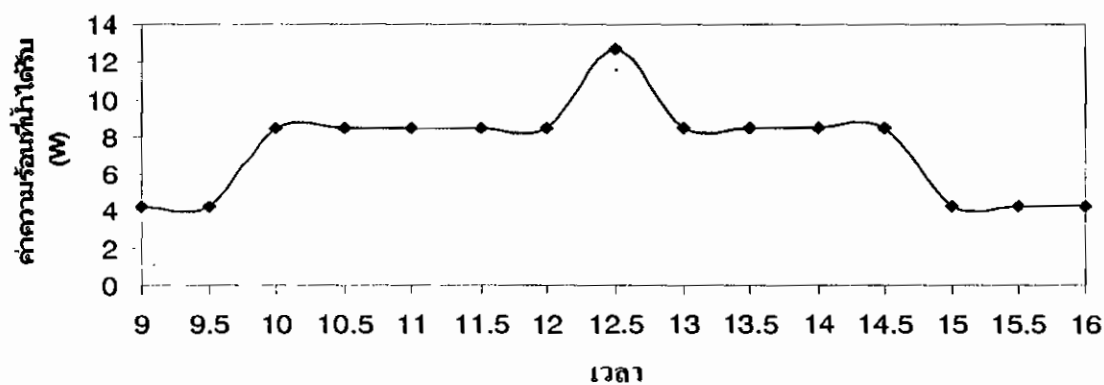
28/04/2550



กราฟ 48 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบางรังสีกับเวลา 28/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา

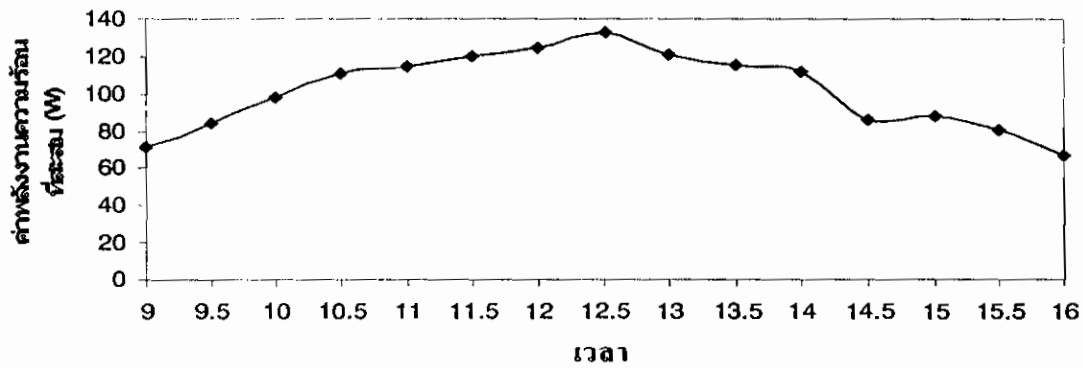
28/04/2550



กราฟ 49 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 28/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่สะสมแสงรับรังสีกับเวลา

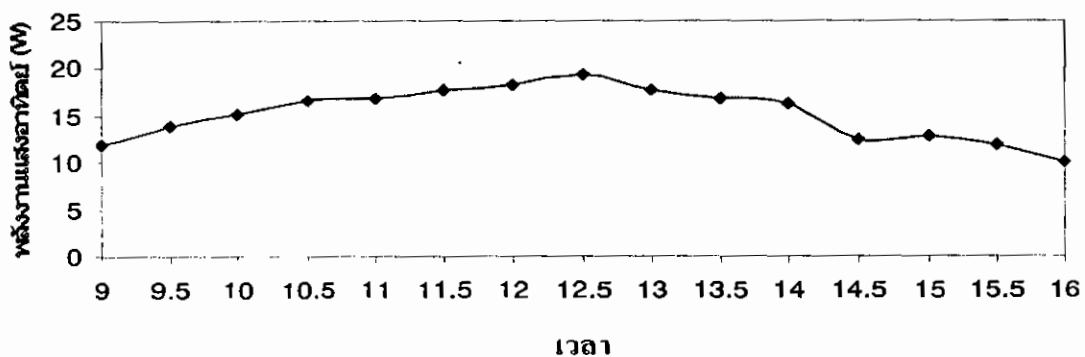
28/04/2550



กราฟ 50 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแสงรับรังสีกับเวลา 28/04/2550

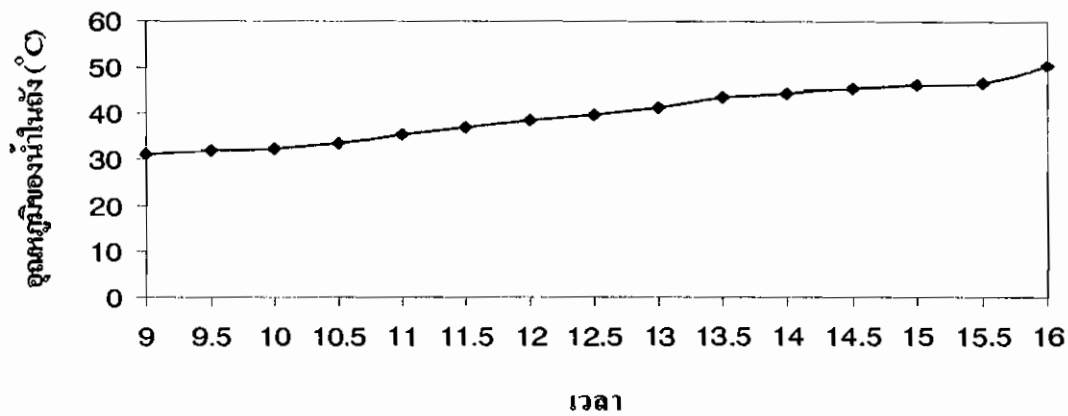
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับ

เวลา 28/04/2550

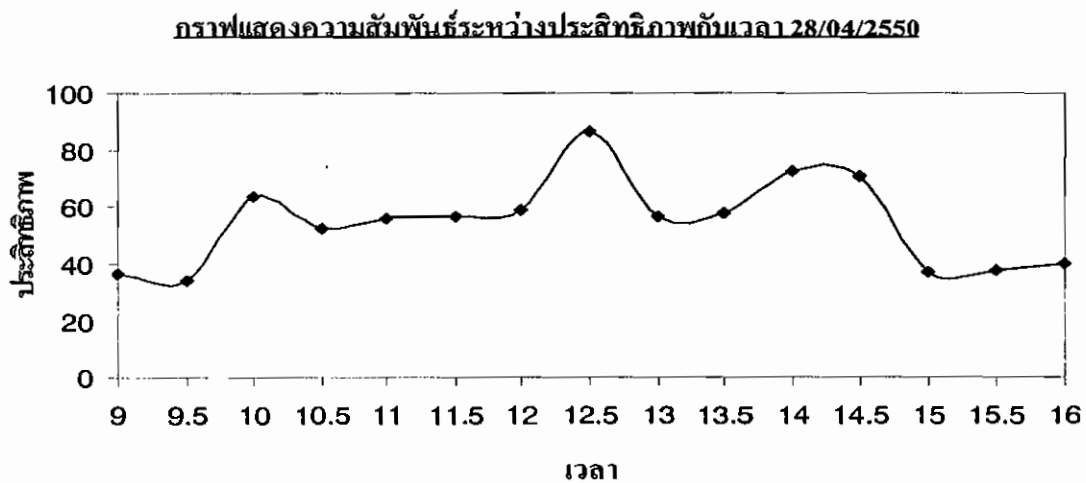


กราฟ 51 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 28/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 28/04/2550



กราฟ 52 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 28/04/2550



กราฟ 53 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลากับเวลา 28/04/2550

ตาราง 33 แสดงการบันทึกข้อมูลผลการทดลอง วันที่ 29/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที

Time	T_a °C	Q LPM L/m	T absorber (°C)					T glass °C		T water °C		ถัง เก็บ น้ำ	ความ เร็วลม (m/s)	Evaporater °C			Condenser °C		
			A1	A2	A3	A4	A5	Gi	Go	In	out			E1	E2	E3	C1	C2	C3
8.00	30.4	0.61	34.8	38.6	39.5	39.5	34.4	33.8	32.1	30.2	30.3	30.2	0.15	40.5	39.8	39.3	30.5	30.6	30.4
8.30	30.6	0.61	35.9	39.6	40.4	40.7	35.6	34.9	33.6	31.4	31.5	31.4	0.07	41.1	40.4	39.4	31.6	31.6	31.7
9.00	30.2	0.61	36.4	40.6	41.4	41.7	36.2	35.4	34.0	32.2	32.4	32.2	0.14	42.7	41.8	41.1	32.7	32.6	32.7
9.30	31.7	0.61	39.1	44.1	44.7	44.3	38.3	37.8	36.1	34.4	34.5	34.4	0.22	43.6	43.5	43.2	35.3	35.2	35.4
10.00	32.3	0.61	40.9	46.7	47.6	47.8	40.0	39.5	38.3	36.4	36.6	36.4	0.12	45.6	45.1	45.3	37.2	37.3	37.3
10.30	34.5	0.61	42.1	48.4	49.4	49.6	41.1	42.3	40.1	38.2	38.4	38.2	0.24	46.9	46.8	45.8	38.9	38.8	38.9
11.00	33.9	0.61	42.4	46.3	47.8	47.7	40.9	40.8	39.1	40.2	40.4	40.2	0.40	47.9	47.8	46.1	40.8	40.8	41.0
11.30	33.0	0.61	43.5	48.8	50.6	49.0	40.7	41.2	40.2	41.5	41.7	41.5	0.19	50.9	50.7	47.4	42.1	42.2	42.2
12.00	32.7	0.61	43.7	48.8	49.8	48.5	48.2	40.1	39.5	42.1	42.3	42.1	0.34	50.9	50.7	46.7	43.2	43.3	43.2
12.30	33.9	0.61	43.9	48.8	50.5	49.3	41.7	41.5	41.1	43.7	43.9	43.7	0.76	51.6	51.6	47.3	44.0	43.9	43.9
13.00	34.6	0.61	44.8	49.2	51.0	49.9	41.9	42.2	46.8	44.7	44.9	44.7	0.37	52.5	52.4	48.2	45.1	45.2	45.1
13.30	33.6	0.61	46.0	50.9	52.1	51.6	43.3	43.6	43.3	45.3	45.5	45.3	0.85	53.9	53.6	49.2	46.2	46.1	46.2
14.00	34.6	0.61	46.9	49.5	50.7	50.3	43.8	43.2	42.8	45.6	45.8	45.6	0.65	54.3	54.4	50.0	46.9	46.8	47.0
14.30	34.2	0.61	45.6	47.2	48.6	48.1	41.7	42.5	41.2	46.2	46.3	46.2	0.55	52.9	53.1	46.4	47.6	47.6	47.7
15.00	33.3	0.61	41.7	40.8	44.7	41.8	38.6	41.2	38.8	47.6	47.8	47.6	0.09	47.9	46.4	41.1	47.8	47.6	47.7
15.30	33.9	0.61	42.2	44.5	45.5	44.8	38.9	39.7	38.6	47.6	47.7	47.6	0.71	50.5	48.8	41.9	48.1	48.2	48.1
16.00	34.4	0.61	43.2	46.3	47.3	46.9	39.6	40.8	40.1	47.8	47.9	47.8	0.12	51.2	50.4	42.7	48.1	48.2	48.1

ตาราง 34 แสดงการคำนวณหาค่าความร้อนที่ได้รับ วันที่ 29/04/50 อัตราการไหล 0.61 ลิตร/นาที

Time	$G(w/m^2)$	$Q_1(w)$	$\rho(kg/m^3)$	$C_p(kj/kg.^{\circ}C)$	$m(kg/s)$	$\Delta T_w(^{\circ}C)$	S.R.
8.00	542.64	10.31	996.244	4.18	0.010128	0.1	0.7
8.30	571.20	10.85	995.812	4.18	0.010124	0.1	0.7
9.00	614.24	11.67	995.452	4.18	0.010120	0.1	0.4
9.30	656.88	12.48	995.128	4.18	0.010117	0.1	0.3
10.00	699.72	13.29	994.588	4.18	0.010112	0.2	0.3
10.30	842.52	16.06	994.156	4.18	0.010107	0.2	0.1
11.00	799.68	15.19	993.94	4.18	0.010105	0.2	0.1
11.30	785.40	14.92	993.508	4.18	0.010101	0.2	0.1
12.00	756.84	14.38	993.22	4.18	0.010098	0.2	0.1
12.30	771.12	14.65	992.932	4.18	0.010095	0.2	0.1
13.00	785.48	14.92	992.356	4.18	0.010089	0.2	0.1
13.30	771.12	14.65	991.924	4.18	0.010085	0.2	0.4
14.00	614.04	11.67	991.528	4.18	0.010081	0.2	0.3
14.30	628.34	11.94	991.564	4.18	0.010081	0.1	0.6
15.00	599.68	11.39	991.708	4.18	0.010082	0.1	0.6
15.30	585.48	11.12	991.888	4.18	0.010084	0.1	0.6
16.00	556.92	10.58	992.068	4.18	0.010086	0.1	0.6

ตาราง 35 แสดงการคำนวณหามุมตกกระทบ วันที่ 29/04/50 มุม 18 องศา

Time	ϕ	n	δ	β	ω	γ	$\cos \theta_1$	θ_1	$K\alpha\tau$	$(\tau\alpha)_n$	$\tau\alpha$
8.00	0.283	119	0.249	0.314	-1.047	1.571	0.204	78.23	0.88	0.87	0.76
8.30	0.283	119	0.249	0.314	-0.968	1.571	0.278	73.87	0.88	0.87	0.76
9.00	0.283	119	0.249	0.314	-0.785	1.571	0.442	63.77	0.88	0.87	0.76
9.30	0.283	119	0.249	0.314	-0.706	1.571	0.508	59.42	0.89	0.87	0.77
10.00	0.283	119	0.249	0.314	-0.523	1.571	0.651	49.40	0.95	0.87	0.82
10.30	0.283	119	0.249	0.314	-0.445	1.571	0.705	45.15	0.98	0.87	0.85
11.00	0.283	119	0.249	0.314	-0.262	1.571	0.816	35.34	0.99	0.87	0.86
11.30	0.283	119	0.249	0.314	-0.183	1.571	0.855	31.20	0.99	0.87	0.86
12.00	0.283	119	0.249	0.314	0	1.571	0.926	22.07	1	0.87	0.87
12.30	0.283	119	0.249	0.314	0.183	1.571	0.967	14.62	1	0.87	0.87
13.00	0.283	119	0.249	0.314	0.262	1.571	0.975	12.72	1	0.87	0.87
13.30	0.283	119	0.249	0.314	0.445	1.571	0.970	13.91	1	0.87	0.87
14.00	0.283	119	0.249	0.314	0.523	1.571	0.958	16.49	1	0.87	0.87
14.30	0.283	119	0.249	0.314	0.706	1.571	0.908	24.65	1	0.87	0.87
15.00	0.283	119	0.249	0.314	0.785	1.571	0.877	28.61	1	0.87	0.87
15.30	0.283	119	0.249	0.314	0.968	1.571	0.785	38.20	0.99	0.87	0.86
16.00	0.283	119	0.249	0.314	1.047	1.571	0.737	42.44	0.98	0.87	0.85

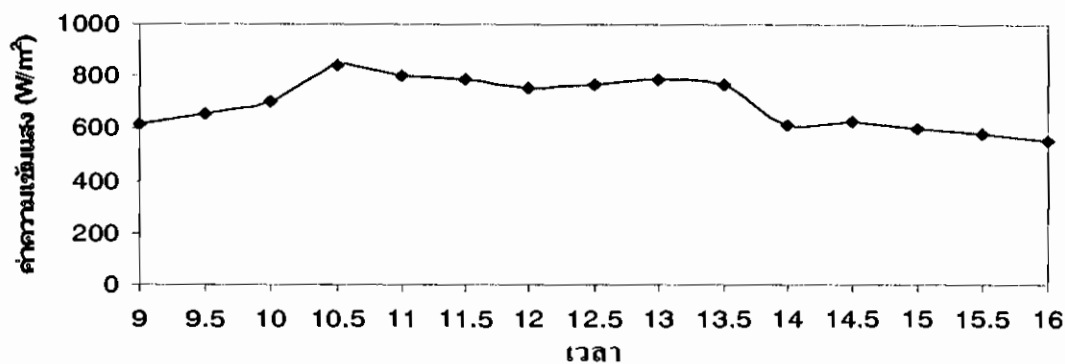
ตาราง 36 สรุปผลการคำนวณ วันที่ 29/04/50 มุม 18 องศา

Time	Q_1 (W)	Q_{abs} (W)	Q_w (W)	η (%)
8.00	10.31	61.86096	4.233504	41.06211
8.30	10.85	65.1168	4.231832	39.00306
9.00	11.67	70.02336	4.23016	36.24816
9.30	12.48	75.86964	4.228906	33.88546
10.00	13.29	86.06556	8.453632	63.60897
10.30	16.06	107.4213	8.449452	52.61178
11.00	15.19	103.1587	8.44778	55.61409
11.30	14.92	101.3166	8.444436	56.5981
12.00	14.38	98.76762	8.441928	58.70604
12.30	14.65	100.6312	8.43942	57.60696
13.00	14.92	102.5051	8.434404	56.53086
13.30	14.65	100.6312	8.43106	57.5499
14.00	11.67	80.13222	8.427716	72.21693
14.30	11.94	81.99837	4.213858	35.29194
15.00	11.39	78.25824	4.214276	36.99979
15.30	11.12	75.52692	4.215112	37.90568
16.00	10.58	71.0073	4.215948	39.84828

สรุป ปริมาณความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w) = 54.03 W/day
 พลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ย = 103.76 W/day
 ประสิทธิภาพของระบบ (η) = 52.1%

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มแสงกับเวลา

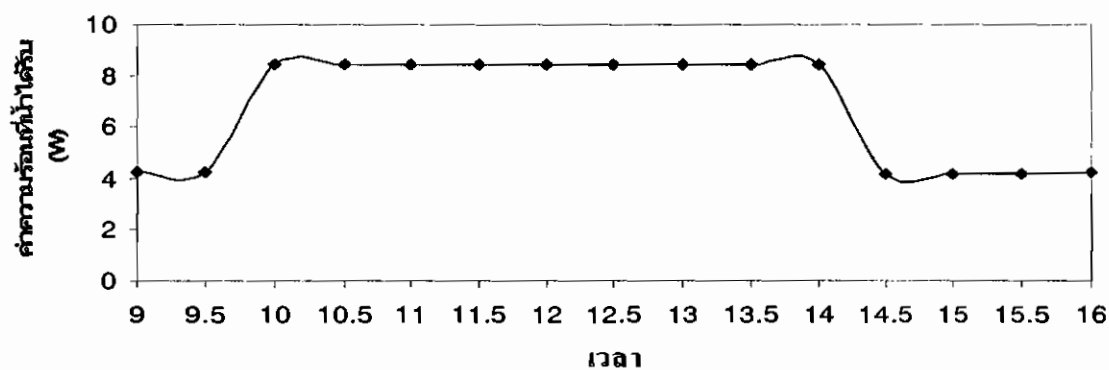
29/04/2550



กราฟ 54 แสดงค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบางรังสีกับเวลา 29/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา

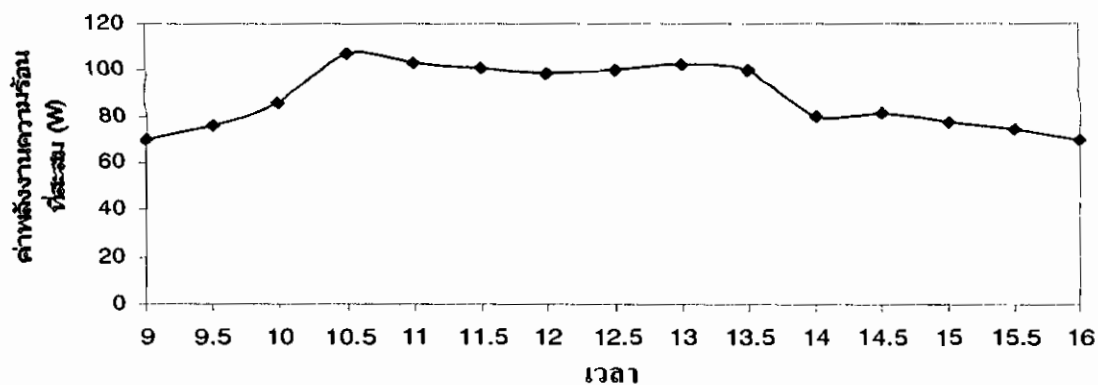
29/04/2550



กราฟ 55 แสดงค่าความร้อนที่น้ำได้รับกับเวลา 29/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความร้อนที่สะสมแผ่รับรังสีกับเวลา

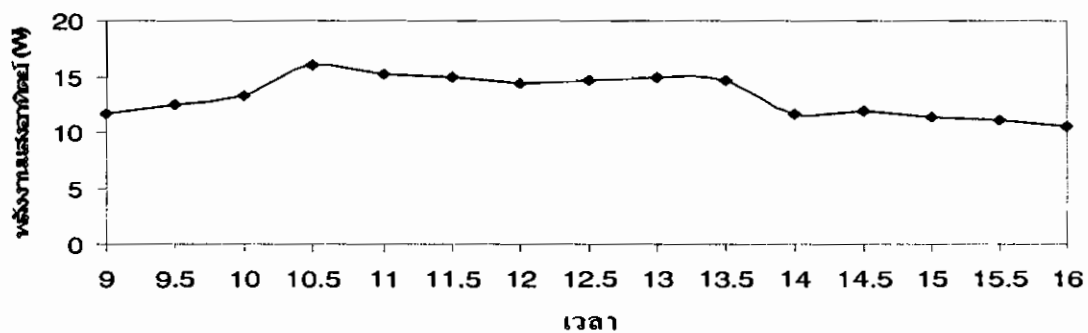
29/04/2550



กราฟ 56 แสดงค่าความร้อนที่สะสมแผ่รับรังสีกับเวลา 29/04/2550

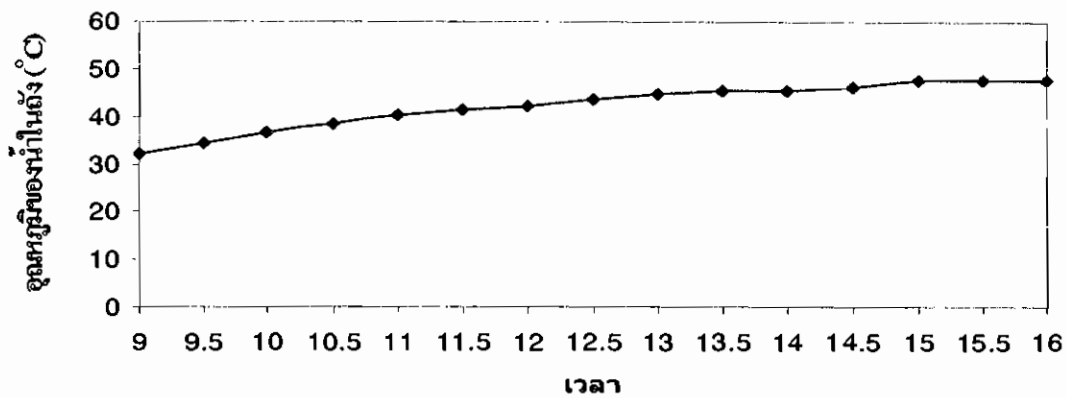
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับ

เวลา 29/04/2550



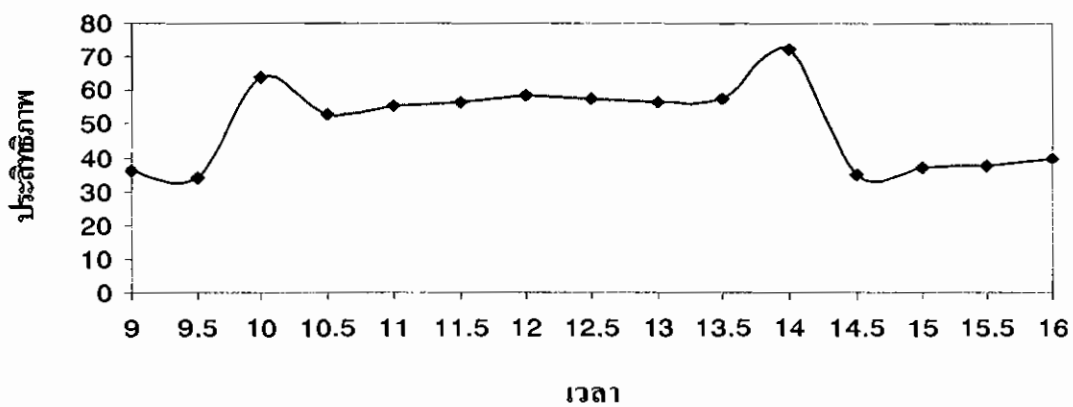
กราฟ 57 แสดงค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงกับเวลา 29/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 29/04/2550



กราฟ 58 แสดงค่าอุณหภูมิของน้ำในถังกับเวลา 29/04/2550

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับเวลา 29/04/2550



กราฟ 59 แสดงค่าประสิทธิภาพกับเวลา 29/04/2550

ภาคผนวก ข
ตัวอย่างการคำนวณ

ระบบสัญลักษณ์และหน่วยที่ใช้ในการคำนวณ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
A	พื้นที่หน้าตัด	m^2
G	ความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์	W
C _p	ค่าความร้อนจำเพาะของสาร	$J / kg^{\circ}C$
L	ความยาว	m
$\dot{m}$	อัตราการไหลเชิงมวล	kg/s
Q	อัตราการไหลของน้ำ	l/min
Q ₁	ค่าความร้อนที่แผงรับรังสี	W
Q _w	ค่าความร้อนที่น้ำได้รับ	W
η	ค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสี	%
q	อัตราการถ่ายเทความร้อน	W / m^2
R	ค่าความต้านทานความร้อน	$^{\circ}C / W$
T	อุณหภูมิ	$^{\circ}C$
ρ	ค่าความหนาแน่นของสาร	kg / m^3
σ	ค่าแรงตึงผิวของสาร	N/m
T _{ag}	อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างแผ่นดูดรังสีและกระจก	$^{\circ}C$
T _{avg}	อุณหภูมิเฉลี่ย	$^{\circ}C$
T _g	อุณหภูมิกระจก	$^{\circ}C$
T _a	อุณหภูมิที่แผ่นดูดรังสี	$^{\circ}C$
T _a	อุณหภูมิอากาศ	$^{\circ}C$
T _w	อุณหภูมิระหว่างน้ำขาเข้าและขาออก	$^{\circ}C$
T _{w,in}	อุณหภูมิน้ำขาเข้าถึงแลกเปลี่ยนความร้อน	$^{\circ}C$
T _{w,out}	อุณหภูมิขาออกถึงแลกเปลี่ยนความร้อน	$^{\circ}C$

การคำนวณในวันที่ 30/03/50 เวลา 12.00 น.

$$1. \quad G = \text{glo.Rad}$$

$$= 807.97 \text{ W/m}^2$$

$$2. \quad \text{หาอุณหภูมิเฉลี่ย } (T_{avg}) \text{ ที่ตำแหน่งต่างๆ}$$

$$Ta = (Ta_1 + Ta_2 + Ta_3 + Ta_4 + Ta_5) / 5$$

$$= (45.7 + 45.2 + 44.9 + 43.7 + 45.8) / 5$$

$$= 45.06^\circ\text{C}$$

$$Tg = (Tg_1 + Tg_2) / 2$$

$$= (43.5 + 45.1) / 2$$

$$= 44.3^\circ\text{C}$$

$$3. \quad \text{หาอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิแผ่นรับรังสี (Ta) กับอุณหภูมิของแก้ว (Tg)}$$

$$Tag = (Ta + Tg) / 2$$

$$= (45.06 + 44.3) / 2$$

$$= 44.18^\circ\text{C}$$

$$4. \quad \text{หาพื้นที่หน้าตัดของแผงรับรังสี (Ac) และแก้ว (Ag)}$$

$$Ac = 0.1 \times 1.5 \text{ m}^2$$

$$= 0.15 \text{ m}^2$$

$$Ag = 2\pi r_1 L - 2\pi r_2 L$$

$$= 2\pi(0.029)(1.5) - 2\pi(0.027)(1.5)$$

$$= 0.019 \text{ m}^2$$

$$5. \quad \text{หาปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ Q1}$$

$$Q1 = G \times Ag$$

$$= 807.97 \text{ W/m}^2 \times 0.019 \text{ m}^2$$

$$= 15.35 \text{ W}$$

$$6. \quad \text{หาอัตราการไหลของน้ำ (m) จากอุณหภูมิของน้ำ; T: เปิดค่า property ที่อุณหภูมิ } 35.5^\circ\text{C}$$

$$\text{จะได้ค่า } Cp = 4.18 (\text{KJ} / \text{Kg} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$\rho = 993.22 (\text{Kg} / \text{m}^3)$$

$$Q = \text{lit} / \text{min}$$

$$m^\circ = Q \times \rho$$

$$= 0.61 \times 993.22 (\text{Kg} / \text{m}^3) / (1000 \times 60)$$

$$= 0.010098 \text{Kg} / \text{s}$$

7. หาค่าความร้อนที่น้ำได้รับ (Q_w)

$$\text{จาก } Q_w = m \times Cp \times \Delta T_w$$

$$\Delta T_w = T_{w;out} - T_{w;in}$$

$$= 45.4 - 45.1$$

$$= 0.3^\circ\text{C}$$

$$\text{แทนค่า } Q_w = 0.011543 \text{Kg} / \text{s} \times 4.18 (\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 0.3^\circ\text{C}$$

$$= 14.474 \text{w}$$

8. หามุม ω จาก

$$\omega = -15(12 - t) \quad ; t \text{ คือเวลาในการทดลอง}$$

$$\omega = -15(12 - 12.00)$$

$$= 0$$

9. หามุม ϕ คือมุมที่ตั้งของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ (จังหวัดมหาสารคาม

$$\phi = 16 \text{ องศา } 14 \text{ ลิปดา}$$

$$= 16.23 \text{ องศา หรือ } 0.283 \text{ เรเดียน}$$

10. หามุม $\delta = 23.45 \text{ องศา } \sin [(284 + n) \times 360 / 365]$

; n เป็นจำนวนวันตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ทำการทดลอง เท่ากับ 89 วัน

$$\delta = 23.45 \sin [(284 + 89) \times 360 / 365]$$

$$= 3.22 \text{ องศา หรือ } 0.056 \text{ เรเดียน}$$

11. หามุม γ เป็นทิศทางที่ตั้งของแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ถ้าหันไปทางทิศตะวันตกมีค่าเท่ากับ

$$90 \text{ องศา หรือ } 1.571 \text{ เรเดียน}$$

12. หามุม β เป็นมุมที่ใช้ในการทำการทดลองซึ่งเท่ากับมุม 18 องศา หรือ 0.314 เรเดียน

13. หามุม $\text{Cos} \theta_1$ หาได้จาก

$$\text{Cos} \theta_1 = \text{Sin} \delta \text{Sin} \phi \text{Cos} \beta - \text{Sin} \delta \text{Cos} \phi \text{Sin} \beta \text{Cos} \gamma + \text{Cos} \delta \text{Cos} \phi \text{Cos} \beta \text{Cos} \omega$$

$$+ \text{Cos} \delta \text{Sin} \phi \text{Sin} \beta \text{Cos} \gamma \text{Cos} \omega + \text{Cos} \delta \text{Sin} \beta \text{Sin} \gamma \sin \omega$$

ซึ่งถ้าแทนค่ามุมต่าง ๆ แล้วค่า

$$\text{Cos} \theta_1 = 0.926$$

$$\theta_1 = \text{Cos}^{-1} 0.926 = 22.07 \text{ องศา}$$

14. หาค่า K_{ar} นำค่า θ_1 ไปเปิดจากตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าแก้ไข กับ มุมตกกระทบ

$$K_{ar} = 1$$

15. หาค่า $(\tau\alpha)_n$ เปิดตารางสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีและสัมประสิทธิ์การดูดกลืน (ของแก้ว)

$$(\tau\alpha)_n = 0.87$$

16. หาค่า $\tau\alpha = K_{ar} \times (\tau\alpha)_n$

$$= 1 \times 0.87 = 0.87$$

17. หาค่า $Q_{abs} = \tau\alpha \times GA = 0.87 \times 985.32 \times 0.15 = 128.584 \text{ W}$

18. หาประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อน (η) จาก

$$\begin{aligned}\eta &= m \times C_p \times \Delta T_w / (G \times A_g) \\ &= 0.010098 \text{ Kg/s} \times 4.18 (\text{KJ/Kg} \cdot ^\circ\text{C}) \times 0.3^\circ\text{C} / (807.97 \text{ W/m}^2 \times 0.019 \text{ m}^2) \\ &= 82.49 \%\end{aligned}$$

หาประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ค่าพลังงานแสงอาทิตย์

สมการเชิงเส้น

xi	yi	xi^2	xiyi
8	4.23	64	33.86
8.5	4.23	72.25	35.97
9	4.23	81	38.07
9.5	8.45	90.25	80.349
10	8.45	100	84.53
$\Sigma 45$	29.60	407.5	272.79

$$a_0 = \frac{(29.60)(407.5) - (272.79)(45)}{5(407.5) - (45)^2} = -16.87$$

$$a_1 = \frac{5(272.79) - (45)(29.60)}{12.5} = 2.53$$

$$\int_8^{10} (-16.877 + 2.53x) dx = \left[-16.877x - \frac{2.53x^2}{2} \right]_8^{10}$$

$$= 23.43$$

กฎของสี่เหลี่ยมคางหมูแบบหลายช่วง

$$\begin{bmatrix} 5 & 60 & 730 & 9000 \\ 60 & 730 & 9000 & 112354 \\ 730 & 9000 & 112354 & 141900 \\ 9000 & 112354 & 141900 & 18113890 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 82.2 \\ 989.1 \\ 12056.22 \\ 148768.7 \end{bmatrix}$$

แก้ระบบสมการ หาค่า a_0, a_1, a_2, a_3

จะได้

$$a_0 = 16.22$$

$$a_1 = 17.779$$

$$a_2 = 19.74$$

$$a_3 = 22.37$$

แทนค่าในสูตรจะได้

$$Y(x) = 16.22 + 17.77x + 19.74x^2 + 22.37x^3$$

$$h = \frac{14 - 10}{4} = 1$$

แทนค่า

$$f(x_0 = 0) = 9.83$$

$$f(x_1 = 1) = 9.87$$

$$f(x_2 = 2) = 10.52$$

$$f(x_3 = 3) = 11.01$$

$$f(x_4 = 4) = 11.32$$

แทนค่าในสูตร

$$\begin{aligned} I &= \frac{h}{2} \left(f(x_0) + f(x_4) + 2 \sum_{i=1}^{4-1} f(x_i) \right) \\ &= \frac{1}{2} (16.22 + 25.97 + 2(17.77 + 19.74 + 22.37)) \\ &= 80.01\# \end{aligned}$$

สมการเชิงเส้น

x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$
14	16.18	196	226.52
14.5	14.69	210.25	213.01
15	12.27	225	191.55
15.5	10.81	240.25	167.55
16	8.84	256	141.44
$\Sigma 75$	63.29	1127.5	940.07

$$a_0 = \frac{(63.29)(1127.5) - (940.07)(75)}{5(1127.5) - (75)^2} = 68.32$$

$$a_1 = \frac{5(940.07) - (75)(63.29)}{12.5} = -3.71$$

$$\int_{14}^{16} (68.32 - 3.71x) dx = \left[68.32x + \frac{(-3.71)x^2}{2} \right]_{14}^{16} = 618.24 - 592.9 = 25.316\#$$

รวมพื้นที่ใต้กราฟเท่ากับ $23.43 + 80.01 + 25.31 = 128.75 \#$

หาค่าความร้อนที่น้ำได้รับ

x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$
8	4.23	64	33.86
8.5	4.23	72.25	35.99
9	4.23	81	38.07
9.5	8.45	90.25	80.34
10	8.45	100	84.53

$$\Sigma \quad 45 \quad 29.60 \quad 407.5 \quad 272.79$$

$$a_0 = \frac{(29.60)(407.5) - (272.79)(45)}{5(407.5) - 45^2}$$

$$= -16.87$$

$$a_1 = \frac{(5 \times 272.79) - (29.60)(45)}{12.5}$$

$$= 2.53$$

$$\int_8^{10} (-16.877 + 2.53x) dx = \left[-16.877x - \frac{2.53x^2}{2} \right]_8^{10}$$

$$= 11.84$$

x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$
10	8.45	100	84.53
10.5	8.44	110.25	88.71
11	12.67	121	139.38
11.5	12.66	132.25	145.66
12	12.66	144	151.95
Σ 55	54.90	607.5	610.26

$$a_0 = \frac{(54.90)(607.5) - (610.26)(55)}{(5 \times 607.5) - 55^2}$$

$$= -16.81$$

$$a_1 = \frac{(5 \times 610.26) - (54.90)(55)}{26}$$

$$= 2.52$$

$$\int_{10}^{12} (-16.81 + 2.52x) dx = \left[-16.81x - \frac{2.52x^2}{2} \right]_{10}^{12}$$

$$= 21.96$$

x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$
12	12.66	144	151.95
12.5	8.43	156.25	105.49
13	12.65	169	164.47
13.5	8.43	182.25	113.81
14	8.42	196	117.99
Σ 65	50.61	847.5	653.72

$$a_0 = \frac{(50.61)(847.5) - (653.72)(65)}{(5 \times 847.5) - 65^2}$$

$$= 32.16$$

$$a_1 = \frac{(5 \times 653.72) - (50.61)(65)}{12.5}$$

$$= -1.69$$

$$\int_{12}^{14} (32.16 - 1.69x) dx = \left[32.16x - \frac{1.69x^2}{2} \right]_{12}^{14}$$

$$= 20.24$$

x_i	y_i	x_i^2	$x_i y_i$
14	8.42	196	117.98
14.5	8.42	210.25	122.20
15	4.21	225	63.21
15.5	4.21	246.25	65.33
16	4.21	256	67.45
Σ 75	29.5	1127.5	436.19

$$a_0 = \frac{(29.5)(1127.5) - (436.19)(75)}{(5 \times 1127.5) - 75^2}$$

$$= 43.80$$

$$a_1 = \frac{(5 \times 436.19) - (29.5)(75)}{12.5}$$

$$= -2.5$$

$$\int_{14}^{16} (43.80 - 2.5x) dx = \left[43.80x - \frac{2.5x^2}{2} \right]_{14}^{16}$$

$$= 11.8$$

$$\Sigma = 11.84 + 21.96 + 20.24 + 11.8 = 65.85\%$$

ดังนั้นค่าประสิทธิภาพของแผงรับรังสีเฉลี่ยเท่ากับ $\frac{65.85}{128.75} \times 100\% = 51.14\%$

หาดัชนีบ่งชี้การแบ่งสภาพท้องฟ้า

$$\text{Sky Ratio : } S.R. = \frac{E_{ed}}{E_{eg}}$$

เมื่อ E_{ed} = ปริมาณพลังงานรังสีที่ท้องฟ้า (W/m^2)

E_{eg} = ปริมาณพลังงานสีรวม (W/m^2)

$$S.R. = \frac{242.4}{807.97}$$

$$= 0.3$$

∴ ดังนั้น สภาพท้องฟ้าในเวลา 12.00 น. วันที่ 30/03/2550 จึงมีสภาพท้องฟ้าเป็นแบบฟ้าใส

วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

$$\text{ระยะเวลาที่คุ้มทุน} = \sqrt{\frac{2p}{m'}}$$

$$= \sqrt{\frac{2(76,451)}{1000}} \approx 12 \text{ ปี}$$

ภาคผนวก ก
ตารางคุณสมบัติที่ใช้ในการคำนวณ

ตาราง 37 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสี ที่ $T_S = 300K$ และค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ของวัสดุบางชนิด

Material and Surface Condition	Total Hemispherical Emittance	Solar Absorptance
Aluminum		
Foil, as received	0.05	
Foil, bright dipped	0.03	0.10
Vacuum-deposited on dupont Mylar	0.03	0.10
Alloy 6061, as received	0.04	0.37
Alloy 7075-T6, sandblasted with 60 mesh silicon carbide grit	0.30	0.55
Weathered alloy 75S-T6	0.20	0.54
Aluminized silicone resin paint Dow - Corning XP - 310	0.20	0.27
Hard - anodized	0.80	0.23
Soft - anodized	0.76	0.55
Roofing	0.24	
Asbestos		
Board	0.93	
Cloth	0.87	
Slate	0.94	
Asphalt	0.88	
Brass		
Oxidized	0.60	
Polished	0.04	
Brick	0.90	0.63
Carbon		
Graphite, crushed on sodium silicate	0.88	0.96
Lampblack	0.92	
Chromin		
Bright plate	0.16	
Heated 50 hr at 870 K	0.18	0.78
Coal	0.78	
Concrete, rough	0.91	0.60
Copper		
Electroplated	0.03	0.47
Black oxidized in Ebanol C	0.16	0.91
Oxidized plate	0.76	
Earthenware		
Glazed	0.90	
Matte	0.93	
Frost, rime	0.99	
Glass		
Polished	0.87-0.92	
Pyrex	0.80	
Smooth	0.91	
Second - surface mirror	0.81	0.13

ตาราง 38 แสดงคุณสมบัติของของเหลว

Properties of common liquids, solids, and foods

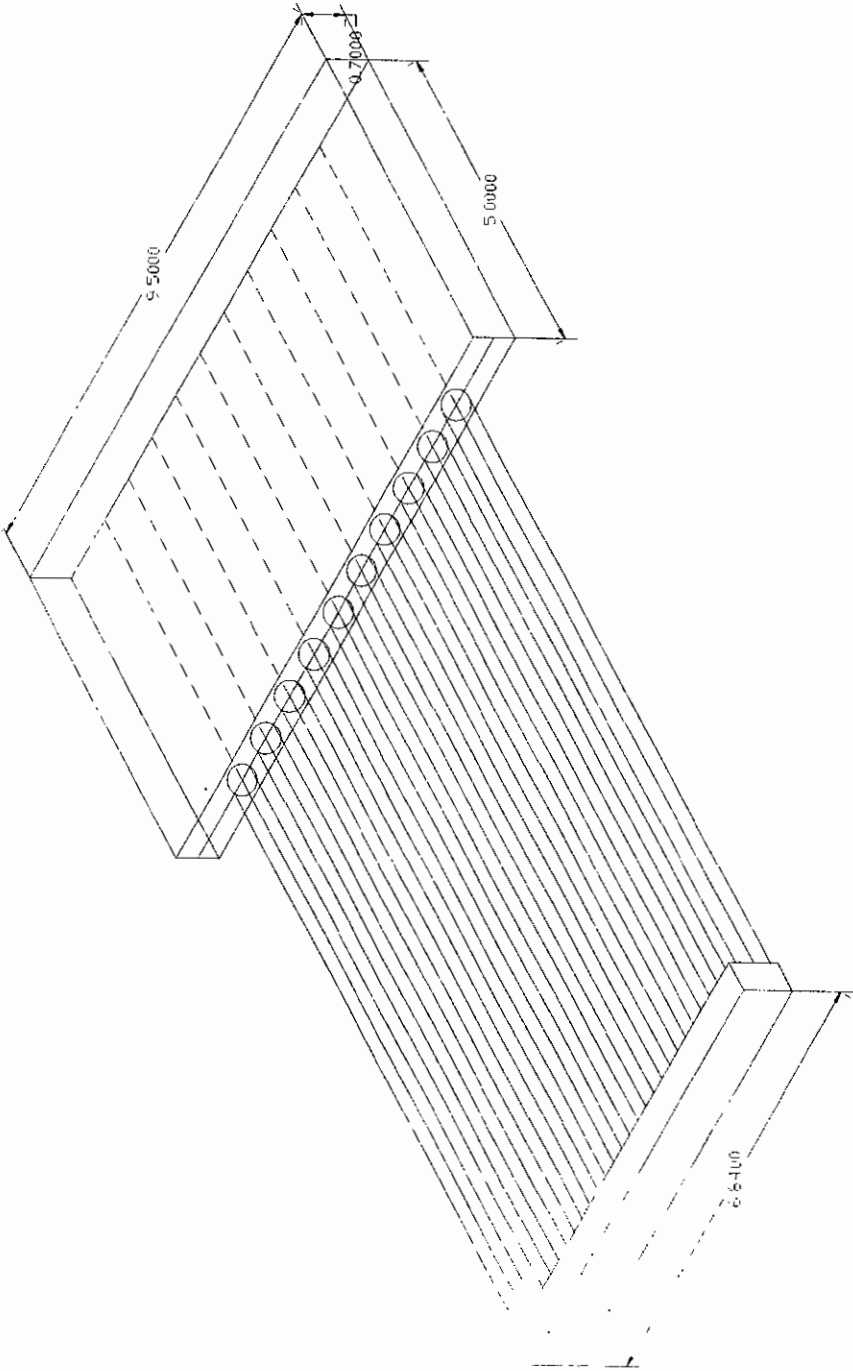
Boiling data at 1 atm			Freezing data			Liquid properties		
Normal	Latent heat of		Latent heat			Density,	Specific heat,	
Boiling vaporization,			Freezing	of fusion,	Time., °C			
Substance	point,	$h_{fg} \text{ KJ/kg}$	point, °C	$h_{if} \text{ KJ/kg}$		$\rho \text{ KJ/m}^3$	$c_p \text{ KJ/kg}$	
Ammonia	-33.3	1353	-77.7		322.4	-33.3	682	4.43
						-20	665	4.52
						0	639	4.60
						25	602	4.80
Argon	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6		1394	1.14
Benzene	80.2	364	5.5	126	20		879	1.72
Brine(20%)sodium								
Chloride dy mass	103.9	-	-17.4	-	20		1150	3.11
n – Butane	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5		601	2.31
Carbon dioxide	-87.4	230.5(at 0°C)	-56.6	-	0		298	0.59
Ethanal	78.2	838.3	-144.2	109	25		783	2.46
Ethylene glycol	1198.1	800.1	-10.8	181.1	20		1109	2.84
Ethyl alcohol	78.6	855	-156	108	20		789	2.84
Glycerine	179.9	974	18.9	200.6	20		1261	2.32
Helium	-268.9	22.8	-	-	-268.9		146.2	22.8
Hydrogen	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8		70.7	10.0
Isobutane	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7		593.8	2.28
Kerosene	204-293	251	-24.9	-	20		820	2.00
Mercury	356.7	294.7	-38.9	11.4	25		13560	0.139
Methane	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5		423	3.49
						-100	301	5.79
Mathanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25		787	2.55
Nitrogen	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8		809	2.06
						-160	596	2.97
Octane	124.8	306.3	-57.5	180.7	20		703	2.10
Oil (light)						25	910	1.80
Oxygen	-183	212.7	-218.8	13.7	-183		1141	1.71
Petroleum	230 – 384					20	640	2.0
Propane	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1		581	2.25
						0	529	2.53
						50	449	3.13
Refrigerant – 134a	-26.1	216.8	-96.6	-	-50		1443	1.23
						-26.1	137.4	1.27
						0	1294	1.34
						25	1206	1.42
Water	100	2257	0.0	333.7	0		1000	4.23
						25	997	4.18
						50	988	4.18



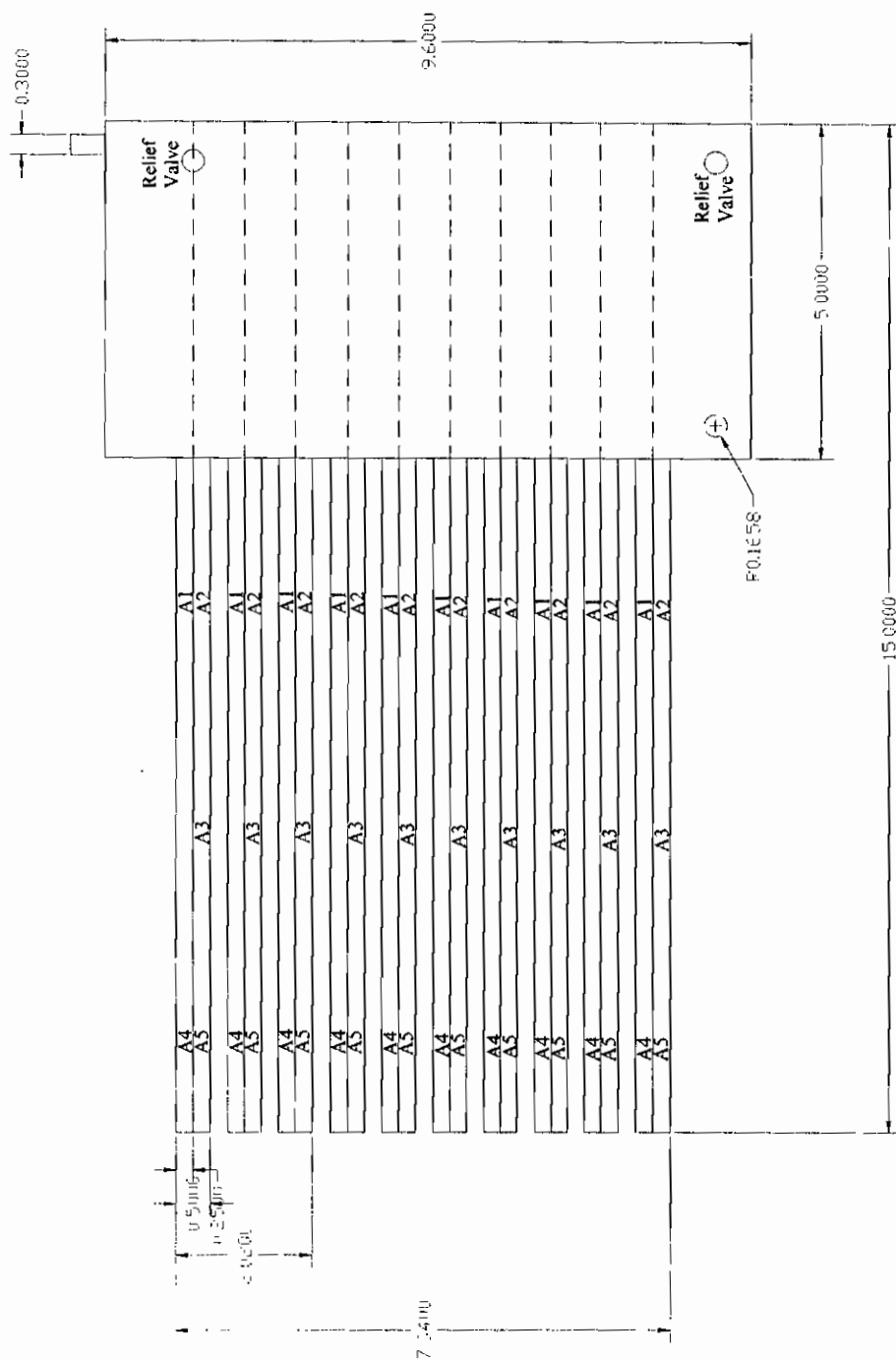
ตาราง 39 แสดงดัชนีบ่งชี้การแบ่งสภาพท้องฟ้า 3 แบบ

S.R. (Sky Ratio)	สภาพท้องฟ้า
$S.R. \leq 0.3$	ฟ้าใส
$0.3 < S.R. < 0.8$	มีเมฆบางส่วน (ฟ้าสลับ)
$0.8 \leq S.R.$	ฟ้าครึ้ม

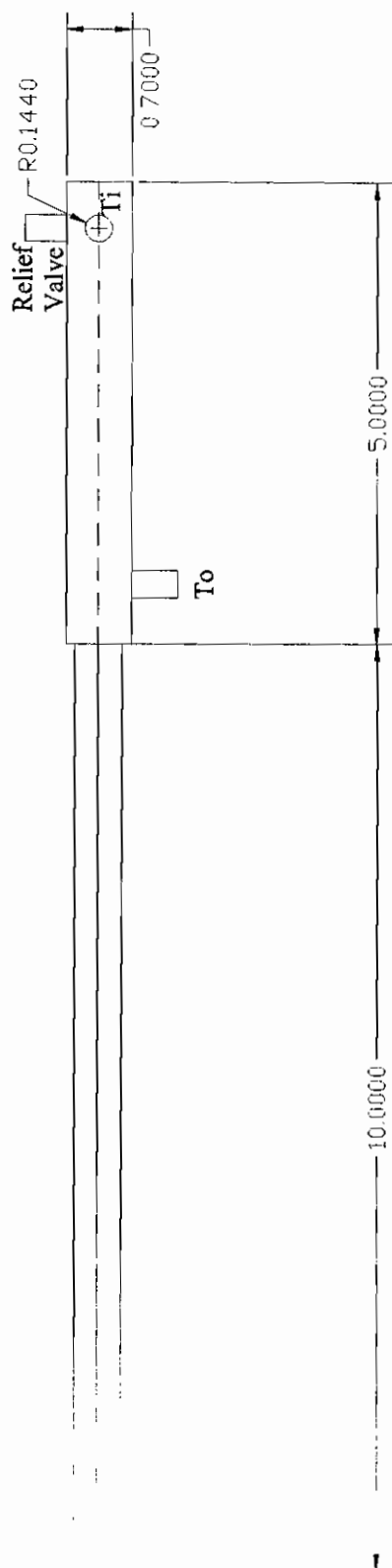
ภาคผนวก ง
ภาพแสดงแบบและชุดทดลอง



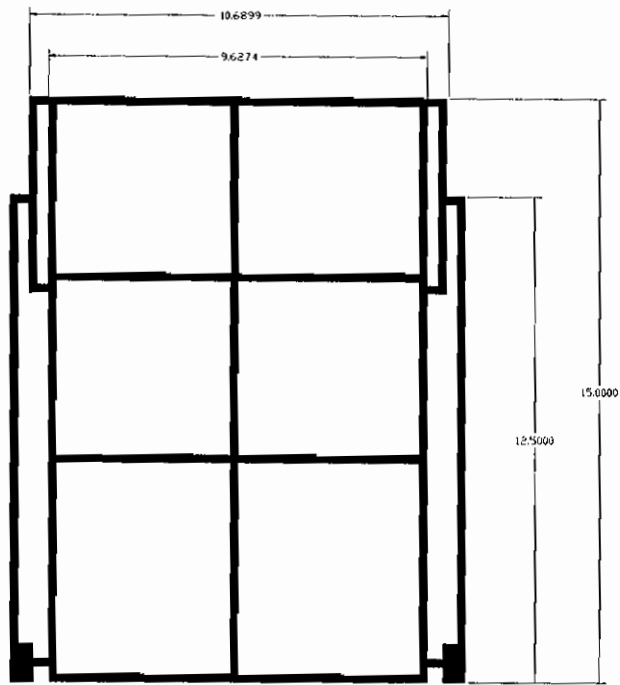
ภาพประกอบ 12 แสดงแบบโครงสร้างของถังแลกเปลี่ยนความร้อน



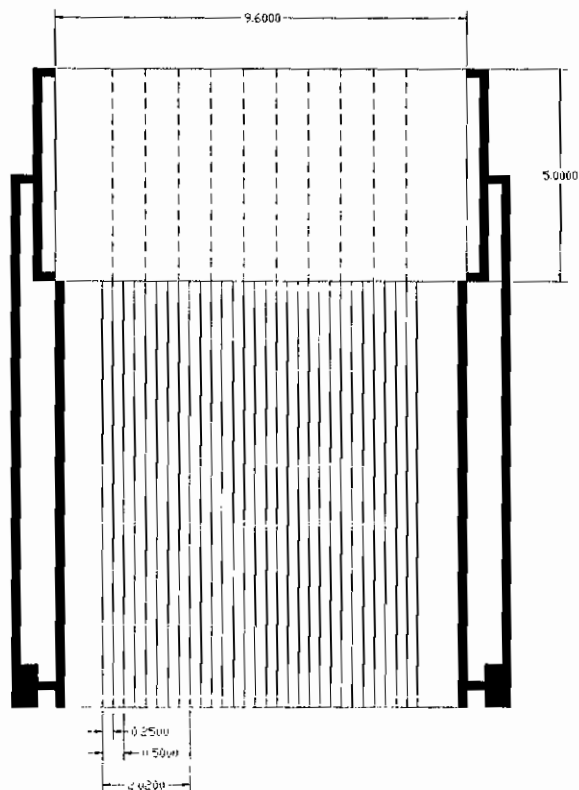
ภาพประกอบ 13 แสดงการติดตั้งสายท่อรั้มคัปเปิลบนแผ่นรับรังสี



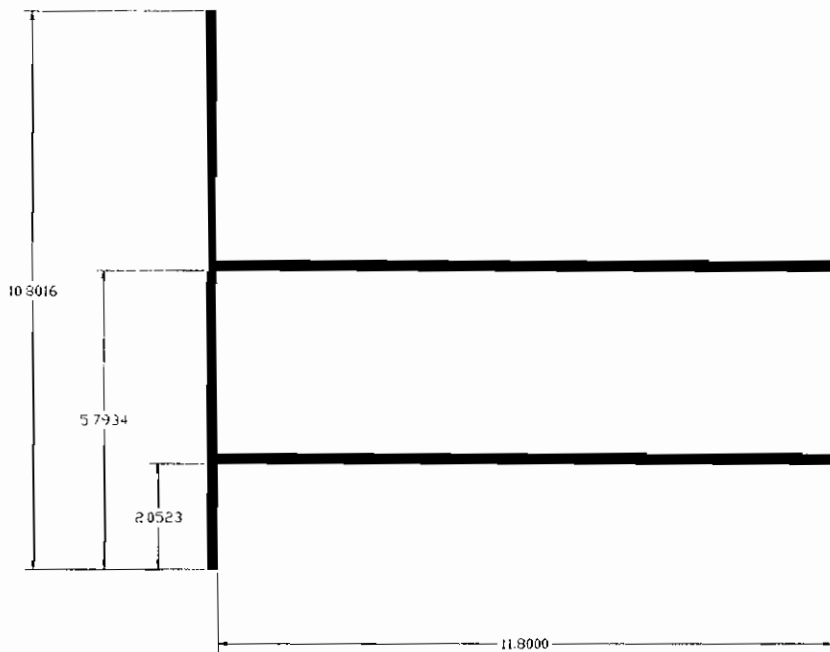
ภาพประกอบ 14 แสดงการติดตั้งท่อน้ำเข้า - ออก



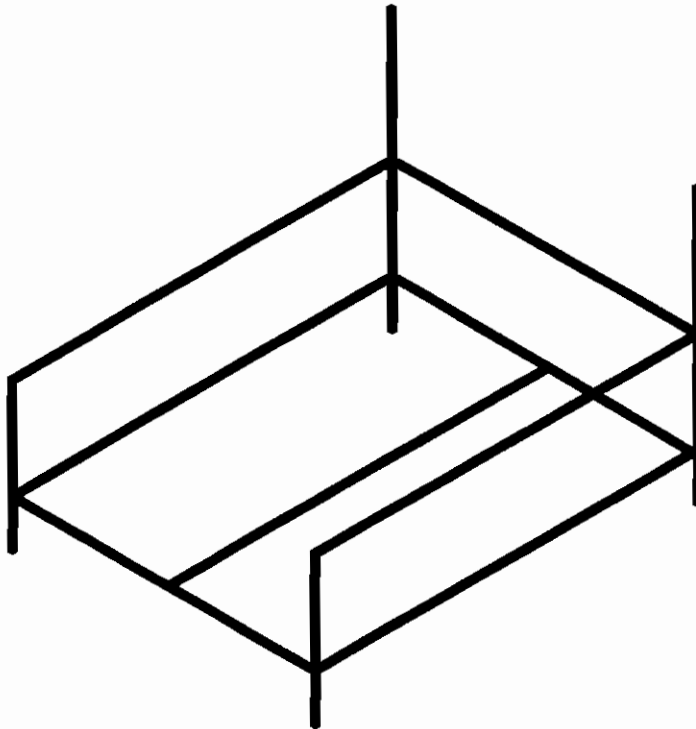
ภาพประกอบ 15 แสดงแบบโครงสร้างของแผง



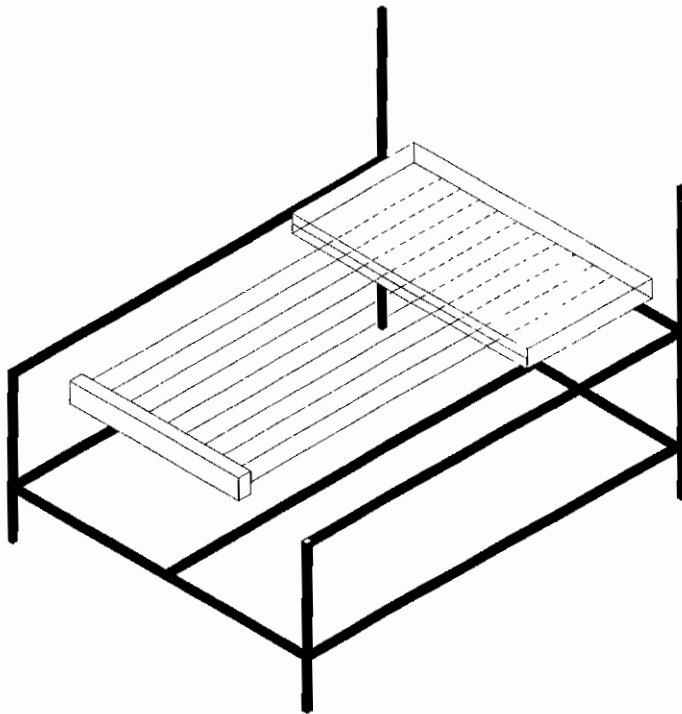
ภาพประกอบ 16 แสดงแบบแผงรับรังสี



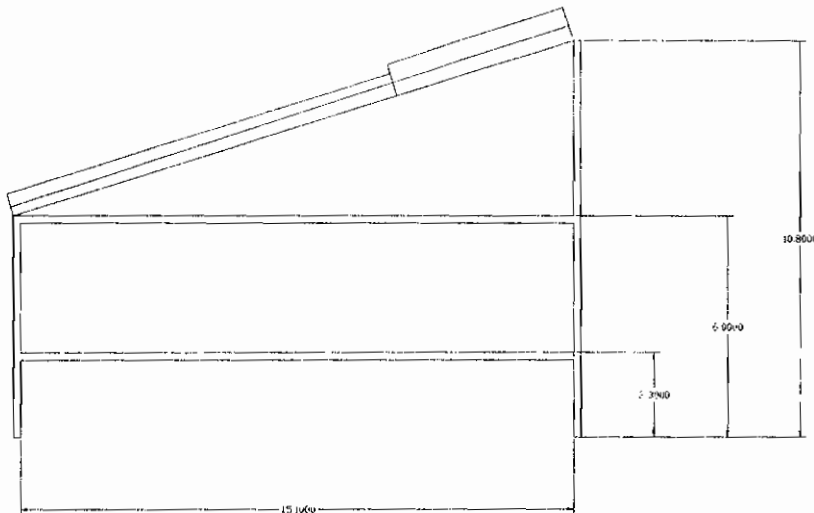
ภาพประกอบ 17 แสดงแบบโครงสร้างที่ติดตั้งแผงรับรังสี



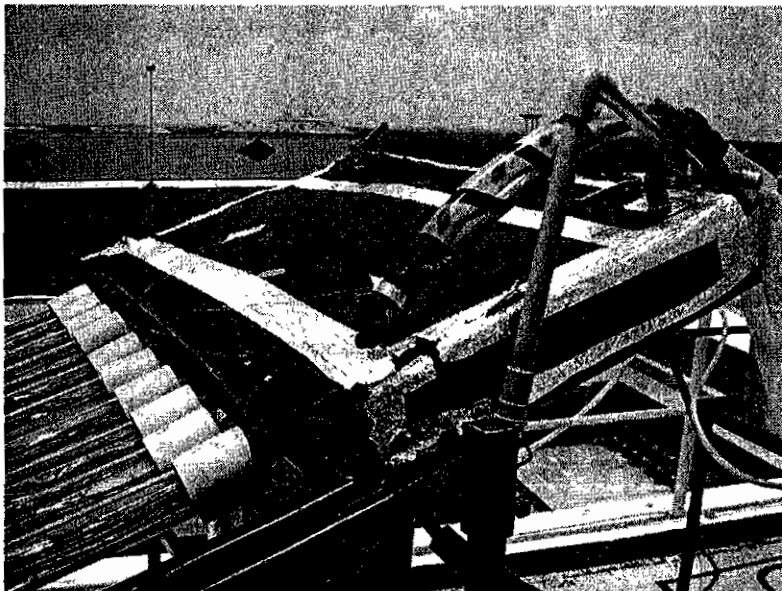
ภาพประกอบ 18 แสดงแบบโครงสร้างที่ติดตั้งแผงรับรังสี



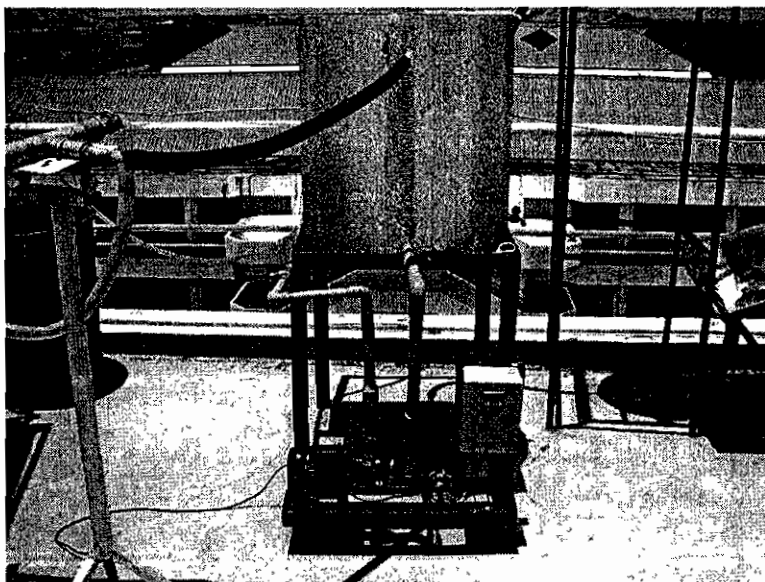
ภาพประกอบ 19 แสดงแบบการติดตั้งชุดแผงรับรังสีเข้ากับโครงสร้าง



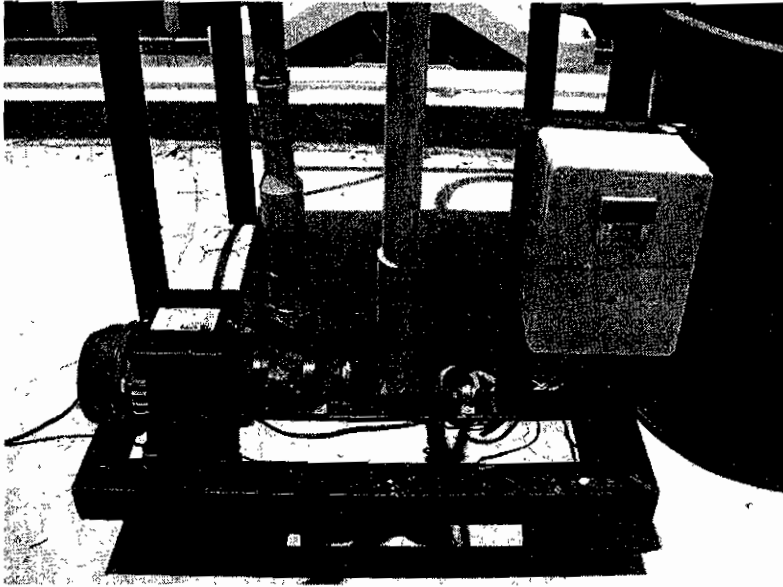
ภาพประกอบ 20 แสดงแบบโครงสร้างการติดตั้งแผงรับรังสี



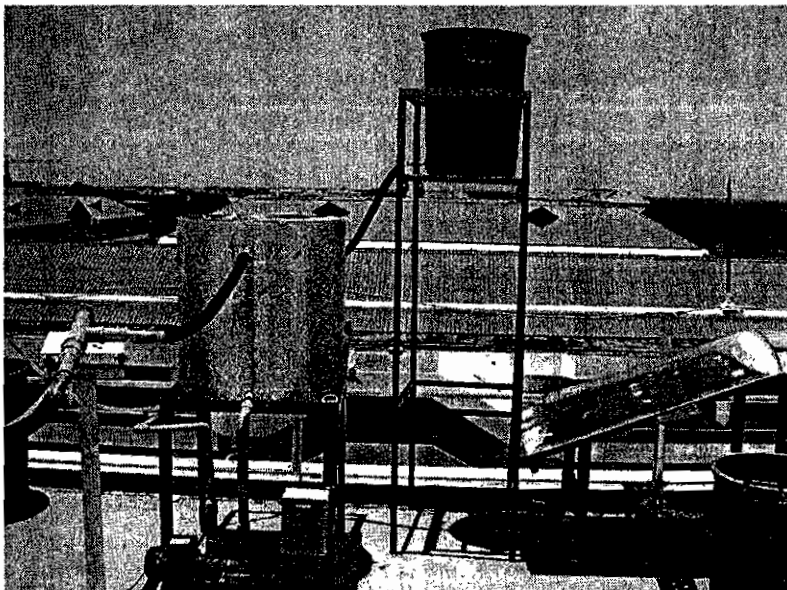
ภาพประกอบ 21 แสดงถึงแลกเปลี่ยนความร้อน



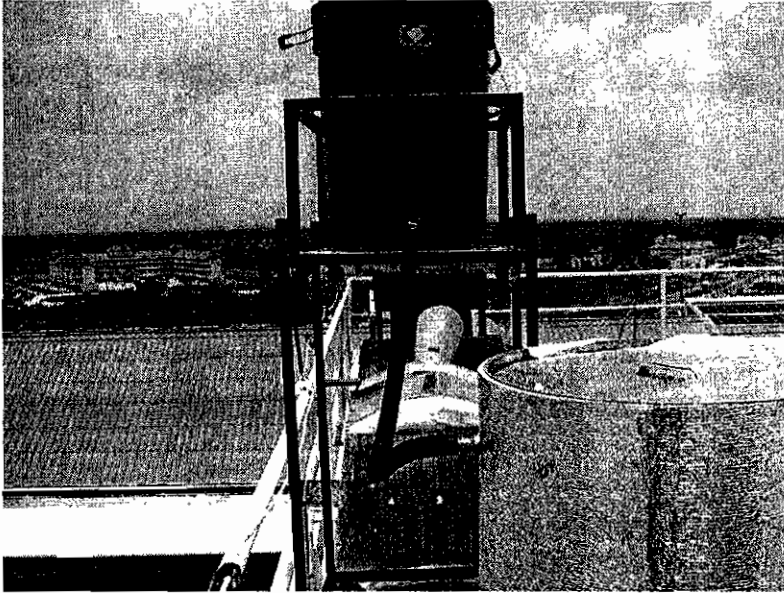
ภาพประกอบ 22 แสดงถึงเก็บน้ำอุ่น



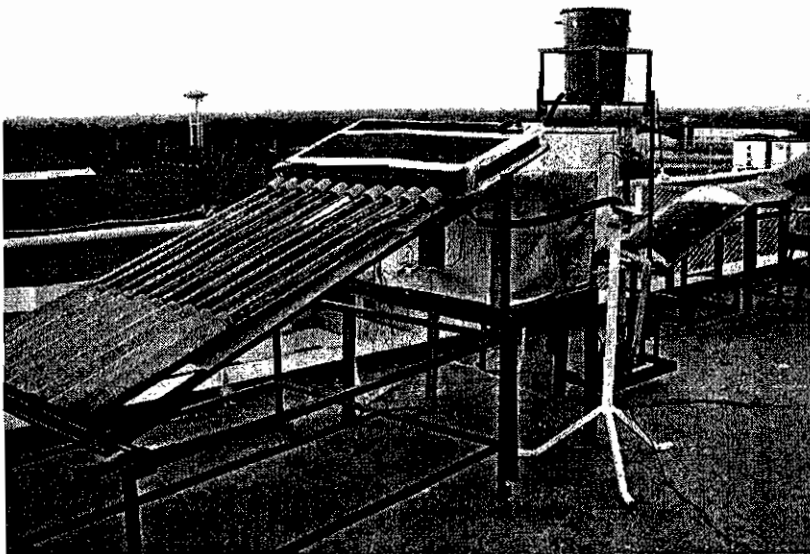
ภาพประกอบ 23 แสดงปั้มน้ำและชุดควบคุมอุณหภูมิ



ภาพประกอบ 24 แสดงถังเติมน้ำสำรอง



ภาพประกอบ 25 แสดงการทำงานของเครื่องเติมน้ำจากถังน้ำสำรอง



ภาพประกอบ 26 แสดงการทำงานแบบครบวงจร

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ กล้าณรงค์ คำสมบัติ
วันเกิด วัน สุกร์ ที่ 15 เมษายน พ.ศ. 2526
สถานที่เกิด บ้านเลขที่ 76 หมู่ 2 ตำบล นาโดน อำเภอนาโดน จังหวัด มหาสารคาม
44180

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2541	ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนนาถูนประชาสรรค์
พ.ศ. 2544	ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ช่างยนต์ วิทยาลัยการอาชีพพยุหคณภูมิพิสัย จังหวัดมหาสารคาม
พ.ศ. 2546	ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ช่างยนต์ วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม
พ.ศ. 2549	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาเครื่องกล (พลังงาน) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นายอมร คอนเมือง
วันเกิด วัน พฤหัสบดี ที่ 10 พฤศจิกายน พ.ศ. 2526
สถานที่เกิด บ้านเลขที่ 317 หมู่ 9 ตำบล ยางตลาด อำเภอ ยางตลาด จังหวัด กาฬสินธุ์ 46120

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2541 ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนยางตลาดวิทยาคาร
พ.ศ. 2544 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนกาฬสินธุ์พิทยาสรรพ์
พ.ศ. 2546 อนุปริญญา สาขาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันราชภัฏมหาสารคาม
พ.ศ. 2549 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาเครื่องกล (พลังงาน)
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม