สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังแสงอาทิตย์

STUDY OF THERMAL PERFORMANCE OF SOLAR HEAT EXCHANGER

โดย

นายจตุพร กฤษวัฒนากรณ์

นายทศพล บุณยพัฒน์กุล

นายธนิตสรณ์ ผิวขาว

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

.b.....
.i.....
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 49930
วันเดือนปี 2 เม.ย. 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2545

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังแสงอาทิตย์

STUDY OF THERMAL PERFORMANCE OF SOLAR HEAT EXCHANGER

โดย

นายจตุพร กฤษวัฒนากรณ์

นายทศพล บุณยพัฒน์กุล

นายธนิตสรณ์ ผิวขาว

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ วัชระ เพิ่มชาติ

อาจารย์ พิชิต กิตตินนท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2545

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การศึกษาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

ผู้จัดทำ

1. นายจตุพร กฤษวัฒนากรณ์
2. นายทศพล บุณยพัฒน์กุล
3. นายธนิตสรณ์ ผิวขาว

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.วัชระ เพิ่มชาติ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. พิชิต กิตตินนท์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังแสงอาทิตย์

จตุพร กฤษวัฒนากรณ์
ทศพล บุณยพัฒน์กุล
ธนิตสรณ์ ผิวขาว
วัชระ เพิ่มชาติ อาจารย์ที่ปรึกษา
พิชิต กิตตินนท์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2545

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน โดยวัตถุประสงค์ในการศึกษาคือ เพื่อสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน ตลอดจนศึกษาถึงผลของปัจจัยต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำ และรูปแบบการไหลของน้ำในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ในการทดลอง ได้ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำตามจุดต่างๆ ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนตามที่กำหนดไว้ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม ความเร็วลมบริเวณเหนือแผงรับแสงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและความเข้มแสงอาทิตย์ ผลการศึกษาพบว่า ค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงในวันที่ท้องฟ้าโปร่งและท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเมื่อไม่มีการทำน้ำร้อน มีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 30–40 เปอร์เซ็นต์และ 20 – 30 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ สำหรับการไหลแบบไหลหลายเที่ยวของน้ำที่อัตราการไหล 0.006 ลิตรต่อวินาที จะให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอยู่ในช่วง 45-50 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำร้อนที่ทำได้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 45–55 องศาเซลเซียส ส่วนค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงของการไหลแบบไหลหลายเที่ยวที่อัตราการไหลของน้ำ 0.02 ลิตรต่อวินาที มีค่าอยู่ในช่วง 55-60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำร้อนที่ทำได้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 35 - 40 องศาเซลเซียส และสำหรับรูปแบบการไหลแบบไหลหลายเที่ยวที่มีน้ำอุ่นไหลผสมที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาที จะให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอยู่ในช่วง 55-60 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำร้อนที่ทำได้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 70 - 85 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำได้ที่การไหลแบบไหลหลายเที่ยวเมื่อไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม ที่อัตราการไหลเดียวกันประมาณ 20-40 องศาเซลเซียส ส่วนรูปแบบการไหลระหว่างแบบไหลเที่ยวเดียวกับแบบไหลหลายเที่ยวนั้น พบว่าให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

STUDY OF THERMAL PERFORMANCE OF SOLAR HEAT EXCHANGER

Mr. Jatuporn Kritwatthanakorn

Mr. Todsapol Boonyapatkul

Mr. Thanitsorn Piewkhaw

Mr. Watchara Permchart **Advisor**

Mr. Pichit kittinon **Advisor**

Year 2002

ABSTRACT

This report presents a study of heat exchange of flat-plate solar water heater. The objectives of the study are to build a solar heat exchanger and study the effects of various parameters (i.e. water flow rate and flow pattern) on the thermal efficiency of solar heat exchanger. In the experiments, to determine the efficiency of a solar heat exchanger, various primary data such as water temperatures at inlet and outlet of solar collector, ambient temperature, wind velocity flows over a collector and solar intensity, were measured. The result showed that the thermal efficiencies of solar collector were in the ranges of 30-40% and 20-30% in clear-sky day and clouded-sky day respectively.

When the solar collector was used to produce hot water at flow rates of 0.006 and 0.02 l/s (five-time flow), it was found that the thermal efficiencies of solar heat exchanger were in the ranges of 45-50% and 55-60% respectively. Meanwhile, the temperatures of water at the outlet of heat exchanger were in the ranges of 45-55 $^{\circ}$C and 35-40 $^{\circ}$C at water flow rates of 0.006 and 0.02 l/s respectively. For the case of hot water mixed and water flow rate of 0.02 l/s (five-time flow), the efficiency of solar heat exchanger was found in the range of 55-60% as well as the hot water temperature was about 70-85 $^{\circ}$C, which was 20-40 $^{\circ}$C higher than that of hot water unmixed at the same flow rate. Moreover, it was found that the thermal efficiencies of solar heat exchanger in the cases of one-time flow and five-time flow were slightly different in all cases.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
สารบัญ	ค
รายการตาราง	ฉ
รายการรูปประกอบ	ช
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ลักษณะของแสงอาทิตย์ในประเทศไทย	3
2.2 การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์	5
2.2.1 การใช้แสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า	5
2.2.2 การใช้แสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน	12
2.3 ทฤษฎีของตัวรับรังสีแผ่นเรียบ	
2.3.1 สมดุลย์พลังงานและข้อสมมุติฐานสำหรับการวิเคราะห์	15
2.3.2 สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน	18
2.3.3 แฟคเตอร์ประสิทธิภาพตัวรับรังสี	27
2.3.4 แฟคเตอร์การดึงความร้อนมาใช้ของตัวรับรังสีและแฟคเตอร์การไหล	34
2.3.5 ความต้านทานที่ตรงรอยต่อระหว่างครีบดูดรังสีกับท่อ	38
2.3.6 ผลคูณประสิทธิผลของค่าส่งผ่านและค่าดูดรังสี	39
2.3.7 ผลของฝุ่นและเงา	42
2.3.8 ผลของความจุความร้อนในตัวรับรังสี	43
2.3.9 สมรรถนะของตัวรับรังสี	44
2.3.10 ข้อมูลเชิงปฏิบัติ	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	47
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนิน	50
3.1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์การทดลอง	50
3.1.1 ตัวแผงรับแสงอาทิตย์	50
3.1.2 ถังเก็บน้ำอุ่น	51
3.1.3 ระบบควบคุมอัตราการไหล	52
3.1.4 ระบบควบคุมรูปแบบการไหล	52
3.1.5 ระบบวัดอุณหภูมิ	52
3.1.6 โครงสร้างของเครื่อง	53
3.2 การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง	54
3.3 วิธีการทดลอง	55
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	58
4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงเมื่อไม่มีการทำน้ำร้อน	58
4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงเมื่อมีการทำน้ำร้อน	59
4.2.1 ผลของอัตราการไหลของน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงรับแสง	59
4.2.2 ผลของการผสมน้ำอุ่นจาก Storage tank ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับแสง	60
4.2.3 ผลของรูปแบบการไหลของน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงรับแสง	61
4.3 ผลของอัตราการไหลของน้ำที่มีต่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำได้	62
4.4 ผลของการผสมน้ำอุ่นจาก Storage tank ที่มีต่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำได้	62
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	64
5.1 สรุปผลการศึกษา	64
5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	64
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบาญ (ต่อ)

	หน้า
ก. การคำนวณประสิทธิภาพแผงรับรังสีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	66
ข. ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสง	68
ค. บทปฏิบัติการ การทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับรังสีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังแสงอาทิตย์	79
กิตติกรรมประกาศ	85
เอกสารอ้างอิง	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่าตัวคงที่สำหรับสมการ (2.43)	31
2.2	ค่า C_b จากการทดลอง	38
2.3	ความหนาแน่นของแผ่นดูดรังสีและระยะห่างระหว่างท่อ	46
3.1	ตัวแปรที่ทำการศึกษา	57
ก.1	แสดงการคำนวณประสิทธิภาพแผงรับแสงที่ อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาที แบบไหลเที่ยวเดียวและไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม	67
ข.1	ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงเปล่าไม่มีการทำน้ำร้อนเมื่อท้องฟ้ามีรังสีกระจาย	69
ข.2	ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงเปล่าไม่มีการทำน้ำร้อนเมื่อท้องฟ้ามีรังสีตรง	70
ข.3	ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาที	71
ข.4	ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.006 ลิตรต่อวินาที	72
ข.5	ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาทีมีน้ำอุ่นผสม	73
ข.6	ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.006 ลิตรต่อวินาทีและมีน้ำอุ่นไหลผสม	74
ข.7	ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลหลายเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาที	75
ข.8	ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลหลายเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.006 ลิตรต่อวินาที	76
ข.9	ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลหลายเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาทีและมีน้ำอุ่นไหลผสม	77
ข.10	ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลหลายเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.006 ลิตรต่อวินาทีและมีน้ำอุ่นไหลผสม	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการรูปประกอบ

รูปที่		หน้า
2.1	สเปคตรัมของแสงอาทิตย์	3
2.2	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยในประเทศไทยตลอดทั้งปี	4
2.3	ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.4	โครงสร้างของเซลล์ที่ทำจากซิลิคอน	7
2.5	(1)-(3) การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	9
2.6	การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานจริง	10
2.7	คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ I-V Curve	11
2.8	เครื่องทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แบบตัวรับรังสีแผ่นเรียบ	13
2.9	เครื่องทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสูญญากาศ	14
2.10	ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบแบบครีบและท่อ	16
2.11	สมดุลย์พลังงานบนตัวรับรังสี	16
2.12	วงจรความร้อนสำหรับ	19
2.13	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบนสำหรับมุมเอียงตัวรับรังสี 45°	25
2.14	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบนและระยะห่างระหว่างแผ่นเรียบ	26
2.15	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบนและมุมเอียงของแผงรับรังสี	26
2.16	รายละเอียดของครีบและท่อและสมดุลย์พลังงานบนชิ้นของครีบ	27
2.17	ประสิทธิภาพของครีบสำหรับตัวรับรังสีแบบครีบและท่อ	29
2.18	ความสัมพันธ์ระหว่างเฟคเตอร์ประสิทธิ์ภาพตัวรับรังสีและระยะห่างระหว่างท่อ	33
2.19	สมดุลย์พลังงานบนชิ้นของไหล	34
2.20	ความสัมพันธ์ระหว่างแฟคเตอร์การไหลและ $mC_p / A_c U_L F'$	36
2.21	อิทธิพลของ C_b ที่มีต่อประสิทธิภาพตัวรับรังสี	39
2.22	วงจรความร้อนของการสูญเสียด้านบนสำหรับตัวรับรังสีที่มีแผ่นปิดใสหนึ่งชั้นเมื่อมีและไม่มีการดูดกลืนที่แผ่นใส	40
2.23	ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแผ่นเรียบทำอากาศร้อนแบบเปลือยและแบบมีกระจกใสปิดที่มีชั้นอากาศนิ่ง	45
2.24	การ Set-Up การทดลองของ Critrifary, etal. [3]	47
2.25	การ Set-Up การทดลองของ Mathioulakis [5]	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการรูปประกอบ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.26	การ Set-Up การทดลองของ Mathioulakis [8]	49
3.1	ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน	50
3.2	แผงรับแสงอาทิตย์	51
3.3	ถังเก็บน้ำอุ่น	51
3.4	เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ	52
3.5	วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของน้ำ	53
3.6	สาย Thermocouple พร้อม Probe วัดอุณหภูมิ	53
3.7	โครงสร้างส่วนรับน้ำหนักของถังน้ำอุ่น	54
3.8	โครงสร้างส่วนรับน้ำหนักของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์	55
3.9	ไดอะแกรม Set-Up การทดลอง	55
3.10	รูปถ่ายจริงแสดงการ Set-Up การทดลอง	55
3.11	เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์	56
3.12	เครื่องบันทึกและอ่านค่าอุณหภูมิดิจิตอล	56
3.13	เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิอากาศ	57
4.1	ประสิทธิภาพของแผงรับแสงเมื่อไม่มีการทำน้ำร้อน ในวันที่ท้องฟ้าโปร่งและท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม	58
4.2	ประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบไหลเที่ยวเดียวที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน	59
4.3	ประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบไหลหลายเที่ยวที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน	59
4.4	ประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบไหลเที่ยวเดียวที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อนาที เมื่อมีและไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม	60
4.5	ประสิทธิภาพของแผงรับแสงที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อนาที เมื่อรูปแบบการไหลต่างกัน	61
4.6	ประสิทธิภาพของแผงรับแสงที่อัตราการไหล 0.006 ลิตรต่อนาที เมื่อรูปแบบการไหลต่างกัน	61
4.7	อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำได้เมื่ออัตราการไหลต่างกัน	62
4.8	อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำได้ ที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อนาทีแบบไหลเที่ยวเดียวเมื่อมีและไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม	63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

g	=	ความเร่งที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2)
$h_{f,i}$	=	เอนธัลปีของของไหลที่ทางเข้าแผงรับรังสี
$h_{p\text{-}c1}$	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากตัวดูดรังสีไปยังแผ่นปิดใสชั้นใน
$h_{r,c2\text{-}a}$	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นใสชั้นนอกไปยังท้องฟ้าโดยคิดว่าตัวรับรังสีถูกครอบคลุมโดยสมบูรณ์โดยท้องฟ้ามีขนาดใหญ่มาก
$h_{r,p\text{-}c1}$	=	สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากตัวดูดรังสีไปยังแผ่นปิดใสชั้นใน
h_w	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยลม (W/m^2K)
k	=	ค่านำความร้อน
q'_{fin}	=	ความร้อนที่ส่งผ่านเข้าไปในครีบที่มาจากส่วนที่รังสีดวงอาทิตย์ถูกดูดกลืนโดยตรงเข้าที่ผิวของครีบ
$(mC)_e$	=	ความจุความร้อนของตัวรับรังสี
n	=	จำนวนท่อ
q'_{tube}	=	ความร้อนที่ส่งผ่านเข้าไปในของไหลในท่อที่มาจากส่วนที่รังสีดวงอาทิตย์ถูกดูดกลืนโดยตรงเข้าที่ผิวของท่อ
q'_u	=	ความร้อนที่สามารถใช้งานได้ทั้งหมด
A_c	=	พื้นที่ตัวรับรังสี (m^2)
C_b	=	ค่าความร้อนตรงรอยต่อระหว่างครีบดูดรังสีกับท่อ (W/m K)
CIS	=	Copper Indium disilinide
D_i	=	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ
D_h	=	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิค
F	=	ประสิทธิภาพของครีบ
F_R	=	แฟคเตอร์การดึงความร้อนมาใช้ของตัวรับรังสี
F'	=	แฟคเตอร์ประสิทธิภาพตัวรับรังสี
F''	=	แฟคเตอร์การไหล (F_R/F')
G_{on}	=	Extraterres trial radiation (W/m^2)
G_{sc}	=	Solar constant (W/m^2)
G_t	=	ค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนระนาบของตัวรับรังสี (W/m^2)
H_i	=	เอนธัลปีของของไหลเข้า (W)
H_o	=	เอนธัลปีของของไหลออก (W)
I_T	=	ค่ารังสีที่ตกกระทบใน 1 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

k	=	ค่านำความร้อน
Lps	=	ระยะห่างระหว่างแผ่นเรียบ (m)
MPPT	=	Maximum Power Point Tacking
Nu	=	นัสเซ็ลนัมเบอร์
PV	=	Photovoltaic
$Q_{loss,top}$	=	อัตราการสูญเสียความร้อนทางด้านบนของตัวรับรังสี
Q_U	=	ความร้อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง
Ra	=	เรย์เลย์นัมเบอร์
R_e	=	เรย์โนลด์นัมเบอร์
R1	=	ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนระหว่างแผ่นปิดใสชั้นนอกไปยังบรรยากาศชั้นนอก
R2	=	ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนระหว่างแผ่นปิดใสชั้นในไปยังแผ่นปิดใสชั้นนอก
R3	=	ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนระหว่างตัวดูดรังสีและแผ่นปิดใสชั้นใน
S	=	รังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนที่แผ่นดูดรังสี (W/m^2)
T_a	=	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (K)
$T_{f,I}$	=	อุณหภูมิของไหลที่ทางเข้าของแผงรับรังสี (K)
$T_{f,m}$	=	อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลในตัวรับรังสี
$T_{f,o}$	=	อุณหภูมิของไหลที่ทางออกของแผงรับรังสี (K)
T_j	=	อุณหภูมิที่แผ่นปิดใสชั้นใดๆ (K)
$T_{p,m}$	=	อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดรังสี (K)
T_s	=	อุณหภูมิของท้องฟ้า (K)
U_b	=	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านหลังของตัวรับรังสี
U_e	=	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านข้างของตัวรับรังสีโดยคิดเทียบกับพื้นที่ด้านหลังของตัวรับรังสี
U_L	=	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม (W/m^2K)
U_t	=	สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบนของตัวรับรังสี
V	=	ความเร็วลม (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

β	=	มุมเอียงที่มีค่าน้อยกว่า 75 $^{\circ}$
β'	=	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร (K-1)
ΔT	=	ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นเรียบ(K)
μ	=	การแพร่กระจายตัวของความร้อน (m^2/s)
η	=	ประสิทธิภาพของตัวรับรังสี
τ_a	=	ค่าการส่งผ่านรังสีเมื่อคำนึงเฉพาะการดูดกลืนรังสีเท่านั้น
τ	=	เวลา
$(\tau\alpha)_e$	=	ผลคูณประสิทธิผลของค่าส่งผ่านและดูดรังสี (Transmittance-absorbtance product)
ν	=	ความหนืดคิเนเมติก (m^2/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาของโครงงาน

ในปัจจุบันทรัพยากรพลังงานกำลังถูกนำมาใช้ในการผลิต และการบริโภคในทุกประเทศทั่วโลก ซึ่งมีแนวโน้มว่าจะเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ แม้ประเทศที่มีการพัฒนาน้อยที่สุดก็มีการนำพลังงานมาใช้มากขึ้นทุกขณะไม่ว่าจะเป็น ถ่านหิน ลิกไนต์ น้ำมันเชื้อเพลิง หรือก๊าซธรรมชาติ ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะต่างๆ และเป็นที่ทราบกันว่าแหล่งพลังงานเหล่านี้จะต้องมีวันหมดสิ้นลง จึงมีการนำพลังงานทดแทนต่างๆมาใช้มากขึ้น

แหล่งพลังงานทดแทนประเภทพลังงานหมุนเวียนที่ใช้ในประเทศไทยส่วนใหญ่คือ ชีวมวลและพลังงานแสงอาทิตย์ โดยชีวมวลประกอบด้วยไม้ ฟืน ชานอ้อย แกลบและสิ่งเหลือใช้จากการเกษตร ซึ่งผลที่เหลือจากการใช้พลังงานชีวมวลจะสร้างปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม มลภาวะเป็นพิษ ขี้ฝุ่น ความร้อน ภาวะเรือนกระจก สิ่งต่างๆเหล่านี้กระทบกับการดำเนินชีวิตของมนุษย์โดยตรง ซึ่งแตกต่างจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นพลังงานที่ปราศจากมลภาวะเป็นพิษ มีแหล่งพลังงานอยู่ทั่วไปและไม่สิ้นสุด

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานมีอยู่หลายรูปแบบแต่ที่สำคัญคือ การผลิตพลังงานไฟฟ้าและการผลิตพลังงานความร้อน ในส่วนของการผลิตกระแสไฟฟ้านั้นเราใช้ Solar cell เป็นอุปกรณ์ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้กลายเป็นกระแสไฟฟ้า และในส่วนของการผลิตพลังงานความร้อนนั้น เราสามารถนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์ไปเปลี่ยนเป็นความร้อนที่นำไปใช้ได้หลายวิธี เช่น ดูดความร้อนไปใช้โดยตรงหรือผ่านทางเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) ประเทศไทยในปัจจุบันมีการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานไฟฟ้าน้อยมาก ทั้งๆที่มีแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์เหมาะสมที่จะนำมาใช้ หากมีการนำเอาพลังงานเหล่านี้มาใช้ก็จะทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนลดลง เป็นการลดค่าใช้จ่ายไปได้อีกทางหนึ่ง ยกตัวอย่างเช่นการทำน้ำร้อนภายในบ้านเรือนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมากเป็นอันดับสองรองจากการปรับอากาศ หากเรานำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมาใช้ในการทำน้ำร้อนก็จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้ไปได้มาก

ดังนั้นโครงงานนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาถึงประสิทธิภาพของการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นที่สร้างขึ้น โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน และใช้น้ำเป็นสารทำงานในรูปของเครื่องทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์ ตลอดจนศึกษาถึงผลของรูปแบบการไหลที่มีต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อที่จะได้นำไปเป็นแนวทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการศึกษาและพัฒนารูปแบบของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ต่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีน้ำเป็นสารทำงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์

- ออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน โดยมีน้ำเป็นสารทำงานในรูปของเครื่องทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์
- เพื่อประเมินประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น ตลอดจนศึกษาผลของรูปแบบการไหลที่มีต่ออัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

- ออกแบบและสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนและใช้น้ำเป็นสารทำงาน ในรูปของเครื่องทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์
- ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange rate) ได้แก่ รูปแบบการไหล และอัตราการไหลของน้ำ ตลอดจนประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น
- จัดทำเป็นอุปกรณ์การทดลองสำหรับใช้สนับสนุนการเรียนการสอนวิชา การถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) และวิชาการทดลองทางวิศวกรรมเกษตร (Agricultural Engineering Laboratory) เรื่องการแลกเปลี่ยนความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

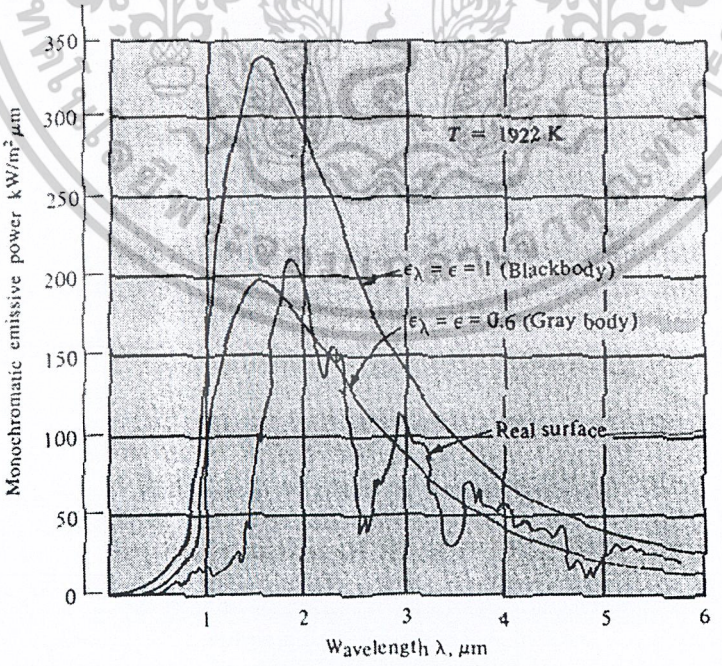
- สามารถนำมาใช้เป็นอุปกรณ์สนับสนุนการเรียนการสอนวิชา การถ่ายเทความร้อน และวิชาการทดลองทางวิศวกรรมเกษตร เรื่องการแลกเปลี่ยนความร้อนได้
- สามารถเข้าใจถึงผลของลักษณะการไหล และอัตราการไหลของสารทำงาน ที่มีต่อประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ลักษณะของแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์หลายแบบซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนไฮโดรเจนเป็นฮีเลียม มวลที่สลายไปในปฏิกิริยาถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานตามสมการ $E = MC^2$ ประมาณ 90 % ของพลังงานที่ปล่อยจากดวงอาทิตย์เกิดจากบริเวณแกนดวงอาทิตย์ ภายในระยะห่างประมาณหนึ่งในสี่ของรัศมีและอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์และแกมมา เราพบว่าสเปคตรัมรังสีดวงอาทิตย์จะใกล้เคียงสเปคตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุดำที่อุณหภูมิที่ 5762 K **เราจึงถือว่าดวงอาทิตย์เป็นวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประสิทธิผล (Effective temperature) ที่ 5672 K** เนื่องจากวงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ไม่เป็นวงกลม ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จึงเปลี่ยนไปตลอดปี พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลก (Extraterres trial radiation, G_{on}) จึงมีค่าต่างกันทุกวัน ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์เรียก **ค่าคงที่แสงอาทิตย์(Solar constant, G_{sc}) ค่าที่ยอมรับในปัจจุบันคือ 1353 W/m^2** (หรือ1.940 $cal/cm^2.min$,428 Btu/ft^2-hr,4.871 MJ/m^2-hr)



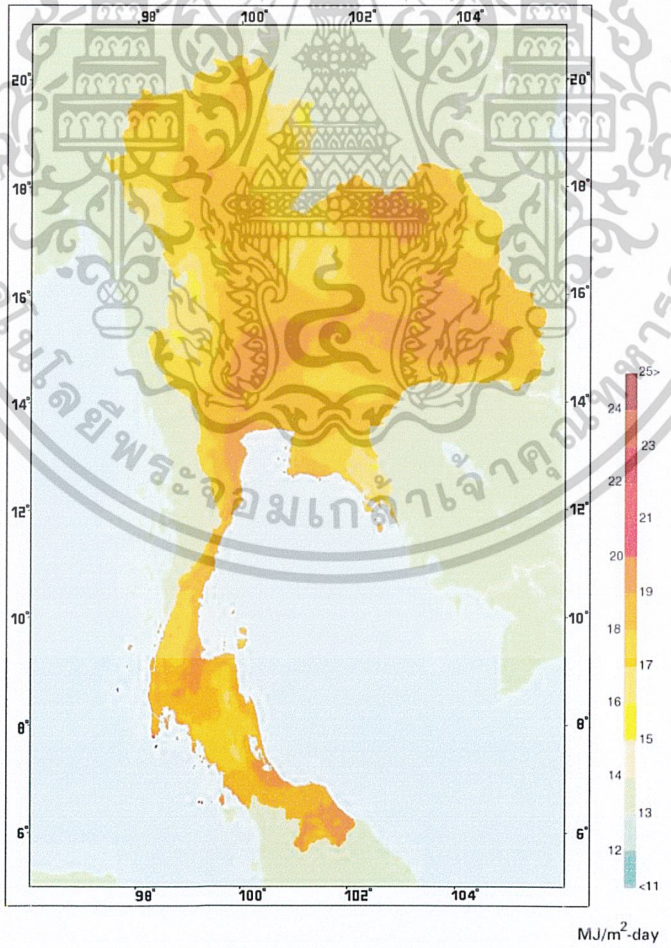
รูปที่ 2.1 สเปคตรัมของแสงอาทิตย์ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาลักษณะสเปคตรัมการแผ่รังสีดวงอาทิตย์เหนือบรรยากาศ เราพบว่า

- ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ความยาวคลื่นประมาณ 460 nm (แสงสีเขียว) มีค่าสูงสุด
- ประมาณครึ่งหนึ่งของแสงอาทิตย์อยู่ในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถมองเห็นได้ (ประมาณ 380 – 780 nm)
- พลังงานแสงอาทิตย์เกือบทั้งหมด (กว่า 99%) อยู่ในช่วงคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวไม่เกิน 4000 nm (ช่วงรังสีใต้แดงใกล้ หรือ near infrared)

ในรูปที่ 2.2 แสดงถึงความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยในประเทศไทยโดยเฉลี่ยตลอดปี จะเห็นว่าประเทศไทยมีความเข้มแสงอาทิตย์ใกล้เคียงกันทั้งประเทศ มีค่าอยู่ที่ประมาณ 18 เมกกะจูลต่อตารางเมตร-วัน ซึ่งนับว่าเป็นตัวเลขที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้ประโยชน์ และมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลบ้างแต่มีค่าน้อยมากพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเพียงพอตลอดปี



รูปที่ 2.2 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยในประเทศไทยตลอดทั้งปี [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานขนาดมหึมา พลังงานที่ดวงอาทิตย์สร้างขึ้นมีประมาณ 3.8×10^{23} กิโลวัตต์ แต่ระยะทางที่ห่างจากโลกเราถึง 93 ล้านไมล์ทำให้พลังงานที่ส่งมายังโลกลดน้อยลง พลังงานแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาถึงโลกมีค่าประมาณ 1.8×10^{14} กิโลวัตต์ ถูกดูดซับโดยบรรยากาศและถึงพื้นโลกประมาณ 1.25×10^{14} กิโลวัตต์ ในขณะที่พลังงานที่มนุษย์ทั้งโลกใช้รวมกันมีค่าประมาณ 1.0×10^{10} กิโลวัตต์ จะเห็นว่าพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์นี้มีค่ามากกว่าพลังงานที่มนุษย์ใช้รวมกันทั้งโลกประมาณ 10000 เท่า พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนและเป็นพลังงานสะอาดที่เราสามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดหาพลังงานนี้ แต่ในปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์น้อยมากเมื่อเทียบกับในต่างประเทศ ซึ่งหากเราพิจารณาจากข้อมูลต่างๆที่เรามีอยู่พบว่าแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพควรแก่การนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทน เพื่อลดการนำเข้าพลังงานรูปแบบอื่นที่มีราคาแพงและก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และยังช่วยแก้ปัญหาวิกฤตเรื่องการขาดแคลนพลังงานอีกทางหนึ่งด้วย โดยสามารถประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนและระบบเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1 การใช้แสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

ประเทศไทยมีการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ครั้งแรกโดยมูลนิธิแพทย์อาสาและเริ่มมีความสนใจอย่างจริงจังที่จะนำมาใช้ในช่วงแผนพัฒนาเศรษฐกิจแห่งชาติฉบับที่ 7 ซึ่งรัฐบาลต้องการหาแหล่งพลังงานทดแทนเพื่อแก้ไขปัญหาการคลาดแคลนพลังงานในช่วงนั้น กลุ่มพื้นที่เป้าหมายคือหมู่บ้านในชนบทที่ห่างไกล โดยเป็นการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้กับระบบปั๊มน้ำประปากับระบบประจุแบตเตอรี่ของหมู่บ้านในชนบทเป็นส่วนใหญ่

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ประเภทหนึ่งที่ทำหน้าที่เปลี่ยนรังสีแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าและมีจุดเด่นสำคัญดังนี้คือ

- ไม่มีชิ้นส่วนเคลื่อนไหวในขณะใช้งานจึงทำให้ไม่มีมลภาวะทางเสียง
- ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะที่เป็นพิษจากขบวนการผลิตไฟฟ้า
- มีการบำรุงรักษาน้อยมากและใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย
- ประสิทธิภาพคงที่ไม่ขึ้นกับขนาด
- ผลิตไฟฟ้าได้ทุกมุมโลกแม้บนเกาะเล็กๆ กลางทะเลบนยอดเขาสูงและในอวกาศ
- ได้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงซึ่งเป็นพลังงานที่นำมาใช้ได้สะดวกที่สุด
- ผลิตไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Photovoltaic (PV) หมายถึงขบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงพลังงานดังกล่าวคือสารกึ่งตัวนำ เมื่อนำมาผลิตเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า เรียกว่า Solar Photovotaic หรือ Solar cell นั่นเอง

วัสดุที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ สารตัวนำที่นิยมนำมาผลิตเป็น Solar cell ได้แก่ ซิลิคอนที่มีรูปผลึกและไม่มีรูปผลึก (Crystaline และ Amophous Silicon) แกลเลี่ยม อาเซไนด์ (Gallium Arsenide) อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide) แคดเมียม เทลเลอไลท์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนท์ (Copper Indium Diselenide หรือ CIS) เป็นต้น แต่ในปัจจุบันสารซิลิคอนเป็นวัสดุสำคัญที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะเป็นสารราคาถูกไม่มีพิษและเชื่อถือได้ แต่ยังมีข้อเสียคือกรรมวิธีการเตรียมให้บริสุทธิ์และอยู่ในรูปของสารที่พร้อมทำเซลล์แสงอาทิตย์ยังมีราคาแพงและแตกหักง่าย เมื่อถึงขั้นตอนสุดท้าย

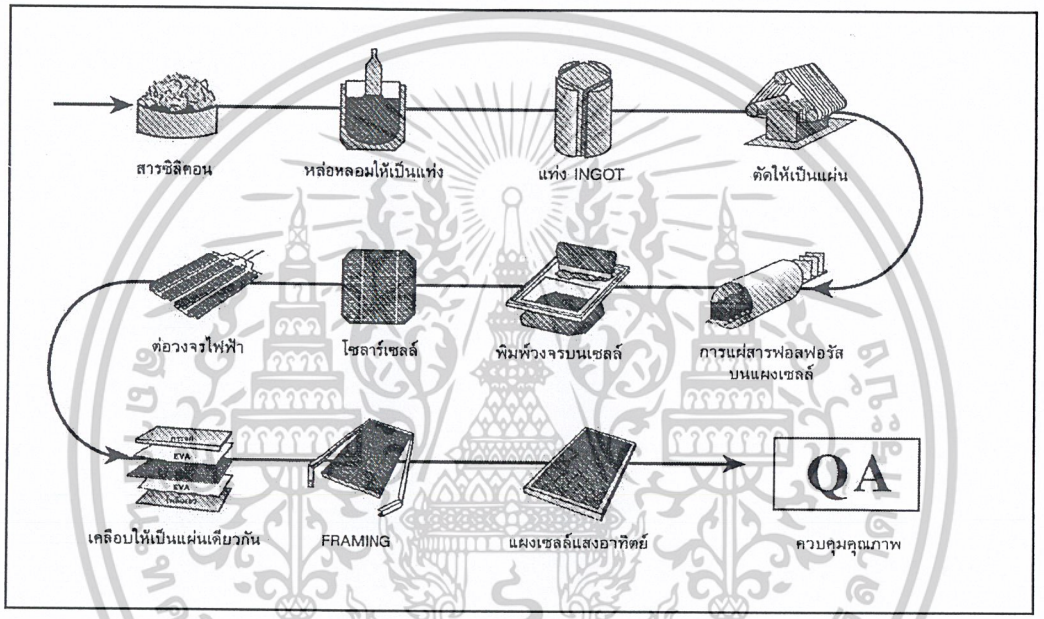
เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุด คือ อะตอมเรียงกันเป็นแบบผลึกเดี่ยว (Single Crystal) หรือที่รู้จักกันดีในชื่อ Monocrystalline การเตรียมสารซิลิคอนชนิดนี้เริ่มต้นจากการนำซิลิคอนมาหลอมละลายแล้วทำให้เกิดการจับตัวกันเป็นผลึกเล็กๆจากนั้นจะขยายขนาดขึ้นเรื่อยๆจนเป็นแทงผลึก นำแท่งผลึกมาตัดให้เป็นแผ่นบางๆ การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์อีกวิธีหนึ่งที่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่าแบบแรกคือการเทสารละลายซิลิคอนลงในแม่พิมพ์ เมื่อสารละลายซิลิคอนแข็งตัวก็จะได้แท่งซิลิคอนแบบผลึกรวม (Polycrystalline) ความแตกต่างของแบบผลึกเดี่ยวและแบบผลึกรวมสังเกตได้จากแบบผลึกรวมจะมีหน้าผลึกหลายหน้าในแผ่นเซลล์ ในขณะที่แบบผลึกเดี่ยวจะเห็นเป็นสีเดียว คือ สีน้ำเงินเข้ม เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยวจะให้ประสิทธิ์ภาพที่สูงกว่าแบบผลึกรวม

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์อีกชนิดหนึ่ง คือ การนำเทคนิคเคลือบสารซิลิคอนที่เป็นแผ่นฟิลม์บางบนแผ่นแก้วหรือแผ่นโลหะสารซิลิคอนที่ใช้เป็นแบบไม่มีรูปผลึกหรืออะมอฟัส (Amophous) ซึ่งมีประสิทธิ์ภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานต่ำกว่าสองแบบแรก

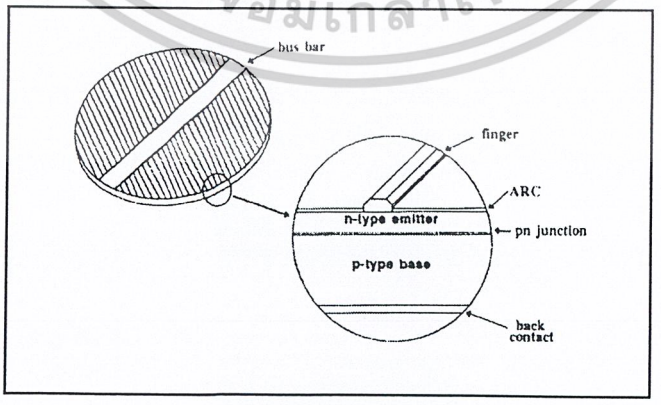
การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ สารซิลิคอนบริสุทธิ์ปกติจะมีความเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ต่ำมาก เพราะอิเล็กตรอนไม่มีการเคลื่อนที่ในบอนด์ แต่เมื่อใช้วิธีการโดปปิ้ง (Doping) โดยสาร **โบรอน** (Boron) จะทำให้ความเป็นตัวนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเพราะโบรอนจะทำตัวเป็นตัวพาประจุ (Change carrier) ซึ่งเป็นประจุบวกคือไม่มีอิเล็กตรอนแต่จะเป็นช่องว่างที่เรียกว่า gaps หรือ โฮล (Holes) ซึ่งอิเล็กตรอนจะมาจับคู่ด้วยในรูปร่างของรูปผลึก สารซิลิคอนเมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วเรียกว่า **P-type** การโดปปิ้งอีกแบบหนึ่งโดยใช้สาร **ฟอสฟอรัส** (Phosphorous) สารซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการนี้แล้วเรียกว่า **N-type** ซึ่งหมายความว่าฟอสฟอรัสจะทำหน้าที่เป็นตัวพาอิเล็กตรอนหรือประจุลบเหมือนโลหะทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิลิคอนเกือบทั้งหมดในเซลล์แสงอาทิตย์คือ P-type ในขณะที่ผิวส่วนหน้าของด้านที่แสงอาทิตย์ ตกกระทบจะเป็นเพียงชั้นบาง เป็นแบบ N-type รอยต่อที่อยู่ระหว่างชั้นทั้งสองเรียก pn junction ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดในเซลล์แสงอาทิตย์เพราะจะเป็นบริเวณที่มีประจุอิสระเคลื่อนที่ผ่านและทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่าง Junction ในส่วนของซิลิคอนที่เป็นแบบ N-type นั้นอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระที่อุณหภูมิของห้อง ในขณะที่ส่วนที่เป็น P-type มีส่วนทีเรียกว่าโฮล คือ ส่วนทีอีเล็กตรอนขาดหายไป (Electron space) สามารถเคลื่อที่ได้อย่างอิสระที่อุณหภูมิห้องเช่นกัน เมื่อประจุอิสระเหล่านี้เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อ pn junction จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage) คือการเกิดกระแสไฟฟ้านั่นเอง



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ [11]



รูปที่ 2.4 ถึงโครงสร้างของเซลล์ที่ทำจากซิลิคอน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ รังสีของดวงอาทิตย์ประกอบไปด้วยอนุภาคของพลังงานที่เรียกว่า "โฟตอน" (Photon) โฟตอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์จนอยู่ในสถานะ Excited state เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานจากโฟตอนแล้ว (Excited electron) จะกระโดดออกมาจากอะตอมและสามารถเคลื่อนที่ไปได้อย่างอิสระดั้งนั้น เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดกระแสขึ้นในขั้วไฟฟ้า (Electrode) ที่อิเล็กตรอนมารวมกันแล้วเคลื่อนที่ผ่านเรียกว่า "ขั้วลบ" และขั้วที่อยู่ตรงข้ามเรียกว่า "ขั้วบวก" เมื่อขั้วทั้งสองถูกต่อด้วยหลอดไฟฟ้าก็จะทำให้มีแสงสว่างเกิดขึ้น

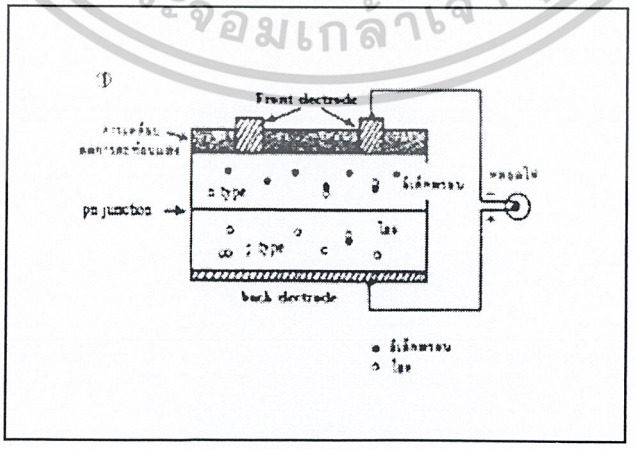
คำอธิบายการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> ในสภาวะที่ไม่มีแดด N- type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอนแต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ N- type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน

ส่วน P-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของโครงสร้างเซลล์ส่วนใหญ่เป็นโฮลแต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยด้านหลังของ P-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

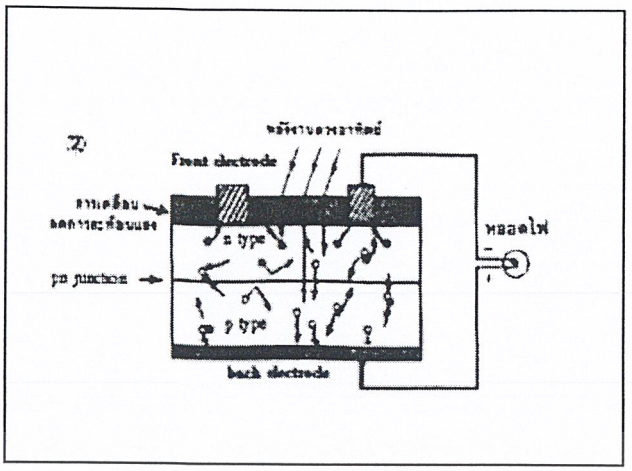
<u>ขั้นตอนที่ 2</u> เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบแสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮลทำให้เกิดความเคลื่อนไหว เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น N- type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น P- type

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Back electrode เมื่อมีการต่อวงจรจาก Front electrode และ Back electrode ให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น

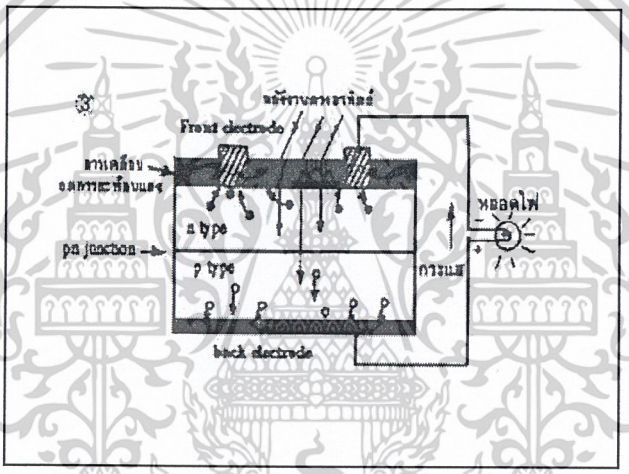


(1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(2)



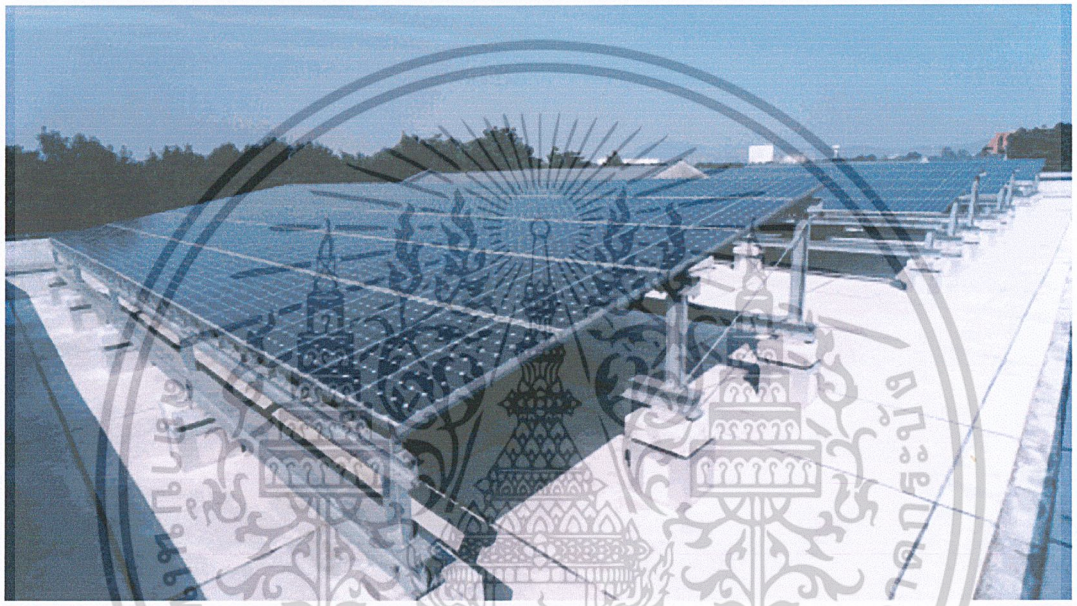
(3)

รูปที่ 2.5 (1)-(3) การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [2]

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์เซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก ดั้งนั้น การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลายๆเซลล์มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันต้องมีจำนวนและขนาดที่เหมาะสม เรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดีและยังเป็นเกาะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการป้องกันความชื้นที่ดีมากเพราะจะต้องอยู่กลางแดดฝนเป็นเวลานานในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคน และอีวีเอ (Ethelene Viny 1 Acetate) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แสงอาทิตย์ 1 เซลล์ จะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า 0.5 โวลต์ (DC) โดยไม่ขึ้นกับขนาดของเซลล์ ส่วนกระแสที่ผลิตได้จะขึ้นกับขนาดของเซลล์ เช่น เซลล์ที่มีพื้นที่ 4 x 4 ตารางนิ้วจะให้กระแสไฟฟ้าประมาณ 3 แอมแปร์ กำลังผลิตประมาณ 0.5 วัตต์ ในกรณีที่ต้องการแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่สูงขึ้นทำได้โดยต่อเซลล์กันแบบอนุกรม (ขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วลบของอีกเซลล์หนึ่ง) แต่ถ้าต้องการเพิ่มกระแสต้องต่อแบบขนาน (ขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วบวกของอีกเซลล์หนึ่ง โดยทั่วไปแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขายกันในท้องตลาดจะมีแรงเคลื่อนสูงสุดประมาณ 21-22 โวลต์



รูปที่ 2.6 การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานจริง [12]

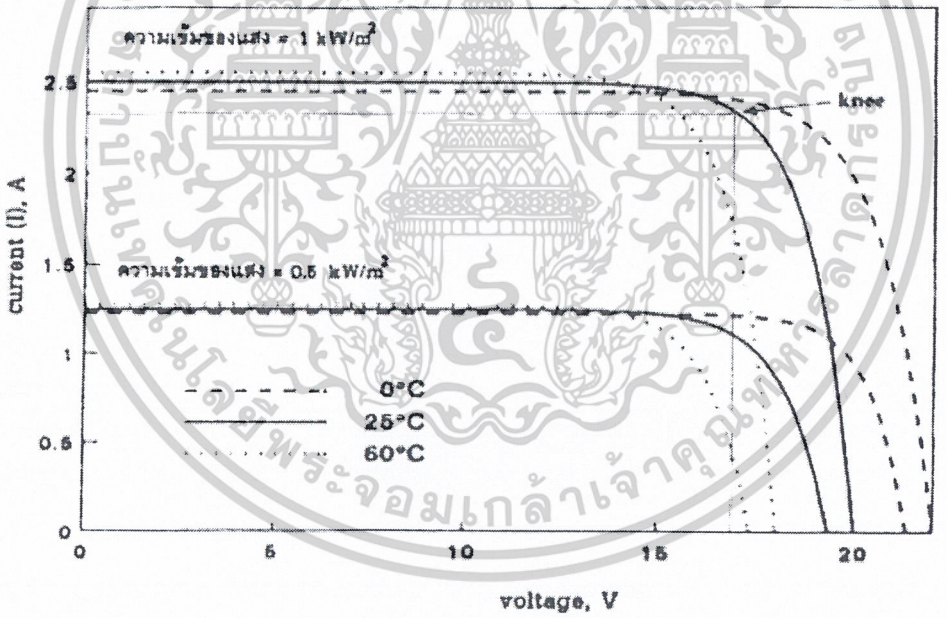
คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงได้โดยใช้ I-V curve ซึ่งมีประโยชน์สำหรับใช้ตรวจสอบกำลังผลิตสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ I หมายถึง กระแสไฟฟ้าซึ่งแทนด้วยเส้นกราฟในแกน Y และ V หมายถึง แรงเคลื่อนไฟฟ้าแทนด้วยเส้นกราฟในแกน X

I-V curve มาตราฐานที่ใช้ตรวจสอบกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ได้มาจากการทดสอบในสภาวะมาตราฐานที่กำหนด โดยใช้แสงส่องสว่างมาตราฐาน (Solar simulation) ที่อุณหภูมิของเซลล์คงที่ 25 องศาเซลเซียส ในการสร้าง I-V curve สิ่งแรกที่ต้องวัดคือแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ไม่มีการต่อโหลด เราเรียกว่า Open circuit voltage จะให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้า(V)ในแกน X เพราะไม่มีกระแสไหลผ่านเมื่อเชื่อมจุดทุกจุดเข้าด้วยกันจะเกิดเป็น I-V curve เมื่อต่อโหลดที่มีค่าต่างๆกัน ค่าของกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะถูกบักทึกไว้ เมื่อต่อภายใต้สภาวะของ Irradiance และอุณหภูมิต่างๆกันสิ่งที่น่าสนใจที่สุดคือ กำลังงานสูงสุด (Maximum power) ที่ได้ในแต่ละสภาวะนั้นๆ ในทางไฟฟ้ากำลังงานที่ได้มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) ซึ่งเกิดจากแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้า สำหรับกำลังงานสูงสุด (Maximum power) จะถูกแทนด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ใหญ่ที่สุด ภายใต้เส้น I-V curve โดยมีจุดสัมผัสที่อยู่บนเส้น Curve เรียกว่า Knee ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์สูงสุด (Wp) หรือ Peak watt ค่านี้จะถูกระบุไว้ในข้อกำหนด (Specification) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัทผู้ผลิต

กำลังการผลิตสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะสัมผัสกับความเข้มของแสงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์เป็นสำคัญ ในการใช้งานเพื่อก่อให้เกิดกำลังงานสูงสุด (Maximum power) จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ต่อพวงกับเซลล์แสงอาทิตย์เรียกว่า Maximum Power Point Tacking (MPPT) คือเป็นตัวกำหนดจุดทำงานของแผงเซลล์หรือชุดแผงเซลล์ที่จุดให้กำลังงานสูงสุดจาก I-V curve ซึ่งชุด MPPT ใช้งานได้โดยตรงกับปั๊มน้ำ ประจุแบตเตอร์รี่และเครื่องแปลงกระแส (Inverter) ซึ่งเครื่องแปลงกระแสอย่างดีจะมีอุปกรณ์ MPPT อยู่ในเครื่องแล้ว



รูปที่ 2.7 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ I-V Curve [2]

ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ องค์ประกอบใหญ่ๆของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar arrays) ซึ่งมีขนาดโตพอที่จะสามารถแปรพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าตามปริมาณที่ต้องการ การคำนวณออกแบบขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะต้องคำนึงถึงปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับ ณ สถานีที่ติดตั้งระบบและขนาดโหลดที่ใช้
- Blocking Diode ทำหน้าที่ยอมให้กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่หรือโหลดเพียงอย่างเดียว เพราะหากไม่มีแสงอาทิตย์กำลังไฟฟ้าที่สะสมไว้ในแบตเตอรี่จะถูกป้อนกลับสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เกิดความเสียหายต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้
- แบตเตอรี่ ทำหน้าที่ เก็บสะสมกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับระบบโฟโตไวตาอิก (Photovotaic) ขนาดเล็กที่เคลื่อนย้ายได้ มักใช้แบตเตอรี่แห้งนิเกิล - แคดเมี่ยม หากเป็นระบบขนาดใหญ่มักใช้แบตเตอรี่ Lead - Acid ขนาดแบตเตอรี่ต้องเพียงพอที่จะป้อนให้โหลดเมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ ปรกติมักออกแบบให้มีขนาดที่จะเก็บสะสมพลังงานสำรองได้ 2 - 3 วันแล้วแต่ความต้องการของระบบนั้นๆ
- Inverter/Converter ทำหน้าที่แปรไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่เป็นเป็นกระแสไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่และเฟสตามต้องการหรือเหมาะสมกับการต่อเข้ากับ Utility crid โดยทั่วไปองค์ประกอบนี้มักได้แก่ DC-AC Inverter ที่ทำด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และอาจมี Step-Up Transformer วงจรฟิลเตอร์
- Switches/Circuit Breaker ทำหน้าที่แยกองค์ประกอบของระบบให้มีอิสระจากกัน เช่น แบเตอรี่หรือใช้สำหรับตัดวงจรเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นต่อระบบ เช่น ระหว่าง Inverter Output กับ Utility Grid เป็นต้น

2.2.2 การใช้แสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

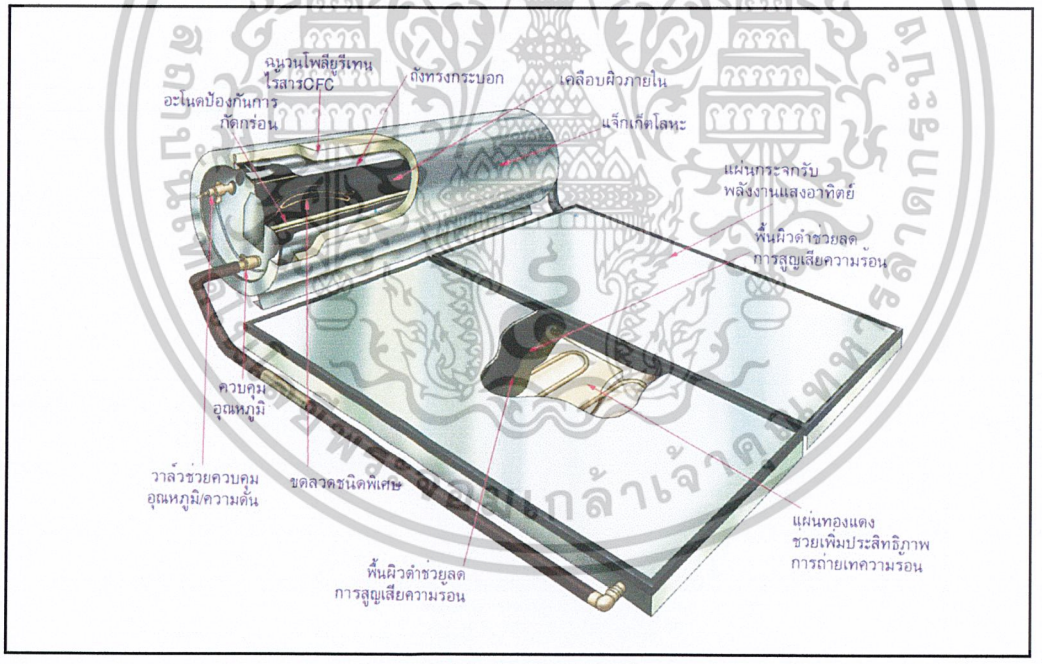
พลังงานแสงอาทิตย์ที่เดินทางมาถึงพื้นโลกมีค่าประมาณ 1.25×10^{14} กิโลวัตต์ ซึ่งเราสามารถนำพลังงานอันมหาศาลนี้มาใช้ผลิตความร้อนได้หลายรูปแบบ เป็นที่ทราบกันดีว่าระบบและอุปกรณ์ทำความร้อนจะต้องป้อนพลังงานจำนวนมากให้กับระบบหรืออุปกรณ์นั้น ซึ่งถ้าเป็นพลังงานที่ต้องใช้เงินซื้อมา ดั้งนั้นก็จะต้องใช้เงินปริมาณมากในการจัดหาพลังงานเช่นกันและยังก่อให้เกิดมลพิษอีกด้วย ถ้าหากสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์แทนพลังงานเหล่านั้นได้ก็จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและยังสามารถช่วยลดมลพิษได้อีกด้วยเพราะพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด จึงได้มีการค้นคว้าและวิจัยเพื่อสร้างอุปกรณ์ผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์กันอย่างมากมาย

การทำน้ำร้อนหรือของเหลวร้อน การใช้พลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตความร้อนเพื่อใช้ตามอาคารบ้านเรือนและอุตสาหกรรมบางประเภท ปัจจุบันมีความก้าวหน้าจนคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ จนมีการผลิตเครื่องทำน้ำร้อนจากแสงอาทิตย์ขึ้นใช้เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบตัวรับรังสีแผ่นเรียบ** โดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้ายตู้อบภายในจะมีแผ่นดูดความร้อนสีดำด้านเชื่อมอยู่กับท่อที่มีน้ำไหลอยู่ด้าน ในปัจจุบันได้มีการใช้พลาสติกสีดำที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพิเศษ แผ่นปิดใสทำด้วยกระจกใสหรือจะเป็นแบบหลอดแก้วใสโดยแยกแผ่นรับรังสีและท่อออกเป็นชุด โดยใช้ 1 ชุดต่อหลอดแก้วหนึ่งหลอด หลักการทำงานคือ ต้องตั้งตัวรับรังสีให้ทำมุมกับพื้นเท่ากับละติจูดที่ตัวรับรังสีนั้นตั้งอยู่เพื่อให้รับได้ทั้งรังสีตรงและรังสีตกกระทบ เมื่อตัวรับรังสีได้รับแสงอาทิตย์แผ่นดูดความร้อนก็จะดูดเก็บความร้อนไว้พร้อมกับนำความร้อนไปสู่ท่อที่มีน้ำไหลอยู่และจะเกิดการนำความร้อนไปสู่น้ำที่ไหลอยู่ภายในท่อ เมื่อน้ำได้รับความร้อนก็จะกลายเป็นน้ำร้อนตามปริมาณความร้อนที่ได้รับ

ตัวรับรังสีแผ่นเรียบอีกแบบหนึ่งคือ การฝังท่อเอาไว้ภายในแผ่นคอนกรีตหรือพื้นคอนกรีตที่ได้รับแสงอาทิตย์ เช่น ฝังท่อไว้ในถนนคอนกรีต หรือ ชั้นลอยที่ไม่มีหลังคาคลุมเป็นต้น หลักการก็คลายกับแบบแรกคือ แผ่นคอนกรีตจะทำหน้าที่เป็นแผ่นดูดความร้อนนั่นเอง



รูปที่ 2.8 เครื่องทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แบบตัวรับรังสีแผ่นเรียบ [9]

- **เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสูญญากาศ** มีลักษณะเป็นหมู่หลอดแต่ละหลอดแยกออกจากกัน หลอดแก้วเป็นหลอดแก้วสูญญากาศสองชั้น โดยผิวภายนอกหลอดชั้นในเคลือบวัสดุทึบแสงสีดำ สามารถดูดซับความร้อนได้สูงและเก็บรักษาความร้อนได้ดีเพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระหว่างหลอดแก้วและชั้นในเป็นสูญญากาศ แต่ละหลอดจะมีปลายด้านหนึ่งปิดส่วนปลายอีกด้านหนึ่งจะเชื่อมอยู่กับถังเก็บน้ำร้อน หลักการทำงานคือ ต้องตั้งหลอดแก้วให้ทำมุมกับพื้นเท่ากับละติจูดที่หลอดแก้วนั้นตั้งอยู่ เมื่อน้ำได้รับความร้อนน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าก็จะลอยตัวขึ้นแทนที่น้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเนื่องจากน้ำร้อนมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำเย็นนั่นเอง

รูปที่ 2.9 เครื่องทำน้ำร้อนแสงอาทิตย์แบบหลอดแก้วสูญญากาศ [10]

การอบแห้ง การอบแห้งกลางแจ้งด้วยแสงอาทิตย์ได้มีการใช้กันมานานหลายพันปี แต่ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเป็นเครื่องอบแห้งซึ่งทำให้คุณภาพของผลผลิตสูงขึ้น และมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นด้วย ตัวรับรังสีทำอากาศร้อนแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆคือ

1. แบบอัดลม ตัวรับรังสีแบบนี้มักทำด้วยฟิล์มพลาสติก นำมาม้วนเป็นท่อ เมื่อเป่าลมเข้าไปจะทำให้พองตัวขึ้น และทำหน้าที่เป็นตัวรับรังสี ตัวรับรังสีแบบนี้มีข้อดีคือ ราคาถูกม้วนเก็บได้เมื่อไม่ต้องการใช้ แต่ก็มีข้อเสียคืออายุการใช้งานสั้น

2. แบบแผ่นเรียบ ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบมีลักษณะคล้ายกับตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบตัวรับรังสีแผ่นเรียบ แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

- แบบเปลือย
- แบบแผ่นใสปิด
- แบบมีแผ่นใสปิด และมีชั้นอากาศนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ทฤษฎีของตัวรับรังสีแผ่นเรียบ

ตัวรับรังสีแผ่นเรียบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับรังสีดวงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทให้กับของไหลเพื่อนำไปทำงาน ของไหลที่ใช้โดยมากมักได้แก่น้ำหรืออากาศตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบนับเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันแพร่หลายเมื่อเปรียบเทียบกับตัวรับรังสีแบบอื่นๆ ตัวอย่างที่เห็นกันโดยทั่วไปได้แก่ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ซึ่งใช้ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบเป็นตัวดูดความร้อน

ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบเหมาะสมกับงานที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงคือ ประมาณ 50 – 60°C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิระหว่าง 10 – 30°C หรืออาจสูงถึง 80 – 90°C ถ้าตัวดูดรังสีเป็นแบบเลือกรังสีหรือมีแผ่นใสปิดด้านบนของตัวรับรังสีมากกว่า หนึ่งชั้น แม้ว่าตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบจะมีข้อจำกัดมากด้านความไม่เหมาะสมในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงแต่ก็มีข้อดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับตัวรับรังสีแบบอื่นๆ เช่นเป็นอุปกรณ์ง่ายๆที่รับได้ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย ไม่ต้องมีกลไกในการบังคับให้ตัวรับรังสีหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ มีความจำเป็นในการบำรุงรักษาน้อย และที่สำคัญที่สุดคือมีความคุ้มทุนในการลงทุนติดตั้งในหลายๆกรณี เช่น ระบบติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนสำหรับบ้านพักอาศัยเป็นต้น

2.3.1 สมดุลย์พลังงานและข้อสมมุติฐานสำหรับการวิเคราะห์

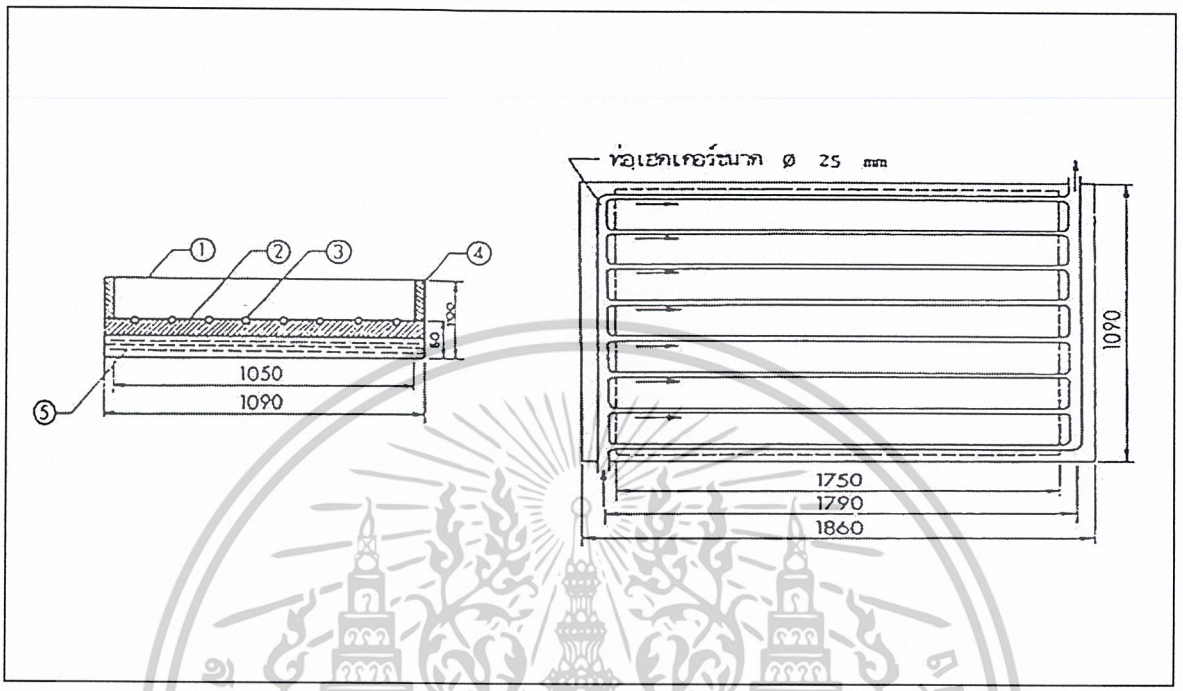
ในที่นี้จะแสดงการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเพื่อประเมินสมรรถนะของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบชนิดหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย การวิเคราะห์ตัวรับรังสีแบบอื่นๆสามารถทำได้ในลักษณะคล้ายๆกัน พื้นฐานความรู้ที่ต้องใช้ประกอบการวิเคราะห์จะเกี่ยวข้องกับเทอร์โมไดนามิกส์และการถ่ายเทความร้อนเป็นส่วนใหญ่

รูปที่ 2.10 แสดงตัวรับรังสีแผ่นเรียบแบบครีบและท่อแบบหนึ่ง ซึ่งมีกระจกใสปิดสองชั้น เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าประเภทคลื่นสั้นส่งผ่านกระจกใสและกระทบกัน แผ่นดูดความร้อนจะดูดรังสีเกือบทั้งหมดเอาไว้แล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนแล้วเกิดการนำความร้อนไปยังท่อโลหะและของไหลที่อยู่ในท่อ กระจกใสจะยอมให้รังสีแสงอาทิตย์ผ่านไปได้แต่จะช่วยป้องกันให้รังสีความร้อนซึ่งเป็นรังสีประเภทคลื่นยาวผ่านออกไปยังบรรยากาศภายนอกได้

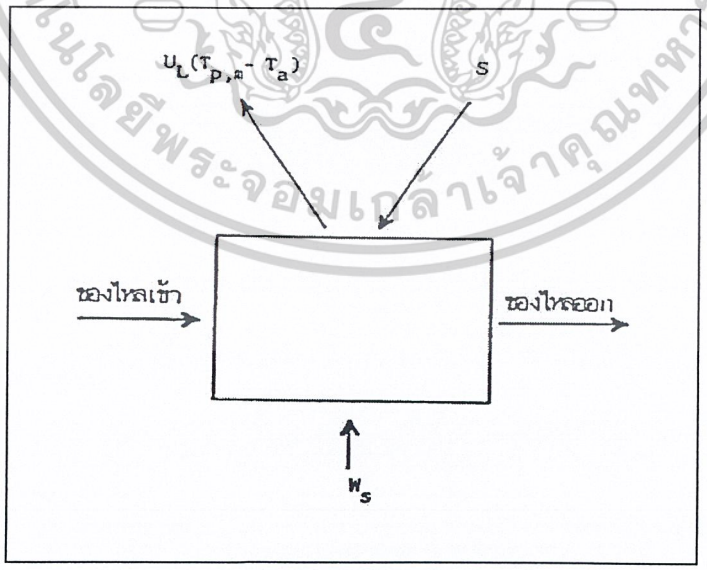
รูปที่ 2.11 แสดงสมดุลย์พลังงานของตัวรับรังสี ที่สภาวะสม่ำเสมอ (Steady state) จะสามารถเขียนสมดุลย์พลังงานโดยอ้างกฎทางเทอร์โมไดนามิกส์ได้ว่า เอนธัลปีของของไหลเพิ่มขึ้นเท่ากับผลรวมของความร้อนที่ตัวรับรังสีได้จากดวงอาทิตย์และสูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อม และงานเพลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ใช้ในการขับเคลื่อนของไหลผ่านตัวรับรังสี เนื่องจากงานเพลามีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเทอมอื่นๆดั้งนั้นจึงอาจตัดทิ้งได้ สมการสมดุลย์พลังงานจึงเขียนได้ดังนี้



รูปที่ 2.10 ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบแบบครีบและท่อ [1]



รูปที่ 2.11 สมดุลย์พลังงานบนตัวรับรังสี [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

$$H_o - H_i = A_c S - A_c U_L (T_{p,m} - T_a) \qquad (2.1)$$

เมื่อ H_i และ H_O คือ เอนธัลปีของของไหลไหลเข้าและไหลออกตามลำดับ , W

S คือ รังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนที่แผ่นดูดรังสี , W/m^2

U_L คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม , W/m^2K

$T_{p,m}$ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดรังสี , K

T_a คือ อุณหภูมิแวดล้อม , K

A_c คือ พื้นที่ตัวรับรังสี , m^2

S สามารถหาได้จากผลคูณของรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบของตัวรับรังสีและประสิทธิภาพเชิงออฟติก (Optical efficiency) $H_O - H_i$ คือเอนธัลปีของของไหลที่เพิ่มขึ้นหรือความร้อนที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (Q_u) นั่นเอง แทนค่า $H_O - H_i$ ด้วย Q_u และแยกเฟคเตอร์จะได้

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{p,m} - T_a)] \qquad (2.2)$$

สมรรถนะของตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบสามารถวัดได้ด้วยประสิทธิภาพเชิงความร้อนซึ่งเท่ากับอัตราส่วนของพลังงานที่นำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อรังสีรวมที่ตกกระทบบนพื้นระนาบของตัวรังสี

$$\eta = \int Q_U d\tau \; / \left(A_c \int G_T d\tau \right) \qquad (2.3)$$

เมื่อ τ คือเวลา และ G_T คือค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนระนาบของตัวรับรังสี

ในที่นี้เราจะแสดงการวิเคราะห์ตัวรับรังสีแผ่นเรียบแบบครีบและท่อโดยใช้วิธีของ Duffie and Beckman (1980) ซึ่งมีข้อสมมุติฐานที่สำคัญดังต่อไปนี้

- เป็นการวิเคราะห์สำหรับสภาวะสม่ำเสมอ
- เป็นตัวรับรังสีแบบครีบและท่อ
- เฮดเดอร์บนและเฮดเดอร์ล่าง (Top and bottom header) มีพื้นที่น้อยเมื่อเทียบกับแผ่นดูดรังสี
- มีการแจกแจงการไหลของของไหลในท่ออย่างสม่ำเสมอ
- ไม่มีการดูดกลืนของรังสีดวงอาทิตย์ในแผ่นปิดใส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
45939

- การไหลของความร้อนในแผ่นปิดใสเป็นไปในทิศทางเดียว
- ไม่มีความแตกต่างระหว่างผิวทั้งสองหน้าของแผ่นปิดใส
- รังสีอินฟราเรดไม่สามารถส่งผ่านแผ่นปิดใส
- การไหลของความร้อนภายในฉนวนเป็นไปในทิศทางเดียว
- สามารถพิจารณาท้องฟ้าเสมือนหนึ่งวัตถุดำ (Black body) สำหรับการแผ่รังสีคลื่นยาวที่อุณหภูมิสมบูรณ์ของท้องฟ้าค่าหนึ่ง
- ไม่มีเกรเดียนท์ (Gradients) อุณหภูมิรอบๆท่อ
- สามารถพิจารณาเกรเดียนท์อุณหภูมิในทิศทางการไหล และในแนวระหว่างท่อเป็นอิสระต่อกัน
- คุณสมบัติทางความร้อนของวัสดุไม่ขึ้นกับอุณหภูมิ
- การสูญเสียความร้อนด้านหน้า และด้านหลังคิดเทียบกับอุณหภูมิแวดล้อมค่าเดียวกัน
- ไม่มีฝุ่น และความสกปรกบนตัวรับรังสี
- ไม่มีการบังแสงบนแผ่นดูดรังสี

2.3.2 สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงวิธีการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน ซึ่งจำเป็นสำหรับการหาค่าสูญเสียเชิงความร้อนที่เกิดขึ้นบนตัวรับรังสี พิจารณาตัวรับรังสีในรูปที่ 2.10 สามารถเขียนวงจรความร้อนได้ดังรูปที่ 2.12 (a) ซึ่งเมื่อรวมความต้านทานที่ต่อขนานกันอยู่ จะได้วงจรความร้อนดังรูปที่ 2.12 (b)

อัตราการสูญเสียความร้อนทางด้านบนของตัวรับรังสีเมื่อคิดคร่อมความต้านทานระหว่างตัวดูดกลืนรังสีและแผ่นปิดใสชั้นใน สามารถเขียนในรูปสมการได้ว่า

$$q_{loss,top} = h_{p-c1}\left(T_p - T_{c1}\right) + \sigma\left(T_p^4 + T_{c1}^4\right) \Big/ \left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right) \qquad (2.4)$$

เมื่อเทอมแรกทางขวามือคือ อัตราการสูญเสียความร้อนโดยการพาและเทอมที่สองคืออัตราการสูญเสียความร้อนโดยการแผ่รังสี พิจารณาว่าตัวดูดรังสีและแผ่นปิดใสมีขนาดเท่ากันและขนานกัน และมีความกว้างและความยาวมากกว่าระยะห่างระหว่างแผ่นทั้งสองมาก สมการ (2.4) สามารถเขียนได้อีกรูปแบบหนึ่งซึ่งง่ายต่อการคำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q_{loss,top} = \left(h_{p-c1} + h_{r,p-c1}\right)\left(T_p - T_{c1}\right) \tag{2.5}$$

เมื่อ $h_{r,\,p\text{-}c1}$ คือสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากตัวดูดรังสีไปยังแผ่นปิดใสชั้นใน

$$h_{r,p\text{-}c1} = \sigma\left(T_p - T_{c1}\right)\left(T_p^2 + T_{c1}^2\right) \Big/ \left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_{c1}} - 1\right) \tag{2.6}$$

รูปที่ 2.12 วงจรความร้อนสำหรับ 2 cover [1]

และ $h_{p\text{-}c1}$ คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากตัวดูดรังสีไปยังแผ่นปิดใสชั้นในและสามารถหาได้โดยขั้นตอนต่างๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$h_{p-c1} = N_u \, k / L_{ps} \qquad (2.7)$$

เมื่อ Nu คือนัสเซิลนัมเบอร์ k คือค่าความนำความร้อน และ Lps คือระยะห่างระหว่างแผ่นเรียบ

Hollannds et al. (1976) ซึ่งรายงานโดย Duffie and Beckman (1980) ให้ความสัมพันธ์ของนัสเซ็ลนัมเบอร์ (Nu) และเรย์เลย์ (Ra) ดังต่อไปนี้

$$N_u = 1 + 1.44\left[1 - 1708/\left(R_a \cos\beta\right)\right]^+ \left[1 - 1708\left(\sin 1.8\,\beta\right)/R_a \cos\beta\right]$$

$$+ \left[\left(R_a \cos\beta \cos\beta/5\right)^{1/3} - 1\right]^+ \qquad (2.8)$$

เมื่อ β คือมุมเอียงที่มีค่าน้อยกว่า 75° เครื่องหมาย + เหนือวงเล็บเหลี่ยมหมายถึงให้ใช้ค่าที่เป็นบวก เทอมที่มีค่าเป็นลบให้ใช้ค่าเป็นศูนย์

$$R_a = g\beta\Delta T L_{ps}^3 / \nu\alpha \qquad (2.9)$$

เมื่อ Ra คือเรย์เลย์นัมเบอร์

g คือแรงโน้มถ่วง , m/s^2

β คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร , K^{-1} , 1/T สำหรับก๊าซอุดมคติ

ΔT คือความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างแผ่นเรียบ , K

ν คือความหนืดคิเนเมติก , m^2/s

μ คือการแพร่กระจายตัวของความร้อน , m^2/s

เมื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้แล้ว สามารถหาความต้านทานต่อการไหลของความร้อนระหว่างตัวดูดรังสีและแผ่นปิดใสชั้นใน (R_3) ได้ดังต่อไปนี้

$$R_3 = 1/\left(h_{p-c1} + h_{r,p-c1}\right) \qquad (2.10)$$

ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนของแผ่นปิดใสชั้นในไปยังแผ่นปิดใสชั้นนอก (R_2) , สามารถหาได้ในลักษณะคล้ายๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_2 = 1/(h_{c1-c2} + h_{r,c1-c2}) \qquad (2.11)$$

ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนจากแผ่นปิดใสชั้นนอกไปยังบรรยากาศรอบๆ (R_1) , มีค่าขึ้นอยู่กับความเร็วลมที่พัดผ่านเหนือตัวรับรังสี และอุณหภูมิของท้องฟ้า

$$R_1 = 1/(h_w + h_{r,c2-ca}) \qquad (2.12)$$

Watmuff et al. (1977) ซึ่งรายงานโดย Duffie and Beckman (1980) เสนอสมการเอมไพริคเดิลสำหรับคำนวณหาสัมประสิทธิ์การพาความร้อนดังนี้

$$h_w = 2.8 + 3.0\ v \qquad (2.13)$$

เมื่อ h_w คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยลม ,W/m^2K

V คือความเร็วลม , m/s

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นปิดใสชั้นนอกไปยังท้องฟ้า โดยคิดว่าตัวรับรังสีถูกครอบคลุมโดยสมบูรณ์โดยท้องฟ้ามีขนาดใหญ่กว่ามาก $h_{r,c2-a}$ สามารถเขียนได้ว่า

$$h_{r,c2-a} = \varepsilon_{c2}\sigma(T_{c2} - T_s)(T_{c2}^2 - T_s^2)(T_{c2} - T_s)/(T_{c2} - T_a) \qquad (2.14)$$

Swinbank (1963) ซึ่งรายงานโดย Duffie and Beckman (1980) แนะนำว่าอุณหภูมิของท้องฟ้า (T_s) ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (T_a) แบบ Empirical ดังความสัมพันธ์ข้างล่างนี้

$$T_s = 0.0552\ T_a^{1.5} \qquad (2.15)$$

เมื่อหาค่าความต้านทาน R_1 , R_2 และ R_3 ได้แล้ว เราสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนได้ดังนี้

$$U_t = 1/(R_1 + R_2 + R_3) \qquad (2.16)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นอัตราการสูญเสียความร้อนทางด้านบนของตัวรับรังสีต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่รับรังสี

$$q_{loss\ ,\ top} = U_t\left(T_p - T_a\right) \tag{2.17}$$

เมื่อให้สมการ (2.5) เท่ากับสมการ (2.17) จะได้ว่า

$$\left(h_{p-c1} + h_{r,p-c1}\right)\left(T_p - T_{c1}\right) = U_t\left(T_p - T_a\right) \tag{2.18}$$

$$T_{c1} = T_p - U_t\left(T_p - T_a\right)/\left(h_{p-c1} + h_{r,p-c1}\right) \tag{2.19}$$

หรือสามารถเขียนสมการสำหรับอุณหภูมิที่แผ่นปิดใสชั้นใดๆได้ว่า

$$T_j = T_i - U_t\left(T_p - T_a\right)/\left(h_{i-j} + h_{r,i-j}\right) \tag{2.20}$$

การคำนวณหา U_t T_c สามารถกระทำได้โดยการสมมุติค่า T_c ขึ้นก่อน จากนั้นคำนวณ U_t โดยใช้สมการ (2.4) – (2.16) เมื่อได้ U_t ให้คำนวณหา T_c โดยใช้สมการ (2.18) ให้เปรียบเทียบค่าT_c ที่คำนวณได้ กับค่า T_c ที่สมมุติขึ้น ถ้ามีค่าใกล้เคียงกันเป็นอันว่าใช้ได้ ถ้าไม่เช่นนั้นให้ใช้ค่า T_c ที่คำนวณได้และทำตามขั้นตอนต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยทั่วไปการคำนวณสองครั้งมักเพียงพอต่อความต้องการความละเอียดที่ต้องการทั่วๆไป

ความเป็นจริงค่าอุณหภูมิต่างๆที่ใช้ในการคำนวณเป็นค่าเฉลี่ย ที่จริงแล้วอุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีและอุณหภูมิของแผ่นปิดใสจะแปรเปลี่ยนตามระยะทางที่ของไหลไหลผ่าน เช่น ตรงทางเข้าตัวรับรังสีมีอุณหภูมิต่ำที่สุด ส่วนที่ทางออกของตัวรับรังสีจะมีอุณหภูมิสูงที่สุด

เราได้แสดงการหาสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบน U_t แล้วต่อไปเป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนที่ทางด้านหลังของตัวรับรังสี U_b

$$R_4 = L_i\ /\ K_i \tag{2.21}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปอาจจะสมมุติได้ว่า R_5 มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ R_4 (รูปที่ 2.12 b) ดั้งนั้น

$$U_b = 1/R_4 \qquad (2.22)$$

นอกจากนี้แล้วยังต้องคิดถึงการสูญเสียความร้อนทางด้านข้างของตัวรับรังสีโดยคิดเทียบกับพื้นที่ทางด้านหลังของตัวรับรังสี

$$U_e = (UA)_{edge} / A_c \qquad (2.23)$$

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวมหาได้ดังนี้

$$U_L = U_t + U_b + U_e \qquad (2.24)$$

พบว่าการคำนวณหา U_t ทำได้ไม่สะดวกและเสียเวลามาก ดั้งนั้นจึงมีการสร้างกราฟเพื่อช่วยในการหาค่า U_t ดังเช่นในรูปกราฟที่ 2.13 (a)-(f) (Duffie and Beckmen , 1980) ซึ่งพบว่า U_t มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของตัวดูดรังสีสูงขึ้นหรือจำนวนชั้นของแผ่นใสปิดลดลง หรือ h_w เพิ่มขึ้นหรือ ε_p มีค่าสูงขึ้น กราฟดังกล่าวใช้กับมุมเอียง 45° ระยะห่างระหว่างแผ่นดูดรังสีและกระจกใส หรือระหว่างกระจกด้วยกันมีค่าเท่ากับ 25 mm แต่สามารถใช้ได้กับระยะห่างอื่นๆที่มีค่าไม่น้อยกว่า 15 mm

รูปที่ 2.14 แสดงอิทธิพลของระห่างระหว่างแผ่นเรียบสองแผ่นที่มีต่อ U_t ซึ่งพบว่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนที่ค่อนข้างคงที่เมื่อระยะห่างลดลงจาก 40 mm เหลือ 15 mm และมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ที่เป็นเช่นนี้เพราะระยะห่างที่แคบๆนี้ จะมีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำผ่านอากาศค่อนข้างมาก สำหรับมุมเอียงที่แตกต่างไปจาก 45° ให้ใช้รูปที่ 2.15 ช่วยหาแฟคเตอร์ที่ใช้ในการแก้ไข โดยคูณเข้ากับค่า U_t ที่อ่านได้จากรูปที่ 2.13

แม้ว่ากราฟข้างต้นนี้จะช่วยประหยัดเวลาในการหา U_t ได้มากแต่ก็ไม่เหมาะเท่ากับการคำนวณโดยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงมีการสร้างสมการเอ็มไพริคเคิล Duffie and Beckman (1980) เสนอรายละเอียดของสมการที่พัฒนาโดย Klein ในปี ค.ศ 1979 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\frac{C}{T_{p,m}}\left[\frac{\left(T_{p,m} - T_a\right)}{\left(N + f\right)}\right]^e} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1}$$

$$+ \frac{\sigma\left(T_{p,m} + T_a\right)\left(T_{p,m}^2 + T_a^2\right)}{\left(\varepsilon_p + 0.00591 N h_w\right)^{-1} + \frac{2N + f - 1 + 0.133\,\varepsilon_p}{\varepsilon_c} - N} \qquad (2.25)$$

เมื่อ N = จำนวนของแผ่นกระจกใส

F = $(1 + 0.89\,h_w - 0.1166\,h_w\,\varepsilon_p)\,(1+0.07866N)$

C = $520\,(1 - 0.000051\,\beta^2$ สำหรับ $0^\circ < \beta < 70^\circ$ และแทนค่า $\beta = 70^\circ$ สำหรับกรณีที่มีมุมเอียงของตัวรับรังสีมากกว่า 70°

e = $0.43\,(1 - 100/T_{p,m})$

β = มุมเอียงของตัวรับรังสี (องศา)

ε_c = ค่าการแผ่รังสีของกระจก (0.88)

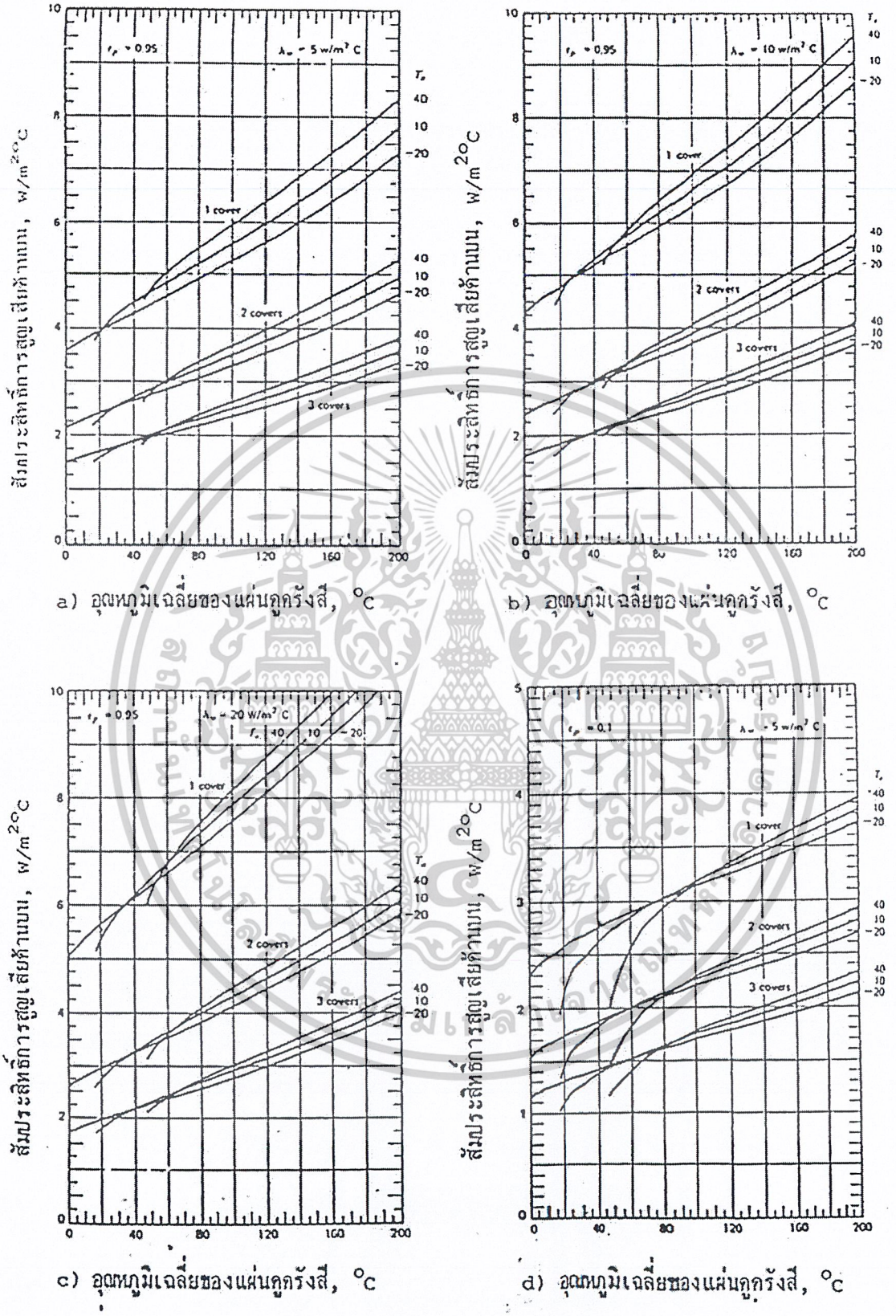
ε_p = ค่าการแผ่รังสีของตัวดูดรังสี

T_a = อุณหภูมิแวดล้อม (K)

$T_{p,m}$ = อุณหภูมิเฉลี่ยของตัวดูดรังสี (K)

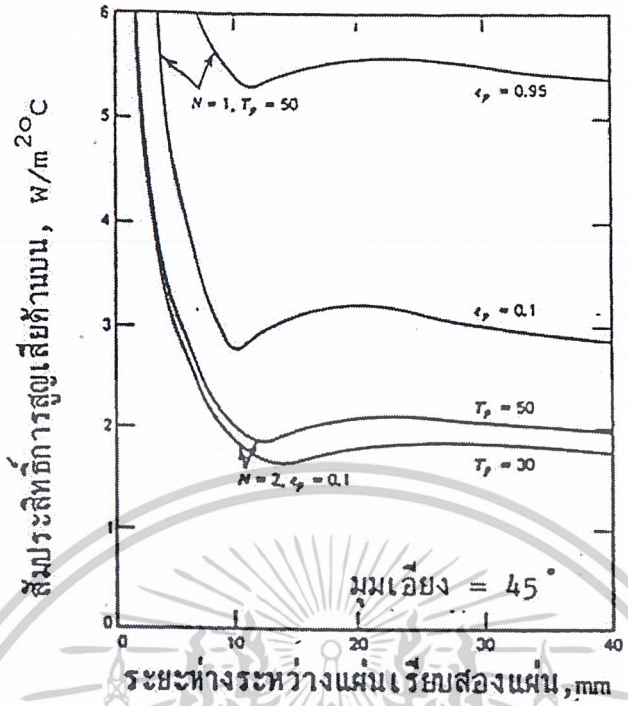
h_w = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนโดยลม ($W/m^2\,K$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

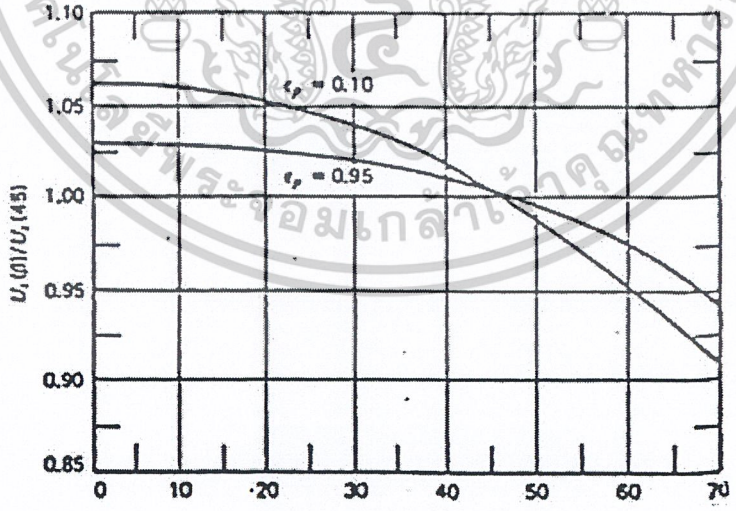


รูปที่ 2.13 สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบนสำหรับมุมเอียงตัวรับรังสี 45° [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบนและระยะห่างระหว่างแผ่นเรียบ [1]

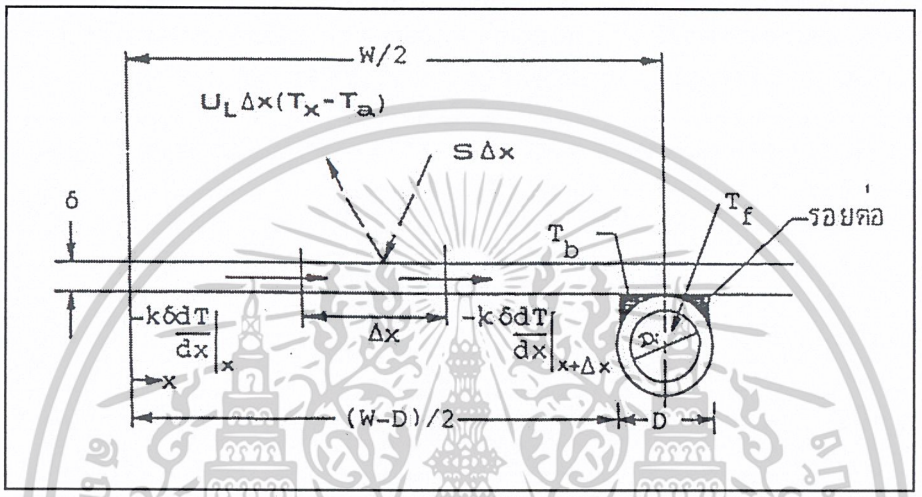


รูปที่ 2.15 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบนและมุมเอียงของแผงรับรังสี [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 แฟคเตอร์ประสิทธิภาพตัวรับรังสี (Collector efficiency factor,F')

รูปที่ 2.16 แสดงรายละเอียดของแผ่นครีบดูดรังสีและท่อไหล เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบตัวครีบ ส่วนใหญ่จะถูกดูดกลืนทำให้ตัวครีบมีอุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการสูญเสียความร้อนแก่สิ่งแวดล้อมจำนวนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งไหลไปตามเนื้อครีบเข้าหาท่อของไหล ที่สภาวะสม่ำเสมอ เราสามารถเขียนสมการแสดงสมดุลย์พลังงานบนปริมาตรบังคับในรูปที่ 2.19 ได้ดังนี้



รูปที่ 2.16 รายละเอียดของครีบและท่อและสมดุลย์พลังงานบนชิ้นของครีบ [1]

$$S\Delta x + U_L\Delta x(T_a - T) + \left(-k\sigma dT/dx_{lx}\right) - \left(-k\sigma dT/dx_{lx+\Delta x}\right) = 0 \qquad (2.26)$$

เมื่อเทอมที่หนึ่งมีความหมายถึงรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืน เทอมที่สองหมายถึงความร้อนที่สูญเสีย เทอมที่สามและเทอมที่สี่หมายถึงความร้อนที่เคลื่อนที่เข้า และออกจากปริมาตรบังคับ ตามลำดับเพื่อหาลิมิต (limit) ขณะ $x \rightarrow 0$ จะได้ว่า

$$d^2T/d^2x = (U_L/k\delta)(T - T_a - S/U_L) \qquad (2.27)$$

เมื่อภาวะขอบเขตมีดังนี้

$$d\phi/dx|_{x=0} = 0 \; ; \; \phi|_{x=(W-D)/2} = T_b \qquad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้านิยามว่า $m^2 = U_L / k\delta$ และ $\phi = T - T_a - S / U_L$ สมการ (2.27) จะเขียนใหม่ได้ว่า

$$d^2\phi / d^2 x - m^2\phi = 0 \qquad (2.29)$$

ซึ่งมีภาวะขอบเขตดังต่อไปนี้

$$d\phi / dx|_{x=0} = 0 \; ; \; \phi|_{x=(W-D)/2} = T_b - T_a - S/U_L \qquad (2.30)$$

คำตอบทั่วไปของสมการ (2.29) สามารถเขียนได้ว่า

$$\phi = C_1 \sinh(mx) + C_2 \cosh(mx) \qquad (2.31)$$

ตัวคงที่ และ สามารถหาได้โดยใช้ภาวะขอบเขตที่มีอยู่ซึ่งไปแทนลงในคำตอบทั่วไป จะได้ผลว่า

$$(T - T_a - S/U_L) / (T_b - T_a - S/U_L) = \cosh(mx) / \cosh[m(W-D)/2] \qquad (2.32)$$

จากสมการ (2.32) สามารถหา $dT / dx|_{x=(W-D)/2}$ และจากกฎฟูเรียร์ $q = -k\delta \, dT / dx$, สามารถหาการนำความร้อนที่ $x = (W-D)/2$

$$q'_{fin} = -k\delta \, dT / dx|_{x=(W-D)/2}$$

$$q'_{fin} = (k\delta m/U_L)[S - U_L(T_b - T_a)] \tanh[m(W-D)/2] \qquad (2.33)$$

เพราะว่า $k\delta m/U_L = 1/m$ และถ้าคิดว่ามีการนำความร้อนเกิดขึ้นทั้งสองด้านของท่อจะเขียนได้ว่า

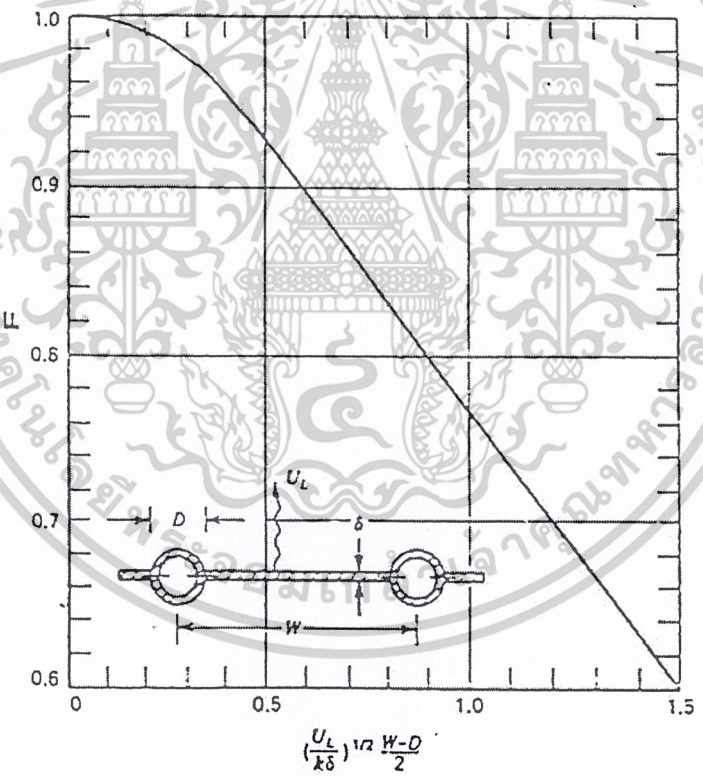
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q'_{fin} = (W\text{-}D)\,[S - U_L(T_b - T_a)]\ \tanh\,[m(W\text{-}D)/2]\ /[m(W\text{-}D)/2] \qquad (2.34)$$

หรือ $$q'_{fin} = (W\text{-}D)\,[S - U_L(T_b - T_a)] \qquad (2.35)$$

เมื่อ F คือประสิทธิภาพของครีบ (Fin efficiency) และสามารถหาได้จากรูปที่ 2.17 หรือจากสมการดังต่อไปนี้

$$F = \tanh\,[m(W\text{-}D)/2]\ /[m(W\text{-}D)/2] \qquad (2.36)$$



รูปที่ 2.17 ประสิทธิภาพของครีบสำหรับตัวรับรังสีแบบครีบและท่อ [1]

ค่าความร้อนที่ส่งผ่านเข้าไปในของไหลในท่อยังมาจากส่วนที่รังสีอาทิตย์ถูกดูดกลืนโดยตรงที่ผิวของท่อ ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$q'_{tube} = D\,[S - U_L(T_b - T_a)] \tag{2.37}$$

ความร้อนที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด q'_u สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

$$q'_u = q'_{fin} + q'_{tube} = [(W-D)F + D]\,[S - U_L(T_b - T_a)] \tag{2.38}$$

ความร้อนส่วนนี้ต้องเคลื่อนผ่านความต้านทานที่รอยต่อระหว่างครีบและท่อ $(1/C_b)$ ความต้านทานที่ผนังท่อซึ่งโดยทั่วไปมีค่าน้อยและสามารถตัดทิ้งได้ และความต้านทานระหว่างผิวของท่อและของไหลที่ไหลในท่อ $(1 / \pi D_i h_{f,i})$ ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบสมการได้ดังนี้

$$q'_u = (T_b - T_f)(1 / \pi D_i h_{f,i} + C_b) \tag{2.39}$$

เมื่อ $h_{f,i} = N_u k_f / D_i$ (2.40)

ถ้าเป็นการไหลปั่นป่วน $R_e = V D_i / \nu > 2200$ (R_e คือ เรย์โนลด์นัมเบอร์) Webb (1971) ซึ่งรายงานโดย Duffie and Beckmen (1980) เสนอให้ใช้สมการของ Petukhove และ Popov ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$N_u = (f/8)\,R_e P_r / \left[1.07 + 12.7(f/8)^{1/2}\left(P_r^{2/3} - 1\right)\right] \tag{2.41}$$

เมื่อ $P_r = \nu / \alpha$ (P_r = แพรนด์เทิลนัมเบอร์)

f = แฟคเตอร์ของความเสียดทาน

สำหรับท่อที่มีผิวเรียบสามารถหาค่า f ได้จากสมการต่อไปนี้

$$f = (0.79 \ln R_e - 1.64)^{-2} \tag{2.42}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ไม่ใช่ท่อกลม เราสามารถแทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (D_i) ด้วยค่าเส้นผ่านศูนย์กลางไฮโดรลิค (D_h) ซึ่งสามารถหาได้ดังนี้

D_i = 4 (พื้นที่หน้าตัดสำหรับการไหล) / (เส้นรอบรูปที่เปียกด้วยของไหล)

ถ้าเป็นการไหลแบบราบเรียบ เราอาจสมมุติว่าอุณหภูมิของผนังท่อมีค่าคงที่ และอาจใช้สมการของ Goldberg ซึ่งพัฒนาในปี ค.ศ. 1958 และมีรายละเอียดดังนี้

$$N_u = N_{u\infty} + a\left(R_e P_r D_i/L\right)^m / \left[1 + b\left(R_e P_r D_i/L\right)^n\right] \qquad (2.43)$$

เมื่อ $N_{u\infty}$ = 3.7

ค่า a,b,m,n สำหรับเงื่อนไขเมื่ออุณหภูมิผิวท่อคงที่สามารถหาได้จากตารางที่ 2.3.1

ตารางที่ 2.1 ค่าตัวคงที่สำหรับสมการ (2.43)

P_r	a	b	m	n
0.7	0.791	0.0331	1.15	0.82
5	0.0534	0.0335	1.15	0.82
∞	0.0461	0.0316	1.15	0.84

เมื่อนำค่า T_b จากสมการ (2.39) แทนลงในสมการ (2.38) จะได้ว่า

$$q'_u = WF'\left[S - U_L\left(T_f - T_a\right)\right] \qquad (2.44)$$

$$F' = \frac{1/U_L}{W\left[\frac{1}{U_L\left[D + (W-D)F\right]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{f,i}}\right]} \qquad (2.45)$$

F′ เรียกว่าแฟคเตอร์ประสิทธิ์ภาพตัวรับรังสี จากสมการ (2.44) เราสามารถอธิบายได้ว่า F′ หมายถึงอัตราส่วนของความร้อนที่สามารถไปใช้ประโยชน์ได้จริงต่อความร้อนที่ควรจะได้ ถ้าผิว

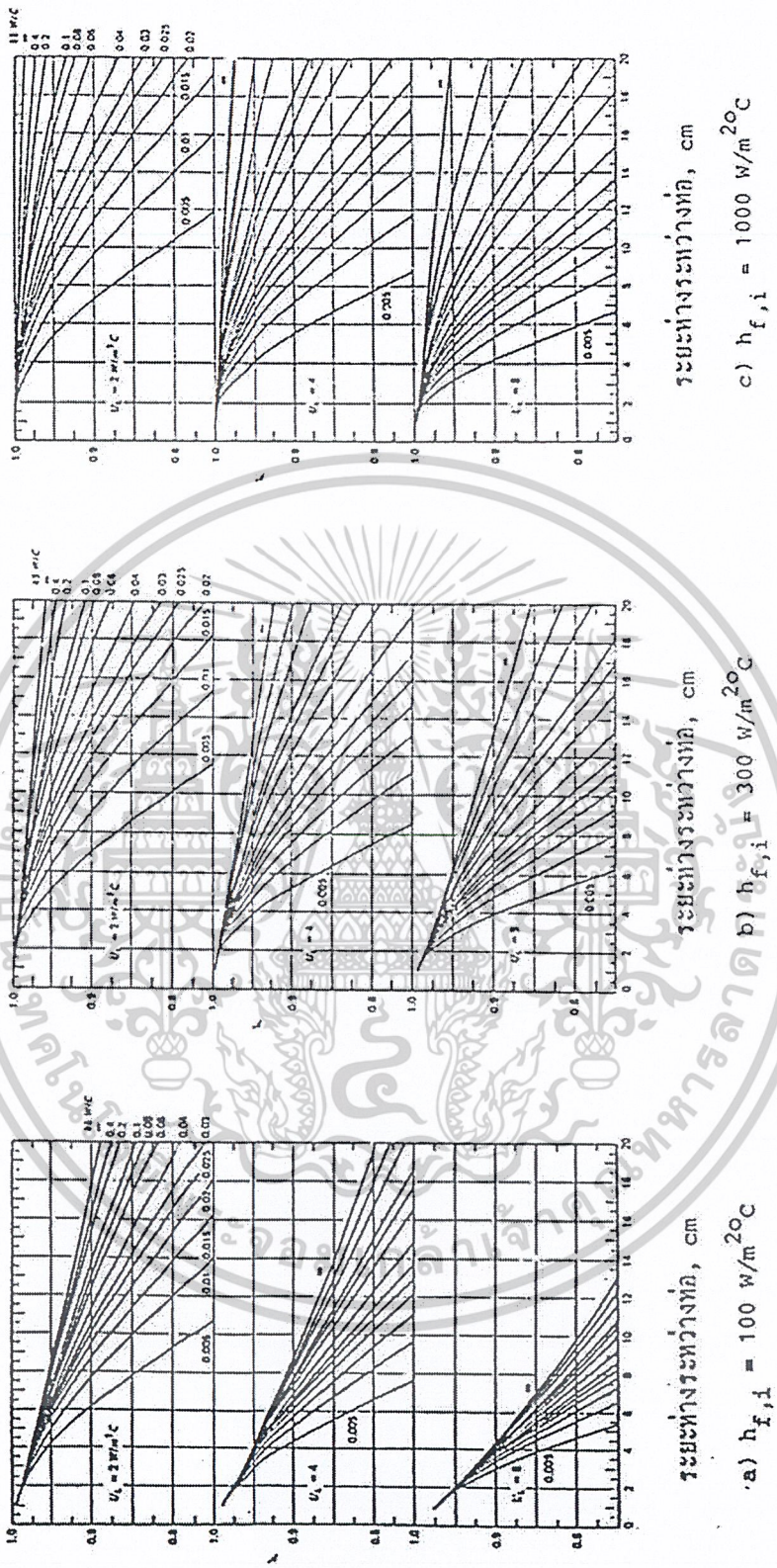
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตัวดูดรังสีมีอุณหภูมิ T_f, T_f ในที่นี้หมายถึงอุณหภูมิของของไหล ณ จุดใดจุดหนึ่งในตัวรับรังสี เพื่อให้การคำนวณค่า F′ เป็นไปได้โดยง่าย อาจใช้กราฟรูปที่ 2.18 (a) – (c) ซึ่งได้มาจากการที่สมมุติว่า $1/C_b = 0$, $D_i = 0.01$ m จากกราฟดังกล่าวพบว่า F′ จะมีค่าสูงเมื่อระยะห่างระหว่างท่อลดลง หรือผลคูณระหว่างความนำความร้อนและความหนาของครีบมีค่าสูง และเมื่อ $h_{f,i}$ มีค่าสูงขึ้นซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอัตราการไหลที่สูงขึ้น

จากสมการ (2.45) จะเห็นว่า มีค่าเกือบคงที่สำหรับรูปแบบของตัวรับรังสีที่แน่นอนค่าหนึ่ง และเมื่อได้มีการกำหนดอัตราการไหลของของไหลไปเรียบร้อยแล้ว จะมีเพียงตัวสัญลักษณ์ หรือประสิทธิภาพของครีบเท่านั้นที่อาจเป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิอยู่บ้าง และเมื่อพิจารณาตัวส่วนของสมการ (2.45) แล้วพบว่า คือผลรวมของการต้านทานการไหลไปยังอากาศแวดล้อมนั่นเอง โดยเทอมทางขวามือสุดหมายถึงความต้านทานจากของไหลไปยังผนังท่อ เทอมกลางหมายถึงความต้านตามรอยต่อระหว่างผนังท่อและครีบดูดรังสี และเทอมทางซ้ายมือคือความต้านทานจากรอยต่อไปยังอากาศแวดล้อม หากต้องการให้ตัวรับรังสีมีสมรรถนะที่สูงแล้วก็ต้องพยายามทำให้ตัวส่วนของสมการ (2.45) มีค่าน้อยๆ

นั่นคือใช้อัตราการไหลที่สูงพอ รอยต่อระหว่างครีบและท่อต้องดีพอ และระยะห่างระหว่างท่อ ชนิดโลหะของครีบและความหนาของตัวครีบต้องเหมาะสม ที่จะไม่ทำให้ความต้านทานสูงเกินไป โดยทั่ว ๆ ไปแล้วความต้านทานตรงรอยต่อระหว่างครีบและท่อมีค่าต่ำมาก และอาจตัดทิ้งได้ หากรอยต่อนั้นดีพอ แต่ก็อาจมีค่าสูงมากจนทำให้สมรรถนะของตัวรับรังสีลดลงอย่างเห็นได้ชัดหากรอยต่อนั้นไม่ดีพอ

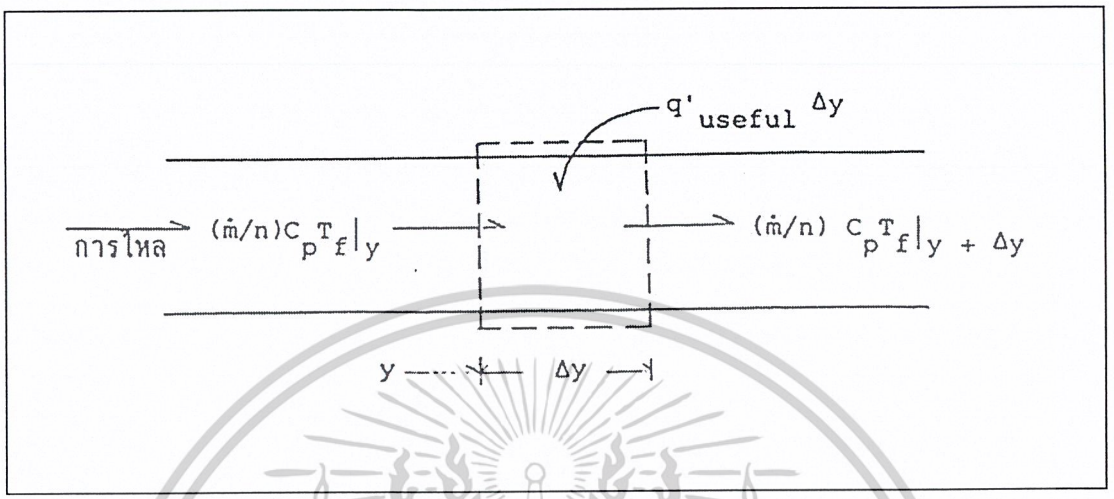
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเฟคเตอร์ประสิทธิ์ภาพตัวรับรังสีและระยะห่างระหว่างท่อ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 แฟคเตอร์การดึงความร้อนมาใช้ของตัวรับรังสีและแฟคเตอร์การไหล (Collector heat removal factor and flow factor)



รูปที่ 2.19 สมดุลย์พลังงานบนชิ้นของไหล

จากรูปที่ 2.19 สามารถเขียนสมการสมดุลย์พลังงาน สำหรับสภาวะสม่ำเสมอได้ดังต่อไปนี้

$$(m/n)C_pT_{f|y} - (m/n)C_pT_{f|y+\Delta y} + \Delta y q'_u = 0 \qquad (2.46)$$

เมื่อเทอมแรกและเทอมที่สองหมายถึงความร้อนที่ไหลเข้าออกจากปริมาตรบังคับ ส่วนเทอมที่สองหมายถึงความร้อนที่ได้จากดวงอาทิตย์โดยคิดเฉพาะส่วนที่มีประโยชน์ต่อการทำให้ของไหลร้อนขึ้นเท่านั้น เมื่อแทนค่า q'_u จากสมการ (2.44) โดยที่ n คือจำนวนท่อและหาลิมิต (limit) ขณะที่ $y \rightarrow 0$ จะได้ว่า

$$mC_p\, dT_f/dy - nWF'[S - U_L(T_f - T_a)] = 0 \qquad (2.47)$$

เมื่อสมมุติว่า F′และ U_L ไม่ได้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งใดๆ บนตัวรับรังสีและกำหนดให้อุณหภูมิที่ทางเข้าเท่ากับ $T_{f,i}$ จะสามารถหาคำตอบสำหรับคำนวณอุณหภูมิของไหลที่ตำแหน่ง y ใดๆดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(T_f - T_a - S/U_t)/(T_{f,i} - T_a - S/U) = e^{-(U_L nWF' y/mC_p)} \quad (2.48)$$

เมื่อ $T_{f,i}$ คืออุณหภูมิของของไหลตรงทางเข้าของแผงรับรังสี ถ้าตัวรับรังสียาว L และอุณหภูมิตรงทางออกของตัวรับรังสีคือ $T_{f,o}$ จากสมการ (2.48) จะได้ว่า

$$(T_{f,o} - T_a - S/U_t)/(T_{f,i} - T_a - S/U) = e^{-(A_c U_L F'/mC_p)} \quad (2.49)$$

เนื่องจากอุณหภูมิของของไหลที่ตรงทางเข้าของตัวรับรังสีเป็นค่าที่รู้ ดังนั้นจะเป็นการดีถ้าให้คำนิยามของแฟคเตอร์ตัวหนึ่งให้สัมพันธ์กับอุณหภูมิของของไหลตรงทางเข้าของตัวรับรังสี แฟคเตอร์ตัวนี้เรียกว่า แฟคเตอร์การดึงความร้อนมาใช้ของตัวรับรังสี (F_R) ซึ่งหมายถึงอัตราส่วนของความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์ได้จริงต่อความร้อนที่สามารถจะได้ ถ้าแผ่นดูดรังสีมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของของไหลตรงทางเข้าของตัวรับรังสี ดังนั้นสามารถเขียนได้ว่า

$$F_R = mC_p(T_{f,o} - T_{f,i})/[A_c[S - U_L(T_{f,i} - T_a)]] \quad (2.50)$$

$$= (mC_p/A_c U_L)[(T_{f,o} - T_a - S/U_L) - (T_{f,i} - T_a - S/U_L)]/[S/U_L(T_{f,i} - T_a)]$$

หรือ $$F_R = (mC_p/A_c U_L)[1 - [S/U_L - (T_{f,o} - T_a)]/[S/U_L(T_{f,i} - T_a)]]$$

เมื่อเทียบกับสมการ (2.3.49) จะสามารถเขียนได้ว่า

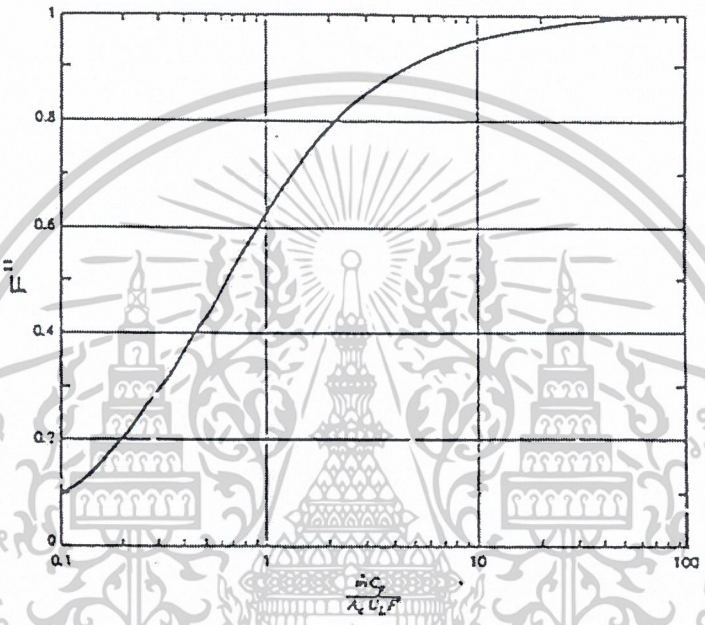
$$F_R = (mC_p/A_c U_L)[e^{-(A_c U_L F'/mC_p)}] \quad (2.51)$$

ถ้าหาร F_R ด้วย F′ จะได้แฟคเตอร์การไหล (F′′)

$$F'' = F_R/F' = (mC_p/A_c U_L F')[1 - e^{-(A_c U_L F'/mC_p)}] \quad (2.52)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

F'' เรียกว่าแฟคเตอร์การไหลและขึ้นอยู่กับเทอมไร้หน่วย mC_p / A_cU_LF' ความสัมพันธ์ของเทอมทั้งสองดูได้จากรูปที่ 2.20 ซึ่งพบว่า F'' มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อ mC_p / A_cU_LF' (หรืออาจพิจารณาเฉพาะอัตราการไหล , m) มีค่าต่ำ และจะเพิ่มขึ้นอย่าง ช้าเมื่อ m , มีค่าสูงขึ้น ในทางปฏิบัตินั้นควรเลือกค่า m ที่ทำให้ F'' มีค่าสูงพอประมาณและไม่ควรใช้ค่า m ที่สูงมากซึ่งก็จะเป็นผลให้สิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ขับปั๊มโดยไม่จำเป็น



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างแฟคเตอร์การไหลและ mC_p / A_cU_LF' [1]

เมื่อหาค่า F_R จากสมการ (2.51) ได้แล้ว เราสามารถหาความร้อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง (Q_U) ดังต่อไปนี้

$$Q_u = A_cF_R\left[S - U_L\left(T_{f,i} - T_a\right)\right] \qquad (2.53)$$

และประสิทธิภาพของตัวรับรังสีก็สามารถหาได้เช่นกัน

$$\eta = \int Q_u d\tau \left(A_c \int G_T d\tau\right) \qquad (2.54)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $S = G_T(\tau\alpha)_e$; $(\tau\alpha)_e$ คือผลคูณของค่าส่งผ่าน และดูดรังสี (transmittance-absorptance product) และมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 1.01 $\tau\alpha$ ที่เป็นเช่นนี้เพราะมีบางส่วนของรังสีที่สะท้อนออกไป สะท้อนกลับมาอีก

ในการหาสมรรถนะของตัวรับรังสีเราจำเป็นต้องหาอุณหภูมิเฉลี่ยของของไหลในตัวรับรังสี ($T_{f,m}$) เพื่อใช้ในการคำนวณหา $h_{f,i}$ และหาอุณหภูมิเฉลี่ยของแผ่นดูดรังสี ($T_{p,m}$) เพื่อหาค่า U_L

$T_{f,m}$ สามารถหาได้โดยการอินทีเกรตสมการ (2.48) จาก $0 - L$

$$T_{f,m} = (1/L)\int_0^L T_{f,y}\,dy \qquad (2.55)$$

เมื่อแทนค่า F_R จากสมการ (2.51) และ Q_u จากสมการ (2.53) ลงในผลลัพธ์อินทีเกรตจะได้ว่า

$$T_{f,m} = T_{f,i} + [(Q_u/A_c)/(U_L F_R)](1 - F'') \qquad (2.56)$$

$T_{f,m}$ นี้เป็นค่าที่เหมาะสมในการนำไปใช้คำนวณหาค่าคุณสมบัติของของไหล เราสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Q_u และ $T_{p,m}$ ได้ดังต่อไปนี้

$$Q_u = A_c[S - U_L(T_{p,m} - T_a)] \qquad (2.57)$$

จากสมการ (2.53) และ (2.57) สามารถหา $T_{p,m}$ ได้

$$T_{p,m} = T_{f,i} + [(Q_u/A_c)/(U_L F_R)](1 - F_R) \qquad (2.58)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้นเราสามารถคำนวณหา Q_u และ η ได้โดยสมมุติค่า $T_{p,m}$ และ T_c จากนั้นคำนวณหา U_t แล้วตรวจสอบดูว่า T_c ที่สมมุติถูกต้องหรือไม่ ถ้าถูกต้องก็คำนวณตามขั้นตอนต่อไปโดยการหา U_b , U_e , U_L และ F' ในการคำนวณหา F' จะต้องสมมุติค่า $T_{f,m}$ เพื่อใช้ในการหาคุณสมบัติของไหล จากนั้นคำนวณหา F_R , F'', Q_u และขั้นตอนสุดท้ายต้องตรวจสอบดูว่า $T_{p,m}$ และ $T_{f,m}$ ที่สมมุติขึ้นมาถูกต้องหรือไม่ โดยการใช้สมการ (2.56) และ (2.58) ถ้าค่าที่คำนวณได้จากสมการ (2.56) และ (2.58) ใกล้เคียงค่าที่สมมุติขึ้นก็ถือว่าการคำนวณเสร็จสิ้นสมบูรณ์และถูกต้อง ถ้าไม่ใกล้เคียงก็ใช้ค่า $T_{f,m}$ และ $T_{p,m}$ ที่คำนวณได้แล้วเริ่มคำนวณใหม่ โดยปรกติแล้วถ้าสมมุติค่า $T_{p,m}$ และ $T_{f,m}$ เหมาะสม ก็อาจคำนวณซ้ำเพียงสองครั้งเท่านั้น

2.3.5 ความต้านทานที่ตรงรอยต่อระหว่างครีบดูดรังสีกับท่อ

รอยต่อระหว่างครีบดูดรังสีและท่อของไหลอาจเป็นแบบเคลือบโลหะ ในกรณีเช่นนี้ค่าความนำความร้อนที่ตรงรอยต่อ (C_b) จะสูงมากและค่าความต้านทานจะน้อยมากจนสามารถตัดทิ้งได้ อย่างไรก็ตามรอยต่อดังกล่าวอาจเป็นแบบบัดกรีด้วยตะกั่ว หรือการรัดด้วยลวดเป็นระยะๆ ตารางที่ 2.2 สรุปค่า C_b ของวิธีการทำรอยต่อแบบต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.2 ค่า C_b จากการทดลอง

ชนิดของรอยต่อ	คู่โลหะ	C_b	เอกสารอ้างอิง	หมายเหตุ
ลวดรัดระยะ 50 mm	Cu – Fe	27.7	Whillier (1964)	
บัดกรี (ดำด้าน)	Fe - Fe	3.5	Whillier and Saluja (1965)	มีการแตกตรงรอยต่อ
บัดกรี (ผิวเลือกรังสี)	Fe - Fe	2.6	Whillier and Saluja (1965)	มีการแตกตรงรอยต่อ
บัดกรี	Fe - Fe	37.2	Khan (1957)	
ติดกาว Dupong	Fe - Fe	6.6	Khan (1957)	
ลวดรัดระยะ 152 mm	Fe - Fe	5.0	Khan (1957)	
ลวดรัดระยะ 150 mm	Cu - Al	7.4	วิไลพร นพรัตน์ไกรลาส และ สมชาย โสภณรณฤทธิ์	
ลวดรัดระยะ 75 mm	Cu - Al	9.3	วิไลพร นพรัตน์ไกรลาส และ สมชาย โสภณรณฤทธิ์	

สำหรับการรัดลวดพบว่าค่า C_b อยู่ในช่วง 5.0 – 27.7 W/m K โดยส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ในช่วง 5.0 – 9.3 W/m K ยกเว้นของ Whillier (1964) ซึ่งรายงานค่า C_b ที่ค่อนข้างสูงคือ 27.7 W/m K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการบัดกรีพบว่าค่า อยู่ในช่วง 2.6 – 37.2 W/m K สำหรับค่า C_b ที่ต่ำนั้นเกิดจากรอยแตกร้าว ส่วนค่า C_b ของลวดรัดและทากาวไม่แตกต่างกันมากนัก

เมื่อ C_b มีค่าสูงจะทำให้ความต้านทานตรงที่รอยต่อมีน้อย และเป็นผลให้สมรรถนะของตัวรับรังสีสูงขึ้น อย่างไรก็ตามค่า C_b ที่สูงเกินไปก็ไม่เป็นประโยชน์มากนัก ดังเช่นกรณีของผลการจำลองสภาพสมรรถนะของตัวรับรังสีแบบครีบและท่อ และใช้น้ำเย็นเป็นของไหลทำงาน ซึ่งรายงานโดย วิไลพร นพรัตน์ ไกรลาศ และ สมชาติ โสภนรณฤทธิ์ (2503) ดังรายละเอียดในรูป 2.21

รูปที่ 2.21 อิทธิพลของ C_b ที่มีต่อประสิทธิภาพตัวรับรังสี

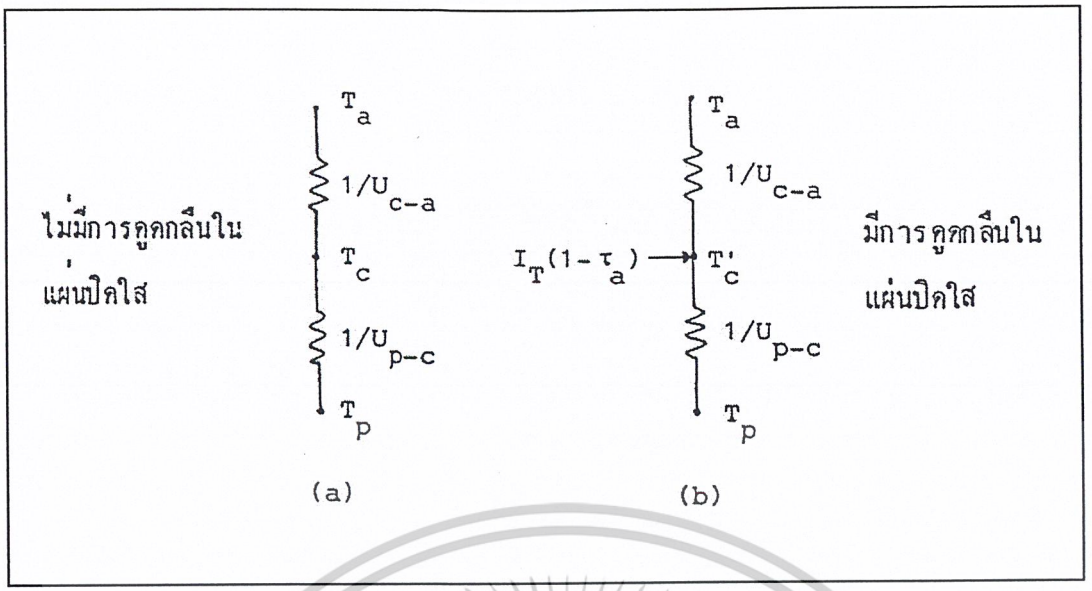
จากรูปที่ 2.21 สามารถสรุปได้ว่าค่า C_b ประมาณ 8 – 10 W/m K อาจจะสูงเพียงพอที่จะประกันว่าสมรรถนะของตัวรับรังสีจะไม่ต่ำกว่าที่ควรจะได้

2.3.6 ผลคูณประสิทธิผลของค่าส่งผ่านและค่าดูดรังสี

สมการ (2.53) หาได้จากการตั้งสมมุติฐานหลายๆข้อ ซึ่งรวมถึงข้อสมมุติฐานที่ว่าไม่มีการดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ที่แผ่นปิดใส เพื่อคงไว้สำหรับความง่ายของสมการนี้และคำนึงถึงรังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนนี้ด้วย เราจะนำเอาผลคูณประสิทธิผลของค่าส่งผ่านและดูดรังสี $(\tau\alpha)_e$ มาใช้ซึ่ง $(\tau\alpha)_e$ มีค่ามากกว่า $(\tau\alpha)$ เล็กน้อย

รังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนที่แผ่นปิดใสจะสูญเสียไปบางส่วนเท่านั้น ทั้งนี้เพราะรังสีที่ถูกดูดกลืนนี้จะทำให้อุณหภูมิของแผ่นปิดใสสูงขึ้นและผลที่ตามมาคือการสูญเสียความร้อนจากแผ่นดูดความร้อนจะมีค่าลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 วงจรความร้อนของการสูญเสียด้านบนสำหรับตัวรับรังสีที่มีแผ่นปิดใสหนึ่งชั้น เมื่อมีและไม่มีการดูดกลืนที่แผ่นใส

พิจารณาความวงจรความร้อนในรูปที่ 2.22 รังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนที่แผ่นปิดใสคือ $I_T(1-\tau_a)$ เมื่อ I_T คือค่ารังสีที่ตกกระทบใน 1 ชั่วโมง และ τ_a คือค่าส่งผ่านรังสีเมื่อคำนึงถึงเฉพาะการดูดกลืนรังสีเท่านั้น (หากคำนึงถึงการสะท้อนกลับของรังสีด้วยจะได้ค่าการส่งผ่ารังสีลดลง) ค่าความสูญเสียสำหรับกรณี (a) เมื่อไม่มีการดูดกลืนเท่ากับ $U_{p-c}(T_p - T_c)$ และค่าความสูญเสียสำหรับกรณี (b) เมื่อมีการดูดกลืนเท่ากับ $U_{p-c}(T_p - T_c)$ในที่นี้เราสมมุติว่า และ U_{p-c} ไม่มีการเปลี่ยนแปลง U_{c-a} ไม่เปลี่ยนแปลงความแตกต่างของสองเทอมนี้สามารถเขียนได้ว่า

$$D = U_{p-c}\left[\left(T_p - T_c\right) - \left(T_p - T_c'\right)\right] \qquad (2.59)$$

ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีและแผ่นปิดใสสามารถเขียนได้ว่า

$$\left(T_p - T_C\right) = \left(T_p - T_a\right)U_t/U_{p-c} \qquad (2.60)$$

เมื่อ U_t คือสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบนของตัวรับรังสีและเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U_t = U_{p-c}U_{c-a}/(U_{p-c} + U_{c-a}) \qquad (2.61)$$

จากรูปที่ 2.22 b พิจารณาสมดุลย์ความร้อนที่จุด T_c' จะสามารถหาได้ว่า

$$I_T(1-\tau_a) + (T_p - T_c')U_{p-c} + (T_p - T_c')U_{c-a} = 0 \qquad (2.62)$$

$$(T_p - T_c') = [U_{c-a}(T_p - T_a) - I_T(1-\tau_a)]/(U_{p-c} + U_{c-a}) \qquad (2.63)$$

แทนค่า $(T_p - T_c)$ และ $(T_p - T_c')$ จากสมการ (2.60) และ (2.63) ลงในสมการ (2.59) จะได้

หรือ $$D = I_T(1-\tau_a)U_t/U_{c-a} \qquad (2.64)$$

ปริมาณ D หมายถึงค่าความสูญเสียที่ลดลงอันเนื่องมาจาก การดูดกลืนรังสีที่แผ่นปิดใส หรืออาจพิจารณาได้ว่า คือความร้อนที่เพิ่มขึ้นมา ดังนั้นเราสามารถเขียนสมการ (2.53) ใหม่ได้ว่า

$$q_u = F_R[S + I_T(1-\tau_a)U_t/U_{c-a} - U_L(T_i - T_a)] \qquad (2.65)$$

เพราะว่า $$S = (\tau\alpha)I_T$$

ดังนั้น $$(\tau\alpha)_e = (\tau\alpha) + (1-\tau_a)U_tU_{c-a} \qquad (2.66)$$

และ $$q_u = F_R[(\tau\alpha)_e I_T - U_L(T_i - T_a)] \qquad (2.67)$$

เพื่อคงรูปสมการ (2.65) ไว้ดังเดิม ค่า S จะต้องมาจากผลคูณของ $(\tau\alpha)_e I_T$ สำหรับตัวรับรังสีที่มีแผ่นใสปิดหลายชั้นสามารถหาได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(\tau\alpha)_e = (\tau\alpha) + (1 - \tau_a)\sum_{i=1}^{N} a_i \tau^{i-1} \qquad (2.68)$$

เมื่อ $a_i = U_t / U_{c,i-a}$

โดยทั่วไป มีค่าสูงกว่า ประมาณ 1 – 2 % หนึ่งเปอร์เซ็นต์สำหรับตัวรับรังสีทั่วไปที่มีแผ่นกระจกหนึ่งชั้น และสองเปอร์เซ็นต์สำหรับตัวรับรังสีที่แผ่นกระจกสองชั้น ถ้าเป็นตัวรับรังสีที่ใช้กระจกที่มีปริมาณเหล็กต่ำ และหรือแผ่นดูดรังสีเป็นผิวเลือกรังสี ค่าความแตกต่างดังกล่าวจะลดลง เนื่องจากเป็นการยากที่จะได้ของคุณสมบัติทางแสงบางอย่างถูกต้องมากกว่า 1 % ดังนั้นอาจสมมุติได้ว่า

$$(\tau\alpha)_e = 1.01(\tau\alpha) \quad = 1.02(\tau\alpha) \qquad (2.69)$$

2.3.7 ผลของฝุ่นและเงา

เป็นการยากที่จะบอกเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้ว่าผลของฝุ่นละอองและเงามีค่าเท่าใด จากข้อมูลของ Dietz (1963) ซึ่งรายงานโดย Duffie and Beckmen (1980) แสดงให้เห็นว่าฝุ่นที่มีปิดอยู่บนแผ่นใสอาจสามารถลดสมรรถนะของตัวรับรังสีที่มีมุมเอียง 0 – 50 องศา ได้สูงถึง 5% จากการทดลองระยะยาวของตัวรับรังสี Hottel and Woertz (1942) ซึ่งรายงานโดย Duffie and Beckmen (1980) เช่นกัน พบว่าฝุ่นทำให้สมรรถนะของตัวรับรังสีลดลงประมาณ 1% สำหรับการออกแบบทั่วไปเราอาจสมมุติได้ว่าฝุ่นทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยแผ่นดูดรังสีลดลงไปประมาณ 2%

โครงสร้างของตัวรับรังสีอาจก่อให้เกิดเงาได้โดยเฉพาะเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ไม่ได้ตั้งฉากกับตัวรับรังสี โครงสร้างดังกล่าวได้แก่ด้านข้างตัวรับรังสีซึ่งยกสูงขึ้นเพื่อรองรับกระจกและให้กระจกมีระยะห่างจากแผ่นดูดรังสีพอเหมาะ หรือตัวรองรับกระจกที่มีอยู่เหนาะแผ่นดูดรังสี Hottel and Woertz (1942) ซึ่งรายงานโดย Duffie and Beckmen (1980) แนะนำว่าผลของเงาทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนโดยแผ่นดูดรังสีลดลงไป 3% สำหรับการออกแบบทั่วๆไป

2.3.8 ผลของความจุความร้อนในตัวรับรังสี

ในหัวข้อนี้เราจะได้แสดงการวิเคราะห์ตัวรับรังสีแบบแผ่นใสปิดหนึ่งชั้นสำหรับสภาวะแปรเปลี่ยนตามเวลา ถ้าสมมุติว่าแผ่นดูดรังสี น้ำในท่อและครึ่งหนึ่งของฉนวนด้านหลังมีอุณหภูมิเดียวกัน สมมุติอีกว่าแผ่นปิดใสมีอุณหภูมิเฉลี่ยค่าหนึ่งซึ่งแตกต่างจากแผ่นดูดรังสี จะสามารถเขียน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการแสดงความสมดุลย์พลังงานบนแผ่นดูดรังสี น้ำและฉนวนด้านหลังได้ว่า (ในที่นี้สมมุติว่าการสูญเสียความร้อนทางด้านหลังและด้านข้างมีค่าน้อย)

$$(mC)_p\, dT_p/d\tau = A_c\left[S - U_{p-c}(T_p - T_c)\right] \qquad (2.70)$$

สัญลักษณ์กำกับล่าง c และ p หมายถึงแผ่นปิดใสและแผ่นดูดรังสีตามลำดับสมการแสดงความสมดุลย์ทางพลังงานบนแผ่นปิดใส สามารถเขียนได้ว่า

$$(mC)_p\, dT_p/d\tau = A_c\left[U_{p-c}(T_p - T_c) - U_{c-a}(T_a - T_c)\right] \qquad (2.71)$$

ถ้าสมมุติว่า $(T_c - T_a)/(T_p - T_a)$ ไม่เปลี่ยนแปลง และหาได้จากค่าที่สภาวะสม่ำเสมอ กล่าวอีกนัยหนึ่งเราสมมุติว่า

$$U_{c-a}(T_c - T_a) = U_L(T_p - T_a) \qquad (2.72)$$

สมการ (2.72) ใช้ได้กับกรณีสภาวะสม่ำเสมอ และสมมุติว่าการสูญเสียความร้อนทางด้านหลังและด้านข้างของตัวรับรังสีมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับการสูญเสียด้านบน

เมื่อดิฟเฟอเรนชิเอทสมการ (2.72) โดยสมมุติว่า T_a มีค่าคงตัวจะได้ว่า

$$dT_c/d\tau = (U_L/U_{c-a})dT_p/d\tau d\tau \qquad (2.73)$$

เมื่อรวมสมการ (2.70) และสมการ (2.71) และใช้สมการ (2.73) จะได้ว่า

$$(mC)_p + (U_L/U_{c-a})(mC)_c\, dT_p/d\tau = A_c\left[S - U_L(T_p - T_a)\right] \qquad (2.74)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทอมในวงเล็บเหลี่ยมทางด้านซ้ายมือหมายถึงความจุความร้อนของตัวรับรังสี และเขียนแทนด้วย $(mC)_e$ โดยเหตุผลเดียวกันความจุความร้อนของตัวรับรังสีที่มีแผ่นปิดหลายชั้นสามารถเขียนได้ว่า

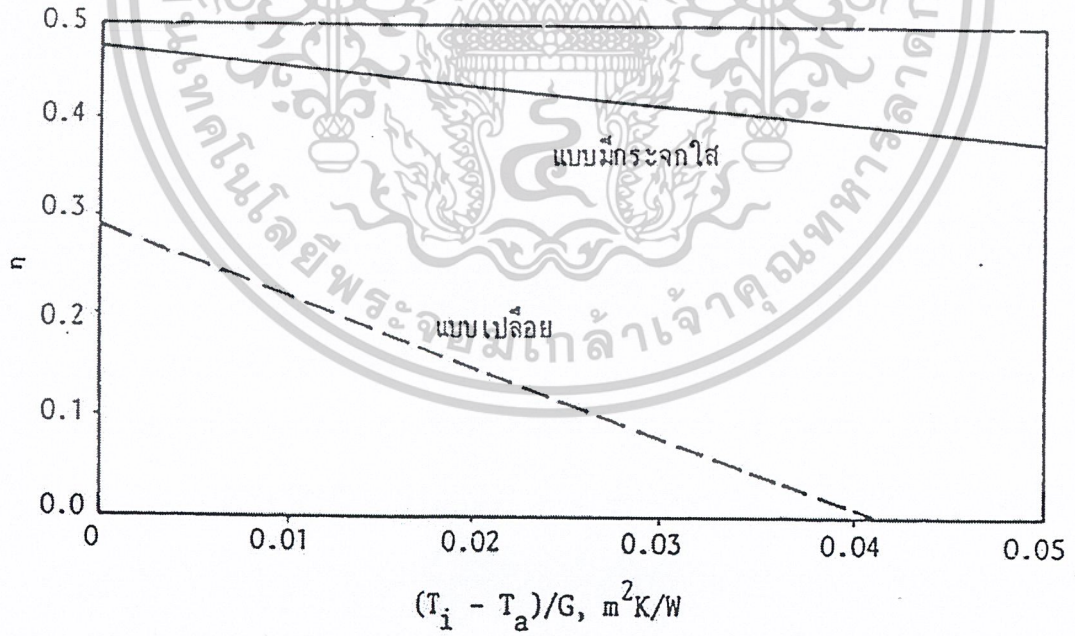
$$(mC)_e = (mC)_p + \sum_{i=1}^{N} a_i (mC)_{c,i} \qquad (2.75)$$

เมื่อ $a_i = U_L/U_{c,i-a}$

เมื่อสมมุติว่า และ (2.75) สามารถเขียนได้ว่า

$$\left[S - U_L\left(T_p - T_a\right)\right]/\left[S - U_L\left(T_{p,in} - T_a\right)\right] = e^{-[A_c U_L \tau/(mC)_e]} \qquad (2.76)$$

2.3.9 สมรรถนะของตัวรับรังสี



รูปที่ 2.23 ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแผ่นเรียบทำอากาศร้อนแบบเปลือยและแบบมีกระจกใสปิดที่มีชั้นอากาศนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการ (2.53) เป็นสมการที่มีความสำคัญที่สุด เพราะสามารถนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพของตัวรับรังสีแผ่นเรียบทั่วๆไป ซึ่งสัมพันธ์กับพารามิเตอร์รวม $(T_{f,i} - T_a)/G_T$ โดยการหารสมการ (2.53) ด้วย $A_C G_T$ และแทนค่า $S = G_T(\tau\alpha)_e$ จะได้ว่า

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L(T_i - T_a)/G_T \qquad (2.77)$$

โดยทั่วไป U_L เป็นฟังก์ชั่นของอุณหภูมิและความเร็วลม และ เป็นฟังก์ชั่นอย่างอ่อนๆ ของ U_L หากสมมุติว่า $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $-F_R U_L$ มีค่าคงที่ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง η และ $(T_i - T_a)/G_T$ ในลักษณะเชิงเส้น โดยมี เป็นจุดตัดบนแกน $F_R(\tau\alpha)_e$ และ $-F_R U_L$ คือความชั่นของกราฟ

2.3.10 ข้อมูลเชิงปฏิบัติ

ตัวรับรังสีที่ผลิตในประเทศไทยส่วนมากเป็นแบบครีบและแบบท่อ โดยส่วนใหญ่จะมีพื้นที่รับรังสี 2 ตารางเมตรต่อตัวรับรังสีหนึ่งตัว ในทางปฏิบัติควรเลือกขนาดตัวรับรังสีให้เหมาะกับขนาดของกระจกที่มีขายในท้องตลาด กระจกที่ใช้อาจมีความหนา 3 mm หรือ 4 mm ทางด้านล่างและด้านข้างของตัวรับรังสีจะมีฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน โดยทั่วไปมักใช้ใยแก้วหรือโฟมหนาประมาณ 50 mm ตัวกรอบมักทำด้วยอลูมิเนียมหรือเหล็กอาบสังกะสี ตัวแผ่นดูดรังสีมักทำด้วยแผ่นทองแดงหรืออลูมิเนียม ส่วนท่อของไหลมักเป็นท่อทองแดงแบบบางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 mm ถ้าเป็นระบบการไหลเวียนแบบบังคับอาจใช้ท่อขนาด 9.5 mm ตัวแผ่นดูดรังสีมักได้รับการขึ้นร่องเป็นครึ่งวงกลมเพื่อให้สัมผัสกับท่อมากที่สุด และใช้การเชื่อมเงินเมื่อตัวดูดรังสีและท่อเป็นทองแดง หากตัวดูดรังสีเป็นอลูมิเนียมและท่อเป็นทองแดง เราอาจต้องใช้วิธีรัดด้วยลวดเพื่อให้โลหะทั้งสองสัมผัสกันได้ดี Mccartney (1978) แนะนำระยะห่างระหว่างท่อและความหนาของตัวดูดรังสีมีค่าดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ความหนาของแผ่นดูดรังสีและระยะห่างระหว่างท่อ

วัสดุ	ความหนา		ระยะห่าง
	mm	SWC	
ทองแดง	0.25	33	138
อลูมิเนียม	0.5	25	138
เหล็ก	1.0	19	100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวดูดรังสีมักได้รับการพ่นสีดำด้านเพื่อให้สามารถดูดกลืนรังสีอาทิตย์ได้ดี สีที่ใช้ควรเป็นสีที่ทนอุณหภูมิได้เท่ากับอุณหภูมิสมดุลย์ (อุณหภูมิขณะที่ความร้อนสูญเสียเท่ากับอุณหภูมิที่ความร้อนได้รับ) ตัวดูดรังสีอาจได้รับการชุบหรือทาด้วยสารบางชนิดเพื่อให้ผิวของตัวดูดรังสีเป็นแบบผิวเลือกรังสี กล่าวคือสามารถดูดรังสีอาทิตย์ได้มากแต่แผ่ความร้อนน้อยๆ ผลที่ได้คือประสิทธิภาพของตัวรับรังสีสูงขึ้น ผิวเลือกรังสีเหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและอาจไม่จำเป็นสำหรับการผลิตน้ำร้อนตามบ้านพักอาศัยทั่วๆไป ในกรณีที่ไม่สามารถทำผิวเลือกรังสีได้และต้องการใช้งานที่อุณหภูมิดังกล่าวคือ 70 – 90 ° C ควรใช้กระจกใสปิดสองชั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน ท้ายที่สุดนี้ตัวรับรังสีต้องได้รับการอุดที่รอยรั่วและรอยต่อต่าง เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำเข้าไปในตัวรับรังสี โดยทั่วไปมักใช้ซิลิโคนในการอุดรอยเหล่านี้

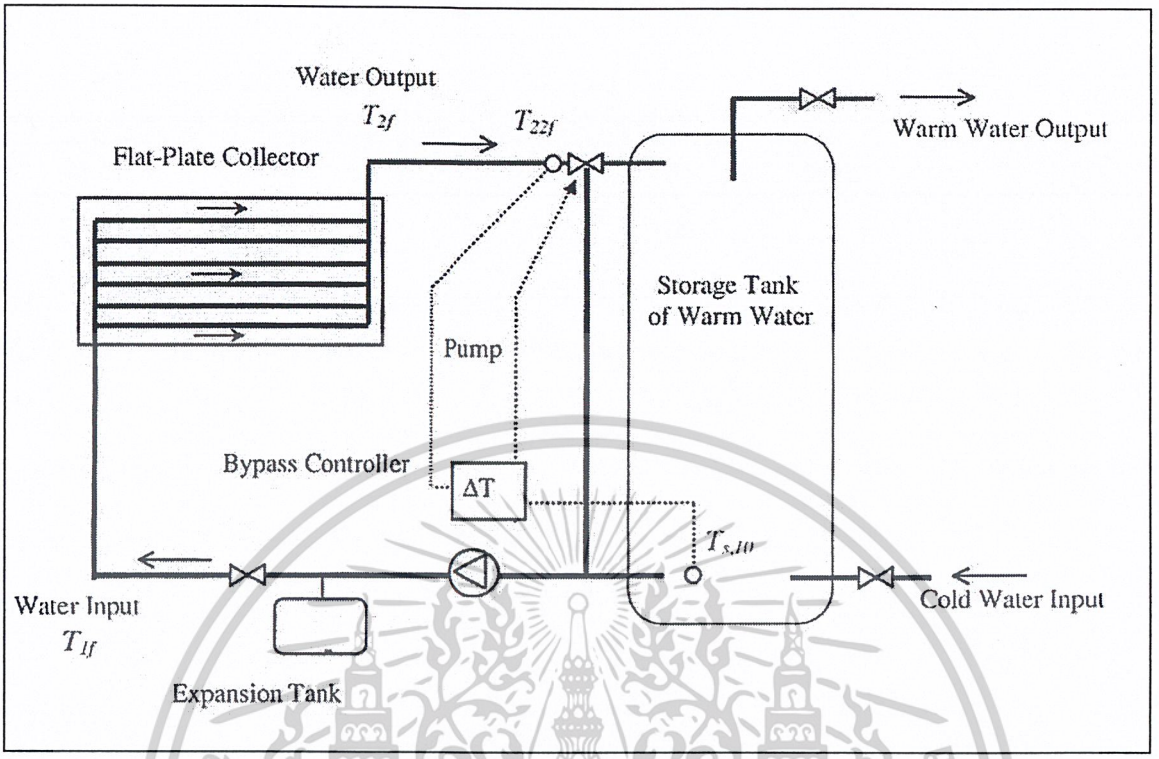
ในระบบผลิตน้ำร้อนแบบไหลเวียนตามธรรมชาติ อัตราของของไหลจะขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบของตัวรับรังสีเป็นสำคัญ ในระบบการผลิตน้ำร้อนแบบการไหลบังคับโดยการใช้ปั๊มช่วยหมุนเวียนน้ำร้นระหว่างตัวรับรังสีและถังเก็บน้ำร้อน อัตราการไหลที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 0.014 kg/s ต่อหนึ่งตารางเมตรของตัวรับรังสี ในกรณีตัวรับรังสีมีกระจกปิดมากกว่าหนึ่งชั้น หรือตัวดูดรังสีเป็นแบบผิวเลือกรังสี อัตราการไหลอาจต่ำกว่านี้ได้ ตัวควบคุมความแตกต่างของอุณหภูมิมักได้รับการปรับไว้ที่ 3 - 5 ° C ซึ่งเป็นจุดที่ปั๊มทำงาน

ตัวรับรังสีที่ติดตั้งในประเทศไทยตั้งหันหน้าไปทางทิศใต้ อาจเบี่ยงเบนได้ประมาณ 30 ° ส่วนมุมเอียงมีค่าโดยประมาณ 15 ° (เท่ากับมุมของละติจูดที่ตัวรับรังสีอาทิตย์ตั้งอยู่) แต่ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 10 ° สำหรับระบบผลิตน้ำร้อนแบบไหลเวียนตามธรรมชาติ ทั้งนี้เพื่อให้น้ำไหลเวียนได้ดี มุมที่แนะนำนี้จะให้ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนตัวรับรังสีเฉลี่ยทั้งปีสูง

2.4 <u>งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</u>

C. Cristofary , et al. [3] การศึกษาทำงานของตัวเก็บสะสมความร้อนแบบแผ่นเรียบ(Solar flate-plate collector) ที่สร้างขึ้นจากวัสดุโคพอลิเมอร์. มีอิทธิพลของตัวแปรหลายๆตัวในระบบอันได้แก่ ความหนาของฉนวน, อัตราการไหล และความหนาของชั้นของเหลว จะถูกนำมาวิเคราะห์. การนำเสนอการทำงาน,ค่าประสิทธิภาพทางอุณหภูมิที่ทำการทดลองที่ชายฝั่งทะเลเมดิเทอร์เรเนียน ได้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 56.5% ที่ความเร็วลมเป็นศูนย์ และเท่ากับ 46.0% ที่ความเร็วลมเท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที การใช้วัสดุพอลิเมอร์ในการทำโครงสร้างจะช่วยลดน้ำหนักของโครงสร้างตัวเก็บสะสมความร้อนได้ถึง 50% ของตัวเก็บสะสมความร้อนแบบดั้งเดิมที่เป็นโลหะ อีกทั้งยังง่ายต่อการติดตั้งอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



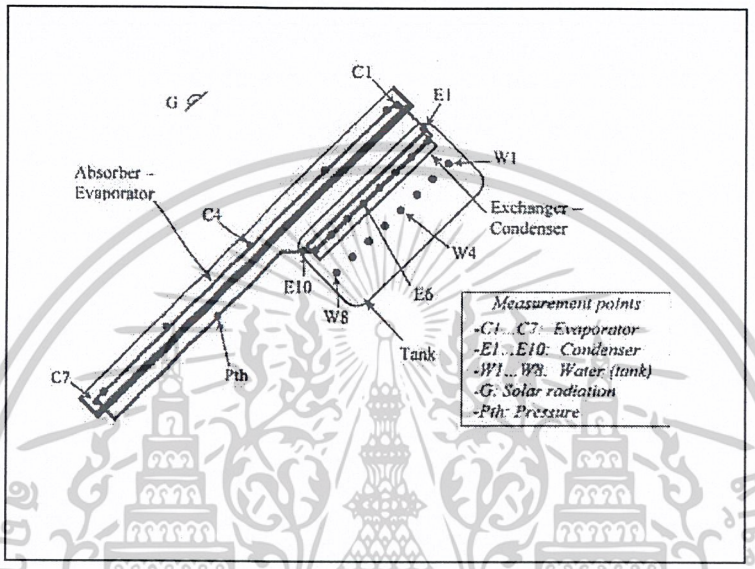
รูปที่ 2.24 การ Set-Up การทดลองของ Critrifary, etal. [3]

N. Khalifa [4] จากการศึกษาการทดลองชี้ให้เห็นการเปรียบเทียบการทำงานของการหมุนเวียนน้ำภายในเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบธรรมชาติและแบบบังคับ จากการวัดหลายๆครั้งที่ถูกทำไว้สำหรับ 2 กรณีที่รวมกันอยู่ ; อุณหภูมิน้ำขาเข้าและขาออกตัวเก็บสะสมความร้อน , อัตราการไหลเชิงมวล , อุณหภูมิถังเก็บ , อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม , Solar insolation , ตัวแปรหลักต่างๆสำหรับตัวเก็บสะสมความร้อนจะถูกนำมาคำนวณสำหรับระบบหมุนเวียนน้ำแบบธรรมชาติและแบบบังคับ ที่รวมถึงสัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ด้านบน , สัมประสิทธิ์การสูญเสียที่ด้านหลัง , สัมประสิทธิ์การสูญเสียรวม , ตัวประกอบการนำความร้อนออก , ตัวประกอบประสิทธิภาพ , การใช้พลังงานที่ได้รับและค่าประสิทธิภาพ ซึ่งจากการเปรียบเทียบชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพของระบบหมุนเวียนน้ำแบบบังคับสูงกว่าแบบธรรมชาติ 30-85%

E. Mathioulakis and V. Belessiotis [5] การทำงานของระบบทำน้ำร้อนโดยแสงอาทิตย์ที่เป็นการรวมกันของท่อความร้อนถูกค้นคว้าทางทฤษฎีและทางการทดลอง โดยระบบนี้จะมีการใช้ A wickless gravity มาช่วยในวงรอบของท่อความร้อนสำหรับการถ่ายเทความร้อนจาก The collector-evaporator ไปสู่ถังเก็บจนไปถึง A heat exchanger-condenser รายละเอียดของการถ่ายเทความร้อนที่มาจากการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองที่มุ่งเน้นที่พฤติกรรมทางอุณหภูมิของส่วนต่างๆของระบบ ได้ค่าประสิทธิภาพออกมาเป็นที่น่าพอใจ ที่ซึ่งในการรวมตัวกันของท่อนั้นเป็นแบบง่ายๆ , ไม่มีส่วนที่เคลื่อนที่ และมีพฤติกรรมที่ดีในสภาวะแข็งตัว , มีวิธีการหาคำตอบที่น่าสนใจ . โดยต่อมาจะเสนอแบบจำลองทางทฤษฎีและเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้กระทำมา ซึ่งแบบจำลองนี้สามารถใช้ในการประเมินการออกแบบระบบได้



รูปที่ 2.25 การ Set-Up การทดลองของ Mathioulakis [5]

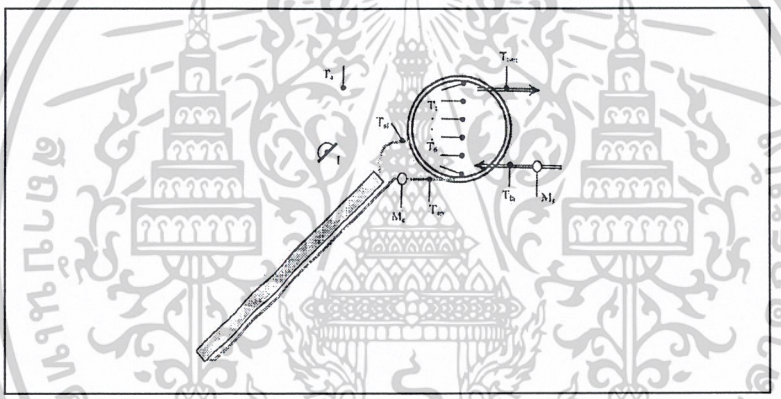
S. Karogirou [6] รายงานนี้แสดงให้เห็นว่า 6.5 % ของปริมาณความต้องการพลังงานประจำปีได้มาจากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งพลังงานที่ได้มานี้จะถูกนำไปใช้เป็นพลังงานหลักในการทำน้ำร้อน (93.5%) การนำเสนอการทำน้ำร้อนในอุตสาหกรรมใน Cyprus ถูกนำเสนอโดยการวิเคราะห์ปัญหาที่พบได้ตลอดในช่วงการใช้งานของระบบทำน้ำร้อนโดยใช้แสงอาทิตย์ที่ได้คุณภาพและปริมาณน้ำร้อนออกมาต่ำ ผลการวิเคราะห์จะถูกนำเสนอในรูปของแผนภูมิของสาเหตุและผลกระทบ ซึ่งสาเหตุหลักของปัญหาสามารถจำแนกได้ว่าเป็นผลจากวัสดุและการผลิต , การออกแบบ , การติดตั้ง , การปฏิบัติงาน , การเคลื่อนย้าย , สิ่งแวดล้อม , ภูมิอากาศ และการบำรุงรักษา

N . P . Kikas [7] งานนี้เป็นการค้นคว้าการกระจายตัวของการไหลแบบราบเรียบที่เป็น Isothermal และ Non-isothermal ตลอดทั้งระบบของ Water solar การศึกษาจะนำระบบ Direct return circuits มาทำการศึกษา มีการนำสมการ Algebraic อันดับที่ 1 และอันดับที่ 2 มาใช้กับ Isothermal และ Non-isothermal , การกระจายตัวของการไหลแบบราบเรียบเป็นแบบ Fully developed , การสูญเสียความดัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่จุดเชื่อมต่อจะถูกนำมาพิจารณาในผลการทดลอง ; ผลกระทบของค่าตัวแปรหลายๆตัวที่ปรากฏในสมการก็สามารถหาได้ การไหลแบบคงตัวถูกพบว่าดีที่สุดในระบบ Reverse return circuits เมื่อเทียบกับระบบ Centrally-fed direct return circuits

V. Belessiotis and E. Mathioulakis [8] การจำลองอย่างง่ายที่มีค่าใกล้เคียงสำหรับเครื่องทำน้ำร้อนโดยใช้แสงอาทิตย์แบบที่มี Thermosyphon ถูกพัฒนาขึ้นและถูกเปรียบเทียบกับข้อมูลผลการทดลอง ซึ่งสามารถใช้ได้กับระบบ Solar เพียงอย่างเดียวเท่านั้น ,ให้ความสามารถที่จะเชื่อมโยงถึงการออกแบบระบบหลักและตัวแปรโครงสร้างที่คาดหวังว่าจะได้พลังงานออกมา ตลอดจนการวิเคราะห์พิจารณาปัจจัยที่ทำให้เกิดสมการลักษณะจำเพาะของ Input-output ของระบบ วิธีการนี้สามารถใช้ได้เฉพาะกับการประมาณค่าพลังงานในการออกแบบเท่านั้นแต่ถ้ามีการพัฒนาในอนาคตก็จะสามารถนำไปใช้ได้กับการประมาณผลการทดสอบที่เกิดขึ้นจริงได้



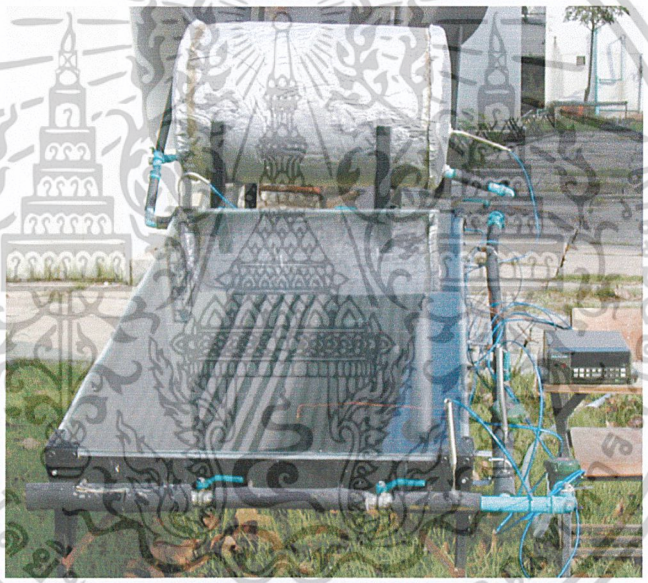
รูปที่ 2.26 การ Set-Up การทดลองของ Mathioulakis [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบและสร้างอุปกรณ์การทดลอง

ในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อนมีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สร้างขึ้นตลอดจนศึกษาถึงรูปแบบการไหลและอัตราการไหลที่มีผลต่ออัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 6 ส่วน คือ ตัวแผงรับแสงอาทิตย์ ถังเก็บน้ำ ระบบควบคุมอัตราการไหล ระบบควบคุมรูปแบบการไหล ระบบวัดอุณหภูมิ และ โครงสร้างของเครื่อง ดังรูปที่ 3.1 รายละเอียดของส่วนประกอบมีดังนี้



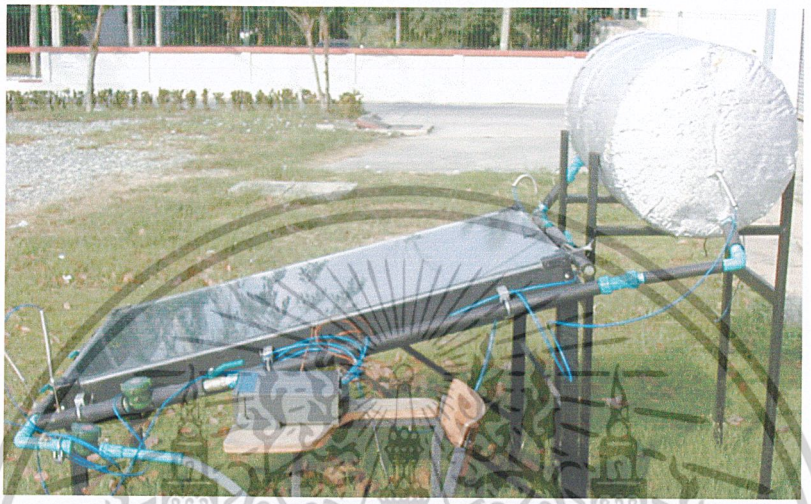
รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

3.1.1 ตัวแผงรับแสงอาทิตย์

ตัวแผงรับแสงอาทิตย์มีขนาด 95 x 155 c.m. สูง 12.5 c.m. ด้านบนเป็นกระจกเพื่อจะได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ด้านข้างบุด้วยฉนวนและไม้อัด ด้านล่างบุด้วยฉนวน โฟม และไม้อัด เพื่อเก็บพลังงานความร้อนที่ได้ให้อยู่ภายในแผงรับแสงอาทิตย์ ในส่วนของท่อทางเดินของน้ำออกแบบให้ท่อหลักมีขนาด 1 นิ้ว และท่อภายในแผงขนาด ½ นิ้ว โดยเลือกท่อที่ทำจากทองแดงเนื่องจากสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีและใช้การบัดกรีตะกั่วเชื่อมระหว่างท่อกับสังกะสี ภายในทาสีดำด้านให้ทั่วเพื่อจะสามารดูดซับพลังงานความร้อนได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อที่จะให้แผงรับแสงอาทิตย์สามารถที่จะรับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุดเราจึงต้องตั้งแผงรับแสงอาทิตย์ให้ตั้งฉากกับแสงของดวงอาทิตย์ ซึ่งสถานที่ตั้งแผงรับแสงอาทิตย์ในครั้งนี้คือประเทศไทย ตั้งอยู่ประมาณที่เส้นละติจูดที่ 13.5 °เหนือ ดังนั้นเราจึงต้องตั้งให้แผงรับแสงอาทิตย์ทำมุมกับพื้นโลกเป็นมุม 13.5 °



รูปที่ 3.2 แผงรับแสงอาทิตย์

3.1.2 ถังเก็บน้ำอุ่น

ถังเก็บน้ำอุ่นเลือกใช้ถังพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 57 c.m. ยาว 90 c.m. มีความจุ 200 ลิตร หุ้มฉนวนโดยรอบถัง เพื่อให้สามารถเก็บอุณหภูมิของน้ำอุ่นไว้ให้นานที่สุด

รูปที่ 3.3 ถังเก็บน้ำอุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ระบบควบคุมอัตราการไหล

ระบบควบคุมอัตราการไหลในชุดการทดลองนี้ จะใช้มาตรวัดน้ำเป็นตัวควบคุมและทำการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลไว้ 2 จุดคือจุดแรกที่ท่อสำหรับน้ำไหลกลับจากถังเก็บน้ำร้อนก่อนเข้า 3 ทางเพื่อให้ทราบอัตราการไหลย้อนกลับของน้ำจากถังเก็บน้ำ และ จุดที่ 2 ที่ท่อน้ำเริ่มต้นก่อนเข้า 3 ทางเพื่อให้ทราบอัตราการไหลของน้ำที่เริ่มต้น การควบคุมอัตราการไหลทำได้โดยใช้วาล์วติดตั้งก่อนเครื่องวัดอัตราการไหลเพื่อที่จะสามารถปรับอัตราการไหลได้ตามต้องการ

3.1.4 ระบบควบคุมรูปแบบการไหล

ระบบควบคุมอัตราการไหล มีอยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 ควบคุมรูปแบบการไหลแบบไหลเที่ยวเดี่ยวและแบบไหลหลายเที่ยว ทำได้โดยการติดตั้งวาล์ว 2 ตัว ที่ท่อเมนด้านบนและวาล์ว 2 ตัว ที่ท่อเมนด้านล่าง เมื่อเปิดวาล์วทั้ง 4 ตัวจะทำให้รูปแบบการไหลเป็นแบบเที่ยวเดียวและเมื่อปิดวาล์วทั้ง 4 ตัว จะทำให้รูปแบบการไหลเป็นแบบไหลหลายเที่ยว ส่วนที่ 2 ควบคุมรูปแบบการไหลแบบมีน้ำอุ่นไหลผสมและแบบไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม ทำได้โดยการติดตั้งวาล์ว 1 ตัวที่ท่อสำหรับน้ำไหลย้อนกลับจากถังเก็บน้ำ เมื่อเปิดวาล์วจะทำให้รูปแบบการไหลเป็นแบบมีน้ำอุ่นไหลผสมและเมื่อปิดวาล์วจะทำให้รูปแบบการไหลเป็นแบบไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม

รูปที่ 3.4 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

รูปที่ 3.5 วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของน้ำ

3.1.5 ระบบวัดอุณหภูมิ

ในการติดตั้งระบบวัดอุณหภูมิของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งความร้อน มีจุดประสงค์เพื่อให้สามารถทราบอุณหภูมิของน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิของน้ำในตำแหนงต่าง ๆ นั้นเป็นเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด K , J ∅ 0.65 mm. , 1 mm RB 30 R -100 Ω อุณหภูมิสูงสุดที่วัดได้ RB -10 400°C ต่อเข้ากับเครื่องบันทึกอุณหภูมิดิจิตอล (Digital data logger) ทำการวัดอุณหภูมิทั้งหมด 5 จุด คืออุณหภูมิน้ำเริ่มต้น อุณหภูมิน้ำไหลย้อนกลับ อุณหภูมิน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผสมก่อนเข้าเครื่อง อุณหภูมิน้ำหลังผ่านเครื่อง อุณหภูมิน้ำที่ถังเก็บน้ำ โดยตำแหน่งของจุดวัดอุณหภูมิมีดังนี้

จุดที่ 1 วัดอุณหภูมิที่ระยะ 5 c.m. ก่อนเข้า 3 ทาง

จุดที่ 2 วัดอุณหภูมิที่ระยะ 5 c.m. ก่อนเข้า 3 ทางที่ท่อน้ำไหลย้อนกลับ

จุดที่ 3 วัดอุณหภูมิที่ระยะ 5 c.m. ก่อนเข้าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

จุดที่ 4 วัดอุณหภูมิที่ระยะ 5 c.m.หลังออกจากเครื่อง

จุดที่ 5 วัดอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของถังเก็บน้ำ

รูปที่ 3.6 สาย Thermocouple พร้อม Probe วัดอุณหภูมิ

3.1.6 โครงสร้างของเครื่อง

โครงสร้างของเครื่องมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 โครงสร้างส่วนรับน้ำหนักของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ส่วนที่ใช้รองรับแผงรับแสงอาทิตย์ทำจากเหล็กฉากขนาด ½ * ½ นิ้ว ในส่วนขาของโครงสร้างและเหล็กดามขาใช้เหล็กกล่องขนาด 1 * 2 นิ้ว ส่วนที่ 2 โครงสร้างส่วนรับน้ำหนักของถังน้ำอุ่น ส่วนประกอบทุกชิ้นทำจากเหล็กกล่องขนาด 1 * 2 นิ้ว ยกเว้นเหล็กดามด้านล่าง 2 ชิ้นทำจากเหล็กฉากขนาด ½ * ½ นิ้ว

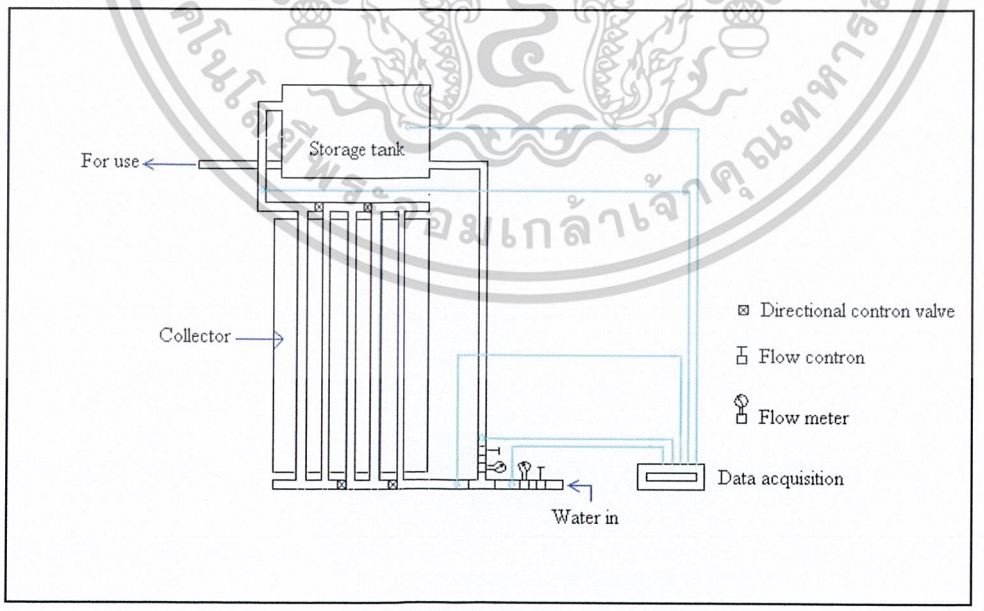
รูปที่ 3.7 โครงสร้างส่วนรับน้ำหนักของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 โครงสร้างส่วนรับน้ำหนักของถังน้ำอุ่น

3.2 การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง

ในการจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทดลอง และตำแหน่งที่จะทำการวัดอุณหภูมิ แสดงได้ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ไดอะแกรม Set-Up การทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.10 รูปถ่ายจริงแสดงการ Set-Up การทดลอง

3.3 วิธีการทดลอง

1. ทำการติดตั้งอุปกรณ์และตรวจสภาพความพร้อมในการทำงาน ดังรูปที่ 3.9

2. การทดลองมีตัวแปรที่ศึกษา 2 ตัว คือ อัตราการไหล และ รูปแบบการไหล เริ่มต้นจะให้ตัวแปรมีค่าดังนี้

- อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาที
- รูปแบบการไหลแบบไหลเที่ยวเดียวไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม

3. ทำการวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ เริ่มจากที่ ท่อน้ำเริ่มต้นและวัดตามจุดต่อมาเรื่อย ๆ ดังที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น วัดอุณหภูมิกระจกและอุณหภูมิแผ่นดำ จากนั้นอ่านและบันทึกค่าที่ได้

4. วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ความเร็วลมและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

5. การเปลี่ยนตัวแปรครั้งแรกจะเริ่มที่รูปแบบการไหล โดยการปิดวาล์วทุกตัวในส่วนที่ 1 จะทำให้รูปแบบการไหลเปลี่ยนเป็นแบบไหลหลายเที่ยวไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม และทำการวัดค่าแต่ ละจุดเหมือนในข้อที่ 3

6. เปิดวาล์วควบคุมรูปแบบการไหลในส่วนที่ 2 จะทำให้รูปแบบการไหลเปลี่ยนเป็นแบบไหลวนมีน้ำอุ่นไหลผสม และทำการวัดค่าแต่ละจุดเหมือนในข้อที่ 3

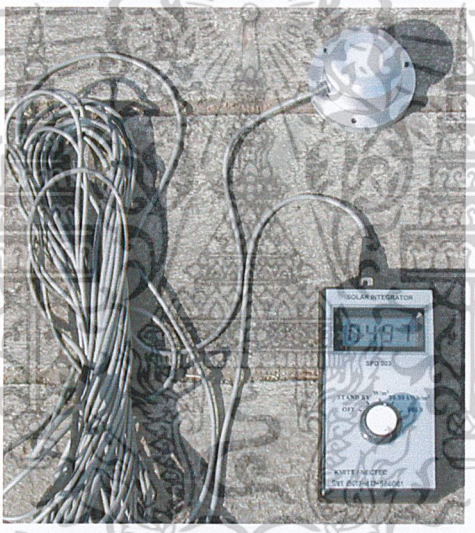
7. ปิดวาล์วควบคุมรูปแบบการไหลในส่วนที่ 1 จะทำให้รูปแบบการไหลเปลี่ยนเป็นแบบไหลเที่ยวเดียวมีน้ำอุ่นไหลผสม และทำการวัดค่าแต่ละจุดเหมือนในข้อที่ 3

8. การเปลี่ยนตัวแปรครั้งที่ 2 จะเปลี่ยนอัตราการไหลในข้อที่ 2 เป็น 0.006 ลิตรต่อวินาที ตามลำดับแล้วทำการทดลองเหมือนในข้อ 3, 4, 5 และ 6

เอกสารนี้ใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษา	ค่าของตัวแปรที่ศึกษา
อัตราการไหล	0.02 ลิตรต่อวินาที และ 0.006 ลิตรต่อวินาที
รูปแบบการไหล	แบบไหลเที่ยวเดียวไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม
	แบบไหลเที่ยวเดียวมีน้ำอุ่นไหลผสม
	แบบไหลหลายเที่ยวไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม
	แบบไหลหลายเที่ยวมีน้ำอุ่นไหลผสม



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์

รูปที่ 3.12 เครื่องบันทึกและอ่านค่าอุณหภูมิดิจิตอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

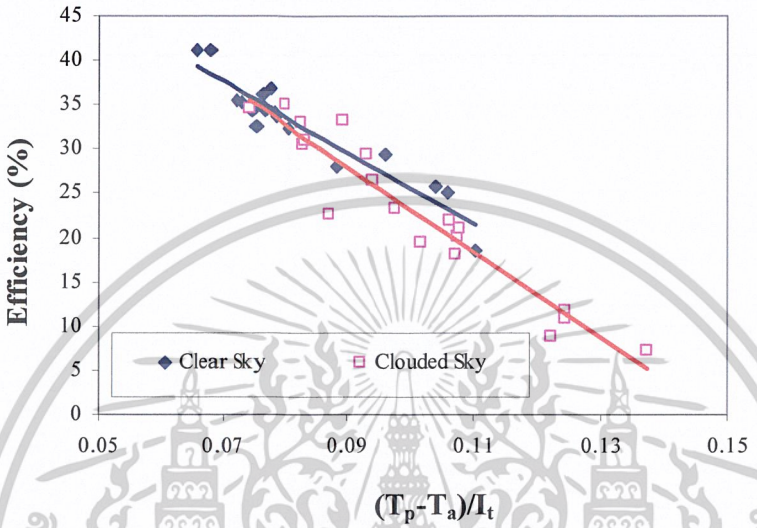
รูปที่ 3.13 เครื่องวัดความเร็วลมและอุณหภูมิอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงเมื่อไม่มีการทำน้ำร้อน



รูปที่ 4.1ประสิทธิภาพของแผงรับแสงเมื่อไม่มีการทำน้ำร้อน ในวันที่ท้องฟ้าโปร่งและท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม

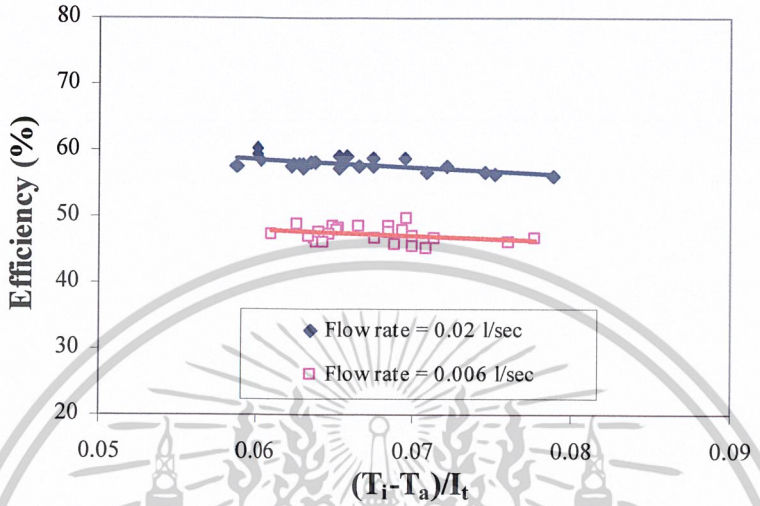
จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงในกรณีที่ท้องฟ้าโปร่งจะมีค่าสูงกว่าในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมและเมื่อพิจารณาความชันของกราฟของเส้นกราฟประสิทธิภาพ พบว่า ความชันของเส้นกราฟในกรณีที่ท้องฟ้าโปร่ง จะมีความชันน้อยกว่าความชันของเส้นกราฟในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผงรับแสงอาทิตย์ในกรณีที่ท้องฟ้าโปร่งจะมีการสูญเสียความร้อนรวมที่น้อยกว่า โดยการสูญเสียความร้อนรวมนี้ เกิดจาก 2 ปัจจัยหลักคือ การสูญเสียความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อน และสูญเสียความร้อนเนื่องจากการพาความร้อนแบบอิสระ ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากแผงรับแสงอาทิตย์ในกรณีที่ท้องฟ้าโปร่ง จึงมีแนวโน้มที่จะใช้ประโยชน์ได้มากกว่าและเป็นระยะเวลาที่นานกว่า

นอกจากนี้ จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงในกรณีที่ท้องฟ้าโปร่งจะเกาะกลุ่มกัน แต่ค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมจะมีการกระจายตัว ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากท้องฟ้าโปร่งให้ความเข้มแสงที่มากกว่าและค่อนข้างคงที่เมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงจึงค่อนข้างจะคงที่ ส่วนค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงในกรณีที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุมเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงจึงเปลี่ยนแปลงเห็นได้อย่างชัดเจน

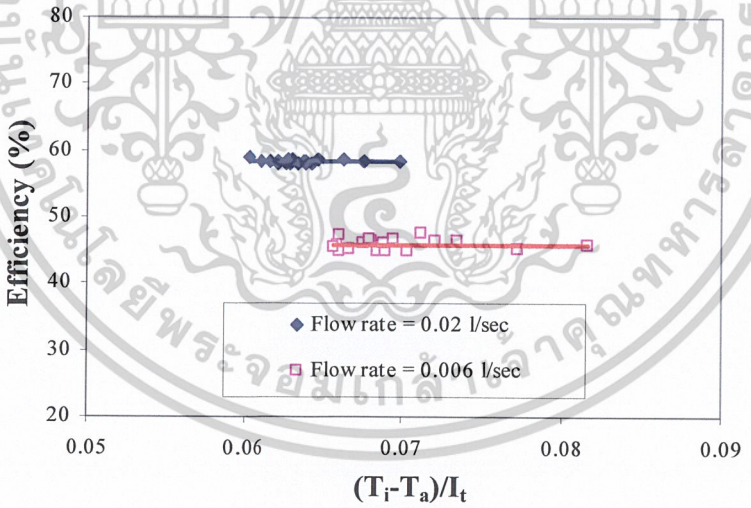
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสงเมื่อมีการทำน้ำร้อน

4.2.1 ผลของอัตราการไหลของน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงรับแสง



รูปที่ 4.2 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบไหลเที่ยวเดียวที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน



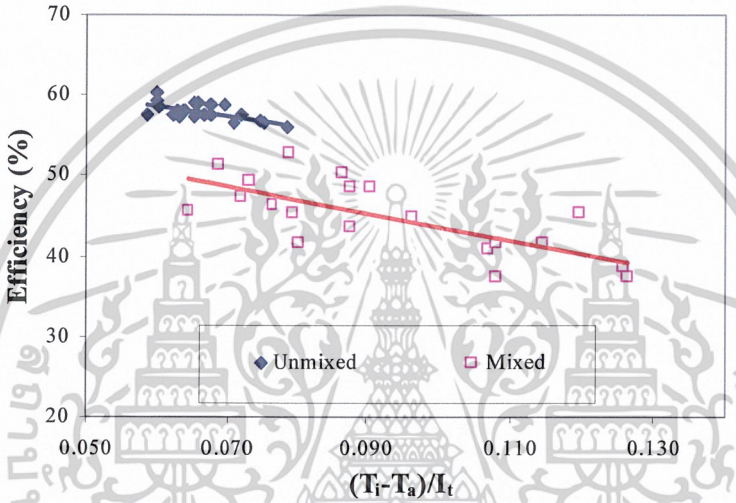
รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบไหลหลายเที่ยวที่อัตราการไหลของน้ำต่างกัน

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงในกรณีที่มีอัตราการไหลสูงจะมีค่ามากกว่าในกรณีที่มีอัตราการไหลต่ำ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในกรณีที่มีอัตราการไหลสูงนั้น สารทำงานคือน้ำมีการดึงความร้อนจากแผ่นรับรังสีมาใช้ได้มากกว่าในกรณีที่มีอัตราการไหลต่ำ และเมื่อพิจารณาความชันของเส้นกราฟพบว่า ความชันของเส้นกราฟในกรณีที่มีอัตราการไหลสูงมีความชันมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชันของเส้นกราฟในกรณีที่มีอัตราการไหลต่ำ หมายความว่า ในกรณีที่มีอัตราการไหลสูงมีการสูญเสียความร้อนมากกว่าในกรณีที่มีอัตราการไหลต่ำ แต่ว่าการสูญเสียความร้อนที่กล่าวถึงนี้เป็นการสูญเสียความร้อนให้กับสารทำงานนั่นเอง หากจะพิจาณาถึงค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงเพียงอย่างเดียว ในกรณีที่มีอัตราการไหลสูงจะให้ค่าประสิทธิภาพที่มากกว่าและจากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่ารูปกราฟจะมีลักษณะเดียวกับรูปที่ 4.2

4.2.2 ผลของการผสมน้ำอุ่นจาก Storage tank ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงรับแสง

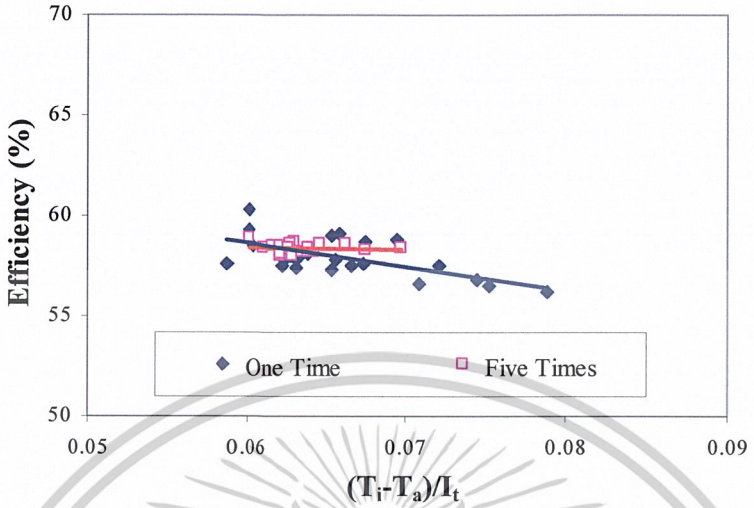


รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงแบบไหลเที่ยวเดียวที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาที เมื่อมีและไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม

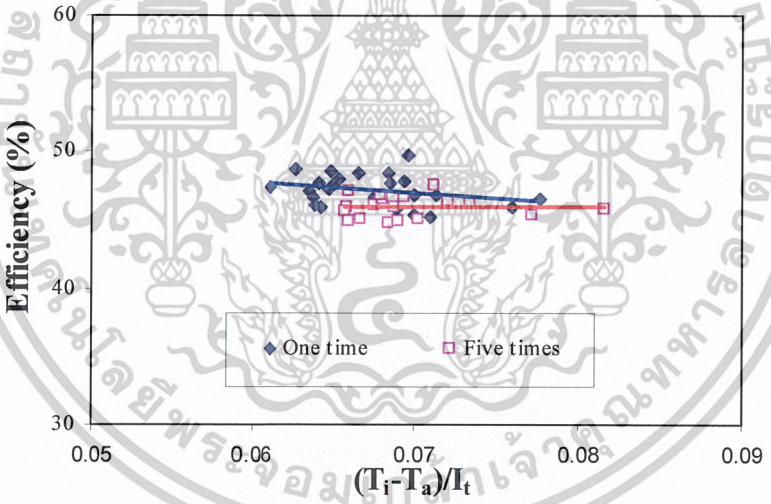
จากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงในกรณีที่ไม่มีน้ำอุ่นไหลผสมจะมีค่ามากกว่าในกรณีที่มีน้ำอุ่นไหลผสม ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในกรณีที่ไม่มีน้ำอุ่นไหลผสมนั้น สารทำงานคือน้ำมีการดึงความร้อนจากแผ่นดูดรังสีมาใช้มากกว่าในกรณีที่ที่มีน้ำอุ่นไหลผสม แต่ในกรณีที่มีน้ำอุ่นไหลผสมนั้น น้ำที่จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับแผ่นดูดรังสีมีอุณหภูมิที่สูงอยู่แล้ว จึงแลกเปลี่ยนความร้อนได้ในปริมาณน้อยจึงเป็นเหตุที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงมีค่าน้อยกว่า เมื่อพิจารณาความชันของเส้นกราฟพบว่า ความชันของเส้นกราฟในกรณีที่ไม่มีน้ำอุ่นไหลผสมมีความชันมากกว่าความชันของเส้นกราฟในกรณีที่มีน้ำอุ่นไหลผสม หมายความว่า ในกรณีที่ไม่มีน้ำอุ่นไหลผสมมีการสูญเสียความร้อนมากกว่าในกรณีที่มีน้ำอุ่นไหลผสม แสดงว่าในกรณีที่ไม่มีน้ำอุ่นไหลผสมจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีกว่าในกรณีที่มีน้ำอุ่นไหลผสม แต่ก็จะมีการสูญเสียความร้อนมากกว่าในกรณีที่มีน้ำอุ่นไหลผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ผลของรูปแบบการไหลของน้ำที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงรับแสง



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาที เมื่อรูปแบบการไหลต่างกัน

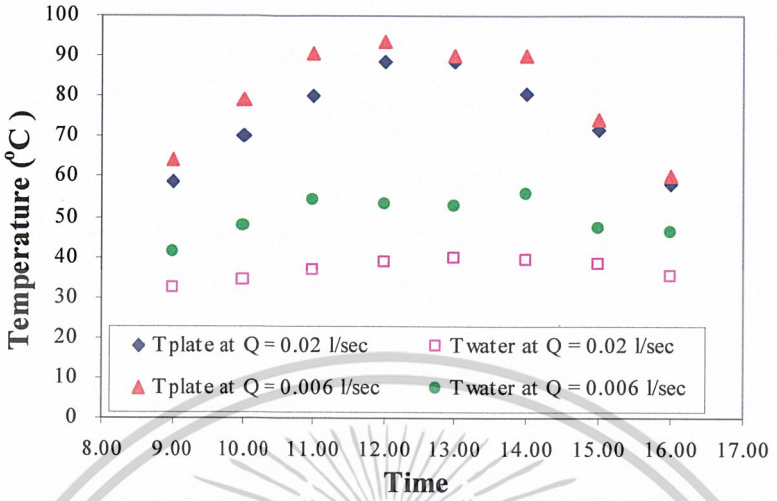


รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพของแผงรับแสงที่อัตราการไหล 0.006 ลิตรต่อวินาที เมื่อรูปแบบการไหลต่างกัน

จากรูปที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 พบว่าที่อัตราการไหลสูงและอัตราการไหลต่ำ ค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงระหว่างแบบไหลเที่ยวเดียวและแบบไหลหลายเที่ยวในแต่ละอัตราการไหลมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนค่าความชันของกราฟระหว่างแบบไหลเที่ยวเดียวและแบบไหลหลายเที่ยวในแต่ละอัตราการไหล ค่าความชันของกราฟในกรณีที่ไหลหลายเที่ยวจะมีความชันน้อยกว่าในกรณีที่ไหลเที่ยวเดียว แสดงว่าในกรณีที่ไหลหลายเที่ยวจะมีค่าประสิทธิภาพใกล้เคียงกับในกรณีที่ไหลเที่ยวเดียว แต่ในกรณีที่ไหลหลายเที่ยวจะมีการสูญเสียความร้อนน้อยกว่าในกรณีที่ไหลเที่ยวเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลของอัตราการไหลของน้ำที่มีต่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำได้



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำได้เมื่ออัตราการไหลต่างกัน

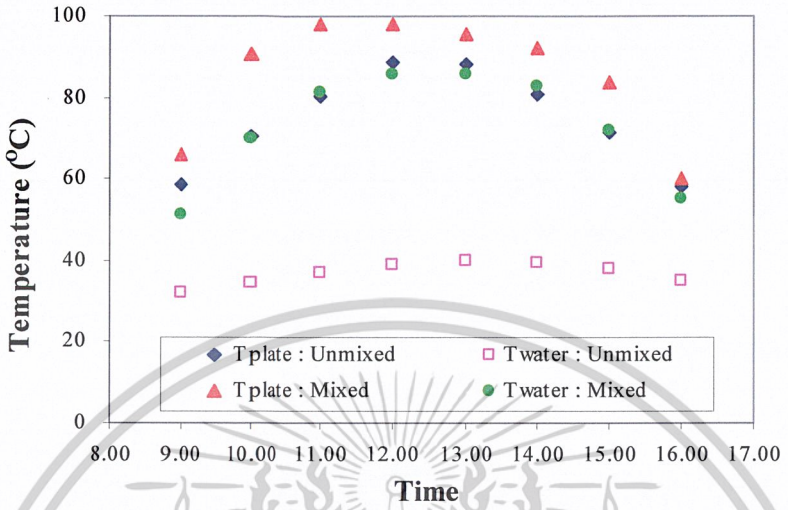
จากรูปที่ 4.7 พบว่าที่อัตราการไหลต่ำอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ทำได้ มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ทำได้ที่อัตราการไหลสูง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากที่อัตราการไหลต่ำ น้ำมีเวลาแลกเปลี่ยนความร้อนกับแผ่นดูดรังสีมากกว่าน้ำที่อัตราการไหลสูง จึงสามารถดึงความร้อนจากแผ่นดูดรังสีได้มากกว่าทำให้อุณหภูมิของน้ำที่ทำได้มีค่ามากกว่านั่นเอง แต่เมื่อพิจารณาปริมาณน้ำที่อัตราการไหลต่ำที่ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อเทียบกันต่อหน่วยเวลากับน้ำที่อัตราการไหลสูง พบว่าน้ำที่อัตราการไหลต่ำมีปริมาณน้ำที่ทำการแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยกว่า ดังนั้นเมื่อพิจารณาตามความจริงแล้วน้ำที่อัตราการไหลสูงจึงมีการดึงความร้อนจากแผ่นดูดรังสีมากกว่าที่อัตราการไหลต่ำ จึงมีผลทำให้อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีพบว่าอุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีที่อัตราการไหลต่ำมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีที่อัตราการไหลสูงดังรูปที่ 4.7

4.4 ผลของการผสมน้ำอุ่นจาก storage tank ที่มีต่ออุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำได้

จากรูปที่ 4.8 พบว่าอุณหภูมิของน้ำที่ทำได้ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบไหลเที่ยวเดียวที่อัตราการไหลสูง ในกรณีที่มีน้ำร้อนผสมน้ำที่ทำได้จะมีอุณหภูมิสูงกว่าในกรณีที่ไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม ที่เป็นเช่นนี้เนื่องมาจากในกรณีที่มีน้ำอุ่นไหลผสมน้ำก่อนเข้าแผงแลกเปลี่ยนความร้อนมีอุณหภูมิสูงอยู่ก่อนแล้ว เมื่อมีการแลกเปลี่ยนความร้อนจึงทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นอีก ซึ่งมากกว่าในกรณีที่ไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม และเป็นเหตุให้อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีสูงกว่าในกรณีที่ไม่มีน้ำอุ่นไหลผสมอีกด้วย เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่มีน้ำอุ่นไหลผสมน้ำมีอุณหภูมิสูงอยู่แล้วจึงมีการดึงความร้อนจากแผ่นดูดรังสีในปริมาณที่น้อยกว่าในกรณีที่ไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม



รูปที่ 4.8 อุณหภูมิของแผ่นดูดรังสีกับอุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำได้ ที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาทีแบบไหลเที่ยวเดียวเมื่อมีและไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้น้ำเป็นสารทำงานที่สร้างขึ้น และทำการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพแผงรับแสงและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ทำได้นั้น สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- สิ่งที่มีอิทธิพลสูงต่อประสิทธิภาพของแผงรับแสงคือ การสูญเสียความร้อนในรูปการพาความร้อน และการแผ่รังสีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งจากปัจจัยที่กล่าวมานี้ ในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจึงต้องมีการบุฉนวนเป็นอย่างดี

- รูปแบบการไหลของน้ำในกรณีไหลเที่ยวเดียวจะมีประสิทธิภาพของแผงรับแสงและอุณหภูมิของน้ำที่ทำได้ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใกล้เคียงกับแบบไหลหลายเที่ยว หรืออาจกล่าวได้ว่าไม่มีความแตกต่างระหว่าง การไหลแบบไหลเที่ยวเดียวกับการไหลแบบไหลหลายเที่ยว ทั้งนี้อาจเป็นเพราะจำนวนเที่ยวในการไหลของน้ำแบบการไหลหลายเที่ยวมีจำนวนน้อยเกินไป

- รูปแบบการไหลของน้ำในกรณีมีน้ำอุ่นไหลผสมจะให้ประสิทธิภาพของแผงรับแสงและอุณหภูมิของน้ำร้อนที่ทำได้จะมีค่าสูงกว่าในกรณีไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม

- อัตราการไหลของน้ำที่อัตราการไหลต่ำจะให้ค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงต่ำกว่าในกรณีที่อัตราการไหลสูง แต่อุณหภูมิของน้ำที่ร้อนทำได้ที่อัตราการไหลต่ำจะมีอุณหภูมิสูงกว่าที่อัตราการไหลสูง

5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

- ในการทดลองพบว่า การไหลแบบไหลเที่ยวเดียวกับการไหลแบบไหลหลายเที่ยวไม่มีความแตกต่างกันทั้งในด้านประสิทธิภาพของแผงรับแสงและอุณหภูมิของน้ำที่ทำได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะจำนวนเที่ยวในการไหลแบบไหลหลายเที่ยวมีจำนวนน้อยเกินไป ซึ่งในการทดลองนี้มีจำนวน 5 เที่ยว จึงทำให้ไม่สามารถพิจารณาความแตกต่างระหว่างการไหลแบบไหลเที่ยวเดียวกับการไหลแบบไหลหลายเที่ยวได้

- ในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสงอาทิตย์ควรใช้กระจกใสปิด 2 ชั้น ซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพของแผงรับแสงและอุณหภูมิของน้ำที่ทำได้ของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่สูงขึ้น ในการเชื่อมท่อของไหลกับแผ่นดูดรังสีควรเลือกใช้การบัดกรีด้วยตะกั่วเพราะมีค่าการนำความร้อนตรงรอยต่อที่สูงพอสมควรและมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก แต่ควรระวังไม่ให้มีรอยแตกร้าวตรงรอยต่อเพราะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้ค่าการนำความร้อนลดลงอย่างมาก และควรบุฉนวนในแผงรับรังสีให้มิดชิดอย่าให้มีรอยรั่วเพื่อลดการสูญเสียความร้อนในรูปของการแผ่รังสี และการพาความร้อน สำหรับที่ถังน้ำร้อน (Storage tank) ก็เช่นกันควรมีการหุ้มฉนวนไว้ให้มิดชิดเพื่อช่วยลดการสูญเสียควรร้อน อันจะทำให้เก็บน้ำร้อนไว้ให้ได้นานที่สุด

- รูปแบบการไหลที่เหมาะสมในการสร้างเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสงอาทิตย์ควรจะเป็นการไหลเที่ยวเดียวและมีน้ำอุ่นผสม อัตราการไหลต่ำ ประมาณ 0.13 ลิตรต่อนาที เพื่อที่จะได้น้ำร้อนที่มีอุณหภูมิสูง และในทางปฏิบัติโดยทั่วไปรูปแบบการไหลที่นิยมคือการไหลแบบธรรมชาติ (Thermosyphon) ซึ่งเหมาะกับบ้านเรือนทั่วไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การคำนวณประสิทธิภาพแผงรับรังสีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ก.1 แสดงการคำนวณประสิทธิภาพแผงรับแสงที่ อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อนาที แบบไหลเที่ยวเดียวและไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม

Time	Temperature (Kelvin)					Wind velocity	Solar intensity	hw	hr,c-a	Nu	hc,p-c	hr,p-c	R1	R2	Ut	Ul	Fr	(Tp-Ta)/I	Eff (%)
	Ta	Tc	Tp	Tw,i	Tw,o	(m/s)	(W/m2)												
9.00	300.4	308.2	326.8	301.0	304.4	2.10	354	9.10	9.99	4.589	1.2552	6.7707	0.041	0.125	6.0327	6.2179	0.747	0.075	56.8
9.20	301.2	313.9	332.6	301.5	305.3	1.98	478	8.74	9.67	4.498	1.2573	7.1434	0.049	0.119	5.9587	6.1439	0.749	0.066	57.8
9.40	301.2	318.7	336.0	301.5	305.7	0.74	530	5.02	9.40	4.361	1.2301	7.4176	0.065	0.116	5.5436	5.7287	0.761	0.065	59.0
10.00	301.9	319.1	340.6	302.0	306.6	0.47	587	4.21	9.16	4.553	1.2892	7.5934	0.068	0.113	5.5317	5.7169	0.762	0.066	59.1
10.20	305.3	324.5	344.1	302.5	307.4	1.26	645	6.58	8.74	4.394	1.2595	7.9033	0.060	0.109	5.9032	6.0884	0.751	0.060	60.3
10.40	303.0	323.9	345.4	302.7	307.9	0.91	627	5.53	8.80	4.482	1.2857	7.9277	0.065	0.109	5.7616	5.9468	0.755	0.068	58.7
11.00	302.8	332.0	348.0	303.0	309.1	1.41	723	7.03	7.52	4.125	1.2005	8.3120	0.062	0.105	5.9989	6.1841	0.748	0.063	57.8
11.20	302.9	330.8	353.4	303.0	309.6	0.90	789	5.50	8.18	4.435	1.2915	8.4696	0.068	0.102	5.8779	6.0631	0.751	0.064	58.1
11.40	304.9	334.5	358.2	304.0	310.6	0.39	885	3.97	7.86	4.430	1.3018	8.7919	0.076	0.099	5.7159	5.9011	0.756	0.060	59.3
12.00	303.2	333.9	360.6	304.6	311.2	0.48	912	4.24	8.15	4.544	1.3345	8.8613	0.075	0.098	5.7886	5.9738	0.754	0.063	58.0
12.20	305.1	336.9	362.0	304.9	311.8	0.57	941	4.51	7.71	4.449	1.3140	9.0291	0.073	0.097	5.8837	6.0689	0.751	0.060	58.5
12.40	304.1	335.5	362.0	305.1	312.3	0.80	984	5.20	7.99	4.513	1.3329	8.9764	0.070	0.097	5.9972	6.1824	0.748	0.059	57.6
13.00	304.5	336.3	363.5	305.5	312.8	0.80	934	5.20	7.98	4.519	1.3501	9.0681	0.070	0.096	6.0323	6.2175	0.747	0.063	57.4
13.20	304.5	335.5	361.4	305.8	312.8	0.28	895	3.64	7.94	4.495	1.3268	8.9546	0.078	0.097	5.7004	5.8856	0.756	0.064	58.1
13.40	304.9	334.1	359.3	306.0	312.6	0.62	860	4.66	8.02	4.488	1.3199	8.8199	0.072	0.099	5.8602	6.0454	0.752	0.063	57.8
14.00	304.8	334.1	357.9	306.1	312.4	0.84	851	5.32	7.91	4.438	1.3034	8.7653	0.069	0.099	5.9492	6.1344	0.749	0.062	57.5
14.20	304.0	333.4	357.5	306.4	312.8	0.85	678	5.35	8.01	4.457	1.3073	8.7220	0.069	0.100	5.9388	6.1240	0.749	0.079	56.2
14.40	303.5	327.2	345.7	306.5	311.6	0.34	645	3.82	8.41	4.308	1.2420	8.0541	0.075	0.108	5.4843	5.6695	0.763	0.065	57.3
15.00	303.4	326.4	344.9	306.7	311.1	0.15	622	3.25	8.51	4.319	1.2423	7.9968	0.078	0.108	5.3779	5.5631	0.766	0.067	57.5
15.20	304.4	328.1	346.9	306.7	311.4	0.45	630	4.15	8.31	4.310	1.2460	8.1318	0.073	0.107	5.5668	5.7520	0.760	0.068	57.6
15.40	303.6	325.6	341.7	306.5	310.9	0.71	537	4.93	8.60	4.211	1.2044	7.8551	0.068	0.110	5.5979	5.7831	0.759	0.071	56.6
16.00	303.8	322.7	335.8	305.8	309.6	0.42	443	4.06	9.17	4.076	1.1523	7.5470	0.071	0.115	5.3895	5.5747	0.766	0.072	57.5
16.20	303.0	319.3	329.7	305.5	308.4	0.65	355	4.75	10.24	3.932	1.0968	7.2241	0.065	0.120	5.3965	5.5817	0.766	0.075	56.5
16.40	303.5	317.5	327.4	305.0	306.4	0.29	344	3.67	10.77	3.915	1.0858	7.0879	0.067	0.122	5.2704	5.4556	0.770	0.070	58.8

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงเปล่าไม่มีการทำน้ำร้อนเมื่อท้องฟ้ามีรังสีกระจาย

Time	Temperature (Celsius)			Wind velocity	Solar intensity	Eff.	(Ti-Ta)/I
	Ta	Tc	Tp	(m/s)	(I)(W/m^2)	(%)	
9.20	26.0	39.3	65.2	1.8	588	41.6	0.067
9.40	24.3	49.0	73.9	2.3	488	19.4	0.102
10.00	24.0	48.6	75.1	1.6	477	18.2	0.107
10.20	24.2	45.4	69.0	1.7	477	26.4	0.094
10.40	25.6	44.8	66.6	1.3	382	20.2	0.107
11.00	26.4	42.9	61.2	1.2	323	21.1	0.108
11.20	25.1	44.8	65.2	1.1	378	22.0	0.106
11.40	26.1	48.3	76.2	1.0	626	35.0	0.080
12.00	27.0	59.2	90.2	1.2	760	30.4	0.083
12.20	27.2	63.7	99.8	0.3	880	33.2	0.082
12.40	30.6	66.2	99.6	2.2	790	22.7	0.087
13.00	25.3	55.9	80.6	0.6	445	11.7	0.124
13.20	25.5	45.4	65.6	1.3	322	10.9	0.125
13.40	26.5	50.3	83.0	2.1	760	34.5	0.074
14.00	26.7	58.4	90.7	0.9	655	23.2	0.098
14.20	27.6	56.1	89.1	1.1	736	31.0	0.083
14.40	26.6	50.5	73.2	1.7	381	8.9	0.122
15.00	25.9	41.9	56.7	1.0	224	7.2	0.137
15.20	27.5	36.8	49.4	0.4	245	33.4	0.089
15.40	29.3	45.4	66.0	0.8	393	29.3	0.093

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงเปล่าไม่มีการทำน้ำร้อนเมื่อท้องฟ้ามีรังสีตรง

Time	Temperature (Celsius)			Wind velocity	Solar intensity	Eff.	(Ti-Ta)/I
	Ta	Tc	Tp	(m/s)	(I)(W/m^2)	(%)	
9.20	26.6	41.5	73.1	1.8	708	41.21	0.066
9.40	28.4	56.0	89.0	1.0	683	28.14	0.089
10.00	28.2	60.0	89.1	1.6	815	34.45	0.075
10.20	31.1	67.3	90.5	1.0	779	34.76	0.076
10.40	28.8	69.4	92.6	1.0	833	34.27	0.077
11.00	31.0	71.1	90.4	0.5	872	41.11	0.068
11.20	29.8	73.3	99.8	1.1	972	35.50	0.072
11.40	30.7	72.6	99.4	1.0	940	35.16	0.073
12.00	34.4	75.8	99.8	0.5	833	33.59	0.079
12.20	31.4	73.2	99.6	0.3	894	36.11	0.076
12.40	29.8	74.1	99.8	0.5	898	34.19	0.078
13.00	29.9	73.7	99.5	0.6	863	32.35	0.081
13.20	33.2	73.7	99.9	1.3	885	32.46	0.075
13.40	30.2	67.8	95.6	2.1	588	8.08	0.111
14.00	31.7	69.7	95.6	0.1	579	18.60	0.110
14.20	29.5	53.3	73.2	0.1	420	25.82	0.104
14.40	29.5	49.9	69.6	0.1	378	25.15	0.106
15.00	31.1	47.5	69.6	1.0	497	36.89	0.077
15.20	30.0	45.3	62.5	0.4	338	29.35	0.096
15.40	29.2	40.3	53.3	0.2	166	5.29	0.145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาที

Time	Temperature (Celsius)					Wind velocity	Solar intensity	Eff.	(Ti-Ta)/It
	Ta	Tc	Tp	Tw,i	Tw,o	(m/s)	(I)(W/m2)	(%)	
9.00	27.4	35.2	53.8	28.0	31.4	2.10	354	56.8	0.075
9.20	28.2	40.9	59.6	28.5	32.3	1.98	478	57.8	0.066
9.40	28.2	45.7	63.0	28.5	32.7	0.74	530	59.0	0.065
10.00	28.9	46.1	67.6	29.0	33.6	0.47	587	59.1	0.066
10.20	32.3	51.5	71.1	29.5	34.4	1.26	645	60.3	0.060
10.40	30.0	50.9	72.4	29.7	34.9	0.91	627	58.7	0.068
11.00	29.8	59.0	75.0	30.0	36.1	1.41	723	57.8	0.063
11.20	29.9	57.8	80.4	30.0	36.6	0.90	789	58.1	0.064
11.40	31.9	61.5	85.2	31.0	37.6	0.39	885	59.3	0.060
12.00	30.2	60.9	87.6	31.6	38.2	0.48	912	58.0	0.063
12.20	32.1	63.9	89.0	31.9	38.8	0.57	941	58.5	0.060
12.40	31.1	62.5	89.0	32.1	39.3	0.80	984	57.6	0.059
13.00	31.5	63.3	90.5	32.5	39.8	0.80	934	57.4	0.063
13.20	31.5	62.5	88.4	32.8	39.8	0.28	895	58.1	0.064
13.40	31.9	61.1	86.3	33.0	39.6	0.62	860	57.8	0.063
14.00	31.8	61.1	84.9	33.1	39.4	0.84	851	57.5	0.062
14.20	31.0	60.4	84.5	33.4	39.8	0.85	678	56.2	0.079
14.40	30.5	54.2	72.7	33.5	38.6	0.34	645	57.3	0.065
15.00	30.4	53.4	71.9	33.7	38.1	0.15	622	57.5	0.067
15.20	31.4	55.1	73.9	33.7	38.4	0.45	630	57.6	0.068
15.40	30.6	52.6	68.7	33.5	37.9	0.71	537	56.6	0.071
16.00	30.8	49.7	62.8	32.8	36.6	0.42	443	57.5	0.072
16.20	30.0	46.3	56.7	32.5	35.4	0.65	355	56.5	0.075
16.40	30.5	44.5	54.4	32.0	33.4	0.29	344	58.8	0.070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.006 ลิตรต่อวินาที

Time	Temperature (Celsius)					Wind velocity	Solar intensity	Eff.	(Ti-Ta)/It
	Ta	Tc	Tp	Tw,i	Tw,o	(m/s)	(I)(W/m2)	(%)	
9.00	29.9	43.7	59.6	28.0	41.1	0.64	445	48.4	0.067
9.20	31.9	46.6	63.3	28.5	38.8	1.50	450	49.7	0.070
9.40	31.2	50.0	69.4	28.5	43.5	0.84	587	48.6	0.065
10.00	31.7	54.1	75.8	29.0	46.2	0.50	643	48.5	0.069
10.20	31.2	56.6	80.2	29.5	48.2	0.52	714	47.6	0.069
10.40	31.9	57.1	82.1	29.7	49.5	0.37	767	48.0	0.065
11.00	33.5	62.7	91.7	30.0	62.1	0.42	830	45.4	0.070
11.20	32.5	62.8	89.4	30.0	50.1	0.58	872	47.8	0.065
11.40	32.2	64.0	90.8	31.0	50.4	0.66	903	47.2	0.065
12.00	33.6	65.7	92.9	31.6	55.0	0.14	924	47.7	0.064
12.20	33.1	65.2	93.5	31.9	52.3	0.53	986	47.4	0.061
12.40	32.4	64.9	93.6	32.1	52.8	0.61	957	46.7	0.064
13.00	32.3	61.4	87.8	32.5	52.6	1.08	781	45.2	0.071
13.20	32.8	64.9	91.8	32.8	53.0	0.90	922	46.1	0.064
13.40	32.9	63.2	90.7	33.0	52.8	1.00	898	45.9	0.064
14.00	32.5	65.3	91.6	33.1	52.5	0.39	873	46.7	0.068
14.20	34.6	64.5	89.9	33.4	52.6	0.68	870	47.1	0.064
14.40	36.1	63.4	88.0	33.5	61.5	0.30	753	45.7	0.069
15.00	34.0	59.2	80.0	33.7	48.9	0.31	662	47.8	0.069
15.20	34.0	55.7	71.2	33.7	43.6	0.80	593	48.7	0.063
15.40	33.9	53.3	70.5	33.5	49.0	0.46	512	46.8	0.071
16.00	32.9	51.2	66.4	32.8	48.4	0.39	440	46.0	0.076
16.20	33.5	49.8	61.9	32.5	47.0	0.24	365	46.6	0.078
16.40	33.7	45.4	52.9	32.0	44.0	0.56	274	46.9	0.070

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.5 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาทีและมีน้ำอุ่นผสม

Time	Temperature (Celsius)					Wind velocity	Solar intensity	Eff.	(Ti-Ta)/It
	Ta	Tc	Tp	Tw,i	Tw,o	(m/s)	(I)(W/m2)	(%)	
9.00	29.7	42.1	52.8	28.0	45.9	0.47	193	45.3	0.120
9.20	30.5	48.3	68.6	28.5	50.8	0.29	482	52.9	0.079
9.40	31.1	52.6	77.0	28.5	56.5	0.89	530	50.4	0.087
10.00	31.6	56.8	83.2	29.0	62.1	0.86	570	48.7	0.091
10.20	34.0	62.6	92.0	29.5	70.2	0.63	660	48.7	0.088
10.40	33.3	68.8	96.3	29.7	77.9	0.70	653	44.8	0.096
11.00	32.8	70.2	97.8	30.0	82.0	3.25	806	41.6	0.081
11.20	32.4	71.3	98.2	30.0	81.8	0.78	859	46.3	0.077
11.40	32.1	71.1	97.7	31.0	80.7	0.54	910	47.5	0.072
12.00	35.1	71.4	97.7	31.6	74.1	0.14	910	51.4	0.069
12.20	33.8	71.4	94.8	31.9	83.2	1.11	301	21.0	0.203
12.40	32.1	49.9	63.1	32.1	65.7	0.29	151	14.0	0.205
13.00	32.2	46.5	59.9	32.5	58.5	1.14	160	23.6	0.173
13.20	32.0	45.0	57.0	32.8	52.7	0.13	163	33.6	0.153
13.40	32.8	67.4	96.9	33.0	68.3	0.99	875	49.4	0.073
14.00	33.0	72.9	97.9	33.1	83.4	0.39	814	45.5	0.080
14.20	33.1	72.2	82.3	33.4	83.6	0.40	763	45.6	0.064
14.40	33.4	69.6	96.2	33.5	81.3	0.74	715	43.6	0.088
15.00	33.2	66.1	92.5	33.7	78.1	2.11	548	37.4	0.108
15.20	33.7	62.4	86.7	33.7	72.3	1.26	495	40.8	0.107
15.40	33.3	53.6	71.5	33.5	64.8	0.29	353	41.6	0.108
16.00	32.5	50.4	65.5	32.8	59.8	0.76	261	37.4	0.126
16.20	32.1	45.4	59.3	32.5	54.2	0.40	216	38.7	0.126
16.40	32.4	44.1	56.0	32.0	51.6	0.30	206	41.7	0.115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.6 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.006 ลิตรต่อวินาทีและมีน้ำอุ่นไหลผสม

Time	Temperature (Celsius)					Wind velocity	Solar intensity	Eff.	(Ti-Ta)/It
	Ta	Tc	Tp	Tw,i	Tw,o	(m/s)	(I)(W/m2)	(%)	
9.00	30.3	34.5	42.6	28.0	39.4	1.50	167	44.9	0.074
9.20	29.6	42.9	61.8	28.5	44.6	1.50	371	44.0	0.087
9.40	29.9	39.4	49.5	28.5	44.8	0.43	352	45.6	0.056
10.00	30.5	44.1	53.6	29.0	50.6	0.54	558	46.7	0.041
10.20	31.1	48.6	59.9	29.5	54.9	1.00	664	45.8	0.043
10.40	29.5	52.4	71.3	29.7	57.8	0.89	642	43.2	0.065
11.00	29.8	46.9	66.5	30.0	57.5	0.88	609	43.0	0.060
11.20	31.5	42.9	56.3	30.0	51.4	1.07	357	42.0	0.069
11.40	31.5	51.4	75.3	31.0	57.5	1.64	905	44.8	0.048
12.00	31.6	51.2	67.0	31.6	64.5	1.25	923	44.5	0.038
12.20	33.1	64.6	98.8	31.9	63.8	1.00	917	43.4	0.072
12.40	31.9	62.5	94.5	32.1	67.6	1.59	956	41.6	0.065
13.00	33.0	69.8	98.0	32.5	76.7	1.50	873	38.9	0.074
13.20	33.3	68.3	99.1	32.8	79.3	0.56	916	40.7	0.072
13.40	31.8	68.7	99.7	33.0	78.6	0.29	851	40.0	0.080
14.00	33.0	69.2	96.5	33.1	79.4	1.08	805	38.1	0.079
14.20	32.2	67.8	96.0	33.4	80.3	1.17	769	36.7	0.083
14.40	33.0	67.7	95.2	33.5	78.6	1.12	687	36.2	0.091
15.00	32.9	64.8	93.8	33.7	76.5	0.81	642	36.7	0.095
15.20	33.0	61.3	91.1	33.7	73.1	1.00	571	36.1	0.102
15.40	32.2	56.9	83.7	33.5	67.8	1.00	494	36.0	0.104
16.00	32.0	51.4	73.5	32.8	61.2	0.60	397	37.4	0.104
16.20	31.6	47.4	67.2	32.5	58.1	1.00	342	36.1	0.104
16.40	31.2	44.2	59.0	32.0	52.8	0.55	256	36.0	0.108

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.7 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลหลายเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาที

Time	Temperature (Celsius)					Wind velocity	Solar intensity	Eff.	(Ti-Ta)/It
	Ta	Tc	Tp	Tw,i	Tw,o	(m/s)	(I)(W/m2)	(%)	
9.00	24.1	43.2	66.6	23.1	30.8	1.00	496	58.08	0.086
9.20	24.8	46.6	68.1	23.8	31.7	0.84	618	58.67	0.070
9.40	25.7	48.9	69.6	24.7	31.9	1.20	662	58.61	0.066
10.00	26.4	49.4	72.9	25.3	32.9	1.05	737	58.67	0.063
10.20	26.3	50.5	76.6	25.2	33.9	1.12	792	58.24	0.063
10.40	26.3	52.1	79.5	25.2	35.5	0.50	846	58.56	0.063
11.00	27.8	55.6	83.4	26.7	37.0	0.50	901	58.51	0.062
11.20	28.2	58.6	85.4	27.1	37.8	0.50	935	58.39	0.061
11.40	29.5	59.7	87.4	28.3	38.7	0.20	961	58.88	0.060
12.00	28.5	60.3	89.4	27.4	39.2	0.20	978	58.51	0.062
12.20	28.4	60.8	89.6	27.3	39.5	0.20	976	58.41	0.063
12.40	29.4	62.8	90.1	30.0	39.7	0.20	966	58.11	0.063
13.00	29.4	61.1	89.2	30.0	40.2	0.20	960	58.02	0.062
13.20	29.9	60.5	87.8	31.2	39.7	0.20	918	58.02	0.063
13.40	31.0	61.2	87.3	31.7	39.7	0.40	903	58.06	0.062
14.00	30.2	59.6	83.8	31.0	39.5	0.20	832	58.16	0.064
14.20	31.1	59.1	82.3	32.3	39.4	0.19	800	58.27	0.064
14.40	31.6	55.5	77.4	32.8	38.5	0.45	715	58.18	0.064
15.00	32.1	54.8	74.5	33.4	38.1	0.44	662	58.37	0.064
15.20	31.4	49.5	66.2	32.2	36.3	0.59	537	58.57	0.065
15.40	29.9	46.8	62.4	30.0	35.5	0.79	481	58.26	0.068
16.00	30.8	44.5	56.5	31.0	34.5	1.15	368	58.36	0.070
16.20	30.3	42.2	54.4	30.8	34.0	0.54	306	58.19	0.079
16.40	29.7	41.1	50.9	30.0	33.4	0.62	280	58.18	0.076

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.8 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลหลายเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.006 ลิตรต่อวินาที

Time	Temperature (Celsius)					Wind velocity	Solar intensity	Eff.	(Ti-Ta)/It
	Ta	Tc	Tp	Tw,i	Tw,o	(m/s)	(I)(W/m2)	(%)	
9.00	23.5	43.7	67.3	23.0	36.7	1.00	386	45.70	0.113
9.20	24.1	46.8	73.1	23.7	37.2	1.50	448	45.52	0.109
9.40	24.9	47.9	76.2	23.9	38.4	1.76	457	45.15	0.112
10.00	25.8	54.7	90.4	24.8	41.5	1.20	634	45.82	0.102
10.20	26.6	55.4	83.1	25.5	47.9	1.15	835	46.05	0.068
10.40	27.6	58.4	86.1	26.5	50.1	0.66	858	46.51	0.068
11.00	28.1	58.3	84.2	27.0	50.9	0.48	763	46.27	0.074
11.20	29.7	59.0	86.7	28.5	51.5	0.36	862	47.16	0.066
11.40	29.7	61.9	90.7	28.5	54.3	0.75	925	45.88	0.066
12.00	30.0	62.7	90.2	28.8	54.2	0.25	885	46.77	0.068
12.20	30.8	65.3	94.3	29.6	56.8	1.00	926	44.84	0.069
12.40	31.1	66.1	95.7	29.9	57.5	1.00	977	44.93	0.066
13.00	30.4	60.4	91.8	30.5	56.1	0.61	933	45.60	0.066
13.20	30.5	60.5	91.6	30.8	56.0	0.80	914	45.14	0.067
13.40	30.2	61.8	89.9	30.8	55.5	0.80	864	44.89	0.069
14.00	31.1	62.0	88.2	31.0	54.4	0.49	828	45.95	0.069
14.20	30.9	59.3	85.1	31.0	52.9	1.04	770	45.03	0.070
14.40	31.8	56.5	81.8	32.0	51.2	0.40	719	46.61	0.069
15.00	31.2	54.5	77.9	32.2	49.0	0.49	648	46.34	0.072
15.20	32.8	53.4	73.7	33.4	46.7	1.50	529	45.30	0.077
15.40	31.7	50.4	67.4	32.0	44.4	0.46	501	47.50	0.071
16.00	31.0	45.5	58.3	31.5	41.2	1.20	334	45.78	0.082
16.20	29.6	42.6	52.4	30	40.8	0.20	257	45.09	0.089
16.40	28.9	36.4	43.3	29.6	40.1	0.20	216	44.40	0.066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.9 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลหลายเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาทีและมีน้ำอุ่นไหลผสม

Time	Temperature (Celsius)					Wind velocity	Solar intensity	Eff.	(Ti-Ta)/It
	Ta	Tc	Tp	Tw,i	Tw,o	(m/s)	(I)(W/m2)	(%)	
9.00	30.0	48.2	75.7	29.5	40.6	1.50	498	54.9	0.092
9.20	29.4	54.1	81.0	30.1	43.0	1.30	613	54.2	0.084
9.40	28.7	59.2	87.9	30.0	46.5	1.59	574	51.1	0.103
10.00	30.3	66.6	97.4	31.6	52.7	0.26	651	51.9	0.103
10.20	30.6	69.7	97.7	31.8	59.1	0.22	701	50.6	0.096
10.40	30.3	72.4	98.7	31.6	61.4	0.86	795	49.5	0.086
11.00	30.2	73.8	99.3	31.4	87.2	0.50	873	44.0	0.079
11.20	29.8	66.5	94.8	30.8	84.7	0.50	752	42.8	0.086
11.40	30.2	53.2	75.7	31.7	66.1	0.26	890	51.8	0.051
12.00	29.6	68.7	98.0	31.4	72.8	0.19	562	42.2	0.122
12.20	30.8	73.9	99.3	31.9	81.0	0.74	990	46.9	0.069
12.40	31.2	72.5	98.8	32.5	67.6	0.22	982	51.3	0.069
13.00	31.8	75.3	99.4	33.1	80.6	0.62	963	47.1	0.070
13.20	31.5	68.3	98.4	32.9	79.0	1.08	900	45.8	0.074
13.40	32.1	66.2	97.1	33.8	74.3	0.29	876	48.7	0.074
14.00	31.4	66.5	96.1	32.4	74.6	0.14	813	48.2	0.080
14.20	30.4	66.7	95.8	31.0	74.8	0.32	770	46.8	0.085
14.40	31.5	55.8	78.4	31.0	64.9	0.32	643	49.5	0.073
15.00	31.7	58.0	80.4	32.0	62.8	0.54	556	47.8	0.088
15.20	31.8	52.4	71.8	32.2	60.0	1.06	461	46.1	0.087
15.40	32.3	53.2	71.6	33.4	57.5	0.38	433	47.7	0.091
16.00	32.0	50.5	66.5	32.0	55.7	0.40	345	46.2	0.100
16.20	30.2	45.2	57.8	31.5	50.8	0.45	247	42.4	0.112
16.40	30.4	42.8	52.6	30.0	48.2	0.36	172	40.1	0.129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.10 ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองหาประสิทธิภาพแผงรับแสง เมื่อรูปแบบการไหลของน้ำเป็นแบบไหลหลายเที่ยวเดียว ที่อัตราการไหล 0.006 ลิตรต่อวินาทีและมีน้ำอุ่นไหลผสม

Time	Temperature (Celsius)					Wind velocity	Solar intensity	Eff.	(Ti-Ta)/It
	Ta	Tc	Tp	Tw,i	Tw,o	(m/s)	(I)(W/m2)	(%)	
9.00	24.8	49.8	72.4	24.1	50.7	1.23	498	41.6	0.095
9.20	25.1	53.3	81.3	24.3	56.8	0.54	586	41.8	0.096
9.40	25.7	54.4	85.7	24.9	58.8	1.45	628	40.0	0.095
10.00	28.2	61.4	95.0	27.4	64.4	0.80	689	40.4	0.097
10.20	28.1	64.8	96.9	27.3	65.9	1.00	769	40.5	0.089
10.40	29.1	68.3	98.4	28.2	72.4	0.55	825	40.5	0.084
11.00	28.1	68.7	98.9	27.3	76.5	0.50	875	40.1	0.081
11.20	29.3	72.0	99.4	28.4	76.9	0.56	919	40.5	0.076
11.40	29.1	74.4	99.5	28.2	77.5	0.50	943	40.6	0.075
12.00	29.6	75.2	99.7	28.7	76.4	0.64	953	40.7	0.074
12.20	29.7	73.5	99.4	29.7	79.5	0.50	952	40.2	0.073
12.40	29.9	74.2	99.8	30.5	81.2	0.50	954	39.8	0.073
13.00	31.0	76.2	99.6	31.6	81.7	0.28	934	40.1	0.073
13.20	31.8	75.3	99.4	32.4	80.7	0.57	904	39.5	0.075
13.40	30.4	75.0	99.0	31.0	81.9	0.20	857	39.3	0.080
14.00	31.0	72.9	99.0	31.6	79.6	0.20	800	39.2	0.085
14.20	31.3	66.8	100.0	31.9	75.6	0.40	780	39.6	0.088
14.40	32.4	61.2	97.8	33.0	70.7	0.20	702	40.7	0.093
15.00	31.8	65.1	95.2	32.4	63.6	0.65	607	40.1	0.104
15.20	30.7	63.8	92.0	31.3	61.2	0.80	566	39.8	0.108
15.40	31.4	59.4	68.6	32.0	57.5	0.80	456	40.9	0.082
16.00	30.6	55.6	77.2	31.2	54.8	0.31	380	40.0	0.123
16.20	31.4	50.6	69.2	32.0	51.2	0.57	305	39.5	0.124
16.40	30.7	49.2	65.9	31.3	49.2	0.42	274	39.6	0.128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

บทปฏิบัติการทางวิศวกรรมเกษตร

การศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

บทปฏิบัติการทางวิศวกรรมเกษตร
การศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ

บทนำ

ตัวรับรังสีแผ่นเรียบเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับรังสีดวงอาทิตย์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทให้กับของไหลเพื่อนำไปทำงาน ของไหลที่ใช้โดยมากมักได้แก่น้ำหรืออากาศตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบนับเป็นอุปกรณ์ที่นิยมใช้กันแพร่หลายเมื่อเปรียบเทียบกับตัวรับรังสีแบบอื่นๆ ตัวอย่างที่เห็นกันโดยทั่วไปได้แก่ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์ซึ่งใช้ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบเป็นตัวดูดความร้อน

ตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบเหมาะสมกับงานที่ไม่ต้องการอุณหภูมิสูงคือ ประมาณ 50 – 60°C ในขณะที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิระหว่าง 10 – 30°C หรืออาจสูงถึง 80 – 90°C ถ้าตัวดูดรังสีเป็นแบบเลือกรังสีหรือมีแผ่นใสปิดด้านบนของตัวรับรังสีมากกว่า หนึ่งชั้น แม้ว่าตัวรับรังสีแบบแผ่นเรียบจะมีข้อจำกัดมากด้านความไม่เหมาะสมในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงแต่ก็มีข้อดีหลายอย่างเมื่อเทียบกับตัวรับรังสีแบบอื่นๆ เช่นเป็นอุปกรณ์ง่ายๆที่รับได้ทั้งรังสีตรงและรังสีกระจาย ไม่ต้องมีกลไกในการบังคับให้ตัวรับรังสีหันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์ มีความจำเป็นในการบำรุงรักษาน้อย และที่สำคัญที่สุดคือมีความคุ้มทุนในการลงทุนติดตั้งในหลายๆกรณี เช่น ระบบติดตั้งเครื่องทำน้ำร้อนสำหรับบ้านพักอาศัยเป็นต้น

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยใช้น้ำเป็นสารทำงาน

1.1 ส่วนประกอบของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบมี ส่วนประกอบที่สำคัญ ดังนี้

1. **แผงรับแสง** แผงรับแสงเป็นส่วนสำคัญ คือ เป็นตัวรับพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปความร้อนแล้วทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำงาน หรือทำหน้าเป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) นั้นเองแผงรับแสงประกอบไปด้วย ตัวแผงรับแสงภายในบุด้วยฉนวนที่ด้านล่างและด้านข้างเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน แผ่นดูดรังสี (Absorber) อยู่ภายในตัวแผงรับแสงเชื่อมอยู่กับท่อของไหล (Lateral duct) แล้วทาด้วยสีดำด้านเพื่อที่จะสามารถดูดพลังงานแสงอาทิตย์ไว้ให้มากที่สุด ท่อของไหลภายนอก (Main duct) อยู่ภายนอกตัวแผงรับแสงหุ้มด้วยฉนวนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน แผ่นกระจกใสปิดอยู่ด้านบนของตัวแผงรับแสงทำหน้าที่ป้องกันการสูญเสียความร้อนเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ถังเก็บน้ำร้อน ถังเก็บน้ำอุ่นเลือกใช้ถังพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 57 c.m ยาว 90 c.m มีความจุ 200 ลิตร หุ้มฉนวนโดยรอบถัง เพื่อให้สามารถเก็บอุณหภูมิของน้ำอุ่นไว้ให้นานที่สุด

1.2 การคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

$$\eta = F_R(\tau\alpha)_e - F_R U_L(T_i - T_a)/G_t$$

$$F_R = \left(mC_p/A_c U_L\right)\left[e^{-\left(A_c U_L F'/mC_p\right)}\right]$$

$$U_L = U_t + U_b + U_e$$

$U_b = 1/R_4$ เมื่อ $R_4 = L_i / K_i$

$$U_e = (UA)_{edge}/A_c$$

$$U_t = 1/(R_1 + R_2 + R_3)$$

$R_1 = 1/(h_w + h_{r,c2-ca})$ $R_2 = 1/(h_{c1-c2} + h_{r,c1-c2})$ $R_3 = 1/(h_{p-c1} + h_{r,p-c1})$

$$h_w = 2.8 + 3.0\,v$$

$$h_{p-c1} = N_u\, k / L_{ps}$$

$$h_{r,c-a} = \varepsilon_c \sigma (T_c - T_s)(T_c^2 - T_s^2)(T_c - T_s)/(T_{c2} - T_a)$$

$$h_{r,p-c} = \sigma(T_p - T_c)(T_p^2 + T_c^2)/\left(\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right)$$

เมื่อ

h_{p-c} = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากตัวดูดรังสีไปยังแผ่นปิดใสชั้นใน

$h_{r,p-c}$ = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากตัวดูดรังสีไปยังแผ่นปิดใสชั้นใน

$h_{r,c-a}$ = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นใสชั้นนอกไปยังท้องฟ้าโดยคิดว่าตัวรับรังสีถูกครอบคลุมโดยสมบูรณ์โดยท้องฟ้ามีขนาดใหญ่มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

h_w = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนโดยลม (W/m^2K)

k = ค่านำความร้อน

A_c = พื้นที่ตัวรับรังสี (m^2)

F_R = แฟคเตอร์การดึงความร้อนมาใช้ของตัวรับรังสี

G_t = ค่ารังสีดวงอาทิตย์รวมที่ตกกระทบบนระนาบของตัวรับรังสี (W/m^2)

Lps = ระยะห่างระหว่างแผ่นเรียบ (m)

Nu = นัสเซ็ลนัมเบอร์

Ra = เรย์เลย์นัมเบอร์

R1 = ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนระหว่างแผ่นปิดใสชั้นนอกไปยังบรรยากาศชั้นนอก

R2 = ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนระหว่างแผ่นปิดใสชั้นในไปยังแผ่นปิดใสชั้นนอก

R3 = ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนระหว่างตัวดูดรังสีและแผ่นปิดใสชั้นใน

T_a = อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (K)

T_s = อุณหภูมิของท้องฟ้า (K)

U_b = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านหลังของตัวรับรังสี

U_e = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านข้างของตัวรับรังสีโดยคิดเทียบกับพื้นที่ด้านหลังของตัวรับรังสี

U_t = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนทางด้านบนของตัวรับรังสี

U_L = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม

V = ความเร็วลม (m/s)

η = ประสิทธิภาพของตัวรับรังสี

$\tau\alpha$ = ผลคูณของค่าส่งผ่านและดูดรังสี (Transmittance-absorbtance product)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสงอาทิตย์
2. ศึกษาผลของรูปแบบการไหลที่มีต่ออัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

อุปกรณ์การทดลอง

1. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

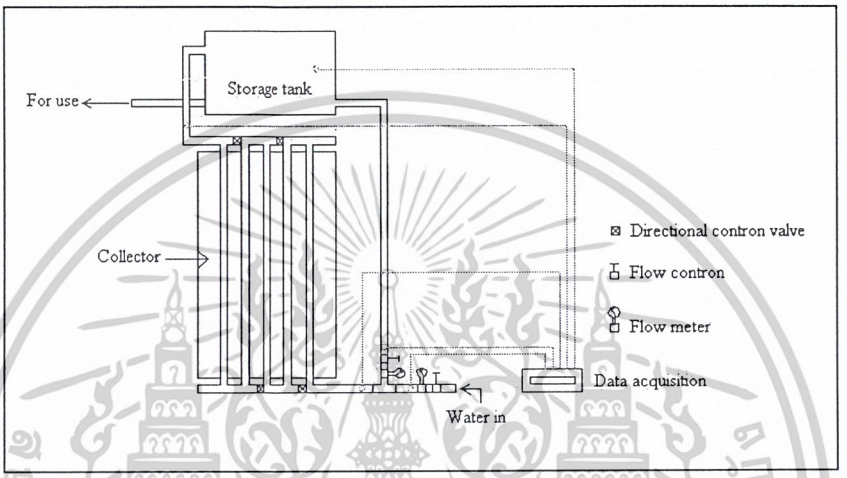
2. เครื่อง DATA LOCKER

3. เครื่องวัดความเร็วลม

4. เครื่องวัดความเข้มแสง

วิธีการทดลอง

1. ติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง พร้อมทั้งตรวจสอบความเรียบร้อยของอุปกรณ์ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การจัดเตรียมการทดลอง

2. การทดลองมีตัวแปรที่ศึกษา 2 ตัว คือ อัตราการไหล และ รูปแบบการไหล เริ่มต้นจะให้ตัวแปรมีค่าดังนี้

- อัตราการไหล 0.02 ลิตรต่อวินาที

- รูปแบบการไหลแบบไหลเที่ยวเดียวไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม

3. ทำการวัดอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ เริ่มจากที่ ท่อน้ำเริ่มต้นและวัดตามจุดต่อมาเรื่อย ๆ ดังที่ได้กำหนดไว้ข้างต้น วัดอุณหภูมิกระจกและอุณหภูมิแผ่นดำ จากนั้นอ่านและบันทึกค่าที่ได้

4. วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ความเร็วลมและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

5. การเปลี่ยนตัวแปรครั้งแรกจะเริ่มที่รูปแบบการไหล โดยการปิดวาล์วทุกตัวในส่วนที่ 1 จะทำให้รูปแบบการไหลเปลี่ยนเป็นแบบไหลหลายเที่ยวไม่มีน้ำอุ่นไหลผสม และทำการวัดค่าแต่ ละจุดเหมือนในข้อที่ 3

6. เปิดวาล์วควบคุมรูปแบบการไหลในส่วนที่ 2 จะทำให้รูปแบบการไหลเปลี่ยนเป็นแบบไหลวนมีน้ำอุ่นไหลผสม และทำการวัดค่าแต่ละจุดเหมือนในข้อที่ 3

7. ปิดวาล์วควบคุมรูปแบบการไหลในส่วนที่ 1 จะทำให้รูปแบบการไหลเปลี่ยนเป็นแบบไหลเที่ยวเดียวมีน้ำอุ่นไหลผสม และทำการวัดค่าแต่ละจุดเหมือนในข้อที่ 3

8. การเปลี่ยนตัวแปรครั้งที่ 2 จะเปลี่ยนอัตราการไหลในข้อที่ 2 เป็น 0.006 ลิตรต่อวินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับแล้วทำการทดลองเหมือนในข้อ 3, 4, 5 และ 6

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Date:			Flow pattern:							
Weather:										
Time	CH								I (w/m^2)	v (m/s)
	10	11	12	13	14	15	16	17		
9.00										
9.20										
9.40										
10.00										
10.20										
10.40										
11.00										
11.20										
11.40										
12.00										
12.20										
12.40										
13.00										
13.20										
13.40										
14.00										
14.20										
14.40										
15.00										
15.20										
15.40										
16.00										

เมื่อ

10	คือ	อุณหภูมิของน้ำที่ทางเข้าแผงรับแสง (น้ำผสม)
11	คือ	อุณหภูมิของน้ำที่ออกจากแผง
12	คือ	อุณหภูมิของน้ำจากถังน้ำอุ่น
13	คือ	อุณหภูมิของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำอุ่น
14	คือ	อุณหภูมิของกระจก
15	คือ	อุณหภูมิของแผ่นดำ (บน)
16	คือ	อุณหภูมิของแผ่นดำ (ล่าง)
17	คือ	อุณหภูมิของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม
I	คือ	ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m^2)
v	คือ	ความเร็วลมบริเวณเหนือแผงรับแสง (m/s)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การที่ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีนั้น คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ วัชระ เพิ่มชาติ และ อาจารย์ พิชิต กิตตินนท์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา รวมถึงอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ให้แนวความคิด พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการแก้ปัญหาต่าง ๆ และการช่วยเหลือในด้านอื่น ๆ อีกอย่างดียิ่ง อันเป็นประโยชน์ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมา ขอกราบขอบพระคุณกรรมการควบคุมการสอบปริญญานิพนธ์ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ รวมทั้งคณาจารย์ภาควิศวกรรมเกษตรทุกท่าน

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ คุณจิตราพร กังสวัสดิ์ คุณพัชรา เอมอำไพวงศ์ และคุณน้อย ประทีป ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านธุรการ ตลอดจน นายอภัย คำทั่ง และนายแช่ม สมรูป เจ้าหน้าที่อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเกษตร ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทางด้านเครื่องมือ และอุปกรณ์ต่างๆ

อีกทั้งคณะผู้จัดทำ ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคน และผู้เกี่ยวข้องในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ไม่ว่าจะเป็นทั้งที่ปรึกษา และช่วยเหลือ รวมถึงเป็นกำลังใจให้แก่กลุ่มของผู้จัดทำจนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้เป็นกำลังใจ ในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้ด้วยดี ซึ่งทางคณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณท่านทั้งสองไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง
คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

1. J.ADuffie and W.ABeckman "Solar engineering of thermal processes" John Wiley and Sons, 1991, pp. 250-329.

2. วารสาร ประสิทธิ์ภาพพลังงาน ฉบับที่ 46 กรกฎาคม - กันยายน 2542

3. C.,Cirstofari, G.,Notton, P.,Poggi and A.,Louche (2002). "Modelling and performance of a copolymer solar water heating collector" pp. 99-112 , Solar Energy, Vol. 72 , No. 2.

4. A.,Jabbar and N.,Khalifa (1998) "Forced versus natural circulation solar water heater: a comparative performance study" pp. 77-82 , Renewable Energy, Vol. 14 , Nos 1-4.

5. E.M.,Modelof and V.,Belessiotistrnsys (1998) "A new heat-pipe type solar domestic hot water system" pp. 13-20 , Solar Energy, Vol. 72 , No. 1.

6. S.,Kalogirou (1997) "Solar water heating in cyprus: cuerrent status of Technology and problem" pp. 107-112 , Renewable Energy, Vol. 10 , No 1.

7. N.P.,Kikas (1995) "Laminar flow distribution in solar systems" pp. 209-217, Solar Energy, Vol. 54 , No. 4.

8. E.M.,Modelof and V.,Belessiotistrnsys (2002) "Analytical approach of system thermosyphon solar domestic hot water system performance" pp. 307-315 , Solar Energy, Vol. 72 , No. 4.

9. เอกสารเผยแพร่ ชุดความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการใช้พลังงาน " เครื่องทำน้ำร้อน " กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน ศูนย์อนุรักษ์พลังงานแห่งประเทศไทย

10. เอกสารเผยแพร่, บริษัทโซลาซอน โซลาเอ็นเนอยี่ (ประเทศไทย) จำกัด 119/182 ถนนนวมินทร์ แขวงคลองบึงกุ่ม กรุงเทพฯ 10240 โทรศัพท์ 0-2948-3993-4 โทรสาร 0-2948-3995

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11.เอกสารเผยแพร่, บริษัทโซลาร์ตรอน จำกัด 38 อาคารชวนิชย์ ชั้น 2 ซอยสาลีนิมิตร ถนนสุขุมวิท 69 แขวงพระโขนงเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพ 10110 โทร. 0-2392-0224-6, 0-2711-0698-700 แฟกซ์. (662) 381-0936, 381-2971

12. http://www.nepo.go.th.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้