

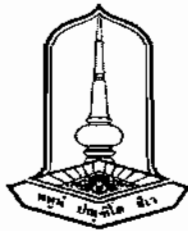
**ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ PV/T - Solar Collector ที่ใช้การไหลเวียนแบบ
บังคับและแบบอิสระ**

**กิตติพล พิมพ์จันทร์
ทวีวุฒิ โสภังค์**

**เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขา ฟิสิกส์ประยุกต์**

20 ก.ค. 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม



Efficiency of PV/T Solar Collector Using the Natural Flow and Force Flow

BY

Mr. Kittiphol Phimchan

Mr. Thaweewoot Sopank

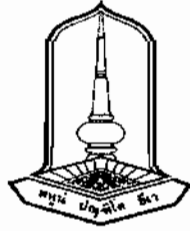
Presented in partial fulfillment of the requirement for

The Bachelor of Science Degree in Applied Physics

At Mahasarakham University

20 July 2010

All Right Rescrved by Mahasarakham University



ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผง PV/T Solar Collector ที่ใช้การไหลเวียนแบบบังคับและแบบ

อิสระ

กิตติพล พิมพ์จันทร์

ทวิวุฒิ ไสภังค์

รายงานโครงงานฟิสิกส์ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะกรรมการสอบ:

.....
(รองศาสตราจารย์ ชีรพงษ์ พุทธิกิจวิวงศ์)

ประธานกรรมการ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พัฒนพล มินา)

กรรมการ

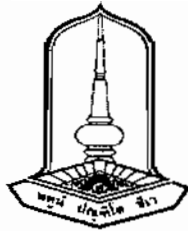
.....
(อาจารย์ ปรีชา ศรีประภาคาร)

กรรมการ

.....
(อาจารย์ ดร.อนุสรณ์ แสงประจักษ์)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา

วันที่ 20 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2553



Efficiency of PV/T Solar Collector Using the Natural Flow and Force Flow .

Kittiphol Phimchan

Thaweewoot Sopank

This project has been approved to be partial fulfillment of requirement for the Bachelor degree of Science in Applied Physics.

Examining Committee:

.....*Thirapote*..... Chairman
(Assoc. Prof. Thirapote Puthikitakawiwong)

.....*[Signature]*..... Member
(Asst.Prof.Dr. Pattanapol Meena)

.....*[Signature]*..... Member
(Mr. Preecha Sriprapakhan)

.....*A-Saeng*..... Member and Advisor
(Dr. Amusorn Saengprajak)

Date 20 July 2010

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์นี้จะสำเร็จได้ก็ด้วยความกรุณาของท่านอาจารย์ ดร. อนุสรณ์ แสงประจักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือแก้ไขปัญหาดังๆในปริญญานิพนธ์นี้ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่ให้ความรู้ชี้แจงแนะแนวทางที่เป็นประโยชน์ต่อปริญญานิพนธ์นี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและกณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่างๆให้คำปรึกษาและช่วยชี้แนะเรื่องต่างๆ ตลอดจนมา จนประสบความสำเร็จเข้าพเจ้าและคณะจึงขอขอบพระคุณทุกท่านที่ได้ให้ความอุปการคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

กิตติพล พิมพ์จันทร์

ทวีวุฒิ โสภักดิ์

ชื่อโครงการ	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ PV/T - Solar Collector ที่ใช้การไหลเวียนแบบบังคับและแบบธรรมชาติ
ผู้ศึกษาค้นคว้า	นายกิตติพล พิมพ์จันทร์ นายทวีวุฒิ โสภังค์
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.อนุสรณ์ แสงประจักษ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.) สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ (พลังงาน)
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2553

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษเรื่อง ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ PV/T - solar Collector ที่ใช้การไหลเวียนแบบบังคับ(Force flow system :FFS)และแบบอิสระ(Natural flow system:NFS) ได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบทำน้ำอุ่นด้วยระบบ PV/T solar Collector ที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS เมื่อติดตั้งที่มุมเอียง 16 องศา จากการศึกษาพบว่าการใช้แผง PV/T ที่ใช้ระบบไหลเวียนแบบ FFS มีประสิทธิภาพในการผลิตน้ำอุ่นได้ดีกว่าระบบแบบ NFS โดยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยระหว่างการทดสอบมีค่าเท่ากับ 568.68 W/m^2 ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง PV/T ระบบแบบ FFS และแบบ NFS โดยเฉลี่ยเท่ากับ 21.13% และ 26.38 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงรับรังสีระบบแบบ FFS และแบบ NFS โดยเฉลี่ยเท่ากับ 59.46 % และ 46.99 % ตามลำดับ พบว่าระบบที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS ส่งผลให้อุณหภูมิของแผง PV มีค่าต่ำกว่าแบบ NFS ถึง 10.54°C และผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิสูงกว่าถึง 16.89°C

A project	Efficiency of PV/T Solar Collector Using the Natural Flow and Force Flow .
The study	Kittiphol Phinchan Thawcewoot Sopank
Adviser	Dr. Amusorn Saengprajak
Degree	Bachelor of Science (B.Sc.) in Applied Physics (energy).
University	Maharakham University Year of Publication 2553.

Abstract

On special projects Thermal efficiency of system PV/T - solar Collector using a forced circulation (Force flow system: FFS) and natural (Natural flow system: NFS) has been prepared to study the efficiency of heated water system. With PV / T solar Collector that flow for FFS and NFS, when installed at angle 16 degrees. the study found that the panel PV / T systems using flow as FFS effective in producing water heated than the NFS system. By the radiation intensity, the average Sunday during the experiment were 568.68 W/m², which allows efficient thermal panel PV / T system, the FFS and NFS average was 21.13% and 26.38% respectively The efficiency of heat panel radiation systems FFS and NFS average was 59.46% and 46.99%, respectively, which shows that system that use flow as FFS affect the temperature of the PV module is 10.54 °C, lower than the NFS and hot water temperature is 16.89 °C higher than the NFS.

สารบัญ

	หน้า
ประกาศนุญการ.....	จ
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ฉ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ช
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพประกอบ.....	ฎ

บทที่

1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 วิธีการดำเนินงานการทำปริญญานิพนธ์.....	3
1.6 สถานที่ทำปริญญานิพนธ์.....	3
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์.....	5
2.3 การคำนวณเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
2.4 เซลล์แสงอาทิตย์กับอุณหภูมิ และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์.....	13
2.5 หลักพื้นฐานทางกายภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์.....	16
2.6 โครงสร้างของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบ.....	17
2.7 การคำนวณเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	18
3. วิธีการดำเนินงาน.....	20
3.1 วิธีการดำเนินงาน.....	20
3.2 การปรับปรุงระบบ.....	20
3.3 วิธีการทดลอง.....	22
3.4 การเปรียบเทียบค่าสายเทอร์โมคัปเปิ้ลกับเทอร์โมมิเตอร์.....	27

สารบัญ

บทที่	หน้า
4. ผลการดำเนินงาน.....	29
4.1 ผลการดำเนินงาน.....	29
4.2 ความเข้มแข็งสื่ออาทิตย์.....	29
4.3 อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	30
4.4 อุณหภูมิแผงรับรังสีอาทิตย์.....	32
4.5 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บ.....	35
4.6 ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบ.....	37
5.สรุปผลการทดลอง.....	39
5.1 สรุปผลดำเนินงาน.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	40
บรรณานุกรม.....	41
ภาคผนวก.....	43
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ.....	43
ภาคผนวก ข ข้อมูลผลการทดลอง.....	46
ภาคผนวก ค ภาพประกอบการดำเนินงาน.....	56
ประวัติผู้วิจัย.....	61

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1: ตัวแปรทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
ตารางที่ 3.1 ค่าการเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมคัปเปิ้ลกับเทอร์โมมิเตอร์นี้	27
ตารางที่ 4.1: อุณหภูมิน้ำเข้า น้ำออกและอุณหภูมิแผงเซลล์รังสีอาทิตย์.....	30
ตารางที่ 4.2: อุณหภูมิน้ำเข้า น้ำออกและอุณหภูมิแผงรับรังสีอาทิตย์.....	33
ตารางที่ 4.3: อุณหภูมิน้ำในถังเก็บ.....	35
ตารางที่ 4.4: ประสิทธิภาพการทำความร้อนของระบบ PV/T.....	37

สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบที่ 2.1: ข้อมูลที่เกี่ยวกับความไวต่อแสงในการเกิดประจุของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous Silicon (a-Si) และ Crystalline Silicon (C-Si).....	6
ภาพประกอบที่ 2.2: ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว.....	7
ภาพประกอบที่ 2.3: โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์.....	8
ภาพประกอบที่ 2.4: ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
ภาพประกอบที่ 2.5: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กระแส แรงดันและกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่จุด MPP.....	12
ภาพประกอบที่ 2.6: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อ กระแส และ แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์.....	14
ภาพประกอบที่ 2.7: กราฟแสดงคุณสมบัติของกระแสและแรงดันไฟฟ้าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น	15
ภาพประกอบที่ 2.8: ระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบ PV/T Solar collector...	18
ภาพประกอบที่ 3.1: แผง PV/T ใช้น้ำเวียนรับความร้อน.....	21
ภาพประกอบที่ 3.2: ถังเก็บน้ำร้อน.....	21
ภาพประกอบที่ 3.3 : การวัดค่าตัวแปรต่างๆ ระหว่างการทดลอง.....	23
ภาพประกอบที่ 3.4 : สภาพห้องฟ้าและบริเวณที่ทำการทดลอง.....	24
ภาพประกอบที่ 3.5 : เครื่องบันทึกข้อมูล Agilent data logger.....	24
ภาพประกอบที่ 3.6 : ชุดคอมพิวเตอร์เพื่อจัดการและบันทึกข้อมูล.....	25
ภาพประกอบที่ 3.7: สายเทอร์โมคัปเปิ้ล.....	25
ภาพประกอบที่ 3.8: เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า.....	26
ภาพประกอบที่ 3.9: เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า HP multimeter model 973A.....	26
ภาพประกอบที่ 3.10: ภาพการวัดความคลาดเคลื่อนอุปกรณ์.....	28
ภาพประกอบที่ 4.1: กราฟแสดงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่างวันที่ทำการทดลอง.....	29
ภาพประกอบที่ 4.2: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{pv} กับ $T_{in,pv}$ และ $T_{out,pv}$ ของระบบ บังคับ.....	30

สารบัญภาพประกอบ(ต่อ)

	หน้า
ภาพประกอบที่ 4.3: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{pv} กับ $T_{in,pv}$ และ $T_{out,pv}$ ของระบบธรรมชาติ.....	31
ภาพประกอบที่ 4.4: กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างแบบบังคับ และ แบบธรรมชาติ.....	31
ภาพประกอบที่ 4.5: กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างที่ใช้การ ไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS.....	32
ภาพประกอบที่ 4.6: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{air,col}$ กับ $T_{in,col}$ และ $T_{out,col}$ ของระบบบังคับ.....	33
ภาพประกอบที่ 4.7: กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{air,col}$ กับ $T_{in,col}$ และ $T_{out,col}$ ของระบบธรรมชาติ.....	33
ภาพประกอบที่ 4.8: กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในแผงรับรังสีระหว่างแบบบังคับ และแบบธรรมชาติ.....	34
ภาพประกอบที่ 4.9: กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในแผงรับรังสีระหว่างที่ใช้การ ไหลเวียนแบบ FFSและแบบ NFS.....	35
ภาพประกอบที่ 4.10: กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิในถังของทั้ง 2 ระบบ.....	36
ภาพประกอบที่ 4.11: กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิในถังที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS.....	36
ภาพประกอบที่ 4.12: กราฟแสดงประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง PV/T.....	37
ภาพประกอบที่ 4.13: กราฟแสดงประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงรับรังสี.....	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันโลกเรามีการเพิ่มจำนวนประชากรและการพัฒนาด้านเทคโนโลยีไปอย่างรวดเร็วทำให้มีความต้องการด้านพลังงานเพิ่มมากขึ้นในขณะเดียวกันพลังงานจากทรัพยากรธรรมชาติด้านพลังงานก็กำลังจะหมดไปจึงได้มีแนวคิดเกี่ยวกับพลังงานทดแทนเพื่อนำพลังงานจากแหล่งอื่น ๆ มาใช้แทนพลังงานจากแหล่งฟอสซิล ได้แก่พลังงานจาก ลม ความร้อนจากใต้พิภพ พลังงานน้ำ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นต้น ซึ่งพลังงานที่ได้เป็นพลังงานสะอาดปลอดภัย และเป็นพลังงานที่ได้มาจากธรรมชาติ

การนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ ในปัจจุบันเป็นไปอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าในรูปของการผลิตไฟฟ้าหรือความร้อน ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าโดยตรงนั้น โดยส่วนมากนิยมใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่การใช้อุปกรณ์ดังกล่าวยังคงมีปัญหาในด้านประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่ยังค่อนข้างต่ำ พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนแผงสูญเสียไปในรูปความร้อนซึ่งเปลืองประโยชน์ ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Photovoltaic/Thermal, PV/T) ขึ้นมาเพื่อนำเอาความร้อนที่สะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ ทำให้การใช้ประโยชน์จากแผง PV ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

โดยการศึกษาได้พัฒนาระบบการผลิตน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ระบบผลิตน้ำร้อนด้วยแผงรับรังสีอาทิตย์ (Solar collector) และ PV/T ซึ่งการทำงานของระบบดังกล่าวจะผลิตทั้งไฟฟ้าและความร้อนร่วมกันและโดยไฟฟ้าที่ได้จากแผง PV จะนำไปใช้บังคับอัตราการไหลของน้ำ โดยน้ำจะไหลเวียนผ่านแผง PV/T ก่อนเพื่อรับความร้อนชั้นที่หนึ่ง จากนั้นก็จะไหลเวียนเข้าสู่แผงรับรังสีอาทิตย์ เพื่อรับความร้อนชั้นที่สอง ก่อนจะเข้าสู่ถังเก็บน้ำร้อน ลักษณะการทำงานดังกล่าว เป็นการใช้ประโยชน์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เต็มที่มากขึ้น เพราะนอกเหนือจากระบบผลิตไฟฟ้าแล้ว ยังสามารถใช้ผลิตน้ำร้อนได้อีกด้วย งานวิจัยนี้ มุ่งทำการศึกษาศึกษาภาพของระบบไฟฟ้าและความร้อนดังกล่าวรวมทั้งศึกษาถึงผลกระทบทางด้านประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างการใช้งานของระบบดังกล่าวและยังศึกษาอัตราการไหลที่มีผลการผลิตความร้อนด้วย โดยผลที่ได้จากการศึกษา คาดว่าจะมีประโยชน์ต่อการใช้แผง PV/T แบบผสมผสานในประเทศ เป็นการกระตุ้นการค้นคว้า วิจัยและพัฒนาทางด้านการพลังงานทดแทนในประเทศ และนำมาซึ่งการนำ เอาทรัพยากรพลังงานทดแทนในประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงาน

แสงอาทิตย์ มาใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวันได้เต็มประสิทธิภาพมากขึ้น ลดการพึ่งพาการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งฟอสซิลเป็นการร่วมอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้ เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบ PV/T - Solar collector ที่ใช้ระบบไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS โดยมีวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

1.2.1 เพื่อออกพัฒนาระบบ PV/T - Solar collector ที่ใช้ระบบไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS ในการผลิตน้ำร้อน

1.2.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการไหลเวียนของน้ำแบบ FFS และแบบ NFS ว่ามีผลต่อศักยภาพในการผลิตน้ำร้อน

1.2.3 เพื่อศึกษาว่ารูปแบบการไหลเวียนของน้ำแบบ FFS และแบบ NFS มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิแผงรับรังสีอาทิตย์และแผง PV/T

1.2.4 เพื่อศึกษาว่ารูปแบบการไหลเวียนของน้ำแบบ FFS และแบบ NFS มีผลต่อประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผงรับรังสี แผง PV/T และประสิทธิภาพรวมของระบบ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 เงื่อนไขของอุณหภูมิแวดล้อม ในสถานะปกติ

1.3.2 ศึกษาแผงรับรังสีอาทิตย์แบบ ที่ต่อแบบขนานเท่านั้น

1.3.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 0.45 เมตร × 0.98 เมตร เป็นแบบผลึกเดี่ยว ซิลิกอน 50 วัตต์

1.3.3 ขนาดของแผงรับรังสีอาทิตย์ 0.67 เมตร × 0.98 เมตร

1.3.4 ใช้ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.009 เมตร

1.3.5 ทำการปรับมุมเอียงของแผงที่ 16°

1.3.6 ศึกษาผลความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแต่ละจุดโดยพิจารณาจากค่าความเข้มรังสีของดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในแต่ละจุด

1.3.7 ใช้ปั๊มน้ำกระแสดรง ในการควบคุมอัตราการไหลของน้ำแบบ FFS

1.3.8 ศึกษาเฉพาะประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบระบบการทำงานและการติดตั้งของแผง PV/T ที่ใช้ระบบไหลเวียนแบบบังคับและแบบธรรมชาติ

1.4.2 ได้ประสิทธิภาพของระบบที่ดีขึ้น

1.4.3 เป็นการสร้างองค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคนิค PV/T

1.4.4 ใช้พลังงานทดแทนให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพ รวมทั้งอนุรักษ์พลังงาน และสิ่งแวดล้อมโดยไม่มีมลภาวะ

1.4.5 เป็นแนวทางในการพัฒนาทปฏิบัติการด้านพลังงานในประเภทอื่นๆ

1.5 วิธีการดำเนินงานการทำปริญญานิพนธ์

1.5.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ออกแบบการทำงานของระบบ

1.5.3 ปรับปรุงระบบแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์

1.5.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนจาก 2 ระบบที่ได้ทำการศึกษา

1.5.5 สรุปผล

1.5.6 จัดทำรูปเล่มรายงานฉบับสมบูรณ์

1.6 สถานที่ทำปริญญานิพนธ์

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ส่วนที่เหลือจะกลายเป็นพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อันเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำลง ดังนั้น การทำการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จึงมีส่วนช่วยให้ประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดีขึ้น เทคนิคการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอาศัยของไหลเป็นตัวกลางในการนำความร้อนออกมา เป็นเทคนิคที่จะให้ของไหล ไหลผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้กับของไหล แล้วได้ของไหลที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นออกมา ซึ่งสามารถนำเอาไปใช้ในกระบวนการทางความร้อนอื่นๆ ได้ต่อไป

ลักษณะที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการผลิตความร้อนและไฟฟ้าร่วมกันดังกล่าว เรียกว่าแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม หรือ PV/T ของเหลวส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นตัวกลางระบายความร้อนได้แก่ น้ำและอากาศ ซึ่ง Prakash ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ PV/T ที่ใช้อากาศ และน้ำเป็นตัวกลาง (Prakash, 1994) พบว่า ตัวกลางในการนำความร้อนที่เป็นน้ำ จะมีประสิทธิภาพดีกว่าอากาศ และกรณีของไหลที่เป็นตัวกลางคือ อากาศ ก็จะเรียกแผงดังกล่าวว่า PVT/Air solar collector อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ (การใช้งานจริง) PVT/Air ได้รับความนิยมมากกว่าแบบอื่น เนื่องจากมูลค่าของระบบและค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาต่ำกว่า

หลักการของแผง PV/T นั้น ได้ถูกคิดค้นมา กว่า 30 ปีมาแล้ว โดย Florschuetz ได้ปรับปรุงสมการของ Whillier-Bliss เพื่อทำแบบจำลองการทำงานของแผง PV/T (Florschuetz, 1979) และ Raghuraman ได้คิดค้นแบบจำลองการทำงานของแผง PV/T ขึ้นมา ซึ่งอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อใช้น้ำและอากาศเป็นสารทำงาน (Raghuraman, 1981)

Jones และ Underwood (2001) ได้ทำการศึกษาระดับชั้นความร้อนของอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาพเงื่อนไขที่ไม่คงที่โดยคำนึงถึงเวลา พวกเขาได้ทำการทดลองสำหรับสภาพเงื่อนไขวันที่มีเมฆมากและวันที่ท้องฟ้าโปร่งใส พวกเขาสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แตกต่างกัน ในระยะ $27 - 52^{\circ}\text{C}$ สำหรับอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 24.5°C สาเหตุหลักๆ สำหรับการลดลงของประสิทธิภาพไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือปัจจัยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สูญเสียความต้านทานระหว่างเซลล์ติดต่อกัน 2 เซลล์ และอุณหภูมิของแผงเซลล์

แสงอาทิตย์ดังกล่าว ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าโดยรวมจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเพิ่มขึ้นได้ ด้วยการเพิ่มค่า PF (การจัด) และการลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Chow และคณะ (2006) ได้มีการสรุปว่าตัวรับรังสีโดยท่อในแผ่นโลหะบางที่มีการครอบกระจกอย่างเฉียว ถือว่าเป็นการออกแบบที่เป็นประโยชน์มากที่สุด เขายังสรุปอีกว่าการครอบบางส่วนของตัวรับรังสีที่เป็นแผ่นโลหะบางโดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะให้ความร้อนออกมาและไฟฟ้าที่ได้ออกมาดีกว่าจากระบบการทำน้ำร้อน PV/T เขาได้สรุปผลการค้นพบของพวกเขาบนพื้นฐานของการจำลองในอาคาร ดังนั้นมันจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ PV/T จากการดึงพลังงานที่สูญเสียกลับมาใช้ ซึ่งความสามารถของการแปลงพลังงานดังกล่าว อธิบายได้ด้วยปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ในสมัยที่ประเทศเมืองหนาวไม่สามารถปลูกพืชเมืองร้อนบางชนิดได้ มีการสร้างห้องกระจกปิด สำหรับรับแสงอาทิตย์ เพื่อปลูกต้นไม้ดังกล่าว กระจกจะสกัดกั้นกระบวนการพาความร้อนโดยลมหรืออากาศรอบเรือนกระจก ทำให้แทบจะไม่สูญเสียความร้อนออกจากเรือนกระจก ในขณะที่รังสีจากดวงอาทิตย์แผ่ทะลุกระจกใสได้ตลอดทั้งวัน ดังนั้นจึงเกิดสภาวะสะสมความร้อนภายในเรือนกระจก ต่อมาในปี ค.ศ. 1769 ชาวฝรั่งเศสชื่อ Da Saussure เป็นคนแรกที่คิดแปลงปรากฏการณ์เรือนกระจก มาสร้างอุปกรณ์เก็บรวบรวมความร้อนได้โดยใช้กล่องกระจกใส 5 กล่อง ซ้อนเก็บเป็น 1 กล่อง ซึ่งสามารถเก็บความร้อนได้อุณหภูมิถึง 160°C ที่กล่องในสุด ในปี ค.ศ. 1837 ที่แอฟริกาใต้ Sir John Herschel ได้ใช้แผ่นกระจก 2 แผ่นวางบนทรายทำให้ได้อุณหภูมิสูง 120°C สำหรับ ดัมไข่ ดัมเนื้อ ซึ่งถือเป็นจุดเริ่มต้น การใช้อุปกรณ์เก็บพลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

T.T. Chow และคณะ (Chow et al., 2007) ได้ทำการศึกษาสมรรถนะของแผง PV/T ที่ใช้น้ำเป็นตัวนำความร้อน โดยให้เกิดการไหลเวียนเองตามธรรมชาติในการศึกษาดังกล่าวได้สร้างแบบจำลองเพื่อประเมินการทำงานและหาปริมาณพลังงานที่ได้จากแผงดังกล่าว รวมทั้งใช้ในการหาจุดคุ้มทุนด้วย จากการศึกษาพบว่าแผง PV/T มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 12 ปี เร็วกว่าแผง PV ธรรมดา

2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.1 ความหมายของ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell หรือ PV)

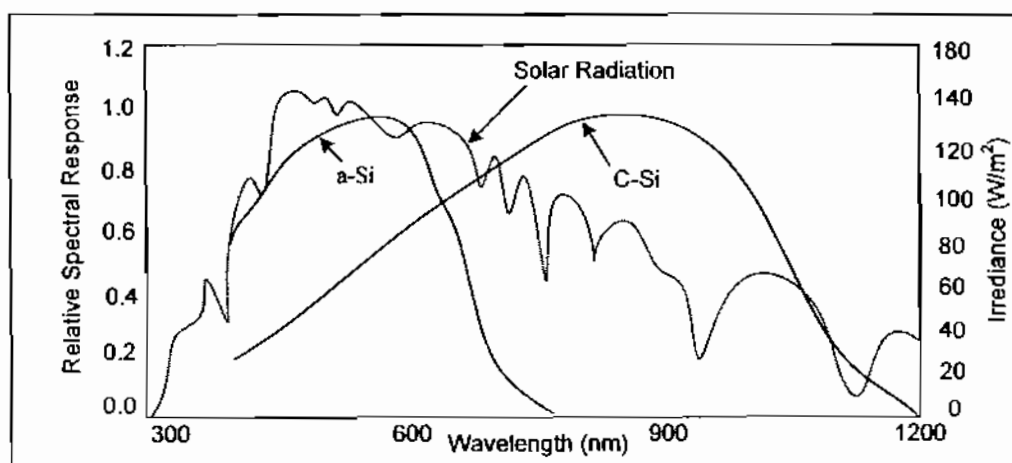
Solar Cell หรือ Photovoltaic (PV) มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงอาทิตย์หรือเซลล์สุริยะ เซลล์ photovoltaic ซึ่งต่างก็มีที่มาจากคำว่า Photovoltaic โดยแยกออกเป็น photo หมายถึง แสง และ volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วหมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้าง

ขึ้นมา จนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ และได้ถูกนำไปใช้เป็น แหล่งจ่ายพลังงานให้กับดาวเทียมในอวกาศ เมื่อ ปี ค.ศ. 1959 ดังนั้น สรุปได้ว่า

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลียม อาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium Phosphide), แคดเมียม เทลลูไรด์ (Cadmium Telluride) และคอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide) เป็นต้น ซึ่ง เมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า และจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถ ทำงานได้

2.2.2 ความยาวคลื่นแสงที่ใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

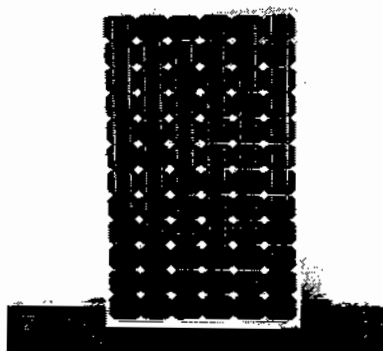
สำหรับแสงที่จะใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ได้นั้น ขอให้มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม กับชนิดของสารกึ่งตัวนำที่ทำเซลล์ ก็จะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ นั่นก็หมายความว่าไม่ จำเป็นต้องเป็นแสงอาทิตย์อย่างเดียว แสงจากแหล่งต่างๆ ในชีวิตประจำวันก็สามารถใช้ได้ อย่างไรก็ตามนอกจากช่วงพลังงานของแสงแล้วความเข้มของแสงก็เป็นสิ่งสำคัญ ถ้าความเข้มไม่ พอจำนวนประจุที่เกิดก็จะไม่มากพอที่จะนำมาใช้งานจริงได้ แสงจันทร์นั้นทั้ง ๆ ที่จริงก็คือแสง สะท้อนจากดวงอาทิตย์น่าจะใช้งานได้ แต่เพราะความเข้มของแสงจันทร์บนผิวโลกอ่อนมาก จึง นำมาใช้งานไม่ได้



ภาพประกอบ 2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับความไวต่อแสงในการเกิดประจุของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous Silicon (a-Si) และ Crystalline Silicon (c-Si)

2.2.3 รูปแสดงลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือ ที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell ลักษณะเป็นแผ่นซิลิคอนแข็งและบางมาก ข้อดีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือใช้วัสดุนิลกอนมากที่สุดในโลก และซิลิคอนมีราคาถูกเป็นวัตถุดิบ

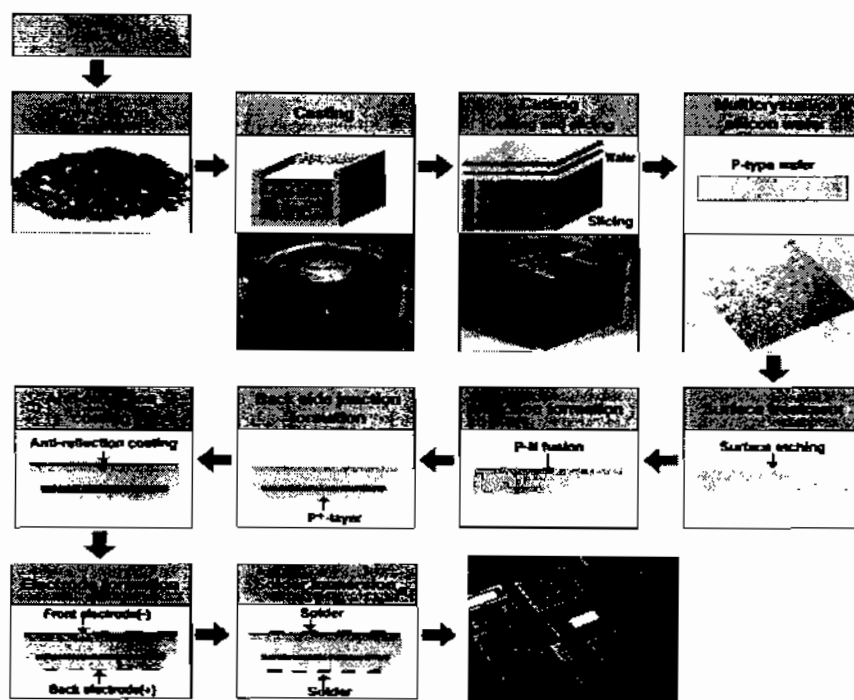


ภาพประกอบ 2.2 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว

2.2.4 โครงสร้างและส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.4.1 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปแล้ว มีลักษณะเป็นรอยต่อ P-N ของสารกึ่งตัวนำ ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบพีเอ็นของซิลิคอนโดยทั่วไป รอยต่อพีเอ็นสร้างมาจากการนำแผ่นผลึกซิลิคอนซึ่งเป็นฐานหนาประมาณ 300 ไมโครเมตร เข้าไปยังเตาแพร่สารที่มีสารเจือในรูปของก๊าซ สารเจือที่ใช้นี้จะต้องเป็นสารเจือที่ทำให้แผ่นผลึกซิลิคอนเป็นชนิดตรงข้ามกับชนิดที่จัดทำเป็นฐาน และให้สารเจือแพร่เข้าไปที่ผิวน้ำหนาประมาณ $0.2\ \mu\text{m}$ รอยต่อพีเอ็นนี้มีค่าต่ำๆ เพื่อต้องการให้แสงอาทิตย์ทะลุไปถึงรอยต่อมากที่สุด ด้านหลังของเซลล์ มีผิวสัมผัสโลหะฉาบปิดตลอดทั้งหมด เพื่อทำหน้าที่เป็นขั้วไฟฟ้า ส่วนสำหรับด้านหน้าของเซลล์ที่รับแสงอาทิตย์จะมีขั้วไฟฟ้าโลหะมีลักษณะเป็นตะแกรงหรือรูปนิ้วมือซึ่งปกคลุมผิวน้ำประมาณ 5% เพื่อให้แสงอาทิตย์ตกบนพื้นที่ Active Junctionมากที่สุดถัดจากขั้วโลหะนี้ เป็นชั้นของสารด้านการสะท้อนแสงหนาประมาณ 800-1000 Å สารที่ใช้เคลือบเพื่อด้านการสะท้อนแสง ได้แก่ซิลิคอนไดออกไซด์และแทนทาลัมออกไซด์ แล้วจึงนำเซลล์ไปห่อหุ้มให้มิดชิดเพื่อป้องกันการ Oxidation ของผิวสัมผัสโลหะที่เป็นเหตุให้ ผิวสัมผัสโลหะร้อนออกมาทำให้เซลล์เกิดวงจรเปิดขึ้น



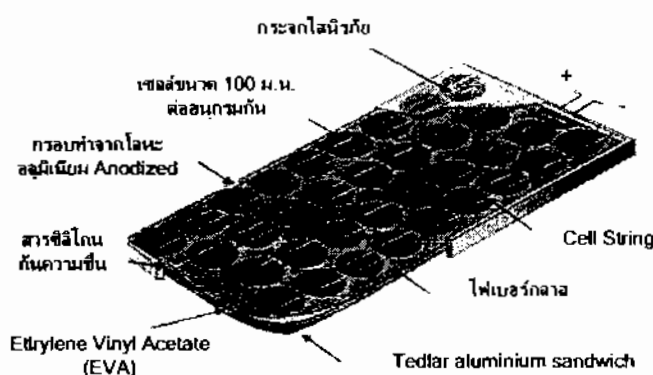
ภาพประกอบ 2.3 โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนที่กล่าวมา เป็นรอยต่อ P-N แบบโฮโมจังก์ชัน (Homojunction) เพราะสารกึ่งตัวชนิด P และสารกึ่งตัวชนิด N ก็ทำมาจากซิลิกอนเหมือนกัน โครงสร้างรอยต่อ P-N ของเซลล์แสงอาทิตย์อีกลักษณะหนึ่งอาจจะใช้สารกึ่งตัวนำชนิด P และชนิด N ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำที่แตกต่างกันรอยต่อ P - N แบบนี้เป็นแบบ heterojunction เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากแคลเมียมซิลไฟด์นอกจากโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์แบบรอยต่อ P-N แล้ว ยังมีโครงสร้างรอยต่อแบบชนิดกึ่ง แบรีเออร์ ซึ่งเป็นรอยต่อระหว่างโลหะและสารกึ่งตัวนำนอกจากนี้ แล้ว เซลล์แสงอาทิตย์อาจมีโครงสร้างเป็นลักษณะฟิล์มบาง ซึ่งมีสารกึ่งตัวนำ ชนิด P และชนิด N ในลักษณะฟิล์มบางสลับกันไปบนฐานวัสดุอื่น ๆ แนวโน้มในอนาคตเซลล์แสงอาทิตย์คงมีลักษณะเป็นฟิล์มบางเพื่อลดต้นทุนในการผลิต

2.2.4.2 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์ มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module หรือ

Solar Panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กดำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดี และยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์จะต้องมีการ ป้องกันความชื้นที่ดีมาก เพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งกลางฝนเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น จีลิโคนและ อีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์ จึง ต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง แต่บางครั้งก็อาจไม่มีความจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (laminate) ซึ่งสะดวกในการติดตั้ง



ภาพประกอบ 2.4 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

2.2.5 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

- ใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ
- เป็นการนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่าและไม่วันหมดไปจากโลกนี้
- สามารถนำไปใช้เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ทุกพื้นที่บนโลก และได้พลังงานไฟฟ้าใช้โดยตรง
- ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงอื่นใดนอกจากแสงอาทิตย์ รวมถึงไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ
- ไม่เกิดของเสียขณะใช้งาน จึงไม่มีการปล่อยมลพิษทำลายสิ่งแวดล้อม
- ไม่เกิดเสียงและไม่มีการเคลื่อนไหวขณะใช้งาน จึงไม่เกิดมลภาวะด้านเสียง

- เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และไม่มีชิ้นส่วนใดที่มีการเคลื่อนไหวขณะทำงานจึงไม่เกิดการสึกหรอ
- ต้องการการบำรุงรักษาน้อยมาก
- อายุการใช้งานยืนยาวและประสิทธิภาพคงที่
- มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายสะดวกและรวดเร็ว
- เนื่องจากมีลักษณะเป็น โมดูล จึงสามารถประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ
- ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศเช่น คาร์บอนมอนอกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไฮโดรคาร์บอน และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ฯลฯ ซึ่งเป็นผลจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงจำพวกน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปฏิกิริยาเรือนกระจก ทำให้โลกร้อนขึ้น เกิดฝนกรด และอากาศเป็นพิษ ฯลฯ

2.3 การคำนวณเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในส่วนนี้จะอธิบายถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะที่วงจรอยู่ในสภาวะวงจรปิด แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งทำให้ได้กระแสไฟฟ้าวงจรปิด (short circuit current, I_{sc}) มีค่าเท่ากับกระแสโฟโต (Photo current, I_{ph}) และเนื่องจากกระแสโฟโตจะเป็นสัดส่วนกันกับค่าความรับอาบรังสี (E) ดังนั้นค่า I_{sc} จึงนิยามเป็น

$$I_{sc} \approx I_{ph} = c_o \cdot E$$

ค่า I_{sc} จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น อุณหภูมิมาตรฐานที่ใช้ในการระบุค่า I_{sc} อยู่ที่ 25°C ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (temperature coefficient, $\alpha_{I_{sc}}$) ของ I_{sc} จะใช้ในการประเมินค่า I_{sc} ณ อุณหภูมิใดๆ โดย

$$I_{sc}(T_2) = I_{sc}(T_1) \cdot (1 + \alpha_{I_{sc}} \cdot (T_2 - T_1)) \quad (2.1)$$

สำหรับกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากผลึกซิลิคอนนั้น ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ ($\alpha_{I_{sc}}$) ของเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว จะมีค่าอยู่ระหว่าง $10^{-1}/^{\circ}\text{C}$ และ $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$

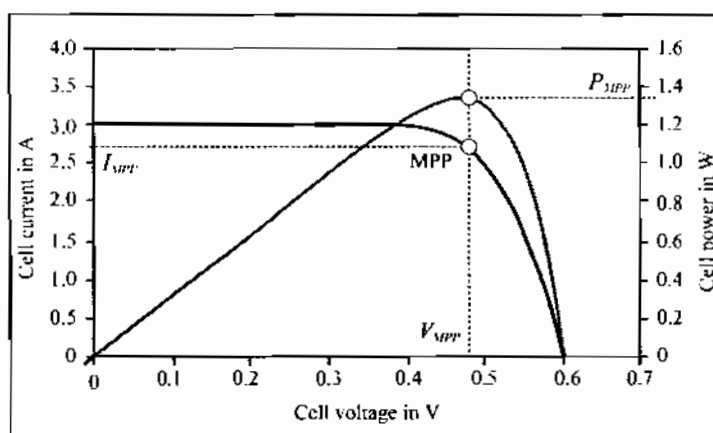
ในขณะที่กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์ เซลล์แสงอาทิตย์จะอยู่ในสภาวะวงจรเปิด ในลักษณะดังกล่าว ทำให้แรงดันไฟฟ้าของเซลล์ (V) จะกลายเป็นแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (open circuit voltage, V_{oc}) และกระแสโฟโต (I_{ph}) ก็จะกลายเป็นกระแสไฟฟ้าวงจรปิด (I_{sc}) จากความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าในรูปวงจรสมมูล จะทำให้สมการของ V_{oc} เมื่อ I มีค่าเป็นศูนย์ คือ

$$V_{oc} = m \cdot V_T \cdot \ln \left(\frac{I_{sc}}{I_s} + 1 \right) \quad (2.2)$$

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าวงจรปิด (I_{sc}) เป็นสัดส่วนกันกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (E) นั่นคือค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะขึ้นกับ $\ln(E)$ ดังนั้น

$$V_{oc} \cong \ln(E) \quad (2.3)$$

สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ V_{oc} หรือ $\alpha_{V_{oc}}$ จะมีเครื่องหมายตรงข้ามกับ $\alpha_{I_{sc}}$ สำหรับซิลิคอนเซลล์แสงอาทิตย์ $\alpha_{V_{oc}}$ จะอยู่ระหว่าง $-3.0 \times 10^{-3} / ^\circ C$ ถึง $-5.0 \times 10^{-3} / ^\circ C$ ซึ่ง V_{oc} จะมีค่าลดลงเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของ I_{sc} เซลล์แสงอาทิตย์จะให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดออกมาที่แรงดันไฟฟ้ากำหนดในภาพประกอบที่ 2.7 แสดงคุณสมบัติของกระแส แรงดัน และกำลัง -ไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้จากกราฟดังกล่าวจะเห็นได้ว่า มีจุดหนึ่งบนเส้นกราฟ ที่แสดงถึงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเรียกจุดนี้ว่า “จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด” (maximum power point, MPP) โดยแรงดันไฟฟ้าที่จุด MPP หรือที่ใช้ตัวย่อเป็น V_{MPP} จะน้อยกว่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด V_{oc} และค่ากระแสไฟฟ้าที่จุด MPP หรือ I_{MPP} ก็จะมีค่าต่ำกว่ากระแสไฟฟ้าวงจรปิด (I_{sc}) ณ จุด MPP โดยคุณสมบัติของกระแสและแรงดันไฟฟ้า ที่สัมพันธ์กับค่าความรับอาบรังสีและอุณหภูมิ จะเป็นเช่นเดียวกับกรณีของ I_{sc} และ V_{oc} ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้น จะหาได้จากสมการ 2.4



ภาพประกอบที่ 2.5: ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์
ที่จุด MPP

$$P_{MPP} = V_{MPP} \cdot I_{MPP} < V_{oc} \cdot I_{sc} \quad (2.4)$$

เนื่องจากสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดันจะสูงกว่ากระแส ดังนั้นสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของ P_{MPP} ($\alpha_{P_{MPP}}$) จึงติดลบ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง $-3.0 \times 10^{-3}/^{\circ}C$ และ $-6.0 \times 10^{-3}/^{\circ}C$ และหากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น $25^{\circ}C$ จะทำให้กำลังไฟฟ้าลดลง 10 เปอร์เซ็นต์

ในกรณีที่ต้องเปรียบเทียบระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น เทอมของค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{MPP}) จะทำการวัดภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานการวัด (standard test condition, STC) นั่นคือ ค่าความรับอาบรังสี (E) เท่ากับ $1,000 \text{ W/m}^2$ อุณหภูมิแวดล้อม (T) เท่ากับ $25^{\circ}C$ มวลอากาศ (air mass, AM) เท่ากับ 1.5

ขณะที่ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในบางครั้งนั้น พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมาได้จะมีค่าต่ำกว่าที่วัดได้ ณ STC หน่วยของกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ ณ STC คือกำลังสูงสุด (Watt peak, Wp) กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่ารังสีอาทิตย์อย่างชัดเจน ดังนั้น กำลังไฟฟ้า ณ จุด MPP ก็เป็นสัดส่วนกับค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เช่นเดียวกัน นอกจากนี้ ก็ยังมีตัวแปรอื่นๆ ได้แก่ ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (fill factor, FF) ซึ่งนิยามดังสมการ 2.5 คือ

$$F.F. = \frac{P_{MPP}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.5)$$

V_{MPP} คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V)

I_{MPP} คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุด (A)

V_{oc} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V)

I_{sc} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าวงจรปิด (A)

ฟิลล์แฟคเตอร์จะใช้ในการระบุถึงคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอาศัยกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและ แรงดันไฟฟ้า (I-V curve) ปกติแล้วฟิลล์แฟคเตอร์ จะมีค่าอยู่ที่ 0.75-0.85 ซึ่งประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น สามารถคำนวณได้จาก

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{E \cdot A} = \frac{FF \cdot V_{oc} \cdot I_{sc}}{E \cdot A} \quad (2.6)$$

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์ปกติจะหาได้ภายใต้เงื่อนไขของ STC ตารางที่ 2.1 จะพอสรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ระบุคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

Name	Symbol	Unit	Remarks
Open circuit voltage	V_{oc}	V	$V_{oc} \cong \ln(E)$
Short circuit voltage	I_{sc}	A	$I_{sc} \approx I_{ph} \cong E$
MPP voltage	V_{MPP}	V	$V_{MPP} < V_{oc}$
MPP current	I_{MPP}	A	$I_{MPP} < I_{sc}$
MPP power	P_{MPP}	W or W_p	$P_{MPP} = V_{MPP} \cdot I_{MPP}$
Fill factor	FF	-	$FF = P_{MPP} / (V_{oc} \cdot I_{sc}) < 1$
Efficiency	η	%	$\eta = P_{MPP} / (E \cdot A)$

ตารางที่ 2.1: ตัวแปรทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

2.4 เซลล์แสงอาทิตย์กับอุณหภูมิ และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

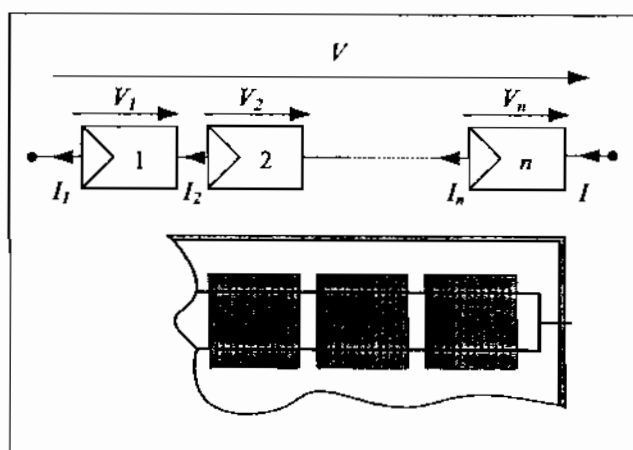
โดยปกติแล้วเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถทำงานเดี่ยวๆ ได้ด้วยตัวเองเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าของเซลล์มีค่าต่ำมาก จึงต้องต่อหลายๆ เซลล์เข้าด้วยกันประกอบกัน เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน หรืออนุกรม – ขนาน แล้วแต่ลักษณะของการใช้งาน

ปกติแผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผง จะให้แรงดันไฟฟ้าออกมา 12 V เพื่อให้เพียงพอต่อการประจุแบตเตอรี่ขนาด 12 V นั่นเอง ซึ่งในลักษณะดังกล่าว เซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 33 – 40 เซลล์ จะถูกต่อเข้าด้วยกันแบบอนุกรมใน 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับกรณีของระบบผลิตไฟฟ้าด้วย

เซลล์แสงอาทิตย์ ที่เชื่อมต่อเข้ากับระบบสายส่งของการไฟฟ้า แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากจะ
 ต่อกันแบบอนุกรม เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงๆ ออกมา

ในการต่ออนุกรมนั้น กระแสไฟฟ้า I ที่ไหลผ่านแต่ละเซลล์จะเท่ากันตลอด ตามกฎของ
 เกียร์ชโฮฟฟ์ (Kirchhoff's law) ดังรูปที่ 2.2 ส่วนแรงดันไฟฟ้า V จะสามารถนำมารวมกันเพื่อให้ได้
 แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์ที่สูงขึ้น

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n \quad (2.7)$$



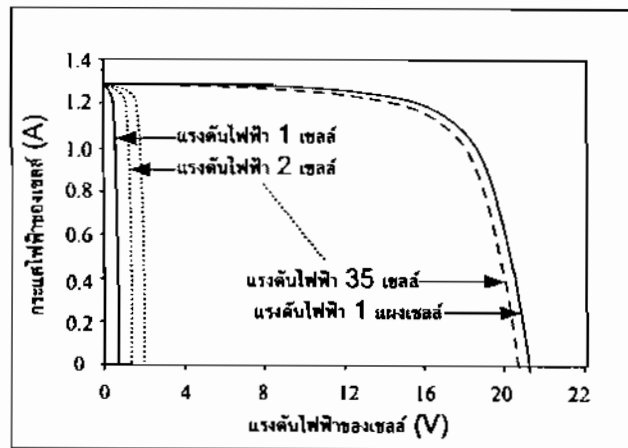
ภาพประกอบที่ 2.6: การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม

$$V = \sum_{i=1}^n V_i \quad (2.8)$$

เมื่อกำหนดว่าเซลล์แสงอาทิตย์ทุกเซลล์ มีลักษณะเหมือนกันและอุณหภูมิของเซลล์แต่ละ
 เซลล์เท่ากัน ดังนั้นแรงดันไฟฟ้ารวมจะเป็น

$$V = n \cdot V_i \quad (2.9)$$

คุณลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V curve) สำหรับเซลล์
 แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมกัน ได้แสดงไว้ในภาพประกอบที่ 2.11



ภาพประกอบที่ 2.7: คุณลักษณะของกระแส และแรงดันไฟฟ้าของเซลล์จำนวนต่างๆ กัน

ข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากผู้ผลิต จะระบุถึงคุณสมบัติของแผงมาบางค่าเท่านั้น อาทิเช่น V_{oc0} , V_{sc0} , V_{MPP0} โดยค่าเหล่านี้ ได้จากการวัดที่เงื่อนไขสภาวะมาตรฐาน (STC, $E_{1,000} = 1,000 \text{ W/m}^2$, $T_{25} = 25^\circ \text{C}$) รวมไปถึงค่า α_v และ α_i ซึ่งก็คือค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดันและกระแสไฟฟ้าตามลำดับ ในการประเมินค่าสมรรถนะ (performance) ของเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จะใช้สมการเหล่านี้

$$V_{oc} = V_{oc0} \cdot \frac{\ln(E)}{\ln(E_{1,000})} \cdot (1 + \alpha_v(T - T_{25})) \quad (2.10)$$

$$V_{MPP} = V_{MPP0} \cdot \frac{\ln(E)}{\ln(E_{1,000})} \cdot (1 + \alpha_v(T - T_{25})) \quad (2.11)$$

$$I_{MPP} = I_{MPP0} \cdot \frac{E}{E_{1,000}} \cdot (1 + \alpha_i(T - T_{25})) \quad (2.12)$$

$$I_{sc} = I_{sc0} \cdot \frac{E}{E_{1,000}} \cdot (1 + \alpha_i(T - T_{25})) \quad (2.13)$$

ซึ่งสมการต่างๆ ดังกล่าว จะใช้ในการประเมินหาค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่อุณหภูมิ และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ต่างๆ กัน โดยตัวแปร

$$c_1 = I_{sc} \cdot \exp(-c_2 \cdot V_{oc}) \quad (2.14)$$

$$c_2 = \frac{\ln\left(1 - \frac{I_{MPP}}{I_{sc}}\right)}{(V_{MPP} - V_{oc})} \quad (2.15)$$

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส I และแรงดันไฟฟ้า V แผงเซลล์แสงอาทิตย์หาได้จาก

$$I = I_{sc} - c_1 \cdot \exp(c_2 \cdot V) \quad (2.16)$$

2.5 หลักพื้นฐานทางกายภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์

แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบ ไม่ใช้ทำงานได้ภายใต้สภาวะฟ้าใสแดดจ้าเท่านั้น แต่ในสภาวะมีเมฆปกคลุม ในวันหนึ่งๆ ซึ่งอาจจะกินเวลาหลายชั่วโมง ก็ยังสามารถทำงานให้ความร้อนออกมาได้ เพราะในสภาวะแดดไม่จ้ามีเมฆบังก็ยังมีรังสีแสงอาทิตย์แบบกระจาย ตกกระทบแผงรับรังสีชนิดแผ่นราบได้และที่สำคัญ แม้รังสีแสงอาทิตย์แบบกระจายจะมีความเข้มต่ำกว่ารังสีแสงอาทิตย์แบบตรงมาก แต่ผลรวมของแสงแต่ละส่วนที่กระจัดกระจายเข้ามากระทบแผงรับรังสีแผ่นราบก็จะถูกรวบรวม ได้ด้วยแผงรับแบบราบนี้ สำหรับประสิทธิภาพของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบจะขึ้นกับหลายปัจจัย เช่น ขนาดและรูปแบบของแผง ความเข้มของแสงอาทิตย์ ภาวะอากาศ อุณหภูมิต่ำสุด ความร้อนที่ต้องการ และอัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ เป็นต้น ประสิทธิภาพจึงได้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดในแต่ละชั่วโมง แผงรับชนิดแผ่นราบต้องใช้เวลาพอสมควรในช่วงเช้ากว่าที่จะให้ความร้อนเต็มที่ ก็ต้องหลังเที่ยงไปแล้ว ในสภาวะการใช้งานปกติ ประสิทธิภาพทั้งหมดของแผงรับรังสีชนิดแผ่นราบ โดยทั่วไปเป็นผลคูณของค่าประสิทธิภาพทางแสง (Optical Efficiency) กับค่าประสิทธิภาพทางความร้อน (Thermal Collection Efficiency) จะไม่ขึ้นกับอุณหภูมิทำงานและความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ แต่จะขึ้นกับมุมตกกระทบที่แสงทำกับแผ่นราบ ปัจจุบันของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบจะอยู่ในช่วง 75-80 % ถ้าใช้กระจกใสที่หาได้ง่ายซึ่งมีสัมประสิทธิ์ในการส่งผ่านแสง = 85 %

โดยทั่วไป สมรรถนะการทำงานของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ ชนิดแผ่นราบจะขึ้นกับสถานที่ติดตั้ง เช่น ประสิทธิภาพที่มีเมฆปกคลุมจะต่ำกว่าในวันฟ้าโปร่ง จึงต้องพิจารณาด้วยความรอบคอบ และต้องคำนึงถึงข้อมูลของสภาวะอากาศอยู่ตลอดเวลาที่ใช้งาน

2.6 โครงสร้างของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบ

แผงรับรังสีแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบ เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยไม่ทำให้โลกเสียสมดุลทางความร้อน หลักการของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบ สอดคล้องกับการอนุรักษ์พลังงานอย่างสมบูรณ์แบบ เนื่องจากสามารถเก็บรวบรวมพลังงานความร้อน แม้มีเมฆบังแสงอาทิตย์ก็ตามและมีโครงสร้างที่ป้องกันการสูญเสียความร้อน โดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 ทาง คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โครงสร้างของแผงรับรังสีแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นราบ ประกอบไปด้วย

- **แผ่นดูดกลืน ทาสีดำ** โดยมากมักเป็นแผ่นสี่เหลี่ยม ขนาดของพื้นที่จะเป็นตัวกำหนดปริมาณพลังงานความร้อนที่ได้ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นดูดกลืน ใดๆ จะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนแล้วถ่ายเทด้วยการนำความร้อนไปยังท่อโลหะที่เชื่อมติดกัน
- **ท่อน้ำ** เป็นท่อโลหะที่มีคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี เช่น ทองแดง อลูมิเนียม วางเป็นแนวให้สามารถรับการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการนำความร้อนแล้วถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำในท่อด้วยวิธีการพาความร้อน น้ำจะเป็นตัวกลางนำพลังงานความร้อนไปใช้
- **กระจกใส** วางเหนือแผ่นดูดกลืน ทำหน้าที่ปิดช่องทางการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการพาความร้อน ตัวแผ่นกระจกใส ต้องไม่ดูดกลืนรังสี หรือ สะท้อนรังสี ควรสามารถส่งผ่านคลื่นรังสีไปยังแผ่นดูดกลืนมากที่สุด
- **ฉนวนกันความร้อน** ใช้สำหรับบุและอุดแทนที่ช่องว่าง บริเวณด้านล่างของแผ่นดูดกลืน เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียความร้อนทางด้านล่างและด้านข้าง
- **ของไหลที่ใช้พาความร้อนไปใช้ประโยชน์** มีอยู่ 2 ชนิด คือ ของเหลว เช่น น้ำ มีความจำเป็นต้องไหลไปตามท่อ ส่วนอีกชนิด คือ อากาศ ซึ่งจะพาความร้อนเหนือแผ่นดูดกลืนไปใช้ประโยชน์
- **กรอบโครงสร้าง** สำหรับบรรจุโครงสร้างทั้งหมด ให้เป็นอุปกรณ์เดียว

การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์จะอาศัยความร้อนที่ได้รับไว้โดยแผงรับรังสีชนิดแผ่นราบ ไปทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ด้วยอุปกรณ์ที่เรียกว่า เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ในกรณีนี้ การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์มีการถ่ายเทผ่านพื้นที่ที่ไม่มีการปิดบังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และสุดท้ายจะมีการดูดซับโดยตัวดูดซับที่มีสีดำ ยิ่งไปกว่านั้นพลังงานความร้อนที่สัมพันธ์กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการถ่ายเทสู่ตัวดูดซับโดยการพาความร้อนสำหรับการให้ความร้อนต่อไป น้ำที่อยู่ใต้ตัวดูดซับจะร้อนขึ้นและจะเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบนดังกลไกการทำงานที่แสดงในภาพประกอบที่ 2.12

2.7 การคำนวณเกี่ยวกับแผงรับรังสีอาทิตย์

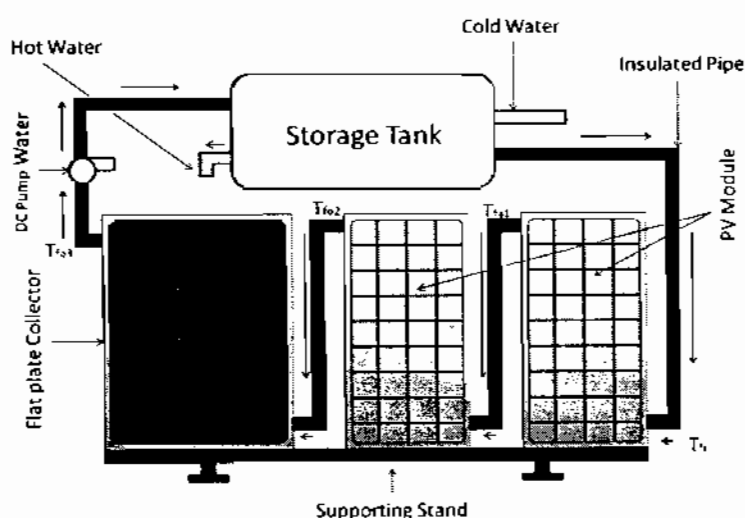
การคำนวณเกี่ยวกับแผงรับรังสีอาทิตย์มีดังนี้ (Dubey and Tiwari,2008)

- อัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$\dot{Q}_{u,m} = A_m F_{Rm} (PF(\alpha\tau)_{m,eff} I(t) - U_{L,m} (T_f - T_a)) \quad (2.17)$$

- ประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$\eta_i = F_{Rm} \left(PF(\alpha\tau)_{m,eff} - U_{L,m} \frac{(T_f - T_a)}{I(t)} \right) \quad (2.18)$$



ภาพประกอบที่ 2.8: ระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบ PV/T Solar collector

โดย $\dot{Q}_{u,m}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากแผง PV/T A_m คือ พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ F_{Rm} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (heat removal factor) PF คือค่า packing factor (เท่ากับ 0.965) α_{eff}

คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีความร้อน (absorbance coefficient) $T_{m,eff}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่าน (transmittance) $I(t)$ คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ $U_{L,m}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของแผง PV/T T_{fi} คือ ค่า อุณหภูมิน้ำขาเข้าแผง PV/T T_u คือ อุณหภูมิแวดล้อม

- อัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์

$$\dot{Q}_{u,c} = A_c F_{Rc} ((\alpha\tau)_{c,eff} I(t) - U_{L,c} (T_{f,2} - T_a)) \quad (2.19)$$

- ประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์

$$\eta_i = \frac{\dot{Q}_{u,m}}{N_c A_c I(t)} \quad (2.20)$$

โดย $\dot{Q}_{u,c}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากแผง PV/T A_c คือ พื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์ N_c คือ จำนวนแผง F_{Rc} คือ ค่าการถ่ายเทความร้อน (heat removal factor) $(\alpha\tau)_{c,eff}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีความร้อน (absorbance coefficient) $T_{c,eff}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่าน (transmittance) $I(t)$ คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ $U_{L,c}$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของแผง $T_{f,2}$ คือ ค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์ T_u คือ อุณหภูมิแวดล้อม

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยชิ้นนี้ ได้แบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนของการปรับปรุงระบบ และส่วนของการทำทดลองระบบ โดยมีรายละเอียดของงานแต่ละขั้นดังนี้

3.2 การปรับปรุงระบบ

ได้ปรับปรุงเพิ่มเติม แผง PV/T- solar collector และส่วนอื่นๆ ที่ชำรุด โดยมีรายละเอียดของการสร้างส่วนต่างๆดังนี้

3.2.1 แผง PV/T

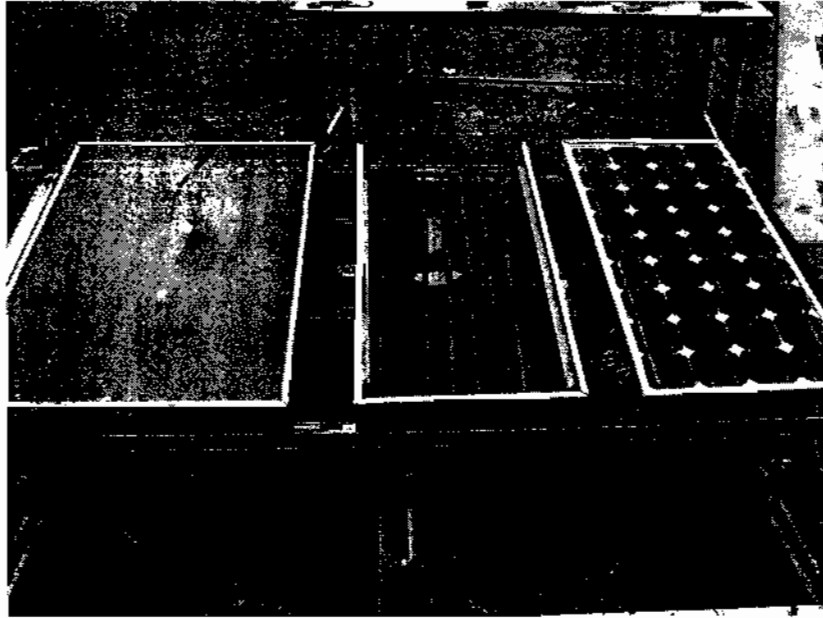
แผง PV/T คือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกปรับปรุงให้สามารถผลิตทั้งไฟฟ้าและความร้อนรวมกันได้ โดยในการศึกษานี้ ได้ทำการติดท่อทองแดงขนาด 6 หุนเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และให้น้ำไหลเวียนให้น้ำเข้าไปรับเอาความร้อนจากแผง PV/T ขนาดของแผงเซลล์อาทิตย์ที่ใช้ มีขนาด 0.45×0.98 ตารางเมตร จำนวน 2 แผง เป็นชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{max}) เท่ากับ 22 โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 3 แอมป์ ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) มีค่าเท่ากับ 0.85 เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้พอกับขนาดของ pump ซึ่งขนาด 150 W แรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 10 แอมป์ ลักษณะของแผง PV/T ดังแสดงในรูป 3.1

3.2.2 แผงรังสีอาทิตย์

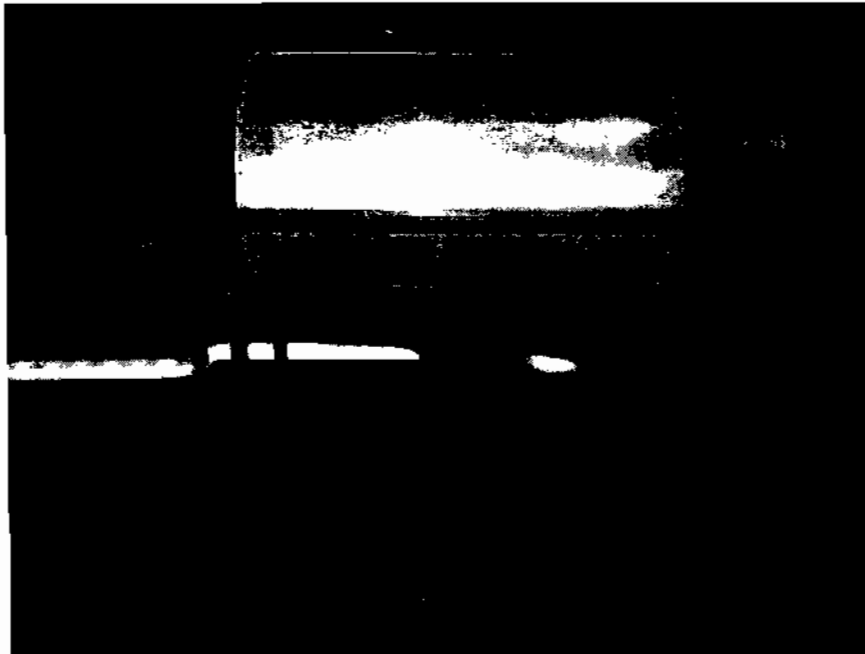
แผงรังสีอาทิตย์มีขนาดเท่ากับ 0.67×0.98 ตารางเมตร โครงสร้างของแผ่นเป็นอลูมิเนียม ประกอบด้วยฉนวนกับความร้อนด้านข้างหนา 8 มิลลิเมตร และด้านล่างของแผงหนา 1.5 นิ้ว แผ่นรับรังสีเป็นสังกะสีพ่นสีดำ โดยท่อน้ำร้อนเป็นท่อทองแดง ขนาด 6 หุน ค่อกันแบบขนาน เชื่อมติดด้านล่างของแผงรังสีอาทิตย์ ด้านบนปิดด้วยแผ่นกระจกใส หนา 5 มิลลิเมตร โดยมีระยะระหว่างแผ่นกระจกและแผ่นรับรังสี 10 เซนติเมตร

3.2.3 ถังเก็บน้ำร้อน

ถังเก็บน้ำร้อน มีขนาด 25 ลิตร โดยมีช่องน้ำเย็นเข้า ช่องน้ำไหลเข้าสู่แผง PV/T ช่องน้ำร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์เข้าสู่ถัง และช่องระบายน้ำร้อนเปิดน้ำไปใช้งาน โดยถังน้ำดังกล่าว มีการหุ้มฉนวนหนา 3 เซนติเมตร ลักษณะของถังน้ำร้อนดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.1: แผง PV/T ใช้น้ำเวียนรับความร้อน



รูปที่ 3.2: ถังเก็บน้ำร้อน

3.3 การทดลองระบบ

อุปกรณ์แต่ละส่วนข้างต้น ได้นำมาประกอบกันเข้าเป็นระบบผลิตน้ำร้อนแบบผสมผสานระหว่างแผง PV/T และแผงรับรังสีอาทิตย์ (solar collector) โดยน้ำเย็นจากถังเก็บจะไหลเวียนไปรับความร้อนจากแผง PV/T ก่อนแล้ว หลังจากนั้นก็ไหลเข้าสู่แผง PV/T เพื่อรับความร้อนขั้นที่สองจากแผงรับรังสีอาทิตย์ ก่อนที่จะเข้าสู่ถังเก็บน้ำ โดยการไหลเวียนของน้ำภายในระบบใช้ปั๊มน้ำเพื่อช่วยให้เกิดการไหลเวียนดีขึ้น

ตัวแปรที่ทำการวัดในการทดลองระบบมีดังนี้คือ

- อุณหภูมิน้ำขาเข้า
- อุณหภูมิเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์₁
- อุณหภูมิอากาศภายใน PV/T₁
- อุณหภูมิน้ำขาออก PV/T₁
- อุณหภูมิเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์₂
- อุณหภูมิอากาศภายใน PV/T₂
- อุณหภูมิน้ำขาออก PV/T₂
- อุณหภูมิน้ำในถังเก็บ
- อุณหภูมิอากาศภายในแผงรับรังสีอาทิตย์
- อุณหภูมิผิวกระจกของแผงรับรังสีอาทิตย์
- ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์
- กระแสไฟฟ้าวงจรปิด (I_{sc}) และค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc})

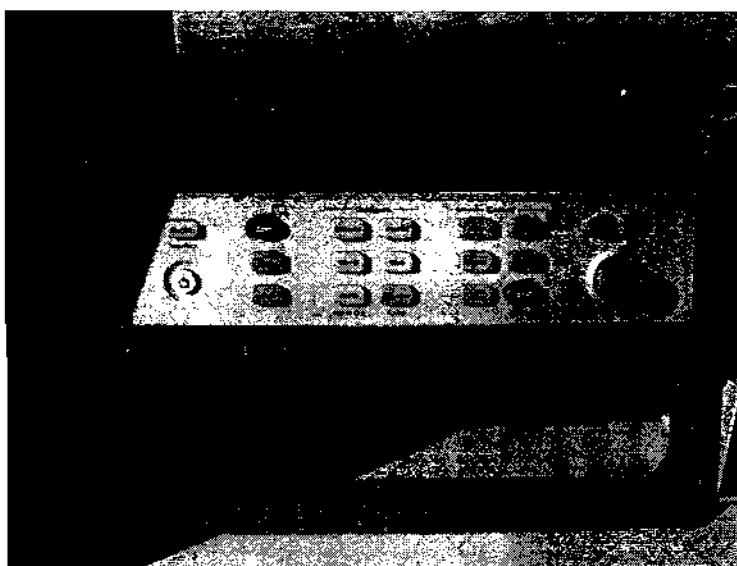
ลักษณะการวัดตัวแปรต่างๆข้างต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.5

3.3.1 สถานที่ทำการทดลอง

ในการศึกษานี้ ได้ทำการทดลองที่ภาควิชาฟิสิกส์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ซึ่งอยู่ละติจูดที่ 16 องศาเหนือ (อ้างอิงจาก Google Maps ที่ละติจูดที่ 16.246 องศาเหนือ ลองจิจูดที่ 103.250 องศา) โดยพื้นที่ๆ ทำการทดลองเป็นที่โล่ง ไม่มีการบดบังของแสงระหว่างทำการทดลอง สภาพท้องฟ้าขณะทดลอง มีเมฆเล็กน้อย รูปที่ 3.4 แสดงให้เห็นถึงสภาพท้องฟ้าและบริเวณที่ทำการทดลอง



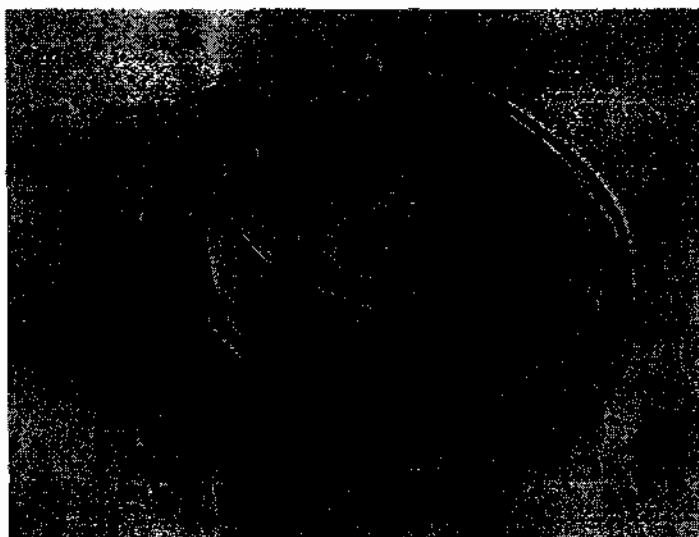
รูปที่ 3.4 : สภาพท้องฟ้าและบริเวณที่ทำการทดลอง



รูปที่ 3.5 : เครื่องบันทึกข้อมูล Agilent data logger



รูปที่ 3.6 : ชุดคอมพิวเตอร์เพื่อจัดการและบันทึกข้อมูล



รูปที่ 3.7 : สายเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K



รูปที่ 3.8 : เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.9: เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า HP multimeter model 973A

- เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า ที่ 3.8
- เครื่องวัดกระแสแรงดันไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและกระแสไฟฟ้าวงจรปิดที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถูกทำการวัดโดยใช้เครื่องมือของ Hewlett Packard multimeter model 973A ดังรูปที่ 3.9

3.3.3 ขั้นตอนการวัดผล

สำหรับขั้นตอนการวัดผลการทดลองนั้น หลังจากที่ได้ติดตั้งแผงรังสีอาทิตย์และแผง PV/T ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยให้แผงทำมุมเอียงคั้งแค่มุม 16° วางในแนวเหนือใต้เพื่อให้สามารถรับรังสีตรงได้มากที่สุดแล้ว สายเทอร์โมคัปเปิ้ลก็ได้ถูกทำการติดตั้งเข้าที่ตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ตำแหน่งวันค่าอุณหภูมิแวดล้อม (T_a) ตำแหน่งวัดค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผง PV/T (T_{e1}) ตำแหน่งอุณหภูมิของ PV/T ($T_{pv/T}$) ตำแหน่งอุณหภูมิน้ำเข้าแผง PV/T (T_{e1}) ตำแหน่งอุณหภูมิแผงรับรังสีอาทิตย์ (T_c) และตำแหน่งอุณหภูมิน้ำออกแผงรังสีอาทิตย์ (T_{e2}) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยสายเทอร์โมคัปเปิ้ลจะต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล ที่เชื่อมต่ออยู่กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ต RS-232 ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ค่ากระแสไฟฟ้าวงจรปิดและค่าอื่นๆ ดังที่ได้กล่าวมาก่อนหน้านี้ ได้ถูกทำการบันทึกค่าทุกๆ 10 นาที ตลอดช่วงเวลากลางวันตั้งแต่เวลา 08.00 – 17.00 น.

3.4 การเปรียบเทียบค่าสายเทอร์โมคัปเปิ้ลกับเทอร์โมมิเตอร์

การการเปรียบเทียบค่าสายเทอร์โมคัปเปิ้ลกับเทอร์โมมิเตอร์นี้ ใช้น้ำ ณ อุณหภูมิน้ำร้อน น้ำแข็ง เป็นตัวทำการเปรียบเทียบ ผลต่างจากอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งสองอยู่ที่ 1.5°C ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าการเปรียบเทียบระหว่างเทอร์โมคัปเปิ้ลกับเทอร์โมมิเตอร์

ชนิด	อุณหภูมิน้ำร้อน				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
เทอร์โมคัปเปิ้ล	90.531	90.53	90.524	90.325	90.321
เทอร์โมมิเตอร์	95.5	95.5	95.4	95.4	95.4
ชนิด	อุณหภูมิน้ำแข็ง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5
เทอร์โมคัปเปิ้ล	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
เทอร์โมมิเตอร์	0.095	0.094	0.096	0.094	0.095



รูปที่ 3.10: ภาพการวัดความคลาดเคลื่อนอุปกรณ์

จากการทดลองพบว่าการวัดโดยเทอร์โมคัปเปิ้ล Type K มีความคลาดเคลื่อน จากการวัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท 5.2 %

บทที่ 4

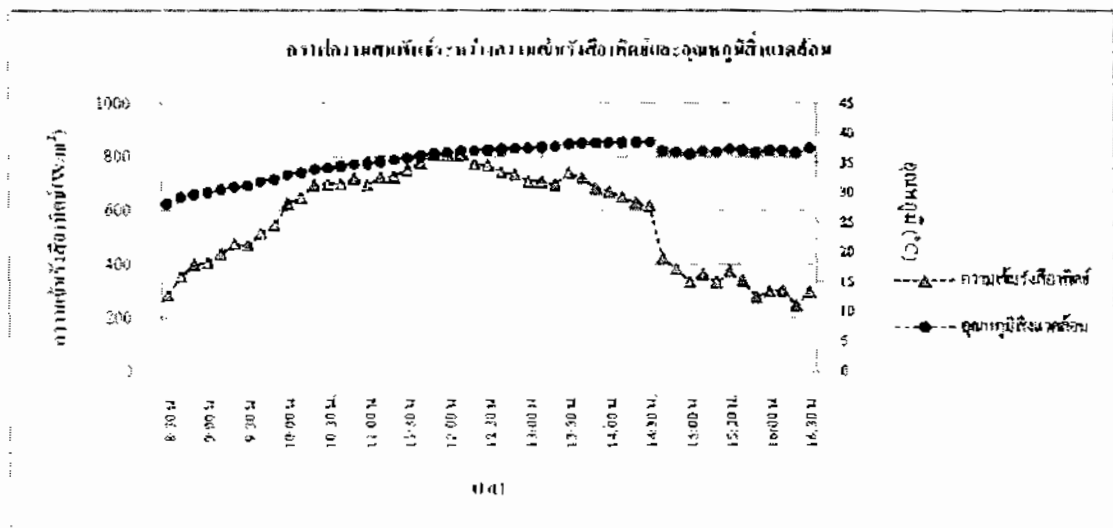
ผลการดำเนินงาน

4.1 ผลการดำเนินงาน

เนื้อหาส่วนนี้เป็นการรายงานผลการศึกษา เรื่องประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแผง PV/T ที่ใช้ระบบไหลเวียนแบบบังคับ (Forced Flow System :FFS) และแบบอิสระ (Natural Flow System :NFS) โดยได้นำผลการศึกษาลงจากที่ได้ทำการทดลองและเก็บข้อมูลค่าตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้า อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้าแผง PV/T อุณหภูมิน้ำออกจากแผง PV/T อุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับรังสี และอุณหภูมิน้ำในถังเก็บ ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษางานของแผง PV/T ที่ใช้ระบบไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS ซึ่งได้นำเสนอไว้ดังนี้

4.2 ความเข้มรังสีอาทิตย์

ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่วัดได้โดยใช้เครื่องมือวัด จากการทดลองระบบ PV/T ที่ใช้ระบบไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS ได้นำเสนอไว้ในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นข้อมูลที่บันทึกทุกๆ 10 นาที จากช่วงเวลา 8.00 นาฬิกา จนถึงเวลา 17.00 นาฬิกา โดยจากรูปจะพบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ที่วัดได้ดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ อันเนื่องมาจากสภาพท้องฟ้าที่โปร่ง มีการบดบังรังสีอาทิตย์เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยในบางช่วงเวลา ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดในแต่ละวันอยู่ที่เวลาเที่ยงวัน และค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดวันของการทดลองอยู่ที่ 568.68 W/m^2 และอุณหภูมิแวดล้อมโดยเฉลี่ยเท่ากับ 35.48°C ดังรูปที่ 4.1 แสดงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิแวดล้อม



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

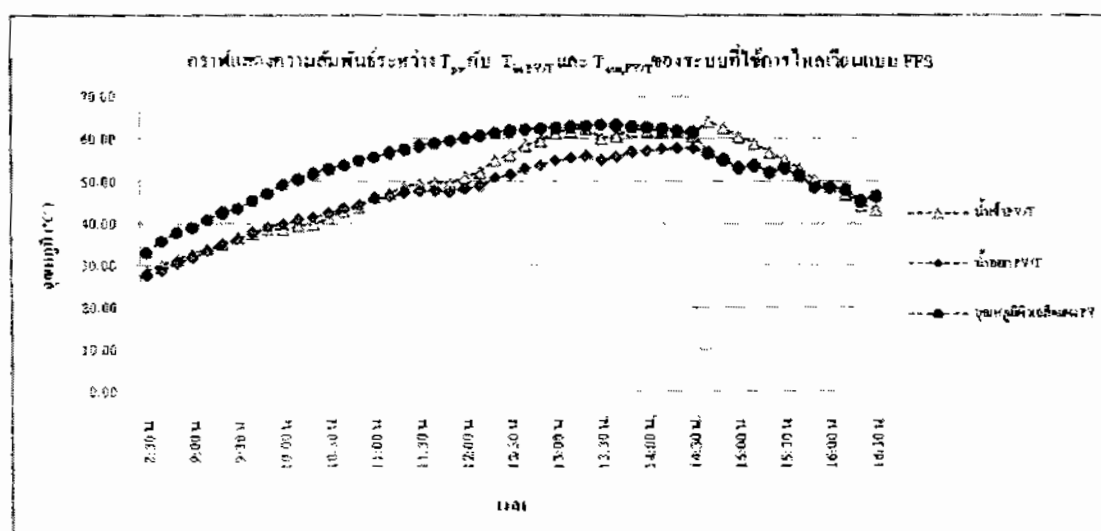
4.3 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำเข้า PV/T และน้ำออกจาก PV/T

เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้ว แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา แต่ในขณะเดียวกันพลังงานที่ได้รับก็สูญเสียไปในรูปของความร้อนซึ่งทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ร้อนขึ้นและส่งผลให้อุณหภูมิ PV/T ร้อนขึ้น ในการทดลองอุณหภูมิของ PV/T โดยเฉลี่ยได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของ แผงเซลล์รังสีอาทิตย์ กับอุณหภูมิน้ำเข้าและ อุณหภูมิน้ำออก PV/T สำหรับรูปแบบการไหลเวียนแบบ FFS ส่วนแบบ NFS ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 โดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยกรณี FFS และ NFS ได้แสดงในรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 อุณหภูมิน้ำเข้า น้ำออกและอุณหภูมิแผงเซลล์รังสีอาทิตย์โดยเฉลี่ย

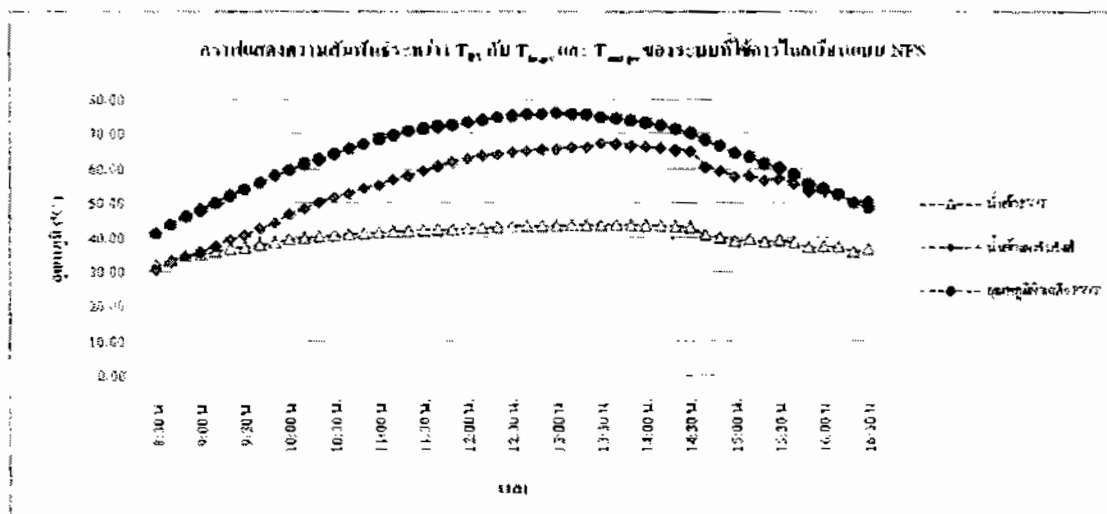
ระบบไหลเวียน	น้ำเข้า PV/T	น้ำออก PV/T	อุณหภูมิแผง PV
แบบบังคับ	49.74°C	47.26°C	53.81°C
แบบอิสระ	40.29°C	55.39°C	64.36°C

ข้อมูลในตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS สูงกว่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบที่ใช้การไหลเวียนแบบ NFS

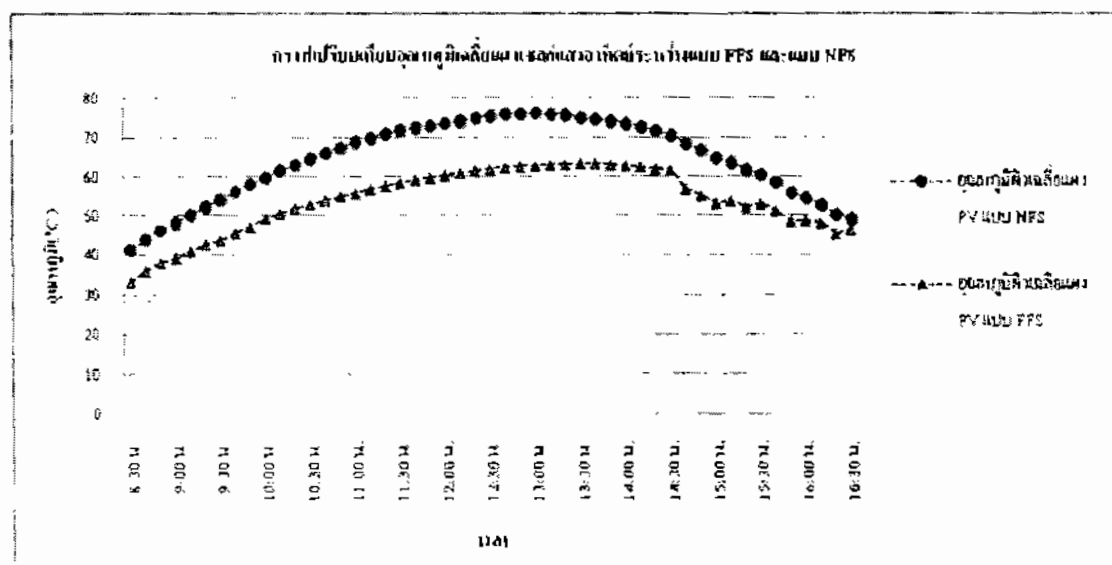


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{PV} กับ $T_{in,PV/T}$ และ $T_{out,PV/T}$ ของระบบที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS

จากรูปที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิน้ำออกจาก PV/T สูงกว่าน้ำเข้า PV/T เล็กน้อยในช่วงก่อนเที่ยง ซึ่งน้ำมีอุณหภูมิที่ต่ำส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์อุณหภูมิต่ำลง หลังจากนั้นอุณหภูมิน้ำในถังเพิ่มขึ้นโดยน้ำมีการหมุนเวียนในระบบซึ่งน้ำได้รับความร้อนจากแผงรับรังสีอาทิตย์ที่อุณหภูมิสูงกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิน้ำเข้า PV/T สูงกว่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เล็กน้อย

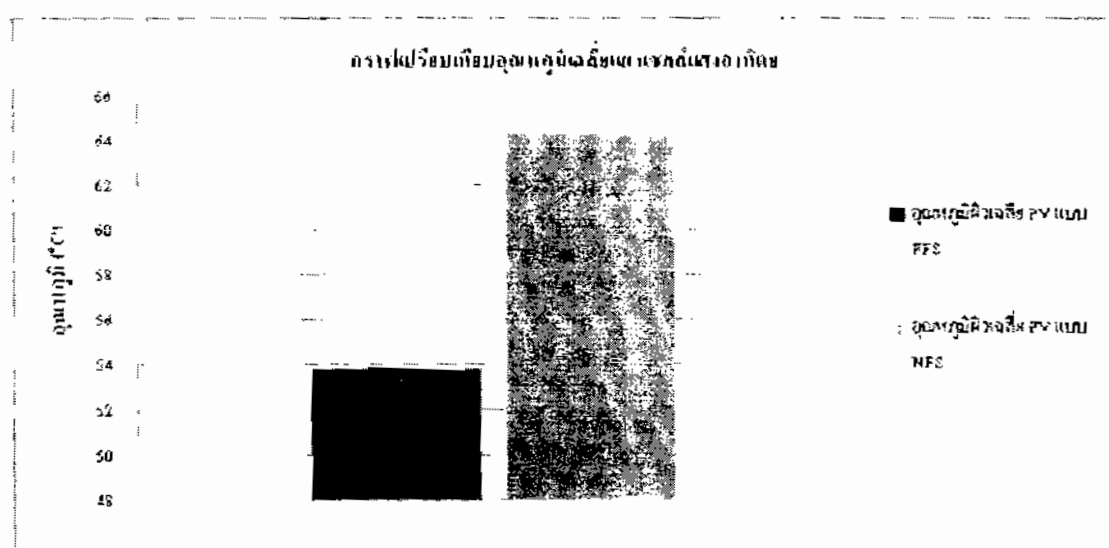


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง T_{pv} กับ $T_{in,pv}$ และ $T_{out,pv}$ ของระบบที่ใช้การไหลเวียนแบบ NFS



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS

จากรูปที่ 4.3 พบว่าสำหรับการไหลเวียนแบบ NFS น้ำเข้าแผงรับรังสี สูงกว่าน้ำเข้า PV/T มาก แต่อุณหภูมิของ PV/T ยังสูง เนื่องจากน้ำไหลเวียนช้ามาก ทำให้ความร้อนสะสมอยู่ในน้ำที่อยู่ใน PV/T ส่งผลให้อุณหภูมิของ PV/T ยังสูง ส่วนข้อมูลจากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของ PV/T ของระบบแบบ FFS ต่ำกว่าแบบ NFS เนื่องจากน้ำในระบบแบบ FFS ไหลเวียนตลอดทำให้สามารถดึงความร้อนออกจาก PV/T ได้ดีกว่าแบบ NFS และรูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างใช้การไหลแบบ FFS และ NFS จากรูปพบว่าการใช้การไหลแบบ FFS ทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำกว่าแบบ NFS 16.38 %



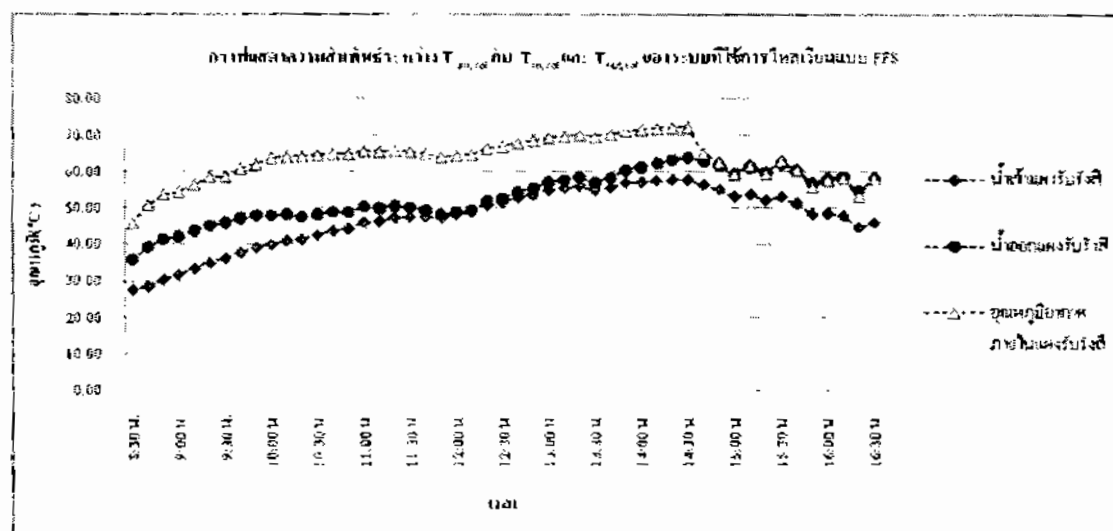
รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS

4.4 อุณหภูมิน้ำเข้า อุณหภูมิน้ำออกและอุณหภูมิแผงรับรังสีอาทิตย์

แผงรับรังสีอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่ออกจาก PV/T โดยตารางที่ 4.2 แสดงอุณหภูมิน้ำเข้า น้ำออกและอุณหภูมิแผงรับรังสีอาทิตย์โดยเฉลี่ย ข้อมูลในตารางแสดงให้เห็นว่าน้ำเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์กรณีแบบอิสระเป็นการดึงความร้อนมาสะสมไว้ในน้ำบริเวณใต้แผงรับรังสีอาทิตย์เนื่องจากอัตราการไหลที่ต่ำ ส่วนแบบบังคับเป็นการดึงพลังงานความร้อนไปแลกเปลี่ยนในถังเก็บ จากรูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายในแผงรับรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกแผงรับรังสีอาทิตย์

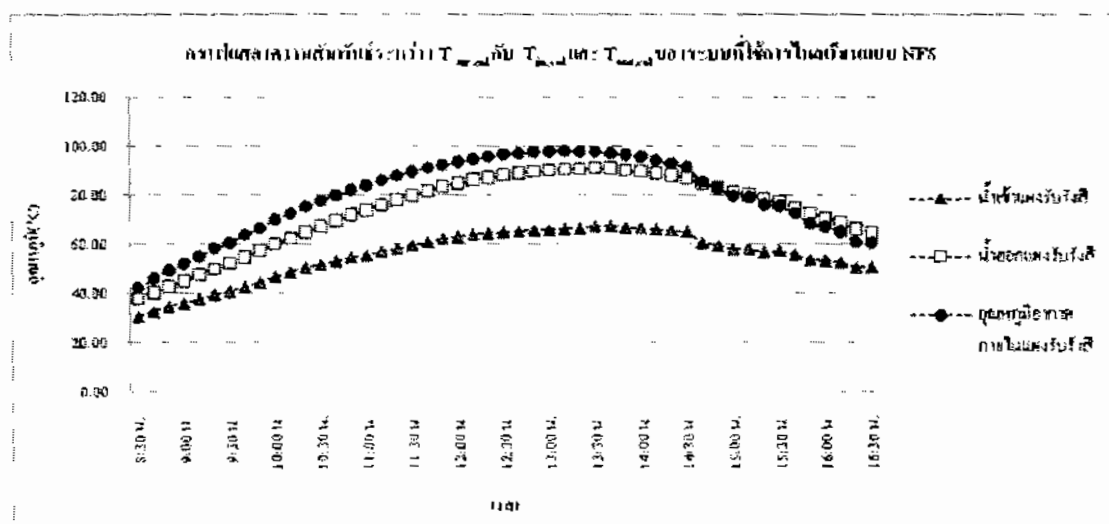
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิน้ำเข้า น้ำออกและอุณหภูมิแผงรับรังสีอาทิตย์โดยเฉลี่ย

ระบบไหลเวียน	น้ำเข้าแผงรับรังสี	น้ำออกแผงรับรังสี	อุณหภูมิแผงรับรังสี
แบบบังคับ	47.25 °C	53.19 °C	63.26 °C
แบบอิสระ	55.39 °C	73.86 °C	79.21 °C

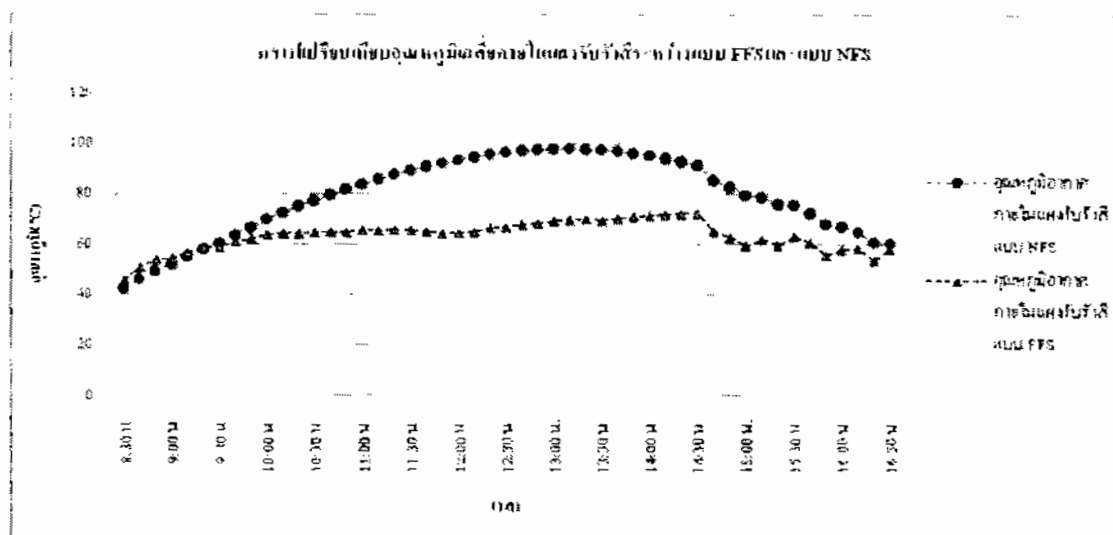


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{air.col}$ กับ $T_{in.col}$ และ $T_{out.col}$ ของระบบที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS

จากรูปที่ 4.6 พบว่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์สูงกว่าน้ำเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งแผงรับรังสีอาทิตย์สามารถเพิ่มอุณหภูมิของน้ำก่อนที่จะออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์

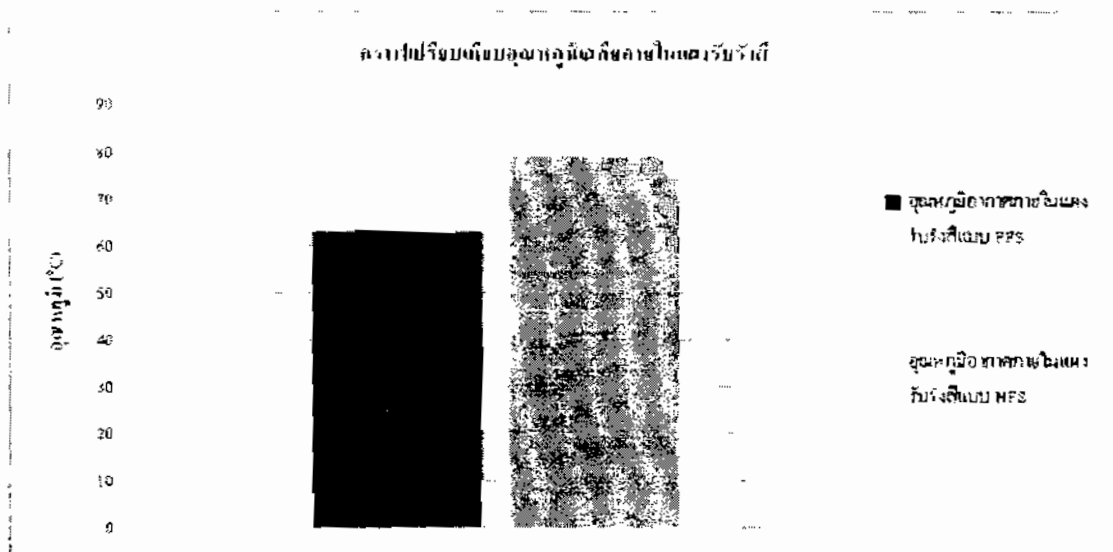


รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{air.col}$ กับ $T_{in.col}$ และ $T_{out.col}$ ของระบบที่ใช้การไหลเวียนแบบ NFS



รูปที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในแผงรับรังสีระหว่างที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS

รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_{\text{air,col}}$ กับ $T_{\text{in,col}}$ และ $T_{\text{out,col}}$ ของระบบที่ใช้การไหลเวียนแบบ NFS จากรูปพบว่าน้ำออกแผงรับรังสีอาทิตย์สูงกว่าน้ำเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์มาก แต่อุณหภูมิภายในแผงรับรังสีอาทิตย์ยังสูง เนื่องจากน้ำไหลเวียนช้ามาก ทำให้ความร้อนสะสมอยู่ในน้ำที่อยู่ในแผงรับรังสีอาทิตย์ ส่งผลให้อุณหภูมิภายในแผงรับรังสีอาทิตย์ยังสูง รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบอุณหภูมิภายในแผงรับรังสีระหว่างที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS จากรูปพบว่า อุณหภูมิภายในแผงรับรังสีอาทิตย์ของระบบแบบ FFS ต่ำกว่าแบบ NFS เนื่องจากน้ำในระบบแบบ FFS ไหลเวียนตลอดทำให้สามารถดึงความร้อนออกจากแผงรับรังสีอาทิตย์ได้ดีกว่าแบบ NFS



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในแผงรับรังสีระหว่างที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS

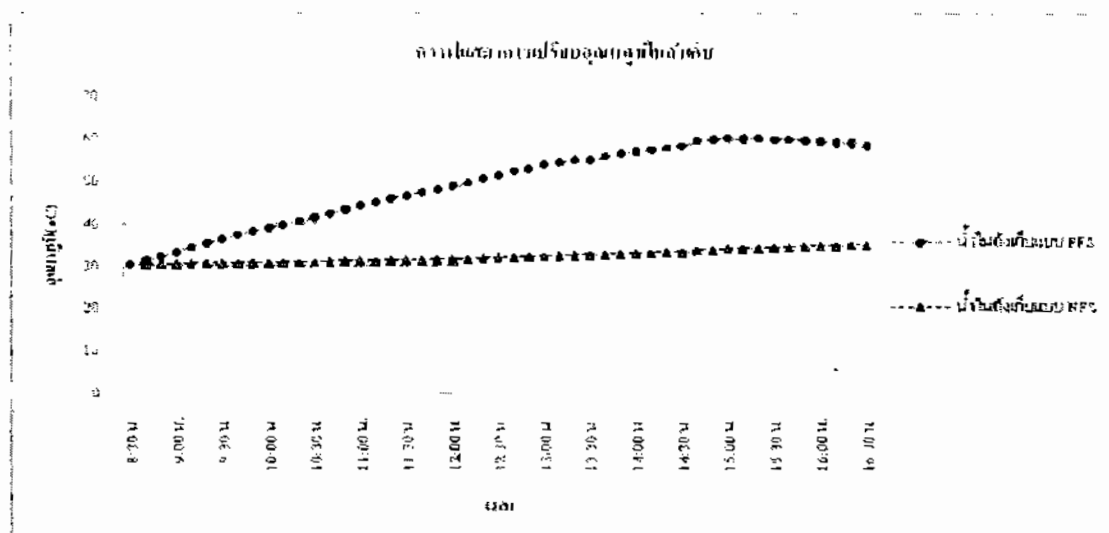
โดยรูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอุณหภูมิภายในแผงรับรังสีอาทิตย์ระหว่างใช้การไหลเวียนแบบ FFS และ NFS จากรูปพบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงรับรังสีที่ใช้การไหลแบบ FFS ต่ำกว่าแบบ NFS อยู่ 20.14 %

4.5 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บ

จากการทดลองอุณหภูมิของน้ำในถังเก็บ โดยเฉลี่ยได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 โดยข้อมูลในตารางแสดงให้เห็นว่าระบบไหลเวียนแบบบังคับสามารถผลิตน้ำร้อนได้อุณหภูมิที่สูงกว่าระบบที่ไหลเวียนแบบอิสระและรูปที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิในถังเก็บระหว่างแบบบังคับและแบบอิสระ

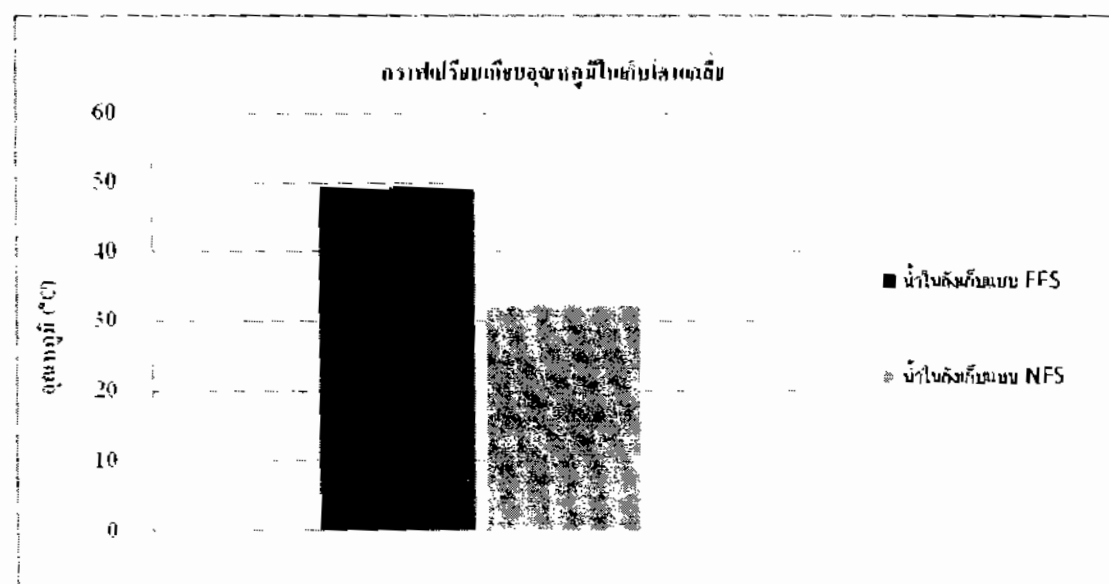
ตารางที่ 4.3 อุณหภูมิน้ำในถังเก็บ โดยเฉลี่ย

ระบบไหลเวียน	อุณหภูมิน้ำในถัง
แบบบังคับ	49.29 °C
แบบอิสระ	32.40 °C



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิในถังที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS

จากรูปที่ 4.10 พบว่าอุณหภูมิภายในถังเก็บของระบบแบบ FFS สูงกว่าระบบแบบ NFS เพราะว่าน้ำในระบบแบบ FFS ไหลเวียนตลอดเวลาทำให้สามารถดึงความร้อนออกจาก PV/T และแผงรับรังสีอาทิตย์ ซึ่งส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้นก่อนเข้าถังเก็บทำให้อุณหภูมิในถังเก็บสูงขึ้นด้วย โดยที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิในถังที่ใช้ระบบการไหลเวียนแบบ FFS มีค่าสูงกว่าแบบ NSF ถึง 34.27%



รูปที่ 4.11 กราฟแท่งแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิในถังที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS

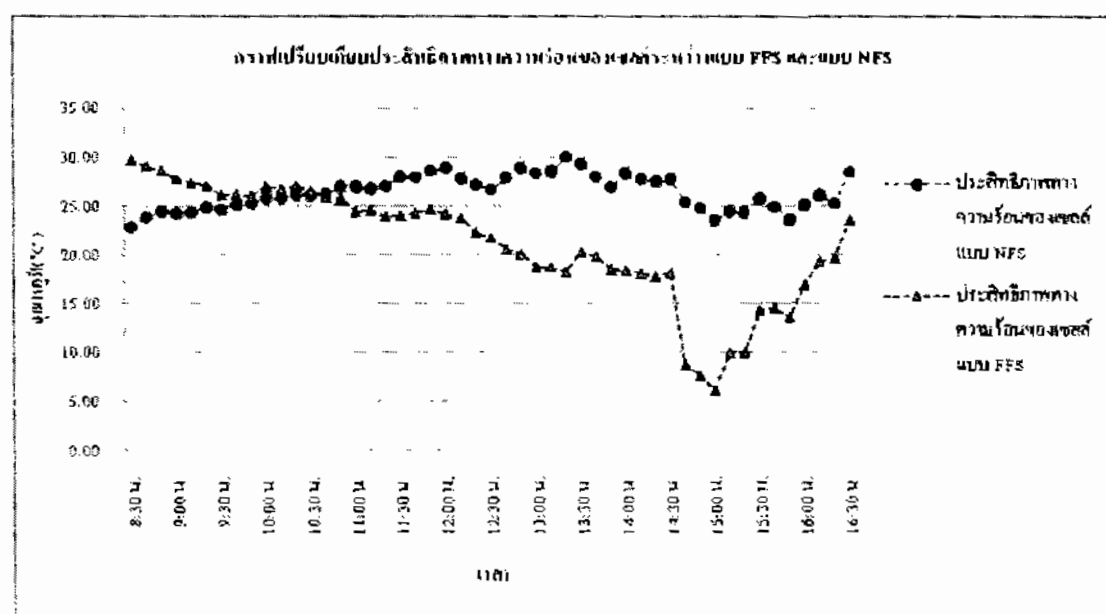
4.6 ประสิทธิภาพการทางความร้อนของระบบ PV/T Solar Collector ที่ใช้ระบบการไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS

ในส่วนขอประสิทธิภาพของระบบทำน้ำร้อนที่ใช้แผง PV/T Solar Collector ที่ใช้ระบบการไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS นั้น ค่าต่างๆ ที่วัดได้จากการทดลอง ได้นำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการทำความร้อนของแผง PV/T และแผงรับรังสีอาทิตย์ โดยใช้สมการในบทที่ 2 โดยผลจากการคำนวณค่าประสิทธิภาพในแต่ละช่วงเวลาของแผงทั้งสองชนิด ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพทางความร้อนโดยเฉลี่ยของระบบ PV/T- Solar Collector โดยเฉลี่ย

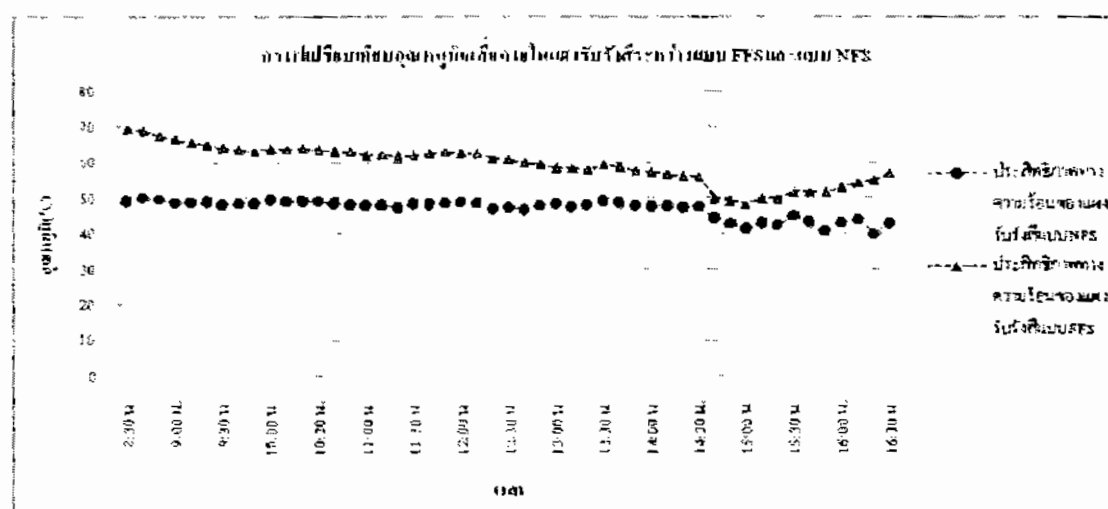
ระบบไหลเวียน	แผงเซลล์แสงอาทิตย์	แผงรับรังสีอาทิตย์	ประสิทธิภาพรวม
แบบบังคับ	21.13%	59.46 %	80.59 %
แบบอิสระ	26.38 %	46.99 %	73.37 %

โดยข้อมูลในตารางแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพรวมของระบบการไหลเวียนแบบบังคับสูงกว่าการไหลเวียนแบบอิสระทำให้ได้อุณหภูมิของน้ำในถังสูงดังในตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง PV/T ที่ใช้ระบบการไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS

รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง PV/T ที่ใช้ระบบการไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS พบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง PV/T ที่ใช้ระบบการไหลเวียนแบบ FFS มีแนวโน้มที่มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ NFS เนื่องจากช่วงหลังของระบบ FFS แผงเซลล์ยังมีอุณหภูมิต่ำลงเนื่องจากนำดึงความร้อนไปใช้และน้ำขาเข้าก็ยังมีอุณหภูมิสูงทำให้ประสิทธิภาพที่ได้ค่อนข้างที่จะต่ำกว่าระบบ NFS



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ระบบการไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS

รูปที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ระบบการไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS ข้อมูลจากกราฟแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์ที่ใช้ระบบการไหลเวียนแบบ FFS มีแนวโน้มที่มีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับแบบ NFS เนื่องจากระบบ FFS มีการถ่ายโอนความร้อนที่ดีกว่าระบบ NFS ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณหา

อย่างไรก็ดี หากพิจารณาในรูปกราฟที่ 4.12 และ 4.13 จะพบว่า ประสิทธิภาพการเชิงความร้อนของแผง PV/T และแผงรับรังสีอาทิตย์ มีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากอุณหภูมิของน้ำที่ไหลเวียนเข้าแผงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจากเข้าไปเย็น ทำให้น้ำดึงความร้อนออกจากแผงได้น้อยลง แม้ว่าพลังงานที่ตกลงบนแผงจะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางวันก็ตาม

บทที่ 5

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ในการศึกษานี้ ได้ทำการปรับปรุงระบบทำน้ำอุ่นพลังงานแสงอาทิตย์ให้เหมาะสมต่อการใช้งานในประเทศไทยซึ่งมีศักยภาพทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง โดยใช้แผง PV/T ในการผลิตน้ำร้อนร่วมกันกับแผงรับรังสีอาทิตย์ (solar collector) และทำการศึกษาศักยภาพการทำน้ำอุ่นของแผงทำน้ำร้อนที่ได้ออกแบบรวม ทั้งศึกษาประสิทธิภาพระบบผลิตน้ำร้อนด้วยแผง PV/T ที่ใช้ระบบการไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS ทำการติดตั้งทำมุมที่ 16 องศา จากการศึกษาพบว่า ในช่วงการทดลองมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 568.68 W/m^2 โดยระบบที่ใช้การไหลเวียนแบบ FFS และแบบ NFS สามารถผลิตน้ำร้อนออกออกมาเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อนได้สูงสุดถึง 60.07°C และ 35.18°C ตามลำดับ จากการศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานพบว่า ประสิทธิภาพการทำความร้อนของแผง PV/T ทั้งระบบแบบ FFS และแบบ NFS มีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 21.13 % และ 26.37% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพการทำความร้อนของแผงรับรังสีอาทิตย์ของระบบแบบ FFS และแบบ NFS มีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 59.46 % และ 46.99 % ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนรวมของระบบ PV/T Solar Collector ทำให้ระบบการไหลเวียนแบบ FFS และ NFS มีค่าเท่ากับ 80.59 % และ 73.37% ตามลำดับ จากการศึกษาดังกล่าวพบว่าระบบไหลเวียนแบบ FFS มีอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำกว่าแบบ NFS ถึง 16.38 % และมีประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อนสูงกว่าที่ใช้ระบบการไหลเวียนแบบ NFS เนื่องจากสามารถ ผลิตน้ำร้อนมาเก็บไว้ในถังเก็บน้ำร้อนมากกว่าระบบแบบ NFS ถึง 16.89°C ระบบไหลเวียนแบบ FFS จึงมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิแผงเซลล์รังสีอาทิตย์และประสิทธิภาพในการผลิตน้ำร้อนมากกว่าระบบไหลเวียนแบบ NFS

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ในการศึกษาครั้งต่อไปควรใช้แผง PV/T และแผงรับรังสีที่มีขนาดพื้นที่มากกว่าเดิมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าและน้ำร้อนให้ได้มากยิ่งขึ้น
- ควรเลือกสถานที่ในการรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวันตั้งแต่เวลา 06.00 – 18.00 น.

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- อนุสรณ์ แสงประจักษ์ . อิทธิพลของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูงมากต่อค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตในประเทศไทย. รายงานการวิจัยมหาวิทยาลัยมหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม, 2550.
- P.Schirmer et all, *Experimental investigation of the performance of the solar tunnel drying bananas*, Renewable Energy Vol.7, No.2, pp. 119-129, 1996.
- Volker Quasching, *Understanding Renewable Energy System*, Eaathscan, UK, 2001.
- Al-Sabounchi A.M., *Effect of ambient temperature on the demanded energy of solar cell at different inclinations*, Renewable Energy, Vol.14,Nos.1-4,pp.149-155, 1998
- T. Minemoto, S. Nagae, H. Takakura. *Impact of spectral irradiance distribution and temperature on the outdoor performance of Amorphous Si photovoltaic modules*, Solar Cells, Vol. 91, (2007), pp. 919-923.
- Singthong Pattanasetthanon, Charoenporn Lertsatitthanakorn, Surat Atthajariyakal and Somechart Soponronnarit, *All sky modeling daylight availability and illuminance/irradiance on Horizontal plane for Mahasarakham, Thailand*. Energy Conversion and Management, Volume 48, Issue 5, May 2007, Pages 1601-1614.
- J.Khedari, A.Sangprajak, J.Hirulabh, *Thailand climatic zones*, Renewable Energy 25 (2002) 267 - 280.

ภาคผนวก ก
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณ

จากผลการทดลองในระบบแบบอิสระภาคผนวก ข เวลา 12.00 น. ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ 805.95 W/m^2 กระแสไฟฟ้าเท่ากับ 6.00 A แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 16.18 V อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้าแผง PV/T อุณหภูมิน้ำออกจากแผง PV/T เท่ากับ 36.74°C 39.44°C และ 50.07°C ตามลำดับ

วิธีการคำนวณ

โดยใช้สมการเกี่ยวกับแผง PV/T แบบผสมผสานในบทที่ 2 ดังนี้ (Dubey and Tiwari, 2008)

ประสิทธิภาพทางความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์

$$\eta_i = F_{Rm} \left(PF(\alpha\tau)_{m,eff} - U_{L,m} \frac{(T_{fi} - T_a)}{I(t)} \right)$$

$$F_{Rm} PF(\alpha\tau)_{m,eff} = 0.3$$

$$F_{Rm} U_{L,m} = 3.3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$\eta_i = 0.3 - 3.3 \left(\frac{T_{fi} - T_a}{I(t)} \right)$$

$$= 0.3 - 3.3 \text{ W/m}^2 \text{ K} ((316.62 \text{ K} - 309.99 \text{ K}) / 805.95 \text{ W/m}^2)$$

$$= 0.28.89$$

$$= 28.89\%$$

อัตราการถ่ายโอนพลังงานความร้อนของแผงรับรังสี

$$\dot{Q}_{u,c} = A_c F_{Rc} ((\alpha\tau)_{c,eff} I(t) - U_{L,c} (T_{fo3} - T_a))$$

$$= 0.6566 \text{ m}^2 \times 0.77 \times ((0.9 \times 0.95 \times 805.95 \text{ W/m}^2) - 5 \text{ W/m}^2 \text{ K} \times (326.09 \text{ K} - 307.95 \text{ K}))$$

$$= 258.36 \text{ W}$$

ประสิทธิภาพทางความร้อนของแผงรับรังสี

$$\eta_i = \frac{\dot{Q}_{u,m}}{N_c A_c I(t)}$$

$$= 258.36 \text{ W} / (1 \times 0.6566 \text{ m}^2 \times 805.95 \text{ W/m}^2)$$

$$= 0.4882$$

$$= 48.82\%$$

ตารางสัญลักษณ์การคำนวณ

สัญลักษณ์	
$\dot{Q}_{u,m}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากแผง PV/T
A_m	พื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
F_{Rm}	ค่าการถ่ายเทความร้อน (heat removal factor)
PF	ค่า packing factor
$\alpha_{c,eff}$	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีความร้อน (absorbance coefficient)
$\tau_{m,eff}$	ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่าน (transmittance)
$I(t)$	ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์
$U_{L,m}$	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของแผง PV/T
T_{fi}	ค่า อุณหภูมิน้ำเข้าแผง PV/T T_u คือ อุณหภูมิแวดล้อม
$\dot{Q}_{u,c}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากแผง PV/T
A_c	พื้นที่ของแผงรับรังสีอาทิตย์
N_c	จำนวนแผง
F_{Rc}	ค่าการถ่ายเทความร้อน (heat removal factor)
$\alpha_{c,eff}$	ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนรังสีความร้อน (absorbance coefficient)
คือ	
$\tau_{c,eff}$	ค่าสัมประสิทธิ์การส่องผ่าน (transmittance)
$I(t)$	ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์
$U_{L,c}$	ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของแผง
$T_{p,2}$	ค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผงรับรังสีอาทิตย์
T_a	อุณหภูมิแวดล้อม

ภาคผนวก ข
ข้อมูลผลการทดลอง

ข้อมูลที่ได้จากการหาความสัมพันธ์แผง PV/T ที่ใช้ระบบไหลเวียนแบบบังคับ

เวลา	ความเข้ม รังสี(W/m^2)	อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ($^{\circ}\text{C}$)						
		$T_{\text{in,PV/T}}$	T_{PV}	$T_{\text{out,PV/T}}$	$T_{\text{in,col}}$	$T_{\text{out,col}}$	T_{tank}	T_a
8:30 น.	284.2	28.62	29.88	27.64	45.74	35.82	30.38	28.36
8:40 น.	353.75	30.18	32.19	28.61	50.70	39.16	31.32	29.15
8:50 น.	400.5	31.47	33.99	30.52	53.81	41.31	32.28	29.75
9:00 น.	405.5	32.80	35.07	31.81	54.42	42.23	33.33	30.02
9:10 น.	439.55	34.05	36.61	33.47	56.55	43.80	34.31	30.51
9:20 น.	475.35	35.22	38.13	35.06	58.54	45.19	35.26	31.00
9:30 น.	470.55	36.77	39.07	36.27	58.67	45.93	36.34	31.19
9:40 น.	516.25	37.77	40.65	37.81	60.80	47.17	37.24	31.76
9:50 น.	546.6	38.87	41.96	39.13	62.07	48.01	38.17	32.21
10:00 น.	628.1	38.68	43.48	40.00	63.74	47.93	38.83	32.98
10:10 น.	648.65	39.74	44.50	40.99	64.15	48.25	39.75	33.35
10:20 น.	695	39.96	45.46	41.46	64.21	47.65	40.50	33.86
10:30 น.	699.1	41.45	46.38	42.54	64.50	48.24	41.48	34.11
10:40 น.	699.05	43.11	47.28	43.67	64.84	48.96	42.47	34.34
10:50 น.	719.75	44.03	48.09	44.32	64.84	48.87	43.31	34.69
11:00 น.	695.8	46.61	49.00	45.91	65.57	50.47	44.43	34.78
11:10 น.	723.2	47.22	49.72	46.33	65.44	50.08	45.18	35.17
11:20 น.	725.9	48.76	50.47	47.25	65.72	50.62	46.08	35.41
11:30 น.	749.95	49.33	51.06	47.54	65.45	50.16	46.79	35.77
11:40 น.	776.25	49.66	51.54	47.61	64.94	49.43	47.45	36.14
11:50 น.	807.75	49.58	51.84	47.32	64.02	48.24	48.02	36.53
12:00 น.	805.95	50.99	52.46	48.15	64.41	48.89	48.84	36.74
12:10 น.	806.5	52.19	53.00	48.85	64.70	49.40	49.61	36.96
12:20 น.	772.05	55.09	53.89	50.78	66.35	51.92	50.67	36.99
12:30 น.	767.6	56.33	54.40	51.56	66.81	52.69	51.43	37.18

เวลา	ความเข้ม รังสี(W/m^2)	อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ($^{\circ}C$)						
		$T_{m,PV,T}$	T_{PV}	$T_{out,PV,T}$	$T_{air,col}$	$T_{out,col}$	T_{tank}	T_a
12:40 น.	742.45	58.50	55.01	52.95	67.88	54.53	52.33	37.24
12:50 น.	734.45	59.62	55.43	53.71	68.39	55.44	53.05	37.40
13:00 น.	707.35	61.52	55.88	54.94	69.27	57.20	53.89	37.44
13:10 น.	706.9	61.85	56.14	55.35	69.58	57.71	54.47	37.64
13:20 น.	695.95	62.50	56.38	55.95	70.05	58.64	55.10	37.77
13:30 น.	740.15	60.10	56.33	54.95	69.44	57.00	55.20	38.25
13:40 น.	722.7	60.68	56.54	55.66	70.16	58.29	55.80	38.33
13:50 น.	682.85	62.13	56.71	56.83	71.10	60.46	56.55	38.27
14:00 น.	670.3	61.97	56.70	57.15	71.50	61.32	57.01	38.37
14:10 น.	650.45	61.91	56.61	57.50	71.86	62.36	57.48	38.42
14:20 น.	628.65	61.69	56.42	57.75	72.08	63.34	57.91	38.44
14:30 น.	617.5	60.82	56.20	57.71	72.28	63.93	58.21	38.54
14:40 น.	419.6	64.13	53.03	56.42	65.09	63.08	59.57	37.01
14:50 น.	379.3	62.60	51.74	55.08	62.62	61.76	59.85	36.79
15:00 น.	332.75	60.63	50.10	53.23	59.34	59.64	60.08	36.48
15:10 น.	361.5	58.93	50.59	53.73	61.78	61.36	59.99	36.94
15:20 น.	330.65	56.86	49.30	52.22	59.60	59.91	60.06	36.78
15:30 น.	372.9	55.11	50.05	52.99	63.06	62.25	59.82	37.37
15:40 น.	337.7	53.04	48.59	51.29	60.58	60.58	59.80	37.16
15:50 น.	277.2	50.47	46.21	48.41	55.71	56.95	59.76	36.66
16:00 น.	298.4	48.84	46.34	48.52	57.73	58.42	59.46	37.04
16:10 น.	301.7	47.00	45.85	47.88	58.20	58.68	59.16	37.22
16:20 น.	244.45	44.39	43.42	44.85	53.32	54.79	58.93	36.72
16:30 น.	296.7	43.31	44.42	46.03	58.14	58.39	58.42	37.44
เฉลี่ย	568.68	49.74	48.45	47.26	63.26	53.19	49.29	35.48

ข้อมูลที่ได้จากการหาความสัมพันธ์แผง PV/T ที่ใช้ระบบไหลเวียนแบบอิสระ

เวลา	ความเข้ม รังสี(W/m^2)	อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ($^{\circ}\text{C}$)						
		$T_{\text{in,PV/T}}$	T_{PV}	$T_{\text{out,PV/T}}$	$T_{\text{air,col}}$	$T_{\text{out,col}}$	T_{tank}	T_a
8:30 น.	284.2	32.03	36.80	30.48	42.34	37.97	30.46	29.90
8:40 น.	353.75	33.59	38.59	32.65	46.06	40.40	30.45	30.60
8:50 น.	400.5	34.68	40.25	34.54	49.31	42.79	30.48	31.16
9:00 น.	405.5	35.14	41.83	35.89	51.78	45.07	30.57	31.60
9:10 น.	439.55	35.98	43.43	37.65	54.84	47.50	30.62	32.09
9:20 น.	475.35	36.80	44.98	39.46	57.93	49.96	30.66	32.55
9:30 น.	470.55	37.11	46.52	40.70	60.29	52.28	30.77	32.95
9:40 น.	516.25	37.97	47.99	42.68	63.54	54.83	30.80	33.38
9:50 น.	546.6	38.61	49.40	44.43	66.46	57.31	30.85	33.77
10:00 น.	628.1	39.52	50.51	46.88	69.87	60.02	30.83	34.07
10:10 น.	648.65	39.94	51.80	48.48	72.45	62.45	30.90	34.39
10:20 น.	695	40.40	52.82	50.40	75.09	64.96	30.93	34.62
10:30 น.	699.1	40.71	54.08	51.75	77.41	67.25	31.02	34.94
10:40 น.	699.05	41.01	55.33	53.02	79.65	69.47	31.12	35.27
10:50 น.	719.75	41.31	56.33	54.53	81.85	71.73	31.19	35.51
11:00 น.	695.8	41.55	57.66	55.41	83.83	73.72	31.32	35.89
11:10 น.	723.2	41.83	58.46	56.95	85.85	75.86	31.38	36.09
11:20 น.	725.9	42.07	59.41	58.10	87.68	77.80	31.47	36.35
11:30 น.	749.95	42.28	60.05	59.50	89.39	79.74	31.54	36.51
11:40 น.	776.25	42.44	60.55	60.87	90.89	81.58	31.60	36.64
11:50 น.	807.75	42.53	60.87	62.25	92.13	83.33	31.65	36.70
12:00 น.	805.95	42.71	61.52	63.15	93.41	84.79	31.75	36.93
12:10 น.	806.5	42.87	62.06	64.01	94.52	86.13	31.85	37.12
12:20 น.	772.05	43.12	62.96	64.35	95.66	87.16	32.00	37.48
12:30 น.	767.6	43.26	63.37	65.01	96.45	88.18	32.10	37.67

เวลา	ความเข้ม รังสี(W/m^2)	อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ($^{\circ}C$)						
		$T_{m,PV,T}$	T_{PV}	$T_{out,PV,T}$	$T_{air,col}$	$T_{out,col}$	T_{tank}	T_a
12:40 น.	742.45	52.48	63.93	65.29	97.10	88.94	32.24	37.94
12:50 น.	734.45	53.20	64.18	65.74	97.54	89.62	32.35	38.11
13:00 น.	707.35	54.38	64.53	65.81	97.73	90.03	32.49	38.34
13:10 น.	706.9	54.72	64.50	66.23	97.80	90.43	32.59	38.44
13:20 น.	695.95	55.24	64.47	66.39	97.65	90.59	32.70	38.57
13:30 น.	740.15	54.14	63.77	67.36	97.47	90.90	32.74	38.48
13:40 น.	722.7	54.75	63.63	67.28	96.98	90.69	32.86	38.60
13:50 น.	682.85	55.78	63.58	66.72	96.18	90.18	33.02	38.78
14:00 น.	670.3	55.96	63.16	66.53	95.28	89.66	33.14	38.84
14:10 น.	650.45	56.15	62.70	66.12	94.13	88.93	33.27	38.90
14:20 น.	628.65	56.20	62.14	65.59	92.76	88.02	33.40	38.94
14:30 น.	617.5	55.98	61.41	65.18	91.33	87.02	33.51	38.93
14:40 น.	419.6	54.12	60.99	60.70	85.50	84.58	33.91	38.80
14:50 น.	379.3	52.50	59.93	59.40	82.68	83.07	34.07	38.61
15:00 น.	332.75	50.35	58.71	57.87	79.43	81.37	34.24	38.36
15:10 น.	361.5	50.73	57.70	58.11	78.76	80.13	34.29	38.38
15:20 น.	330.65	48.97	56.40	56.83	75.89	78.31	34.44	38.14
15:30 น.	372.9	49.61	55.30	57.26	75.41	76.93	34.47	38.18
15:40 น.	337.7	47.65	53.87	55.77	72.27	74.87	34.63	37.90
15:50 น.	277.2	44.50	52.23	53.61	68.15	72.54	34.82	37.46
16:00 น.	298.4	44.44	50.95	53.38	66.82	70.72	34.88	37.39
16:10 น.	301.7	43.61	49.53	52.66	64.79	68.70	34.98	37.22
16:20 น.	244.45	40.39	47.74	50.46	60.71	66.19	35.16	36.71
16:30 น.	296.7	41.40	46.53	50.80	60.23	64.38	35.18	36.78
เฉลี่ย	568.68	40.28	55.70	55.39	79.21	73.86	32.40	36.35

ผลการทดลองจริงที่วัดได้จากแผง PV/T ที่ใช้ระบบไหลเวียนแบบบังคับ

เวลา	ความเข้ม รังสี(W/m^2)	อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ($^{\circ}\text{C}$)						
		$T_{m,PV/T}$	T_{PV}	$T_{out,PV/T}$	$T_{in,col}$	$T_{out,col}$	T_{tank}	T_a
8:30 น.	366.4	30.00	38.91	30.92	50.78	36.86	30.27	31.82
8:40 น.	410.2	31.10	41.46	32.40	55.64	37.87	30.35	31.60
8:50 น.	411.8	32.86	42.21	33.64	57.05	38.14	30.36	32.48
9:00 น.	409.4	34.59	44.60	35.03	62.67	40.17	30.40	33.34
9:10 น.	439.4	35.40	44.19	36.23	60.32	38.96	30.41	31.98
9:20 น.	480.9	37.03	45.36	37.70	61.31	40.61	30.42	33.17
9:30 น.	475.8	37.82	46.56	39.49	62.96	44.05	30.42	33.14
9:40 น.	497.6	38.20	45.96	40.61	61.53	46.69	30.46	32.57
9:50 น.	531.3	38.95	49.27	41.84	68.33	48.44	30.46	34.22
10:00 น.	663.3	39.38	47.45	43.13	63.60	51.45	30.50	33.97
10:10 น.	696.9	40.89	52.57	45.09	73.05	51.52	30.52	34.73
10:20 น.	762.3	34.47	57.50	34.59	69.05	35.16	34.20	35.97
10:30 น.	786.3	36.44	58.81	36.72	62.60	37.25	36.49	36.33
10:40 น.	770.1	38.19	57.59	38.34	59.84	38.72	38.14	36.06
10:50 น.	756	39.53	56.25	39.62	60.30	40.09	39.47	35.87
11:00 น.	777.1	40.92	57.65	41.12	59.60	41.52	40.97	38.67
11:10 น.	750.8	41.23	56.48	41.57	59.73	44.21	41.59	36.05
11:20 น.	762.5	43.16	58.92	43.36	61.51	43.77	43.20	36.92
11:30 น.	827.6	44.54	60.68	44.74	64.01	45.10	44.60	37.65
11:40 น.	897.9	46.15	65.50	46.37	67.59	46.74	46.22	38.88
11:50 น.	878.5	47.55	65.77	47.76	68.34	48.09	47.61	39.79
12:00 น.	880.5	49.23	66.59	49.37	65.54	49.66	49.20	39.19
12:10 น.	885.5	50.41	62.24	50.25	66.29	50.58	50.22	38.89
12:20 น.	820.5	51.45	64.47	51.38	68.26	51.77	51.34	37.77
12:30 น.	812.9	52.65	65.49	52.54	69.00	52.88	52.50	37.35

เวลา	ความเข้ม รังสี(W/m^2)	อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ($^{\circ}C$)						
		$T_{in,PV,T}$	T_{PV}	$T_{out,PV,T}$	$T_{an,col}$	$T_{out,col}$	T_{tank}	T_a
12:40 น.	827.3	53.65	67.44	53.62	72.36	54.04	53.60	37.95
12:50 น.	786.5	54.80	68.91	54.84	72.91	55.22	54.80	40.44
13:00 น.	818.1	56.11	70.14	55.99	74.78	56.42	55.99	41.59
13:10 น.	804.6	57.13	67.67	56.95	75.02	57.36	56.99	39.62
13:20 น.	728.6	57.87	65.91	57.87	71.28	58.15	57.95	40.83
13:30 น.	793.7	58.63	66.52	58.60	73.70	58.94	58.64	40.44
13:40 น.	762.9	59.35	68.06	59.45	74.51	59.79	59.47	45.00
13:50 น.	693	60.26	65.88	60.07	73.45	60.39	60.14	38.48
14:00 น.	712.7	60.66	64.27	60.49	72.59	60.83	60.62	39.19
14:10 น.	687.8	61.08	66.19	61.18	72.86	61.52	61.27	39.37
14:20 น.	656.3	61.73	65.63	61.65	72.61	61.99	61.76	39.95
14:30 น.	659.9	62.08	65.38	62.07	72.29	62.43	62.16	42.76
14:40 น.	611.9	62.46	65.93	62.53	72.67	62.82	62.60	40.00
14:50 น.	563.6	62.81	66.23	62.89	70.81	63.13	62.95	40.03
15:00 น.	507.7	57.35	61.79	60.55	67.72	64.12	62.86	39.44
15:10 น.	569.1	54.94	61.67	58.57	71.45	68.65	62.73	39.78
15:20 น.	499.4	53.63	61.60	57.43	71.66	72.27	62.59	40.10
15:30 น.	418.6	51.96	59.39	56.95	70.33	73.52	62.40	38.88
15:40 น.	463	50.41	56.20	55.88	70.48	70.99	62.24	39.66
15:50 น.	376.2	48.48	52.71	54.69	62.81	69.20	62.02	38.16
16:00 น.	301.8	47.16	49.61	53.22	60.40	64.53	61.83	38.44
16:10 น.	322.5	46.03	48.65	51.66	58.62	61.61	61.63	38.42
16:20 น.	244.1	45.28	48.94	50.52	59.34	60.14	61.44	39.80
16:30 น.	360.3	44.66	51.23	49.91	63.15	61.14	61.30	40.40
เฉลี่ย	631.04	47.77	57.93	49.21	66.46	53.05	48.99	37.70

ผลการทดลองจริงที่วัดได้จากแผง PV/T ที่ใช้ระบบไหลเวียนแบบอิสระ

เวลา	ความเข้ม รังสี(W/m^2)	อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ($^{\circ}\text{C}$)						
		$T_{\text{in,PV-T}}$	T_{pv}	$T_{\text{out,PV-T}}$	$T_{\text{ari,col}}$	$T_{\text{out,col}}$	T_{tank}	T_a
8:30 น.	537.6	38.32	47.20	36.47	47.27	46.47	31.85	32.15
8:40 น.	571.6	39.34	49.68	37.83	51.37	49.54	31.97	31.57
8:50 น.	617.5	39.84	51.64	40.09	55.86	54.00	31.95	34.39
9:00 น.	647.2	40.43	54.67	41.63	59.39	55.44	31.94	34.24
9:10 น.	672.8	41.34	56.49	42.68	63.40	58.89	32.04	32.96
9:20 น.	695.7	41.93	59.48	44.66	66.73	60.85	31.93	33.01
9:30 น.	728.3	42.34	60.53	46.31	69.84	63.74	32.14	33.70
9:40 น.	762.7	42.65	62.65	47.69	72.86	65.83	32.11	36.13
9:50 น.	790.3	43.61	64.52	49.31	76.22	67.95	32.19	36.03
10:00 น.	804.6	44.67	66.30	50.47	78.93	68.54	32.30	34.05
10:10 น.	829.4	45.43	66.65	51.64	80.80	71.25	32.27	35.70
10:20 น.	841	46.29	68.67	52.90	82.33	75.68	32.29	36.45
10:30 น.	880.7	46.20	69.42	53.25	84.98	77.80	32.27	36.24
10:40 น.	888.8	46.09	71.92	56.19	86.95	88.11	32.44	38.56
10:50 น.	895.9	43.81	72.12	56.54	86.11	93.35	32.46	37.30
11:00 น.	932.7	42.67	71.41	55.46	86.51	90.11	32.44	35.83
11:10 น.	951.9	42.99	73.94	57.43	88.98	91.93	32.66	35.65
11:20 น.	973.5	42.88	73.50	60.79	84.64	90.09	32.61	35.98
11:30 น.	946.9	41.38	69.88	57.03	85.31	85.04	32.62	35.93
11:40 น.	984.4	40.83	65.15	57.05	79.89	85.36	32.81	37.72
11:50 น.	1004.4	41.01	68.71	56.90	82.16	87.28	32.98	36.45
12:00 น.	1081.5	40.09	67.22	55.93	86.48	83.72	32.96	38.71
12:10 น.	1009.5	42.25	76.91	57.90	92.61	97.83	33.06	38.69
12:20 น.	1097.6	42.30	76.51	63.85	92.92	94.23	33.18	39.55
12:30 น.	1089	46.82	80.36	72.54	94.90	100.09	33.26	38.08

เวลา	ความเข้ม รังสี(W/m^2)	อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ($^{\circ}C$)						
		$T_{in,PV-T}$	T_{PV}	$T_{out,PV-T}$	$T_{in,col}$	$T_{out,col}$	T_{tank}	T_a
12:40 น.	1027.6	42.78	80.85	68.14	93.49	99.70	33.35	39.33
12:50 น.	977	39.30	73.47	60.96	89.33	90.16	33.44	37.69
13:00 น.	971.3	41.58	75.25	65.86	91.49	92.69	33.48	38.40
13:10 น.	943.1	41.56	75.86	64.04	85.21	93.61	33.74	36.25
13:20 น.	978.4	43.97	77.27	71.51	91.49	92.11	33.85	38.83
13:30 น.	849.5	45.36	76.42	72.29	91.40	95.80	33.99	38.62
13:40 น.	895	48.46	78.73	78.59	90.30	99.56	34.35	39.38
13:50 น.	884.2	49.85	79.05	80.98	91.41	99.70	34.47	38.56
14:00 น.	875.2	44.47	76.40	72.68	90.67	95.30	34.67	38.60
14:10 น.	832.3	46.63	77.92	77.30	91.01	93.38	34.84	39.47
14:20 น.	777.7	47.07	75.00	77.57	90.19	91.87	35.17	41.13
14:30 น.	792	46.50	72.48	73.55	88.09	89.17	35.41	40.60
14:40 น.	776.8	46.62	71.66	72.27	87.73	83.77	35.61	39.96
14:50 น.	743	46.88	70.45	70.04	85.31	83.82	35.76	39.71
15:00 น.	702.6	46.61	69.09	66.69	84.31	84.81	35.85	39.43
15:10 น.	659.2	46.73	69.67	65.33	84.04	84.57	35.78	39.59
15:20 น.	635	46.12	66.66	63.94	81.30	82.56	35.79	39.87
15:30 น.	581.5	45.76	66.61	62.71	80.48	81.14	36.00	40.55
15:40 น.	555	46.06	66.22	62.76	79.65	80.02	36.17	40.23
15:50 น.	506.1	45.77	62.63	61.44	75.55	77.69	36.28	40.45
16:00 น.	463.4	44.97	58.91	59.48	71.37	74.79	36.45	39.60
16:10 น.	487.8	43.91	57.78	57.31	69.94	71.86	36.45	41.36
16:20 น.	428.7	43.03	58.98	55.51	66.48	72.42	36.47	40.49
16:30 น.	364.9	40.81	56.02	53.74	64.61	71.22	36.61	39.24
เฉลี่ย	794.75	43.80	68.14	59.53	80.66	81.32	33.77	37.60

การหาความสัมพันธ์ถ้าใช้แค่วันเดียวกัน

โดยใช้โปรแกรม SigmaPlot 11.0 ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างเวลา ความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิ ณ จุดต่าง จะได้สมการ และค่าคงที่ ในการหาความสัมพันธ์

ตัวอย่าง การใช้ระบบไหลเวียนแบบบังคับ ณ ที่เวลา 12.00 น. มีความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ 805.95 W/m^2 และที่น้ำเข้าแผง PV/T มีอุณหภูมิเท่ากับ 49.24°C เมื่อนำค่าต่างๆ ไปพอร์กราฟในโปรแกรม SigmaPlot 11.0 โดยกำหนดให้ $X = \text{เวลา}$ $Y = \text{ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์}$ $Z = \text{อุณหภูมิของน้ำเข้าแผง PV/T}$ จะได้สมการ และค่าคงที่ ดังนี้

$$f = a \cdot \exp(-0.5(((x - x_0)/b)^2 + ((y - y_0)/c)^2))$$

โดยที่ $x_0 = 0.5552$, $y_0 = 378.296$, $a = 71.6279$, $b = 0.1657$, $c = 831.3016$

เมื่อแทนค่าต่างลงในสมการจะได้

$$\begin{aligned} f &= (71.6279) \cdot \exp(-0.5(((12.00 - 0.5552)/0.1657)^2 + ((805.95 - 378.296)/831.3016)^2)) \\ &= 50.99 \end{aligned}$$

ซึ่งต่างกัน 1.75°C

ตัวอย่าง การใช้ระบบไหลเวียนแบบบังคับ ณ ที่เวลา 12.00 น. มีความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ 805.95 W/m^2 และที่น้ำออกแผงรับรังสี มีอุณหภูมิเท่ากับ 49.66°C เมื่อนำค่าต่างๆ ไปพอร์กราฟในโปรแกรม SigmaPlot 11.0 โดยกำหนดให้ $X = \text{เวลา}$ $Y = \text{ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์}$ $Z = \text{อุณหภูมิของน้ำออกแผงรับรังสี}$ จะได้สมการ และค่าคงที่ ดังนี้

$$f = a \cdot \exp(-0.5(((x - x_0)/b)^2 + ((y - y_0)/c)^2))$$

โดยที่ $x_0 = 0.6845$, $y_0 = 538.5859$, $a = 66.6832$, $b = 0.1657$, $c = 469.286$

เมื่อแทนค่าต่างลงในสมการจะได้

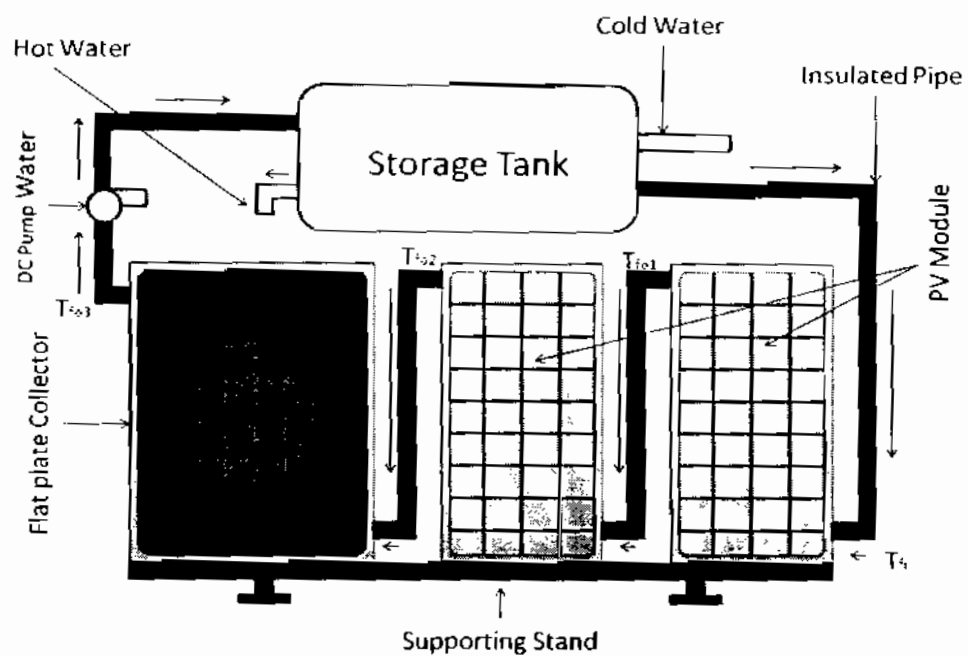
$$\begin{aligned} f &= (66.6832) \cdot \exp(-0.5(((12.00 - 0.6845)/0.1657)^2 + ((805.95 - 538.5859)/469.286)^2)) \\ &= 48.89 \end{aligned}$$

ซึ่งต่างกัน 0.77°C

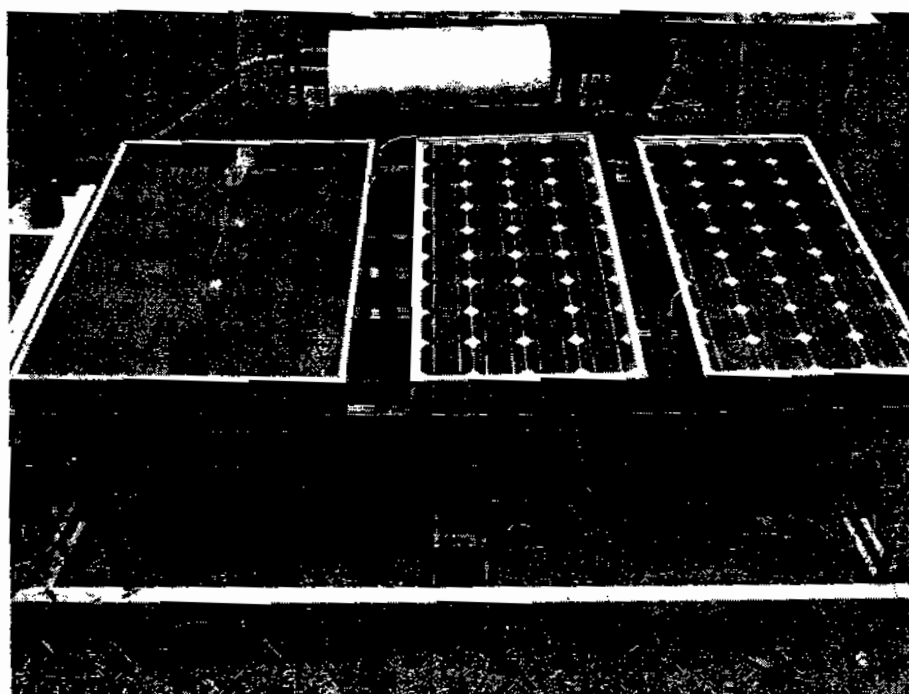
ภาคผนวก ค
ภาพประกอบการดำเนินการ

วัสดุและอุปกรณ์ในการสร้างระบบ

- 1.1 อลูมิเนียมแผ่นหนา 0.5 มม.
- 1.2 ก่องอลูมิเนียมขนาด 4x10 ซม.
- 1.3 อลูมิเนียมขนาด 2.5x4 ซม.
- 1.4 ฉากอลูมิเนียมขนาด 1x1 นิ้ว
- 1.5 ฉากอลูมิเนียมขนาด 1x10 ซม.
- 1.6 ท่อทองแดงขนาด 3 หุน
- 1.7 ท่อทองแดงขนาด 6 หุน
- 1.8 น๊อตขนาด 1 หุน และ 3 หุน
- 1.9 เหล็กขนาด 1x2 นิ้ว
- 1.10 เหล็กฉากขนาด $1\frac{1}{2}$ นิ้ว x $1\frac{1}{2}$ นิ้ว
- 1.11 เหล็กแผ่นหนา 6 มม.
- 1.12 เหล็กเกรียวขนาด 6 หุน
- 1.13 ฉนวนหนา 8 มม. และ 12 มม.
- 1.14 สังกะสี
- 1.15 ข้อต่อทองแดงขนาด 6 หุน
- 1.16 ข้อต่อทองเหลืองขนาด 6 หุน
- 1.17 เครื่องตัดพลาสติก
- 1.18 หินเจียร
- 1.19 เครื่องเชื่อม
- 1.20 ลวดเชื่อม
- 1.21 หน้ากากเชื่อม
- 1.22 เลื่อยตัดเหล็ก
- 1.23 สว่าน
- 1.24 ไม้บรรทัดเหล็ก 1 เมตร
- 1.25 ดอกสว่านขนาด 2, 3, 4, 5, 10 มิลลิเมตร
- 1.26 คีมปากผสม
- 1.27 ไขควง
- 1.28 กาวฉนวน
- 1.29 ปืนยิงรีเวท



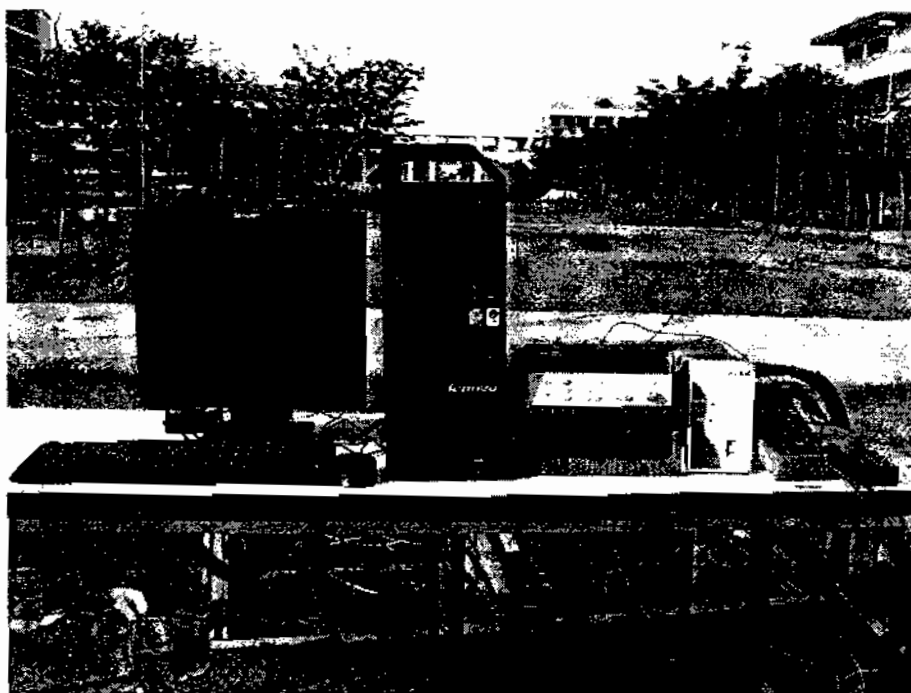
รูปการออกแบบระบบแผง PV/T แบบผสมผสาน



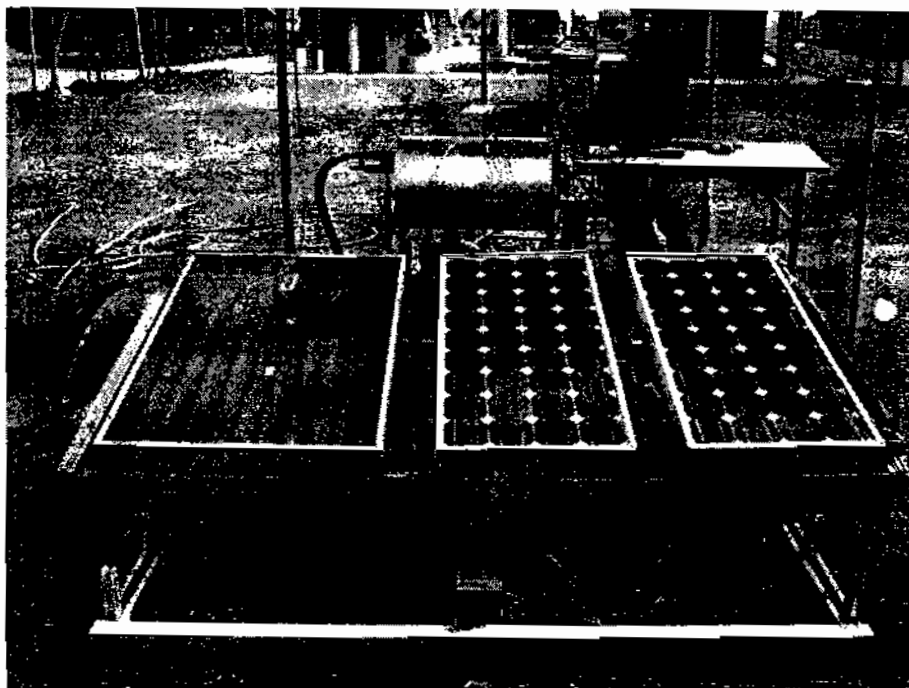
รูประบบแผง PV/T แบบผสมผสาน



รูปการติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง



รูปการติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง



รูปการทดลองและเก็บข้อมูล

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ประวัติผู้จัดทำโครงการ

ชื่อ-นามสกุล . นายกิตติพล พิมพ์จันทร์

วัน/ เดือน/ปีเกิด 10 สิงหาคม พ.ศ. 2530

ภูมิลำเนา 226 หมู่ 4 ต.ช่องแมว อ.ลำทะเมนชัย จ.นครราชสีมา 30270

E-mail samap_4@hotmail.com

โทรศัพท์ 083-3541484

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2542 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านหนองมะเจือ
ต.ช่องแมว อ.ลำทะเมนชัย จ.นครราชสีมา

พ.ศ. 2545 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนชุมพวงศึกษา
ต.ชุมพวง อ.ชุมพวง จ.นครราชสีมา

พ.ศ. 2548 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนชุมพวงศึกษา
ต.ชุมพวง อ.ชุมพวง จ.นครราชสีมา

พ.ศ. 2552 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
ประยุกต์(พลังงาน) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย

จ.มหาสารคาม

ประวัติผู้จัดทำโครงการ



ชื่อ-นามสกุล นายทวีวุฒิ โสภังค์
 วัน/ เดือน/ปีเกิด 6 มีนาคม พ.ศ. 2530
 ภูมิลำเนา 53/1 หมู่ 12 ค.คอนแรด อ.รัตนบุรี จ.สุรินทร์ 32130
 E-mail thweewoud@hotmail.com
 โทรศัพท์ 085-4663271

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2542 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านหาญฮี
 ค.คอนแรด อ.รัตนบุรี จ.สุรินทร์
 พ.ศ. 2545 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้นที่โรงเรียนคอนแรดวิทยา
 ค.คอนแรด อ.รัตนบุรี จ.สุรินทร์
 พ.ศ. 2548 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายที่โรงเรียนคอนแรดวิทยา
 ค.คอนแรด อ.รัตนบุรี จ.สุรินทร์
 พ.ศ. 2552 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์
 ประยุกต์(พลังงาน) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ค.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย

จ.มหาสารคาม