การศึกษาสมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง

วิทยานิพนธ์

ของ

เอกภูมิ ใจศิริ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

กุมภาพันธ์ 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

การศึกษาสมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง

วิทยานิพนธ์

ของ

เอกภูมิ ใจศิริ

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์

กุมภาพันธ์ 2564

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Performance Study of the Semi-transparent Photovoltaic/Thermal Module

Akapoom Jaisiri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements

for Master of Science (Physics)

February 2021

Copyright of Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายเอกภูมิ ใจศิริ แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. ไพศาล จี้ฟู)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผศ. ดร. อนุสรณ์ แสงประจักษ์)

.... กรรมการ

(ผศ. ดร. วุฒิศาสตร์ โชคเกื้อ)

.... กรรมการ

(ผศ. ดร. ธนา ยีรัมย์)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

....	....
(ศ. ดร. ไพโรจน์ ประมวล)	(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล)
คณบดีคณะวิทยาศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

พหูน ปณฺฑิโต ธีเร

ชื่อเรื่อง	การศึกษาสมรรถนะของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง
ผู้วิจัย	เอกภูมิ ใจศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุสรณ์ แสงประจักษ์
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** ฟิสิกส์
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2564

บทคัดย่อ

แผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง (semi-transparent photovoltaic thermal module, SPVT) เป็นแผงที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า ความร้อน และให้แสงส่องสว่างด้านล่างไปพร้อมกัน เป็นการเพิ่มการประโยชน์ของรังสีอาทิตย์ต่อพื้นที่รับรังสีให้มากขึ้น บทความนี้นำเสนอการศึกษาการไหลเวียนน้ำแบบธรรมชาติ (passive flow) และแบบบังคับ (active flow) ที่ค่าอัตราการไหลต่าง ๆ ในแผง SPVT ว่าส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพและสมรรถนะของแผง SPVT อย่างไร ซึ่งทำการออกแบบ สร้าง และทดสอบแผง SPVT ขนาด 100 W พื้นที่ 0.72 m^2 ณ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม โดยวัดค่าอุณหภูมิแผง อุณหภูมิน้ำ อุณหภูมิแวดล้อม ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ และค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าต่าง ๆ ทุก 15 นาที ผลการวิเคราะห์การทำงานของของแผง SPVT แสดงให้เห็นว่า รูปแบบการไหลเวียนน้ำแบบบังคับสามารถควบคุมอุณหภูมิแผงได้ต่ำกว่าแบบธรรมชาติ โดยการไหลเวียนน้ำแบบบังคับที่อัตราไหล 0.02 kg/s ให้ค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงที่สุด เท่ากับ 0.91, 12.73% ตามลำดับ และให้ประสิทธิภาพทางความร้อน และประสิทธิภาพรวมสูงที่สุด เท่ากับ 49.36% และ 62.09% ตามลำดับ นอกจากนี้แผง SPVT ที่ทำการศึกษาให้ค่าความส่องสว่างช่วงกลางวันเพียงพอต่อสำหรับการใช้งานในพื้นที่ทั่วไป

คำสำคัญ : แผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง, ประสิทธิภาพแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง, สมรรถนะแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง, เซลล์แสงอาทิตย์

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

TITLE	Performance Study of the Semi-transparent Photovoltaic/Thermal Module
AUTHOR	Akapoom Jaisiri
ADVISORS	Assistant Professor Arnusorn Saengprajak , Dr.Ing.
DEGREE	Master of Science **MAJOR** Physics
UNIVERSITY	Mahasarakham University **YEAR** 2021

ABSTRACT

The semi-transparent photovoltaic thermal module (SPVT) is the solar module that can generates electricity heat and part of sun light through the module while operating, which is benefitcial for improving of solar utilization per area of the module. This paper presents effect of the natural and force flow patterns to the efficiency and performance of the SPVT module. The 100 W of SPVT module with an area of 0.72 m^2 was designed, studied and experimented at Mahasarakham University. The solar module temperature, water temperature, ambient temperature, solar irradiation and electrical parameters were measured in every 15 minutes. The analysis result shows that the water with active flow pattern induces the module temperature lower than in the passive flow pattern. The active flow of water at 0.02 kg/s causes performance ratio, maximum electrical efficiency, thermal efficiency and overall efficiency of SPVT module by 0.91, 12.37%, 49.36% and 62.09% respectively. Moreover, the studied SPVT module provide sufficient illuminance for general area during the day.

Keyword : Semi-transparent photovoltaic thermal module (SPVT), SPVT efficiency, SPVT performance, solar cell

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจากอาจารย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อนุสรณ์ แสงประจักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ให้คำปรึกษา คำชี้แนะ ทำให้โครงงานนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพศาล จี้ฟู ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธนา ยีรัมย์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ วุฒิศาสตร์ โชคเกื้อ กรรมการสอบ ที่ให้คำปรึกษาและตรวจสอบข้อผิดพลาดพร้อมทั้งชี้แนะ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ให้กำเนิดที่ให้การอบรมเลี้ยงดูสนับสนุนต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นผู้ซึ่งคอยให้กำลังใจและอยู่เบื้องหลังความสำเร็จด้วยดีตลอดมา ขอขอบพระคุณคณาจารย์ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ให้คำปรึกษาชี้แนะและความช่วยเหลืออำนวยความสะดวกทั้งด้านความรู้และด้านอุปกรณ์ต่าง ๆ นอกจากนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จสมบูรณ์ลงได้ด้วยความอนุเคราะห์ทุนจากกองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่สนับสนุนงานวิจัยนี้

เอกภูมิ ใจศิริ

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....................ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ....................จ
กิตติกรรมประกาศ....................ฉ
สารบัญ....................ช
สารบัญภาพ....................ฌ
สารบัญตาราง....................ฎ
บทที่ 1 บทนำ....................1
1.1 หลักการและเหตุผล....................1
1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย....................2
1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย....................3
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย....................3
1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล....................4
1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้....................4
1.7 สถานที่ทดสอบงานวิจัย....................4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....................5
2.1 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์....................5
2.2 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ....................13
2.3 การหาประสิทธิภาพของระบบแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง....................18
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....................22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย....................24
3.1 การออกแบบแผง SPVT....................24

พหูน ปณฺ สิโต ชีเว

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการประกอบและทดสอบแผง SPVT 25
3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบระบบ 26
3.4 เครื่องมือวัดเก็บข้อมูล 27
3.5 ขั้นตอนการทดสอบระบบ 29
3.6 การวัดค่าการส่องผ่านของแสง 30
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย 32
4.1 ผลการทดลอง 32
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง 40
บทที่ 5 สรุปผล 46
5.1 สรุปผลการทดลอง 46
5.2 ข้อเสนอแนะ 46
บรรณานุกรม 48
ภาคผนวก 51
ภาคผนวก ก ตัวอย่างข้อมูลการทดลอง 51
ภาคผนวก ข ตัวอย่างวิธีการคำนวณ 51
ประวัติผู้เขียน 65

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพประกอบ 1.1 (ก) โครงสร้างแผง PV (ข) โครงสร้างแผง SPVT 2

ภาพประกอบ 2.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์........ 8

ภาพประกอบ 2.2 โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็น........ 8

ภาพประกอบ 2.3 เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ........ 9

ภาพประกอบ 2.4 อิเล็กตรอนและโฮลวิ่งจับคู่กัน 9

ภาพประกอบ 2.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์........ 10

ภาพประกอบ 2.6 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-curve) 11

ภาพประกอบ 2.7 ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร........ 12

ภาพประกอบ 2.8 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน........ 12

ภาพประกอบ 2.9 ผลของความต้านทาน Shunt ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน 13

ภาพประกอบ 2.10 ภาพแสดงระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง........ 19

ภาพประกอบ 3.1 แบบแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง........ 24

ภาพประกอบ 3.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono crystalline ขนาด 100 วัตต์........ 25

ภาพประกอบ 3.3การประกอบแผง SPVT........ 26

ภาพประกอบ 3.4 (ก) เครื่องบันทึกข้อมูลและ (ข) เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า........ 27

ภาพประกอบ 3.5 (ก) เครื่องวัดอัตราการไหล (ข) เครื่องวัดความส่องสว่าง........ 28

ภาพประกอบ 3.6 เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ 28

ภาพประกอบ 3.7 การทดสอบแผง SPVT และการบันทึกข้อมูล........ 30

ภาพประกอบ 3.8 ขนาดโครงสร้างของห้องที่ใช้ในการทดสอบความส่องสว่างของแผง SPVT 30

ภาพประกอบ 3.9 (ก) ลักษณะการส่องสว่างของแผง SPVT (ข) ห้องทดสอบการส่องสว่าง........ 31

ภาพประกอบ 4.1 ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออก วันที่ 6 พฤศจิกายน 2562 ที่อัตราการไหล 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที 32

ภาพประกอบ 4.2 ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออก วันที่ 8 พฤศจิกายน 2562 ที่อัตราการไหล 0.01 กิโลกรัมต่อวินาที.. 33

ภาพประกอบ 4.3 ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออก วันที่ 5 พฤศจิกายน 2562 ที่อัตราการไหล 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที.. 33

ภาพประกอบ 4.4 ความสัมพันธ์ค่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย อุณหภูมิน้ำเข้าเฉลี่ย ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ.. 35

ภาพประกอบ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยแผงทดสอบ ของแต่ละค่าอัตราการไหล ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ 36

ภาพประกอบ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกของแต่ละค่าอัตราการไหล ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ 37

ภาพประกอบ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแต่ละค่าอัตราการไหลที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ 38

ภาพประกอบ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของแต่ละค่าอัตราการไหลที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ 39

ภาพประกอบ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าของแต่ละค่าอัตราการไหลที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ 40

ภาพประกอบ 4.10 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผง SPVT ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ณ เวลาใด ๆ 42

ภาพประกอบ 4.11 ประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง SPVT ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ณ เวลาใด ๆ 43

ภาพประกอบ 4.12 ประสิทธิภาพรวมของแผง SPVT ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ณ เวลาใด ๆ............. 44

ภาพประกอบ 4.13 สมรรถนะทางไฟฟ้าของแผง SPVT ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ณ เวลาใด ๆ 45

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 4.1 สมการถดถอยพหุคูณเพื่อประเมินค่าแผง SPVT 34

ตาราง 4.2 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่เวลาต่าง ๆ 41

บทที่ 1
บทนำ

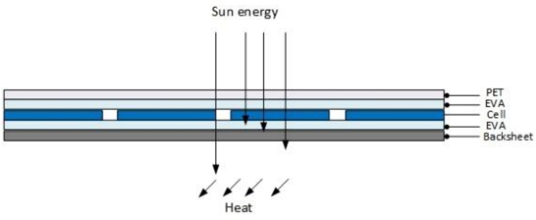
1.1 หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันพลังงานที่เราใช้กันอยู่ทุกวันนี้ ส่วนใหญ่เป็นพลังงานสิ้นเปลืองใช้แล้วหมดไป แนวทางอย่างหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานสิ้นเปลือง ก็คือ การใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ เป็นต้น นอกจากจะเป็นการลดการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลแล้ว ยังเป็นการลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศอีกด้วย ประเทศไทยอยู่ในบริเวณเส้นศูนย์สูตร มีศักยภาพพลังงานรังสีอาทิตย์เฉลี่ยสูงถึง 18.0 MJ/m^2/day [1] พลังงานแสงอาทิตย์จึงได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐและมีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศ [2] โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเปลี่ยนรูปพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (photovoltaic module, PV module) เป็นรูปแบบการใช้พลังงานทดแทนที่ได้รับความนิยมในประเทศ เนื่องจากต้นทุนที่ถูกลง เข้าถึงได้ง่ายขึ้น มีความสะดวกในการใช้งาน และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ดีเทคโนโลยีดังกล่าวยังมีข้อจำกัดด้าน ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนรูปพลังงานที่มีค่าเพียง 6-20% [3] และมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิแผงสูงขึ้นเนื่องจากการสะสมความร้อนบนแผงขณะใช้งาน

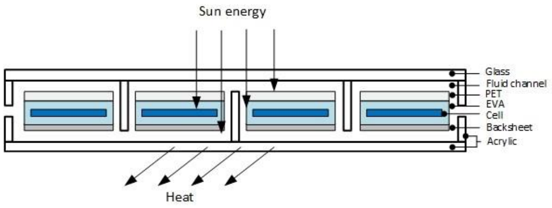
การดึงเอาความร้อนสะสมบนแผงดังกล่าวไปใช้ประโยชน์ในรูปของความร้อนพร้อมกันกับการผลิตไฟฟ้าเป็นวิธีหนึ่งในการเพิ่มศักยภาพการเปลี่ยนรูปพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อพื้นที่รับแสง เรียกแผงที่ทำงานในลักษณะดังกล่าวว่า แผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (photovoltaic thermal module, PVT module) นิยมใช้น้ำและอากาศเป็นตัวกลางในการนำความร้อนออกจากแผง และแผง PVT โดยมากเซลล์ที่ใช้ ผลิตจากผลึกซิลิคอน เนื่องจากให้สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าต่อความร้อนออกมาได้มากกว่ากรณีของฟิล์มบางซิลิคอน นอกจากการพยายามพัฒนาประสิทธิการเปลี่ยนรูปพลังงานรังสีอาทิตย์ของแผง PV ให้สูงขึ้นโดยใช้หลักการของแผง PVT แล้ว ยังมีกลุ่มของนักวิจัยที่ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้แผง PV ที่ติดตั้งกับอาคารให้สามารถทำงานร่วมกับการปรับสภาวะความสบายอาคารอีกทางหนึ่งด้วย เรียกแผง PV ที่ปรับปรุงขึ้นเพื่องานลักษณะดังกล่าวว่าแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง (semi-transparent photovoltaic thermal module, SPVT module) โดยแผงจะสามารถผลิตไฟฟ้า ความร้อน และให้แสงส่องผ่านด้านล่างได้ด้วย ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมาเน้นไปที่การใช้อากาศนำเอาความร้อนออกจากแผงไปให้ความ

อบอุ่นภายในอาคาร (building integrated semi-transparent photovoltaic thermal, BISPVT) เช่น Arjun Do และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาแบบจำลองคาบของความร้อนในอากาศที่เกิดจากแผง BISPV/T, Firehun Taffesse และคณะ [5] ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทำงานของแผง BISPVT ร่วมกับผนังแบบทรอมบ์ (trombe wall), Ankita Gaur และคณะ [6] ทำการติดตั้งแผง BISPVT เพื่อช่วยระบายอากาศในห้อง และ T.T. Chow และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ BIPV ที่ติดตั้งกับอาคารเพื่อการผลิตน้ำร้อน เป็นต้น

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า งานวิจัยส่วนใหญ่ที่เกี่ยวข้องกับแผง SPVT นั้นเน้นไปที่การใช้อากาศในการระบายความร้อนและติดตั้งเพื่อใช้งานกับอาคาร มีเพียงงานวิจัยของ T.T. Chow เท่านั้นที่เกี่ยวข้องกับการใช้น้ำ แต่แผงดังกล่าวยังไม่ใช่แผง SPVT ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบและศึกษาแผง SPVT ที่เน้นใช้น้ำในการระบายความร้อนออกจากแผง โดยในการศึกษานั้นได้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบยืดหยุ่นชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนขนาด 100 วัตต์ (ภาพประกอบ 1.1 (ก)) ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดมาทำการออกแบบโครงสร้างและประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นมาใหม่ ให้มีลักษณะเป็นกึ่งโปร่งแสงเพื่อให้แสงอาทิตย์สามารถส่องผ่านด้านล่างของแผงได้ และมีช่องให้น้ำสามารถไหลผ่านได้ทั้งด้านหน้าและด้านหลังของแผงเพื่อระบายความร้อนตามภาพประกอบ 1.1 (ข)



(ก)



(ข)

ภาพประกอบ 1.1 (ก) โครงสร้างแผง PV (ข) โครงสร้างแผง SPVT

1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างแผง PV/T ชนิดกึ่งโปร่งแสง

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและความร้อนของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะทางไฟฟ้า และค่าการส่องผ่านของแสง ของแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง

1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย

1.3.1 แผงเซลล์ที่นำมาทำการทดลองประกอบขึ้นเองเป็นชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนขนาด 100 วัตต์ กว้าง 540 มม. ยาว 1,200 มม. หนา 2 มม.

1.3.2 ค่าฟิลล์แฟกเตอร์กำหนดที่ 0.8 [8]

1.3.3 สถานที่ทำการทดลองหน่วยปฏิบัติการวิจัยพลังงาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงทดลองซึ่งประกอบไปด้วย แผง SPVT ชนิด Mono crystalline ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 1 แผง ทำการทดสอบการไหลเวียนของน้ำในแผง 2 สภาวะ คือ 1) ที่สภาวะการไหลแบบธรรมชาติ และ 2) ที่สภาวะการไหลเวียนแบบบังคับที่ค่าอัตราการไหลต่าง ๆ กัน

1.4.1 การวิจัยเชิงทดลองซึ่งประกอบไปด้วย

1.4.1.1 แผงทดลอง ได้แก่ แผง SPVT ชนิด Mono crystalline ขนาด 100 วัตต์ จำนวน 1 แผง

1.4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.4.2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Mono crystalline 100 วัตต์ จำนวน 1 แผง

1.4.2.2 มัลติมิเตอร์

1.4.2.3 เครื่องวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

1.4.2.4 เครื่องบันทึกข้อมูลและสายเทอร์โมคัปเปิ้ล

1.4.2.5 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ

1.4.2.6 เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง

1.4.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การทดสอบที่สภาวะการไหลแบบธรรมชาติ และที่สภาวะการไหลเวียนแบบบังคับที่ค่าอัตราการไหลต่าง ๆ กัน เริ่มทำการทดสอบและเก็บข้อมูลระบบตั้งแต่เวลา 08.00 – 16.30 นาฬิกา โดยแผงจะวางทำมุมที่ 15 องศากับแนวระนาบ หันหน้าแผงไปทางทิศใต้ การบันทึกข้อมูลจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 จะใช้เครื่องมือบันทึกข้อมูล ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

พหุน ปณฺ ณฺกิโต ชีเว

อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออก อุณหภูมิแวดล้อม ความเข้มรังสีอาทิตย์ ในส่วนที่ 2 จะเป็นการบันทึกข้อมูลโดยการจดบันทึกค่าต่าง ๆ ลงในกระดาษตารางบันทึกข้อมูล ซึ่งได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้า ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่าความส่องสว่าง

1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากการทดลองถูกนำมาพิจารณาและทำการสร้างแบบจำลองการทำงานของแผง SPVT โดยใช้โปรแกรม SPSS และทำการกระเมินการทำงานของแผง SPVT ที่ค่าอัตราการไหลต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขของแสงและสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ แบบเดียวกัน โดยอาศัยแบบจำลองการทำงานของแผง ข้อมูลที่ได้ ถูกนำมาวิเคราะห์และพิจารณาค่ากำลังไฟฟ้า ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ประสิทธิภาพทางความร้อน ค่าสมรรถนะของระบบ และค่าความส่องสว่างใต้แผง SPVT

1.6 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยครั้งนี้

1.6.1 ได้ทราบถึงวิธีการลดอุณหภูมิด้วยน้ำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางไฟฟ้าในการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์และได้ศึกษาประสิทธิภาพทางความร้อนที่ได้จากระบบ

1.6.2 ได้ทราบแนวทางในการออกแบบแผงเซลล์เพื่อผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง

1.6.3 ได้รูปแบบ PV/T ชนิดกึ่งโปร่งแสง (SPVT) ที่สามารถผลิตได้ทั้งไฟฟ้า ความร้อน และให้ความสว่างได้ในตัวเพื่อประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวัน

1.7 สถานที่ทดสอบงานวิจัย

หน่วยปฏิบัติการวิจัยพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนชนิดกึ่งโปร่งแสงมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic; PV) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่สร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน เมื่อแสงตกกระทบลงบนแผ่นเซลล์จะเกิดการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำ เมื่อเชื่อมต่อระหว่างผิวทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น

2.1.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อลดต้นทุนวัสดุที่ใช้ในการผลิตและเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่ผลิตมาจากซิลิกอน เนื่องจากเป็นวัตถุดิบที่มีอยู่มาก และมีราคาถูก เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานในเชิงพาณิชย์แบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

2.1.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว (Single crystalline solar cell)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว หรือเรียกอีกชื่อคือ Mono crystalline การผลิตเริ่มจากการนำสารซิลิกอนมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ โดยผ่านการหลอมที่อุณหภูมิสูง จนได้แท่งผลึกเดี่ยวทรงกระบอก แล้วนำไปตัดเป็นแผ่นกลมบาง เรียกว่า เวเฟอร์ (Wafer) จากนั้นเจือสารเพื่อทำให้เกิดเป็น P-N junction และฝังขั้วไฟฟ้าลงบนแผ่นเพื่อนำกระแสไฟฟ้า ขั้นสุดท้ายเป็นการเคลือบผิวหน้าเพื่อลดการสะท้อนแสง นำเซลล์ที่ได้ไปประกอบเข้าแผงโดยใช้กระจกเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์จากการกระแทกและช่วยป้องกันความชื้น ในการใช้งานจะนำเซลล์แต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าตามที่ต้องการ กระบวนการผลิตเซลล์ชนิดนี้ต้องใช้พลังงานมาก และมีการสูญเสียวัสดุซิลิกอนเป็นจำนวนมากในการตัดแผ่นเวเฟอร์ จึงส่งผลให้ต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง

2.1.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม (Poly crystalline solar cell)

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม หรือเรียกอีกชื่อคือ Multi crystalline จะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว คือการทำแผ่นเซลล์ กระบวนการผลิตมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การนำซิลิกอนมาหลอมในแบบ หล่อให้เป็นแท่งแล้วปล่อยให้เย็นตัวลงช้า ๆ ก่อนไปตัดเป็นแผ่นเวเฟอร์ ทำ P-N junction หรืออีกวิธีหนึ่งจะใช้วิธีพอกซิลิกอนเหลวจนเป็นแผ่นฟิล์มบนฐานรองเซรามิคหรือแก้ว จะเห็นว่าการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวมได้ถูกพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยว แต่ประสิทธิภาพแบบผลึกรวมจะต่ำกว่าเพราะการเรียงตัวของผลึกในเซลล์ที่ต่างกัน โดยแบบผลึกรวมนั้นจะมีขอบเกรนของผลึก (Grain boundaries) เป็นจำนวนมากทำให้ผลึกเรียงตัวกันไม่ดีเหมือนกับผลึกเดี่ยว

2.1.1.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส หรือฟิล์มบาง (Amorphous or thin film solar cell)

เซลล์ชนิดนี้ไม่มีโครงสร้างที่เป็นผลึก กระบวนการผลิตจะสร้างแผ่นฟิล์มบาง ๆ ของซิลิกอนลงบนแผ่นฐานรองด้วยเทคนิคการพอกผิวด้วยการแพร่แก๊ส จุดเด่นเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นบางคือจะมีความไวแสงมากที่สุด ทำให้สามารถรับแสงที่มีความยาวคลื่นในย่านต่ำ ๆ ได้ดี ส่งผลทำให้รับแสงในพื้นที่มีหมอก ฝุ่นละออง ท้องฟ้าครึ้มๆ มีฝนตกชุกได้ แต่มีข้อเสียคือ เซลล์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพต่ำทำให้ต้องใช้พื้นที่มากในการติดตั้งเมื่อเทียบกับเซลล์ชนิดอื่น โดยมีการใช้งานในเชิงพาณิชย์อยู่ 3 ชนิด คือ อะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous silicon) แคดเมี่ยมเทลลูไลด์ (Cadmium telluride; CdTe) และ คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper indium diselenide; CIS)

2.1.2 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีแรงดันไฟฟ้าน้อยมาก จึงนำเซลล์หลายๆเซลล์มาต่อกับแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น และหากต้องการกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นก็สามารถทำได้โดยการต่อเซลล์หลายๆตัวขนานกัน ซึ่งการต่อเซลล์ทั้งแบบอนุกรมและแบบขนานเข้าด้วยกันจะเป็นการเพิ่มกำลังไฟฟ้า เซลล์ที่นำมาต่อกันหลายๆตัวในจำนวนและขนาดที่ต้องการเรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar module or solar panel) อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้าที่ผลิตด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียง 1 แผง อาจจะไม่เพียงต่อการใช้งานในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อกัน โดยหากนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาต่ออนุกรมหลายๆแผง จะเรียกว่า สตริง (String) และการต่อสตริงขนานกันหลายๆแถว จะเรียกว่า อาเรย์ (Array) ส่วนประกอบที่สำคัญของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีดังนี้

2.1.2.1 เซลล์ (Cells)

เซลล์ ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้า โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วยเซลล์หลายๆตัว เชื่อมต่อกันผ่านตัวนำไฟฟ้า โดยวางบนวัสดุห่อหุ้มเซลล์

2.1.2.2 วัสดุห่อหุ้มเซลล์ (Encapsulant)

วัสดุห่อหุ้มเซลล์เป็นวัสดุที่ทำมาจากโพลีเมอร์ (Polymer sheet) ที่เรียกว่า เอวีเอ (Ethyl vinyl acetate) ทำหน้าที่จับยึดระหว่างวัสดุประกบผิวหน้า ตัวเซลล์ และวัสดุประกบแผ่นหลังของแผงเซลล์ ซึ่งต้องทนทานต่ออุณหภูมิสูงและรังสีอัลตราไวโอเลต มีคุณสมบัติทำให้แสงผ่านได้ดีและระบายความร้อนได้ดี

2.1.2.3 วัสดุประกบผิวหน้า (Glass cover)

วัสดุประกบผิวหน้า ทำหน้าที่ป้องกันน้ำ ฝุ่นละออง รวมถึงการกระแทกจากภายนอก โดยใช้กระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กต่ำ ซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดีและระบายความร้อนได้ดี

2.1.2.4 วัสดุประกบแผ่นหลัง (Backing material)

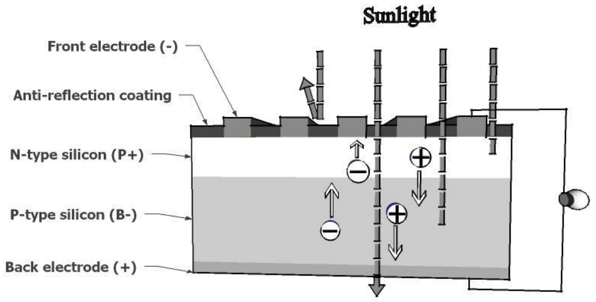
วัสดุประกบแผ่นหลังทำหน้าที่ป้องกันทางด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องมีสารสามารถระบายความร้อนได้ดี ป้องกันน้ำและไอน้ำ โดยส่วนมากวัสดุที่นำมาใช้เป็นพวกโพลิเมอร์แผ่นบางที่มีชื่อว่า Tedlar

2.1.2.5 โครง (Frame)

โครง ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของแผลเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับแผงเซลล์และเป็นส่วนป้องกันการถูกกระแทกจากสิ่งอื่น โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียม

2.1.3 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

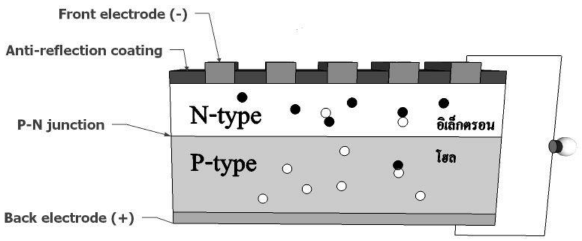
ภาพประกอบ 2.1 อธิบายหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง อาศัยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic effect) ซึ่งเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำมีค่าแตกต่างกัน เมื่อได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ โครงสร้างที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์มีลักษณะเหมือนกับไดโอดทั่วไปประกอบด้วยรอยต่อระหว่างวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันสองชั้น ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) เป็นขั้วบวก และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) เป็นขั้วลบ



ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ภาพประกอบ 2.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

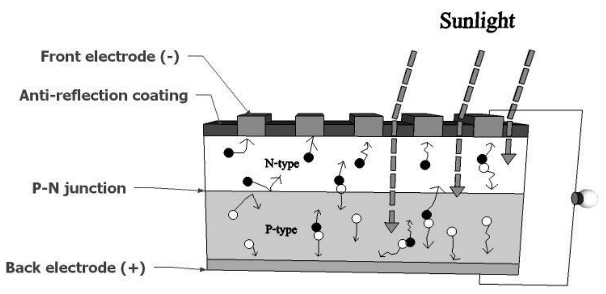
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอน ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ เกิดขึ้นจากผลึกซิลิกอนที่ใช้สารเจือปนคือฟอสฟอรัส เพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนส่วนเกินจึงมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดพี ใช้สารเจือปนคือโบรอน ทำให้โครงสร้างขาดอิเล็กตรอนอิสระ ทั้งนี้การขาดอิเล็กตรอนจึงเกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล (Hole) เมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิกอนทั้ง 2 ชนิดมาประกบต่อกันเรียกว่า รอยต่อ พี-เอ็น (P-N junction) ตามภาพประกอบ 2.2 จึงทำให้เกิดเป็น " เซลล์แสงอาทิตย์ " ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด N ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยบริเวณรอยต่อสารกึ่งตัวนำ ด้านหน้าของ N จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิด P ซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ P มีแถบโลหะเรียกว่า Back electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล



ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ภาพประกอบ 2.2 โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็น

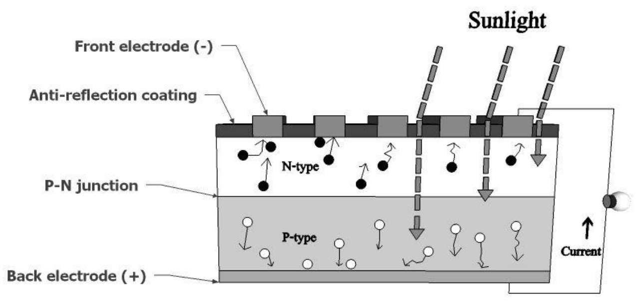
ภาพประกอบ 2.3 เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังงานสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้นสารกึ่งตัวนำชนิด N และโฮลจะวิ่งไปยังชั้นสารกึ่งตัวนำชนิด P



ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ภาพประกอบ 2.3 เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ

อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ขั้วรวบรวมกระแสไฟฟ้าด้านบน Front electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ขั้วรวบรวมกระแสไฟฟ้าด้านล่าง Back electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจากขั้วรวบรวมกระแสไฟฟ้าด้านบนและขั้วรวบรวมกระแสไฟฟ้าด้านล่างให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน ตามภาพประกอบ 2.4



ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ภาพประกอบ 2.4 อิเล็กตรอนและโฮลวิ่งจับคู่กัน

2.1.4 ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เริ่มต้นที่วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดง ภาพประกอบ 2.5 เป็นการต่อขนานระหว่างแหล่งกำเนิดแสง ไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) และความต้านทานขนานและต่ออนุกรมกับความต้านทานอนุกรมตามลำดับ เขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 2.1 นั่นคือผลลัพธ์ของกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เกิดมาจากแหล่งพลังงานหักลบด้วยกระแสที่ไหลผ่านไดโอดและผ่านความต้านทานขนาน (Shunt resistant) ขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดค่าแรงดันไฟฟ้าในแต่ละจุดขึ้น สมการที่ 2.2 แสดงแรงดันไฟฟ้า ณ จุดใด ๆ เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ขาออกบวกด้วยผลคูณระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานอนุกรม

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad [2.1]$$

$$V_L = V + IR_S \quad [2.2]$$

โดยที่

I กระแสไฟฟ้าขาออก (A)

I_L กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานแสง (A)

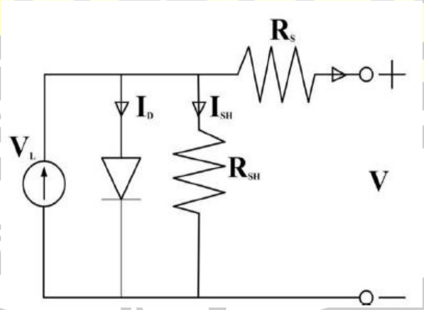
I_D กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด (A)

I_{SH} กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน Shunt (A)

V_L แรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานแสง (V)

V แรงดันไฟฟ้าขาออก (V)

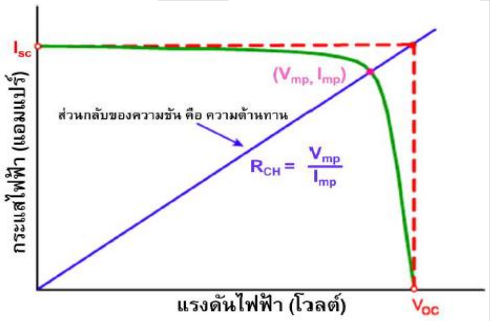
R_S ความต้านทานอนุกรม (Ω)



ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ภาพประกอบ 2.5 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์ที่บ่งบอกประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย กระแสลัดลงจร (I_{SC}) แรงดันวงจรเปิด (V_{OC}) และฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) ภาพประกอบ 2.6 แสดงกระแสลัดวงจรและแรงดันวงจรเปิด นั่นก็คือ กระแสไฟฟ้าขณะที่แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์ เป็นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีกระแสไฟฟ้าเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ส่วนฟิลล์แฟกเตอร์เป็นสัดส่วนระหว่างผลคูณแรงดันกับกระแสที่จุดทำงานสูงสุดและผลคูณของกระแสลัดวงจรกับแรงดันวงจรเปิดซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง นอกจากนี้พารามิเตอร์เกี่ยวกับความต้านทานในเซลล์แสงอาทิตย์เป็นประโยชน์ต่อการติดตามพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์และการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคิดจากสัดส่วนระหว่างค่าแรงดันที่จุดสูงสุดต่อกระแสที่ทำงานสูงสุด หรืออาจใช้สัดส่วนระหว่างค่าแรงดันวงจรเปิดต่อกระแสลัดวงจร



ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

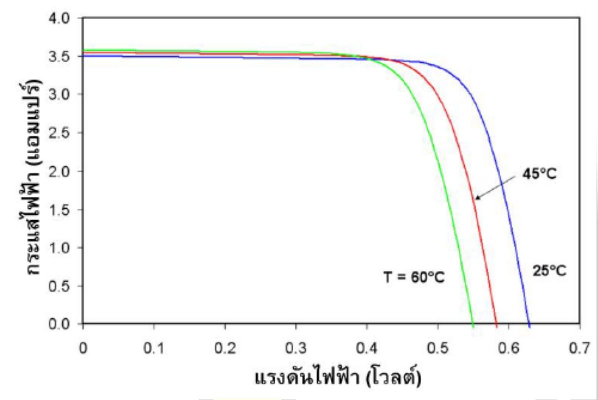
ภาพประกอบ 2.6 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-curve)

2.1.5 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับทั้งปัจจัยภายนอกและสมบัติของเซลล์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มรังสีอาทิตย์ ความต้านทานขนาน และความต้านทานอนุกรม เป็นต้น โดยที่ประสิทธิภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือ สภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้นระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลงเป็นผลให้แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลงแต่ไม่ทำให้กระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงมากนัก ดังภาพประกอบ 2.7 ทั้งนี้กระแสวัดวงจรหรือกระแสสูงสุดจะลดลงเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าน้อย เช่น ในวันที่ท้องฟ้ามืดครึ้ม มีเมฆบดบัง การบังเงาเนื่องจากต้นไม้ เป็นต้น

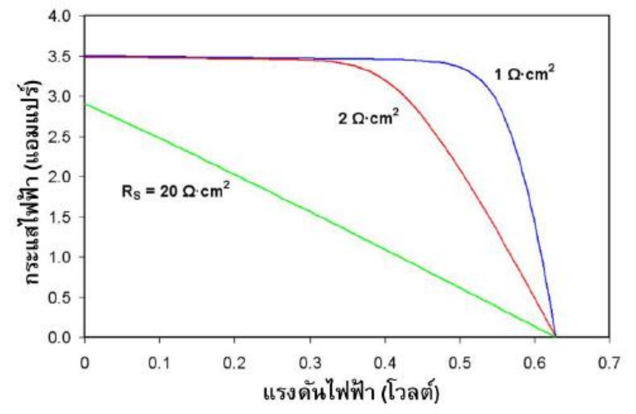
ความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าลดลงแต่ไม่มีผลกับค่าแรงดันวงจรเปิดหรือกล่าวได้ว่า ความต้านทานอนุกรมทำให้ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ลดลง หากค่านี้มีมาก ๆ จะทำให้กระแสลัดวงจรลดลง และ IV-curve เป็นเส้นตรงดัง ภาพประกอบ 2.8 ส่วนถ้าค่าความต้านทาน

Shunt ลดลงมากจะเป็นผลทำให้วงจรแรงดันเปิดและกระแสลัดวงจรมีค่าลดลง ดังภาพประกอบ 2.9 และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ลดลงเช่นเดียวกับกรณีความต้านทานอนุกรม



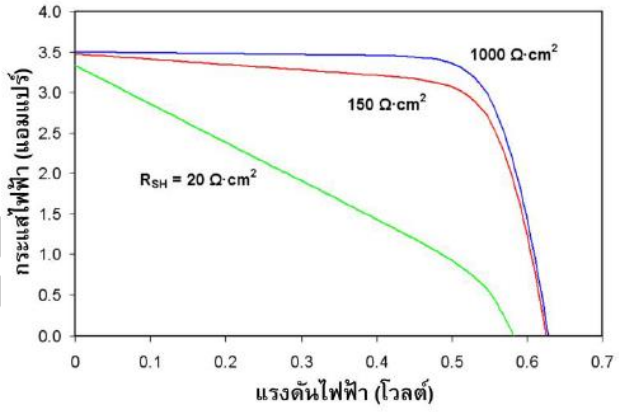
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ภาพประกอบ 2.7 ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร



ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ภาพประกอบ 2.8 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน



ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

ภาพประกอบ 2.9 ผลของความต้านทาน Shunt ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน

2.2 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple linear regression) เป็นวิธีการทางสถิติที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ (Independent variable) กับตัวแปรตาม (Dependent variable) จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linearity) ถ้าศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว เรียกว่าการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยวหรือการวิเคราะห์ถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple linear regression analysis) ถ้าตัวแปรอิสระมีมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตามหนึ่งตัว เรียกว่า การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ (Multiple linear regression)

2.2.1 วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์การถดถอย

2.2.1.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตาม

2.2.1.2 เพื่อศึกษาปัจจัย (ตัวแปรอิสระ) ที่ร่วมกันทำนายหรือพยากรณ์ตัวแปรตาม

การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์หรือสร้างสมการทำนายหรือพยากรณ์ตัวแปรตาม (Y) หนึ่งตัว จากกลุ่มตัวแปรอิสระ (X) หลายตัวนั้น ตัวแปรอิสระที่นำมาวิเคราะห์จะต้องมีหลักฐานตามทฤษฎีหรือรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้องว่าเป็นตัวแปรต้นเหตุที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม

X
ตัวแปรอิสระ (Independent variable)
ตัวแปรทำนาย (Predictor variable)
ตัวแปรอธิบาย (Explanatory variable)
ตัวแปรสาเหตุ

→

Y
ตัวแปรตาม (Dependent variable)
ตัวถูกพยากรณ์

2.2.2 ข้อตกลงเบื้องต้น (Assumption) ในการวิเคราะห์การถดถอย

2.2.2.1 ตัวแปรอิสระ (X) และตัวแปรตาม (Y) ต้องเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative variable) หรือ ตัวแปรต่อเนื่อง (Continuous variable) หรือมีระดับการวัดเป็น Interval หรือ Ratio scale เช่น น้ำหนัก ส่วนสูง ระดับความดันโลหิต ระดับ คอเลสเตอรอล รายได้ อายุ คะแนน เป็นต้น ในกรณีที่ตัวแปรอิสระ (X) บางตัวมีระดับการวัดเป็น Nominal หรือ Ordinal scale จะต้องแปลงข้อมูลให้เป็นตัวแปรหุ่น (Dummy variable) คือ มีค่า 0 กับ 1 ก่อนจึงจะนำไป วิเคราะห์ และตัวแปรหุ่นไม่ควรจะมีหลายตัว เพราะจะทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากขึ้น

2.2.2.2 ตัวแปรอิสระแต่ละตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับตัวแปรตาม

2.2.2.3 ตัวแปรอิสระไม่ควรมีความสัมพันธ์กันหรือเป็นอิสระต่อกัน (ค่าสหสัมพันธ์ไม่ควรเกิน 0.7) ในกรณีการวิเคราะห์ถดถอยแบบพหุคูณเพราะจะทำให้เกิด Multicollinearity คือ การที่ตัวแปรอิสระมีความสัมพันธ์กันมาก ซึ่งจะมีผลกระทบทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) สูงเกินความเป็นจริง

2.2.2.4 การแจกแจงของตัวแปรตามเป็นแบบโค้งปกติ (Normal distribution) ที่ทุกค่าของ X

2.2.2.5 ค่าของ Y มีความแปรปรวนเท่ากันทุกค่าของ X

2.2.2.6 ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ (Residual) ที่ทุกจุดบนเส้นถดถอยมีค่าเท่ากัน

2.2.3 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยว (Simple linear regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยวเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระ 1 ตัว กับ ตัวแปรตาม 1 ตัว คล้ายกับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ แตกต่างกันที่การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ไม่ได้ระบุว่าตัวแปรใดเป็นตัวแปรต้น ตัวแปรใดเป็นตัวแปรตาม ส่วนการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเชิงเดี่ยวเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เป็นต้นเหตุ (ตัวแปรอิสระ) กับตัวแปรที่เป็นผล

(ตัวแปรตาม) ซึ่งนอกจากจะทราบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งสองแล้ว ยังสามารถนำค่าของตัวแปรต้นเหตุไปทำนายหรือพยากรณ์ตัวแปรที่เป็นผลได้ พร้อมบอกขนาดของความสามารถในการทำนายหรือความสามารถในการอธิบายตัวแปรผล ว่ามีมากน้อยเพียงใด

โดยเขียนความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการได้ดังนี้

สมการในรูปของประชากร $Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$

สมการในรูปของตัวอย่าง $y = a + bx + e$

สมการทำนายผล(สมการพยากรณ์) $\hat{y} = a + bx$

สัญลักษณ์ที่ใช้มีความหมายดังนี้

Y คือ ค่าของตัวแปรตาม (จะใช้สัญลักษณ์ y สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และใช้ค่า $\hat{y}$ สำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย) Y คือ ค่าของตัวแปรตาม

X คือ ค่าของตัวแปรอิสระ (จะใช้สัญลักษณ์ x สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และสำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย)

α คือ ค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย (จะใช้สัญลักษณ์ a สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และ สำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย) โดยที่ α หรือ a จะเป็นจุดตัด (Intercept) แกน y ของสมการ

β คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ของตัวแปรอิสระ X (จะใช้สัญลักษณ์ b สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และ สำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย) โดยที่ค่า β หรือ b จะแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า x ต่อค่า y ดังนี้ คือ ถ้าค่า x เปลี่ยนไป 1 หน่วย จะทำให้ค่า y เปลี่ยนไป b หน่วย

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error or residual) ระหว่างค่า Y และค่า $\hat{y}$ (จะใช้สัญลักษณ์ e สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง)

2.2.4 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณ (Multiple linear regression analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระหลายตัวกับตัวแปรตาม 1 ตัว เพื่อศึกษาว่ามีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่ร่วมกันทำนายหรือพยากรณ์หรืออธิบายการผันแปรของตัวแปรตามได้ โดยเขียนความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการได้ดังนี้

สมการในรูปของประชากร $Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \ldots + \beta_k X_k + \varepsilon$

สมการในรูปของตัวอย่าง $y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \ldots + b_k x_k + e$

สมการทำนายผล (สมการพยากรณ์) $\hat{y} = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \ldots + b_k x_k$

สัญลักษณ์ที่ใช้มีความหมายดังนี้

X_i คือ ค่าของตัวแปรอิสระแต่ละตัว (จะใช้สัญลักษณ์ x_i สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่างและสำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย)

Y คือ ค่าของตัวแปรตาม (จะใช้สัญลักษณ์ y สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่างและใช้ค่า $\hat{y}$ สำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย)

k คือ จำนวนตัวแปรอิสระในสมการถดถอย

β_0 คือ ค่าคงที่ (Constant) ของสมการถดถอย (จะใช้สัญลักษณ์ b_0 สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่างและสำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย) โดยที่ β_0 หรือ b_0 จะเป็นจุดตัด (Intercept) แกน y ของสมการ

β_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย (Regression coefficient) ของตัวแปรอิสระ X_i แต่ละตัว (จะใช้สัญลักษณ์ b_i สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง และ สำหรับค่าประมาณหรือตัวทำนาย) โดยที่ค่า β_i หรือ b_i จะแสดงอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่า x_i ต่อค่า y ดังนี้ คือ ถ้าค่า x_i เปลี่ยนไป 1 หน่วย จะทำ ให้ค่า y เปลี่ยนไป b_i หน่วย

ε คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error or residual) ระหว่างค่า Y และค่า $\hat{y}$ (จะใช้สัญลักษณ์ e สำหรับค่าที่ได้จากตัวอย่าง)

2.2.5 ค่าทางสถิติที่อธิบายความสอดคล้องของสมการความถดถอย

ในการวิเคราะห์ความถดถอยนั้นจะเป็นการประมาณความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ X ต่อตัวแปรตาม Y โดยทำการสร้างสมการความถดถอยเพื่อใช้ในการทำนายตัวแปรตามหรือสิ่งที่เราสนใจศึกษา ซึ่งในการตรวจสอบว่าสมการความถดถอยนั้น สามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดีหรือไม่นั้น โดยส่วนใหญ่แล้วจะดูจากสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2)

2.2.5.1 สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination: R square) สัมประสิทธิ์การตัดสินใจหรือ R^2 หมายถึง สัดส่วนที่ตัวแปร X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปร Y ได้ดังนั้นถ้า R^2 มีค่ามากแสดงว่า Y และ X มีความสัมพันธ์กันมากหรือแสดงว่าตัวแปรอิสระของสมการความถดถอยนั้นสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรตามได้มาก โดย R^2 = (ความแปรปรวนของ Y ที่เกิดจาก X/ความแปรปรวนของ Y ทั้งหมด) หรือ R SSR / SST 2 = ดังนั้น 0 $\leq R^2 \leq 1$ เนื่องจาก SST > SSR คุณสมบัติของ R^2 ได้แก่ R^2 ไม่มีหน่วย และ ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าเปอร์เซ็นต์ที่ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลง Y มีค่ามากหรือ X และ Y มีความสัมพันธ์กันมาก แต่ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงวาเปอร์เซ็นต์ที่ X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ Y มีค่าน้อย

2.2.5.2 การตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้น สมมติฐานหรือเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยมี 4 ข้อ ซึ่งเป็นเงื่อนไขเกี่ยวกับความคลาดเคลื่อน (error or residual) ในการนำสมการไปประยุกต์ใช้งานผู้ใช้จะต้องตรวจสอบความถูกต้องของสมการ โดยจะต้องตรวจสอบเงื่อนไขของการวิเคราะห์ความถดถอยกับค่าคลาดเคลื่อนดังนี้ ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนจะต้องเท่ากับศูนย์, ค่าคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ, ค่าความคลาดเคลื่อนต้องเป็นอิสระกัน, ค่าแปรปรวนของ e คือ σ^2 ซึ่งต้องคงที่ทุกค่าของ X

2.2.6 วิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเพื่อให้ได้สมการถดถอยที่เหมาะสม

การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงพหุจะมีตัวแปรอิสระ X ในสมการตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไปซึ่งอาจจะเกิดปัญหาตัวแปรอิสระในสมการความถดถอยมีความสัมพันธ์ระหว่างกันสูง (Multicolinearity) ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองในรูปแบบสมการความถดถอยจึงต้องคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาในสมการความถดถอย วิธีการเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการนั้นมีหลายวิธี ผู้วิเคราะห์จะต้องพิจารณาว่ามีตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับ Y โดยคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เชิงส่วนระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระทีละตัว แล้วก็คัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดเข้ามาในสมการความถดถอยโดยเทคนิคการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กับตัวแปรตามมีทั้งหมด 5 วิธีดังนี้

2.2.6.1 การคัดเลือกเข้า (Enter) การคัดเลือกเข้าเป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสมการด้วยการวิเคราะห์ขั้นตอนเดียว โดยผู้วิเคราะห์ต้องเป็นผู้คัดเลือกเองว่าตัวแปรใดควรจะอยู่ในสมการ โดยจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรแต่ละคู่ก่อนเป็นต้น ในการเลือกควรเลือกตัวแปรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระที่พบว่ามีค่าสูงๆ และมีนัยสำคัญ เมื่อคัดเลือกได้แล้วจะใช้ตัวแปรอิสระทุกตัวที่เลือก วิเคราะห์พร้อมกันทุกตัวแปรอิสระ เข้าสมการทั้งหมด

2.2.6.2 การคัดเลือกออก (Remove) การคัดเลือกออกเป็นการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้ามาอยู่ในสมการถดถอยในลักษณะที่ตรงกันข้ามกับวิธีการคัดเลือกเข้า กล่าวคือ เป็นเทคนิคการเลือกตัวแปรอิสระออกจากสมการ โดยมีการสร้างสมการถดถอยก่อน แล้วนำตัวแปรอิสระที่มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดออกจากสมการ ซึ่งวิธีนี้จะต้องใช้คู่กับวิธี Enter ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS จะไม่อนุญาตให้เลือกวิธี Remove เป็นวิธีแรกในการวิเคราะห์

2.2.6.3 การคัดเลือกเพิ่มแบบเดินหน้า (Forward) เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการทีละตัว ตามลำดับความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม โดยตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดจะถูกคัดเลือกเข้าก่อน เมื่อตัวแปรถูกคัดเข้าสมการแล้วจะมีการทดสอบว่าตัวแปรอิสระ

นั้นสามารถทำนายตัวแปรตามได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ จากนั้นจะทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอันดับถัดมาเข้าสมการ แล้วทำการทดสอบว่าตัวแปรอิสระที่อยู่ในสมการสามารถร่วมกันทำนายตัวแปรตามได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ทำเช่นนี้ไปจนกว่าจะไม่มีตัวแปรอิสระใดเข้าไปในสมการได้อีกจึงหยุดการคัดเลือกตัวแปรอิสระ ถือว่าเป็นสมการที่ได้นั้นเหมาะสม

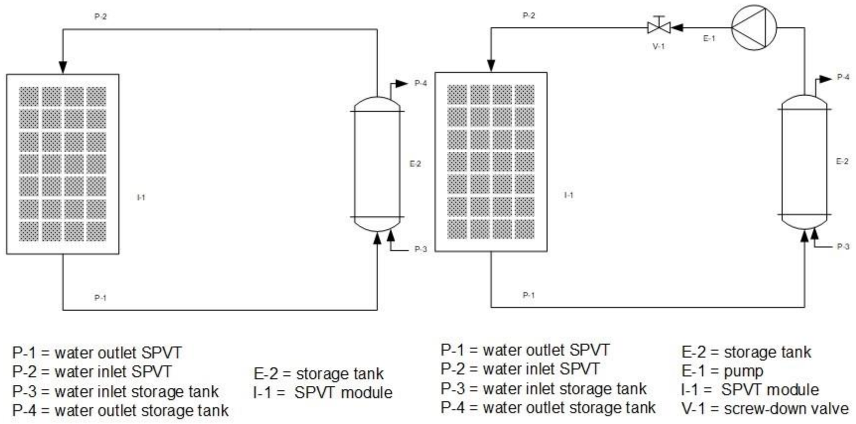
2.2.6.4 การคัดเลือกแบบถอยหลัง (Backward) เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระออกจากสมการทีละตัวแปร โดยเริ่มจากการสร้างสมการถดถอยที่รวมเอาตัวแปรอิสระทุกตัวเข้าสู่สมการแรกก่อน แล้วจึงคัดเลือกตัวแปรอิสระออกทีละตัว โดยพิจารณาตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามน้อยที่สุดถูกคัดออก แล้วทำการทดสอบว่าตัวแปรที่เหลืออยู่สามารถร่วมกันทำนายตัวแปรตามได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ถ้าไม่ได้ก็จะคัดเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามน้อยอันดับถัดมาออกจากสมการ แล้วดูว่าสมการที่เหลือตัวแปรอิสระอยู่มีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่ ถ้ามีนัยสำคัญทางสถิติก็จะหยุดการคัดออกแต่ถ้าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะทำการคัดเลือกตัวแปรอิสระออกต่อไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะไม่มีตัวแปรอิสระที่ถูกคัดออกอีก การคัดเลือกจะสิ้นสุดเมื่อ ตัวแปรอิสระที่เหลืออยู่ในสมการมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.2.6.5 การคัดเลือกแบบขั้นตอน (Stepwise) เป็นวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการโดยจะนำตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามมากที่สุดเข้าเป็นสมการแรกและทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติถ้าพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะถือว่าสิ้นสุดการคัดเลือก แต่ถ้าพบว่ามีนัยสำคัญทางสถิติก็จะคัดเลือกตัวที่มีความสัมพันธ์อันดับถัดไปเข้าสู่สมการ และทุกครั้งที่มีการนำตัวแปรอิสระตัวใหม่เข้าสมการจะต้องมีการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระทุกตัวที่อยู่ในสมการก่อนหน้านั้นทุกตัวยังควรอยู่ในสมการหรือไม่ ถ้าไม่ควรอยู่ก็จะถูกคัดออกก่อนแล้วค่อยคัดเลือกตัวแปรอิสระตัวที่มีความสัมพันธ์อันดับถัดไปเข้าสู่สมการ แต่ถ้าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติก็จะถูกคัดออก การคัดเลือกตัวแปรอิสระเข้าสู่สมการจะดำเนินการอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีตัวแปรอิสระใดถูกนำเข้าหรือคัดออกจากสมการจึงถือว่าสิ้นสุดการคัดเลือก

พหุน ปณฺ กิโต ชีเว

2.3 การหาประสิทธิภาพของระบบแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง

ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสงโดยการไหลเวียนน้ำแบบธรรมชาติและแบบบังคับ ตามภาพประกอบ 2.10 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



(ก) (ข)

ภาพประกอบ 2.10 ภาพแสดงระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง
(ก) แบบธรรมชาติ (ข) แบบบังคับ

2.3.1 การหาประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผง SPVT

ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุดต่อพลังงานของแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถแสดงได้ตามสมการ 2.3 [9]

$$\eta_{el} = FF\left(\frac{V_{OC}I_{SC}}{GA_c}\right) \qquad [2.3]$$

โดยที่

η_{el} คือ ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผง SPVT $(\%)$

V_{OC} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V)

I_{SC} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (A)

G คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (W/m^2)

A_c คือ พื้นที่รับแสงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

FF คือ ค่าฟิลล์แฟกเตอร์

การหาค่าฟิลล์แฟกเตอร์ ซึ่งเป็นค่าที่ระบุถึงคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ กำหนดค่าโดยอาศัยกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า (I–V curve) สามารถแสดงได้ตามสมการดังนี้

$$FF = \frac{P_{MPP}}{V_{OC}I_{SC}} = \frac{V_{MPP}.I_{MPP}}{V_{OC}I_{SC}} \qquad .[2.4]$$

โดยที่

P_{MPP} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (W)

V_{MPP} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V)

I_{MPP} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (A)

$$P_{MPP} = V_{MPP} I_{MPP} < V_{OC} I_{SC} \quad [2.5]$$

ข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากผู้ผลิตจะระบุถึงคุณสมบัติของแผงมาบางค่าเท่านั้น อาทิเช่น V_{OC0}, I_{SC0}, V_{MPP0}, I_{MPP0} โดยค่าเหล่านี้ ได้จากการวัดที่เงื่อนไขสภาวะมาตรฐาน (STC, $\left(G_{1,000} = 1,000\ \mathrm{W/m^2},\ T_{25} = 25^{\circ}\mathrm{C}\right)$ รวมไปถึงค่า α_V และ α_I ซึ่งก็คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดันและกระแสไฟฟ้าตามลำดับ ในการหาค่าคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้สมการเหล่านี้

$$V_{OC} = V_{OC0}\left(\frac{\ln(G)}{\ln(G_{1000})}\right)\left(1+\alpha_V\left(T-T_{25}\right)\right) \quad [2.6]$$

$$V_{MPP} = V_{MPP0}\left(\frac{\ln(G)}{\ln(G_{1,000})}\right)\left(1+\alpha_V\left(T-T_{25}\right)\right) \quad [2.7]$$

$$I_{SC} = I_{SC0}\left(\frac{G}{G_{1,000}}\right)\left(1+\alpha_I\left(T-T_{25}\right)\right) \quad [2.8]$$

$$I_{MPP} = I_{MPP0}\left(\frac{G}{G_{1,000}}\right)\left(1+\alpha_I\left(T-T_{25}\right)\right) \quad [2.9]$$

2.3.2 การหาประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง SPVT หาได้จากสมการ 2.10 [10,11]

$$\eta_{th} = \frac{Q}{A_c G} = \frac{\dot{m} C_p \Delta T}{A_c G} \quad [2.10]$$

โดยที่

η_{th} คือ ประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง SPVT

พหุนํ ปณฺ ิตา ชีเว

Q คือ พลังงานความร้อน (W)

A_C คือ พื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

G คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ $(\mathrm{W/m}^2)$

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำ $(\mathrm{kg/s})$

C_P คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ $(\mathrm{J/kg})$

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิระหว่างทางออกและทางเข้าของน้ำจากแผง $(^\circ\mathrm{C})$

$$Q_V = \frac{\dot{m}}{\rho} \quad [2.11]$$

โดยที่

Q_V คือ ปริมาตรของไหล $(\mathrm{m}^3/\mathrm{s})$

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหล $(\mathrm{kg/s})$

ρ คือ ความหนาแน่นของไหล $(\mathrm{kg/m}^3)$

นอกจากนี้ประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง SPVT ยังสามารถหาได้จากสมการ 2.12 [10]

$$\eta_{th} = \frac{F_R\left[G(\tau \cdot \alpha) - U_L(T_{wi} - T_a)\right]}{G} \quad [2.12]$$

โดย U_L คือค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนรวม τ คือค่าการส่องผ่านด้านบนของแผ่นปิดด้านบน α คือค่าดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของแผ่นปิดด้านบน T_{wi} คือค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผง และ T_a คือค่าอุณหภูมิแวดล้อม และ F_R คือแฟกเตอร์การดึงความร้อนของแผง ซึ่งหาได้จากสมการ

$$F_R = \frac{\dot{m}C_p(T_{wo} - T_{wi})}{A_c\left[G - U_L(T_{wi} - T_a)\right]} \quad [2.13]$$

T_{wo} คือ อุณหภูมิน้ำออกจากแผง

ในส่วนของประสิทธิภาพทางความร้อนรวม (η_o) นั้นหาได้จากสมการ 2.14 [12]

$$\eta_o = \eta_{el} + \eta_{th} \quad [2.14]$$

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

2.3.3 การหาสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผง SPVT หาได้จากสมการ 2.15 [13]

$$PR = \frac{\left(P_{mea} / P_{MPP(stc)}\right)}{G / 1000} \qquad [2.15]$$

โดยที่ P_{mea} คือค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัด (W)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยนี้เกิดจากปัญหาของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ลดต่ำลง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำมาช่วยในการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทบทวนวรรณกรรมได้มีงานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

T.T. Chow และคณะ (2009) [7] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ BIPV ที่ติดตั้งกับอาคารเพื่อการผลิตน้ำร้อน ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพทางความร้อนและประสิทธิภาพทางไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 37.5% และ 9.35% ต่อปีตามลำดับ โดยระบบที่ติดตั้งสามารถลดความร้อนเข้าออกอาคารได้ 38%

Deepali Kamthania และ G. N. Tiwari (2014) [14] ทำการวิเคราะห์พลังงานในเทอมต่าง ๆ ที่ได้จากแผง SPVT ที่ใช้อากาศในการดึงความร้อนออกทั้งด้านหน้าและด้านหลัง (double pass) โดยใช้ใช้เซลล์ชนิดผลึกซิลิกอนและชนิด HIT เปรียบเทียบกัน โดยทำการต่อแผง 3 กรณีคือ แบบอนุกรม-ขนาน แบบขนาน และแบบอนุกรม ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การต่อแผงแบบขนานเหมาะสำหรับการเน้นให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุด ส่วนการต่อแบบอนุกรมเหมาะสำหรับการเน้นให้ประสิทธิภาพทางความร้อนของระบบสูงสุด นอกจากนี้ยังพบว่า แผงที่ใช้เซลล์ชนิด HIT จะให้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี ค่าการชดเชยการปลดปล่อยแก๊ส CO_2 สูงกว่ากรณีใช้ผลึกซิลิกอนธรรมดา

Aloys Matial และคณะ (2015) [15] ทำการศึกษาทดลองติดตั้งครีบระบายความร้อนในแผง BISPVT ซึ่งใช้อากาศเป็นตัวกลางในการระบายความร้อน มีพื้นที่ระบบรวม 36.45 m^2 โดยพบว่าระบบดังกล่าวสามารถผลิตความร้อนได้ 76.66 kWh/yr และมีประสิทธิภาพทางความร้อนรวมเท่ากับ 56.07%

Ankita Gaur และคณะ(2016) [6] ทำการตั้งแผง BISPVT เพื่อช่วยระบายอากาศในห้อง ผลการศึกษาของเขาแสดงให้เห็นว่าการใช้แผง BISPVT ช่วยให้อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในห้องลดลงและทำให้ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์สูงขึ้น ดีกว่ากรณีของการใช้แผง PV ธรรมดาทุกกรณี

Khelifa และคณะ (2016) [16] ได้ศึกษาแบบจำลองของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และความร้อน ซึ่งประกอบไปด้วย 2 ส่วน ส่วนที่ 1 คือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ผลิตไฟฟ้า ส่วนที่ 2 คือ ส่วนผลิตน้ำร้อน จะใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนติดตั้งไว้ที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และใช้โปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูล (ANSYS14,FLUENT) ระหว่าง การแลกเปลี่ยนความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับอัตราการไหลของของเหลว การแลกเปลี่ยนความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับสารทำความเย็น

Firehun Taffesse และคณะ (2016) [5] ทำการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการทำงานของแผง BISPVT ร่วมกับผนังแบบทรอมบ์ (trombe wall) เพื่อให้เกิดการไหลเวียนของอากาศ การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าช่องของผนังที่เหมาะสมควรมีขนาด 0.3-0.4 m

Arjun Deo และคณะ (2017) [4] ได้ทำการศึกษาแบบจำลองคาบของความร้อนในอากาศที่เกิดจากแผง BISPV/T โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ฟูเรียร์สำหรับการประเมินค่ารังสีและอุณหภูมิของอากาศจากแผง โดยการศึกษาดังกล่าวสามารถทำอุณหภูมิห้องสูงสุดได้เท่ากับ 44.6 ℃

Shi และคณะ (2017) [17] ได้ศึกษาทดลองและวิเคราะห์แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และความร้อนภายใต้รูปแบบการไหลเวียนตามธรรมชาติ ผลการทดลองที่อัตราการไหลน้ำ 0.25 L/min จะให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงถึง 51.4% และประสิทธิภาพรวมของระบบสูงถึง 62.3% และที่อัตราการไหลน้ำ 0.13 L/min จะให้ประสิทธิภาพทางความร้อน 37.2% และประสิทธิภาพรวมของระบบ 46.5% เมื่อนำมาเฉลี่ยเป็นรายปีจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ยประมาณ 1,281 MJ/year และความร้อนที่ได้เฉลี่ยประมาณ 4,639.6 MJ

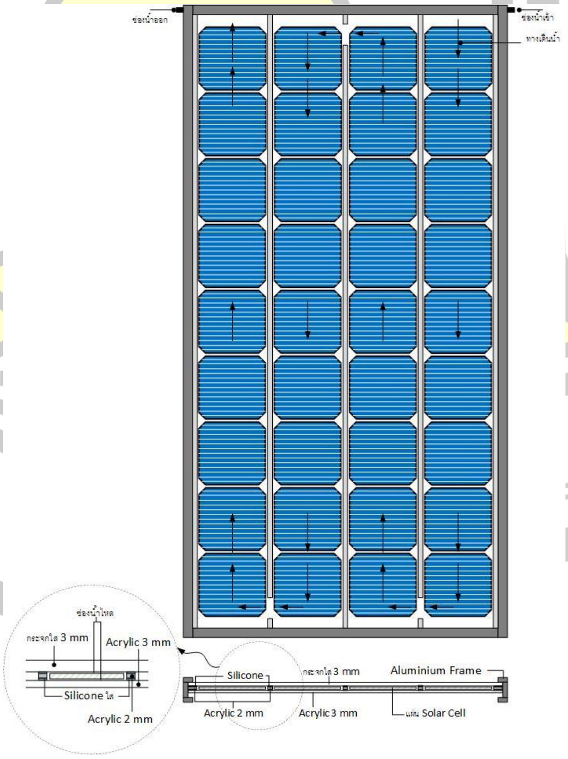
พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างชุดทดสอบแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono crystalline ขนาด 100 วัตต์ ที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 18 V และค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด 5.6 A มาทำการปรับปรุงให้เป็นแผง SPVT และทำการทดสอบระบบ โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

3.1 การออกแบบแผง SPVT

แผง SPVT ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้มีทิศทางการไหลของน้ำ ดังภาพประกอบ 3.1 โดยมีช่องน้ำไหลเข้าที่ข้างแผงด้านบนขวา และออกที่ข้างแผงด้านบนซ้าย โดยน้ำมีการไหลเวียนแบบอนุกรมกันทั้งด้านหน้าแผงและหลังแผง และระหว่างแถวของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อกัน จะมีการเว้นระยะเพื่อให้แสงสามารถส่องทะลุผ่านไปยังด้านล่างของแผงได้ โดยมีรายละเอียดของวัสดุ ดังภาพประกอบ 3.1



ภาพประกอบ 3.1 แบบแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง

3.2 วัสดุและอุปกรณ์ในการประกอบและทดสอบแผง SPVT

3.2.1 แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ ในการศึกษาได้นำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ชนิด Mono crystalline ขนาด 100 วัตต์ มีขนาดกว้าง 540 มม. ยาว 1,200 มม. หนา 2 มม. ตามภาพประกอบ 3.2 โดยเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดยืดหยุ่นได้ ทำให้สะดวกต่อการนำมาปรับปรุง

ภาพประกอบ 3.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono crystalline ขนาด 100 วัตต์

3.2.2 แผ่นกระจกหนา 3 มม. และอะคริลิกใส หนา 2 มม. ขนาดกว้าง 600 มม. ยาว 1,200 มม. อย่างละ 1 แผ่น แผ่นอะคริลิกหนา 2 มม. กว้าง 10 มม. ยาว 1,200 มม. 4 แผ่น ส่วนที่ใช้ทำช่องน้ำเข้า น้ำออกแผง จะใช้อลูมิเนียมตัว U ขนาด 10 มม. และกรอบแผงเซลล์จะใช้อลูมิเนียมฉากหนา ขนาด 25 มม. กับขนาด 20 มม. ตามภาพประกอบ 3.3

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ภาพประกอบ 3.3การประกอบแผง SPVT

3.2.3 ขนาดท่อส่งน้ำจากถังน้ำและถังเก็บน้ำใช้ท่อพีวีซีขนาด 1/2 นิ้ว

3.2.4 ท่อส่งน้ำเข้า-ออกจากแผงใช้ท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว โดยด้านน้ำเข้าด้านบน 1 ช่อง และน้ำออกด้านบน 1 ช่อง

3.2.5 ปั้มน้ำ DC ซึ่งสามารถทำการปรับความเร็วรอบตามค่าอัตราการไหลที่ต้องการได้

3.2.6 ถังเก็บน้ำขนาด 30 ลิตร จำนวน 1 ถัง หุ้มฉนวนกันความร้อน

3.2.7 ฐานรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งแผงจะเอียง 15 องศากับแนวระนาบ

3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดสอบระบบ

ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา ประกอบไปด้วยตัวแปรอิสระ ตัวแปรตาม และตัวแปรควบคุม ดังนี้

3.3.1 ตัวแปรอิสระ ได้แก่ค่าอัตราการไหลต่าง ๆ

3.3.2 ตัวแปรตาม ได้แก่ อุณหภูมิแผง SPVT อุณหภูมิน้ำเข้าและออกจากแผง SPVT กระแสไฟฟ้าลัดวงจร และแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

3.3.3 ตัวแปรควบคุมได้แก่ ความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม โดยในการศึกษา ได้ทำการเก็บข้อมูลการทำงานของแผง SPVT ที่ค่าอัตราการไหลต่าง ๆ ในช่วงวันที่ต่อเนื่องกันก่อน แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำไปใช้ศึกษาการทำงาน

ของแผง SPVT ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ภายใต้การกำหนดตัวแปรควบคุมชุดเดียวกัน ว่าจะส่งผลให้ตัวแปรตามมีการเปลี่ยนแปลงค่าเช่นใด

3.4 เครื่องมือวัดเก็บข้อมูล

3.4.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) สำหรับเก็บบันทึกข้อมูลอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกจากแผง อุณหภูมิแวดล้อม และความเข้มรังสีอาทิตย์ เครื่องบันทึกข้อมูลรุ่น HP Agilent 34970A Data acquisition & switching unit ดัง ภาพประกอบ 3.4 (ก)

(ก)

(ข)

ภาพประกอบ 3.4 (ก) เครื่องบันทึกข้อมูลและ (ข) เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า

3.4.2 มิเตอร์วัดค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้า ใช้วัดค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ยี่ห้อ SEAWARD เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและเก็บข้อมูล ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{OC}) และกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{SC}) ที่ได้ออกมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ลักษณะของอุปกรณ์แสดงดังภาพประกอบ 3.4 (ข)

3.4.3 สายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด k ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิผิวหน้า-ผิวหลังแผง อุณหภูมิน้ำเข้า-น้ำออกจากแผง อุณหภูมิน้ำเข้า-น้ำออกในถังเก็บ อุณหภูมิแวดล้อม

3.4.4 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ เป็นเครื่องวัดอัตราการไหลยี่ห้อ Omega รุ่น FD613 ดังภาพประกอบ 3.5 (ก) ซึ่งใช้หลักการวัดโดยใช้คลื่นอินฟราเรด จึงไม่ต้องทำการเปิดระบบท่อเพื่อทำการวัด

(ก) (ข)

ภาพประกอบ 3.5 (ก) เครื่องวัดอัตราการไหล (ข) เครื่องวัดความส่องสว่าง

3.4.5 เครื่องวัดค่าความส่องสว่าง ยี่ห้อ TES รุ่น TES 1330 ดังภาพประกอบ 3.5 (ข) มีย่านการวัด20/200/2000/20000 ลักซ์ ความไวแสงสเปกตรัมตรงตาม CIE photo pic Curve Cosine Angular corrected

3.4.6 คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูล สำหรับแสดงข้อมูลแบบ Real time หรืออ่านข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้ใน Data logger เพื่อวิเคราะห์และประมวลผล

3.4.7 เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Pyranometer) เป็นเครื่องวัดรังสีอาทิตย์ยี่ห้อ Hukdeflux รุ่น LP02 ใช้สำหรับวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกอาทิตย์ตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังภาพประกอบ 3.6 โดยติดตั้งเครื่องวัดความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในมุมเอียงเดียวกันกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วต่อสายเพื่อวัดความเข้มแสงรังสีอาทิตย์เข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล 1 ตำแหน่ง

ภาพประกอบ 3.6 เครื่องวัดความเข้มรังสีอาทิตย์

3.5 ขั้นตอนการทดสอบระบบ

เริ่มทำการทดสอบในปี 2562 โดยทำการทดสอบที่หน่วยปฏิบัติการวิจัยพลังงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม เวลาในการเก็บข้อมูลในแต่ละวันเริ่มตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 16.30 น. โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.5.1 ติดตั้งแผงทดสอบบนโครงสร้างรับแผง โดยวางแผงในแนวเดียวกันกับระนาบและหันหน้าไปทางทิศใต้ทำมุมเอียง 15 อาศา

3.5.2 ติดตั้งระบบปั้มน้ำเข้ากับระบบทดสอบ มีวาล์วปรับอัตราการไหลของน้ำเข้าแผงทดสอบ

3.5.3 ติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูล เชื่อมต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ชนิด k และนำปลายสายเทอร์โมคัปเปิ้ล สัมผัสตามตำแหน่งที่ทำการวัด

3.5.4 เครื่องวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ วางไว้ใกล้กับบริเวณที่ทำทดสอบ โดยจะวางในแนวเดียวกันกับแผงทดสอบและเอียงทำมุม 15 องศากับแนวระนาบ

3.5.5 สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า จะใช้เครื่องมัลติมิเตอร์วัดค่าทุกๆ 15 นาที หรือติดตั้งเครื่องวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

3.5.6 รูปแบบการไหลของน้ำ ในการทำการทดลองจะให้การไหลของน้ำเป็นแบบไหลเข้าด้านบนและออกด้านบนแผง ซึ่งทดสอบการไหลเวียนโดยธรรมชาติก่อนแล้วตามด้วยการไหลเวียนแบบบังคับที่อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.01 และ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ

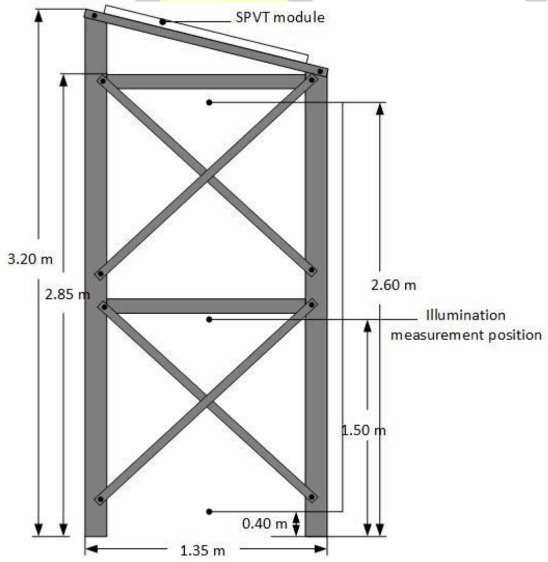
3.5.7 เริ่มการทดสอบแผงและบันทึกข้อมูล ค่าอุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้า-น้ำออกจากแผง อุณหภูมิแผง อุณหภูมิน้ำเข้า-น้ำออกจากถังเก็บ ค่าความเข้มรังสี ค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า อัตราการไหลของน้ำ บันทึกค่าทุก ๆ 15 นาที โดยทำการบันทึกข้อมูลผ่านเครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้อ Agilent ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ดังภาพประกอบ 3.7

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ภาพประกอบ 3.7 การทดสอบแผง SPVT และการบันทึกข้อมูล

3.6 การวัดค่าการส่องผ่านของแสง

ในการออกแบบและติดตั้งแผง SPVT เพื่อทำการวัดค่าความส่องสว่างจะใช้นั่งร้านสองชุดต่อกันทำเสมือนให้เป็นหลังคาบ้านและทำให้เป็นห้องปิดโดยใช้ผ้าคลุมปิดไว้ มีระยะความสูงของหลังคาที่ 3.20 เมตร ตำแหน่งในการวัดค่าความส่องสว่างมี 3 จุด คือ ที่ระยะ 0.40 1.50 และ 2.60 เมตรจากพื้นตามลำดับ ดังภาพประกอบ 3.8 พร้อมทั้งติดตั้งเครื่องมือวัดความเข้มแสง อุณหภูมิแวดล้อมและอุณหภูมิภายในห้อง ดังภาพประกอบ 3.9



ภาพประกอบ 3.8 ขนาดโครงสร้างของห้องที่ใช้ในการทดสอบความส่องสว่างของแผง SPVT

ภาพประกอบ 3.9 (ก) ลักษณะการส่องสว่างของแผง SPVT (ข) ห้องทดสอบการส่องสว่าง

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

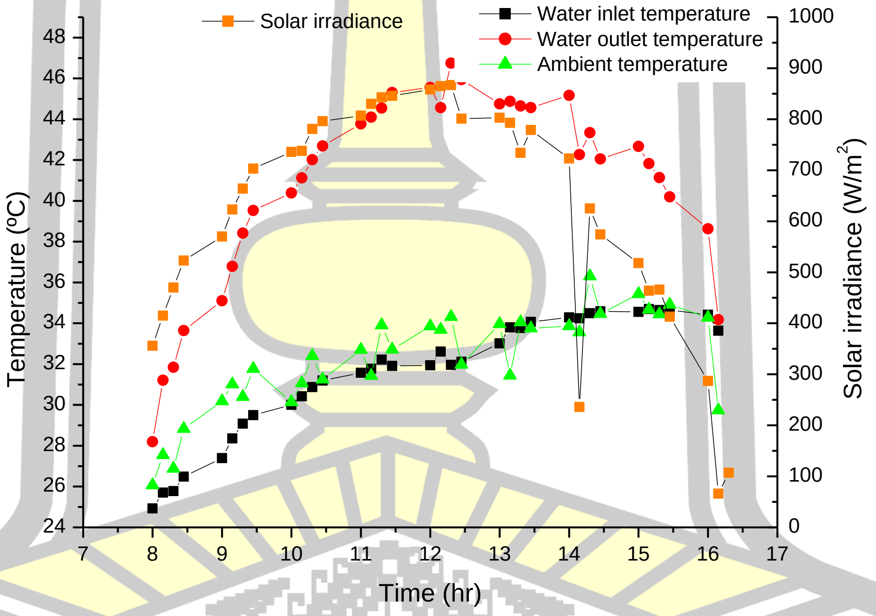
บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

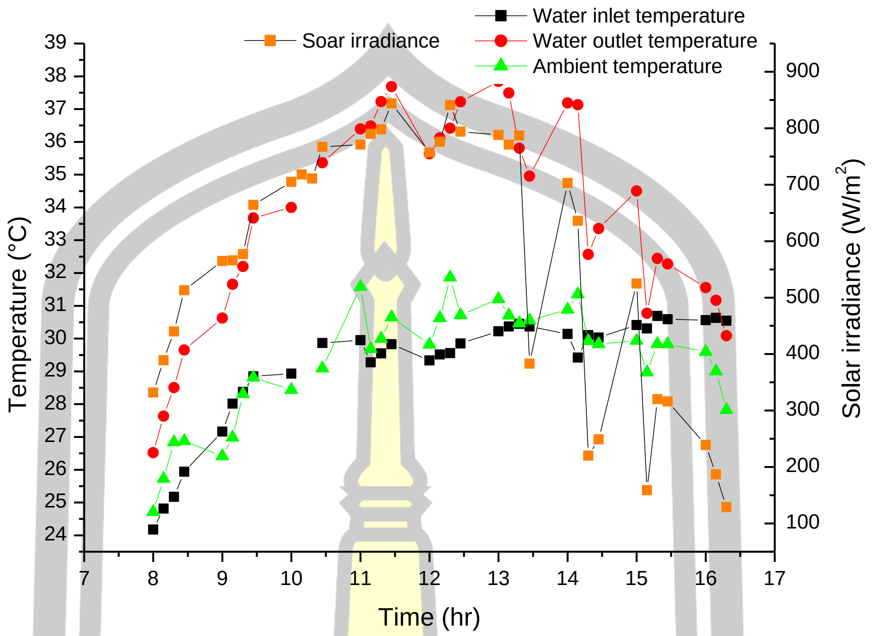
4.1 ผลการทดลอง

4.1.1 ความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย และอุณหภูมิน้ำเข้าเฉลี่ย

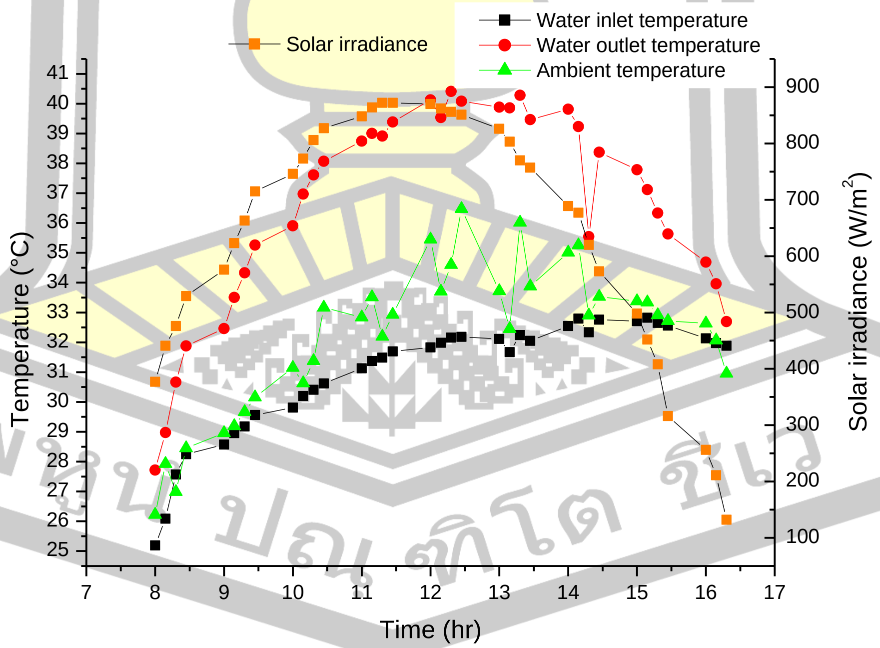
จากการทดลองและเก็บรวบรวมข้อมูลเริ่มตั้งแต่วันที่ 30 ตุลาคม 2562 ทำการทดลองระบบ โดยค่าอัตราการไหลเวียนของน้ำแบบธรรมชาติ (0.005 กิโลกรัมต่อวินาที) และแบบบังคับที่ 0.01, และ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที แต่ละค่าอัตราการไหลจะทำการทดลองอย่างน้อย 3 วัน จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบทั้ง 3 ค่าอัตราการไหลมาสร้างสมการถดถอยพหุคูณ ทำการวิเคราะห์ผลและอภิปรายผล ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



ภาพประกอบ 4.1 ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออก วันที่ 6 พฤศจิกายน 2562 ที่อัตราการไหล 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที



ภาพประกอบ 4.2 ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออก วันที่ 8 พฤศจิกายน 2562 ที่อัตราการไหล 0.01 กิโลกรัมต่อวินาที



ภาพประกอบ 4.3 ข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออก วันที่ 5 พฤศจิกายน 2562 ที่อัตราการไหล 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที

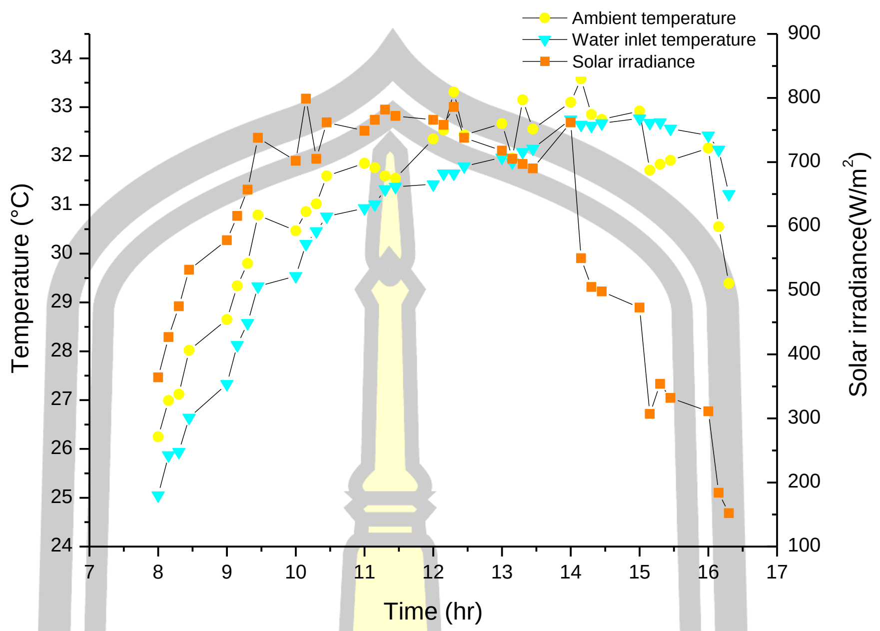
จากภาพประกอบ 4.1, 4.2 และ 4.3 เป็นตัวอย่างข้อมูลค่าความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม และอุณหภูมิน้ำเข้าในแต่ละวัน ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลหรือการจดบันทึกจากการทดลองในแต่ละวัน ซึ่งเราก็จะนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดที่อัตราการไหลต่าง ๆ มาหาค่าเฉลี่ยและวิเคราะห์สร้างสมการความสัมพันธ์กัน เพื่อประเมินผลค่าอุณหภูมิแผงทดสอบ อุณหภูมิน้ำออก กระแสไฟฟ้าลัดวงจร แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ที่ค่าอัตราการไหลต่าง ๆ

ตาราง 4.1 สมการถดถอยพหุคูณเพื่อประเมินค่าแผง SPVT

Variable	Equation	R^2
Tspvt	= -3.541 + (0.00735 * G) + (0.758 * Twi) + (0.426 * Ta) - (200.713 * m)	0.90
Two	= -1.298 + (0.00402 * G) + (0.0576 * Twi) + (0.0457 * Ta) + (0.977 * Tspvt) - (96.968 * m)	0.96
Voc	= 22.117 + (0.00184 * G) - (0.102 * Twi) - (0.0517 * Tspvt) + (0.0854 * Ta) + (9.560 * m)	0.73
Isc	= 2.143 + (0.00530 * G) + (0.0574 * Twi) - (0.114 * Tspvt) + (0.00538 * Ta) - (4.674 * m)	0.93

ตารางที่ 4.1 แสดงสมการถดถอยพหุคูณ (Multiple linear regression, MLR) เพื่อจำลองการทำงานของแผง SPVT โดยในการศึกษานี้ตัวแปรต้นได้แก่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (G) ค่าอุณหภูมิน้ำเข้าแผง (T_{wi}) และค่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_a) และค่าอัตราการไหล ส่วนตัวแปรตามที่ทำการวัดเพื่อนำไปสู่การหาค่าประสิทธิภาพต่าง ๆ ของแผงได้แก่ ค่าอุณหภูมิแผงอุณหภูมิน้ำออกจากแผง (T_{wo}) ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) และค่ากระแสไฟฟ้าวงจรปิด (I_{sc})

พหูน ปณ ฑิโต ชีเว

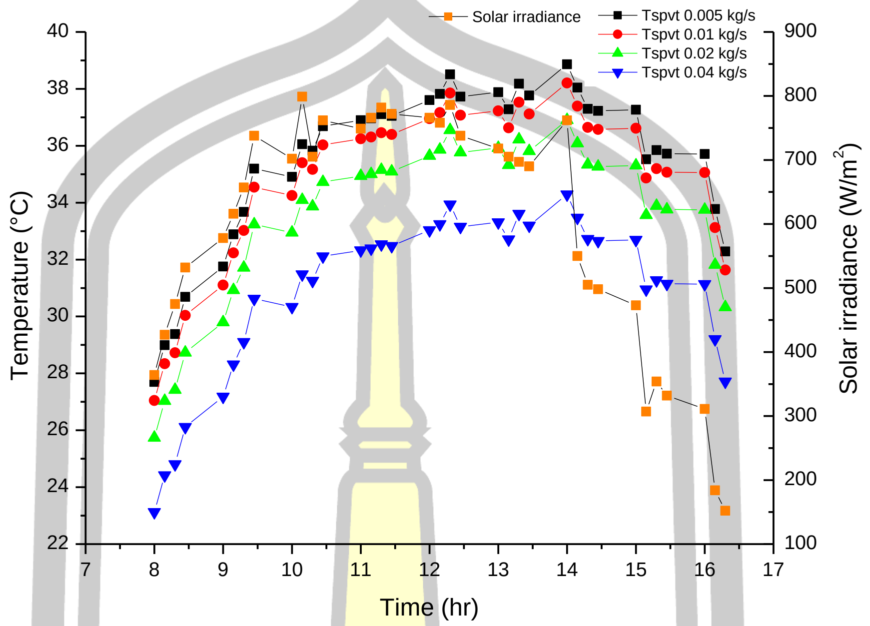


ภาพประกอบ 4.4 ความสัมพันธ์ค่าอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ย อุณหภูมิน้ำเข้าเฉลี่ย ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ

จากภาพประกอบ 4.4 เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทุกค่าอัตราการไหลของทุก ๆ วัน มาหาค่าเฉลี่ยเพื่อจะวิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้แบบจำลอง พบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งการทดสอบมีค่าเท่ากับ 592 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 786 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่เวลา 12.30 นาฬิกา ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 154 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่เวลา 16.30 นาฬิกา จากข้อมูลพบว่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเฉลี่ยและอุณหภูมิน้ำเข้าเฉลี่ยส่วนใหญ่จะมีอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่เริ่มการทดสอบระบบ และจะเริ่มลดลงในช่วงเวลา 14.30, 15.15 นาฬิกา ตามลำดับ ซึ่งพบว่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเฉลี่ยและอุณหภูมิน้ำเข้าเฉลี่ยตลอดทั้งการทดสอบมีค่าเท่ากับ 31.18, 30.69 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยอุณหภูมิแวดล้อมเฉลี่ยสูงสุดจะอยู่ในช่วงเวลา 14.15 นาฬิกา คือ 33.58 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดจะอยู่ในช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา คือ 26.25 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิน้ำเข้าเฉลี่ยสูงสุดอยู่ที่ 32.77 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 15.00 นาฬิกา และอุณหภูมิต่ำสุดอยู่ที่ 25.05 องศาเซลเซียส ช่วงเวลา 08.00 นาฬิกา

ผลการศึกษาโดยใช้แบบจำลอง

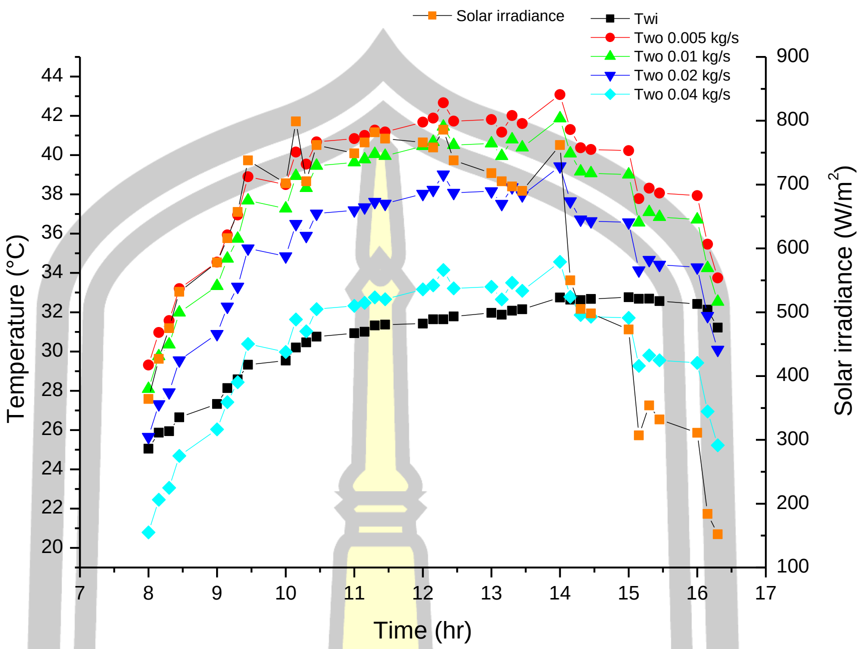
4.1.2 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผง (T_{SPVT})



ภาพประกอบ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเฉลี่ยแผงทดสอบ ของแต่ละค่าอัตราการไหล ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ

จากภาพประกอบ 4.5 พบว่าทุกอัตราการไหลของน้ำ อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงทดสอบ จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จนถึงเวลา 14.00 นาฬิกา หลังจากนั้นอุณหภูมิแผงจะมีค่าลดลง อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงทดสอบ ที่อัตราการไหล 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที มีค่าสูงที่สุดที่ 38.86 องศาเซลเซียส ที่เวลา 14.00 นาฬิกา ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 762 วัตต์ต่อตารางเมตร อัตราการไหลของน้ำที่ทำให้อุณหภูมิของแผงทดสอบเฉลี่ยมีอุณหภูมิต่ำสุดจนถึงสูงสุด คือ 0.04, 0.02, 0.01 และ 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ

4.1.3 อุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกเฉลี่ย

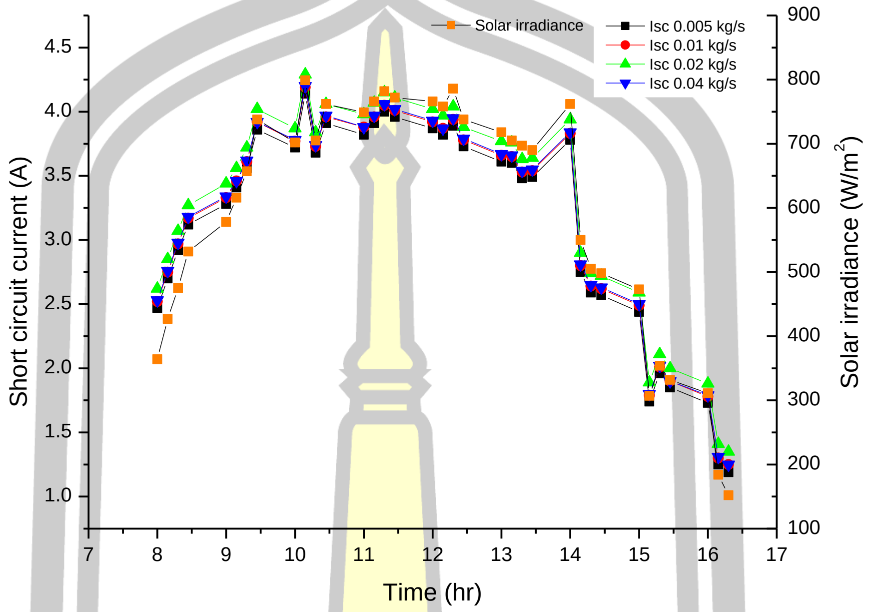


ภาพประกอบ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิน้ำเข้าและอุณหภูมิน้ำออกของแต่ละค่าอัตราการไหล ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ

จากภาพประกอบ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิของน้ำเข้าและน้ำออกพบว่า เกือบทุกอัตราการไหลอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำออกทั้งหมดสูงกว่าอุณหภูมิน้ำเข้า โดยในช่วงเวลา 16.15 นาฬิกาเป็นต้นไปพบว่าที่อัตราการของน้ำ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที พบว่าอุณหภูมิน้ำเข้ามีค่าใกล้เคียงหรือน้อยกว่าอุณหภูมิน้ำออกเนื่องจากอัตราการไหลของน้ำสูงพร้อมทั้งอุณหภูมิแวดล้อมที่ลดลงเร็ว ยิ่งอัตราการไหลของน้ำสูงขึ้นยิ่งทำให้อุณหภูมิน้ำออกต่ำกว่าอุณหภูมิน้ำเข้า อุณหภูมิน้ำเข้าเฉลี่ยตลอดทั้งการทดสอบ คือ 30.69 องศาเซลเซียส โดยที่อุณหภูมิสูงสุด ของน้ำเข้า คือ 32.77 องศาเซลเซียส ที่เวลา 15.00 นาฬิกา และอุณหภูมิต่ำสุดของน้ำเข้า คือ 25.05 องศาเซลเซียส ที่เวลา 08.00 นาฬิกา พบว่าอัตราการไหลของน้ำแบบธรรมชาติที่ 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที มีอุณหภูมิน้ำออกสูงที่สุดตลอดการทดลอง โดยอุณหภูมิน้ำออกเฉลี่ยที่ 38.73 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิน้ำออกสูงสุดตลอดทั้งการทดสอบ คือ 43.08 องศา เซลเซียส ที่เวลา 14.00 นาฬิกา ความเข้มรังสีอาทิตย์เท่ากับ 769 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยได้ค่าเฉลี่ยผลต่างอุณหภูมิน้ำเข้า-น้ำออก (ΔT) ตลอดวันสูงสุดที่ 8.04 องศาเซลเซียส และต่ำสุด จากการทดลองจึงสรุปได้ว่าเมื่ออัตราการไหลของน้ำสูงขึ้นก็จะช่วยดึงความร้อนออกจากแผงได้ดีส่งผลให้อุณหภูมิแผงลดลง

4.1.4 กำลังไฟฟ้าของแผง SPVT

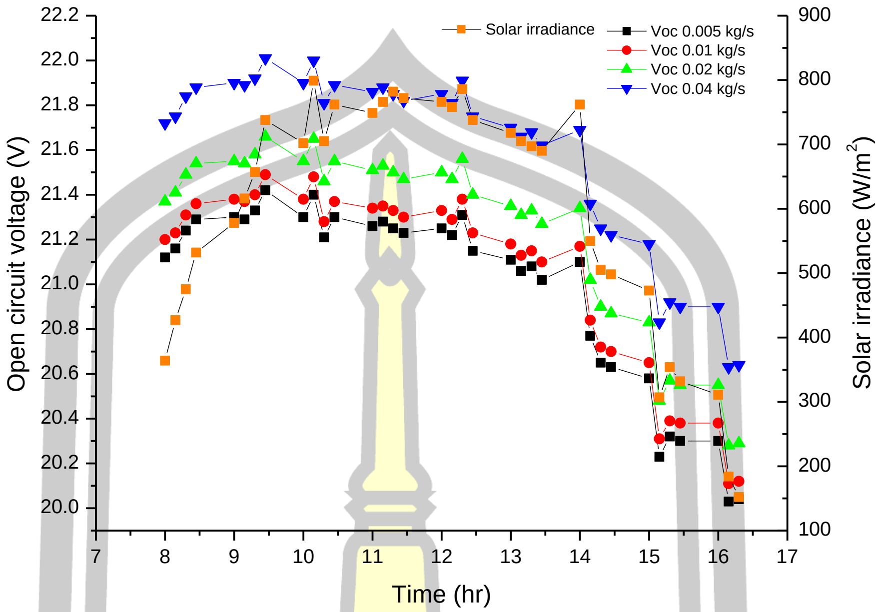
4.1.4.1 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร



ภาพประกอบ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแต่ละค่าอัตราการไหลที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ

จากภาพประกอบ 4.7 พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรจากแผงทดสอบที่อัตราการไหลของน้ำ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุด ส่วนที่อัตราการไหลของน้ำ 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที มีค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเฉลี่ยต่ำที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิแผง (T_{SPVT}) มีค่าสูงกว่าอัตราการไหลอื่น ๆ ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.01, 0.04 กิโลกรัมต่อวินาทีมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับอัตราการไหลของน้ำที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที จะให้ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งการทดสอบมีค่าเท่ากับ 3.29 แอมแปร์ และที่เวลา 10.15 นาฬิกา ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 799 วัตต์ต่อตารางเมตร จะให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงที่สุดที่ 4.29 แอมแปร์

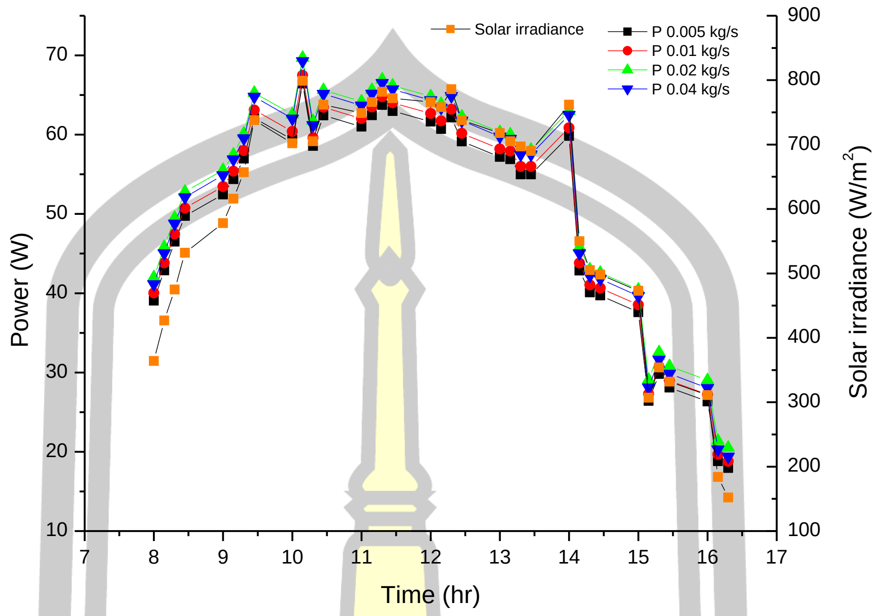
4.1.4.2 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด



ภาพประกอบ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของแต่ละค่าอัตราการไหลที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ

จากภาพประกอบ 4.8 พบว่าค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของแผงทดสอบที่อัตราการไหล 0.04 กิโลกรัมต่อวินาที ตลอดการทดลองจะมีค่ามากที่สุด ตามมาด้วย 0.02, 0.01 และ 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า อัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้อุณหภูมิแผงทดสอบลดลง ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดก็จะเพิ่มขึ้นด้วย อัตราการไหลของน้ำที่ 0.04 กิโลกรัมต่อวินาที จะให้ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเฉลี่ยที่ 21.58 โวลล์ ให้ค่าแรงดันสูงสุดอยู่ที่ 22.01 โวลล์ ที่เวลา 9.45 นาฬิกา และต่ำสุดที่ 20.63 โวลล์ ที่เวลา 16.15 นาฬิกา

4.1.4.3 กำลังไฟฟ้า



ภาพประกอบ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าของแต่ละค่าอัตราการไหลที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ย ณ เวลาใด ๆ

จากภาพประกอบ 4.9 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าของแผงทดสอบทุกอัตราการไหลของน้ำจะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลา 10.15 นาฬิกา เนื่องจากค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยมีค่าสูงที่สุดที่ 799 วัตต์ต่อตารางเมตร และต่ำสุดที่เวลา 16.30 นาฬิกา ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 152 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าอัตราการไหลที่ให้กำลังไฟฟ้ามีค่ามากที่สุดตลอดการทดสอบ คือ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที ตามมาด้วย 0.04, 0.01 และ 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดการทดสอบที่อัตราการไหล 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที มีค่าเท่ากับ 52.63 วัตต์ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เวลา 10.15 นาฬิกา มีค่าเท่ากับ 69.70 วัตต์ ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดที่ 799 วัตต์ต่อตารางเมตร และค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 20.50 วัตต์ ที่เวลา 16.30 นาฬิกา ที่ความเข้มแสง 152 วัตต์ต่อตารางเมตร

4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

4.2.1 ค่าความส่องสว่างของแผง SPVT

พหุน ปณฺ ศฺโต ชีว

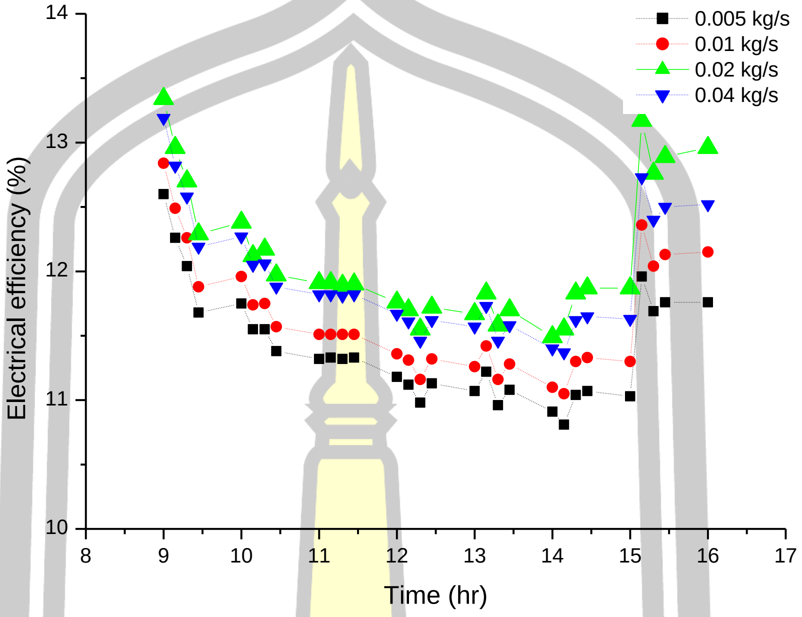
การตรวจวัดค่าการส่องสว่างใต้แผง SPVT ที่ระยะห่างต่าง ๆ เมื่อนำมาเฉลี่ยกันแล้วได้ค่าการส่องสว่างดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 โดยมีประสิทธิภาพการส่องผ่านเฉลี่ยที่ 1.35% ระดับความสว่างที่ได้เพียงพอสำหรับการใช้งานในพื้นที่ทั่วไป [18]

ตาราง 4.2 ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยที่เวลาต่าง ๆ

เวลา	ความเข้มรังสี (w/m2)	บน	กลาง	ล่าง	เฉลี่ย	อุณหภูมิภายใน	อุณหภูมิภายนอก
9.15	317	1,100	398	141	546	28	34
9.30	327	1,263	402	116	594	29	34
9.45	392	1,286	440	126	617	31	36
10.00	613	1,480	490	129	699	30	36
10.15	900	1,770	495	140	802	31	37
10.30	620	2,500	632	172	1,101	32	38
10.45	763	2,100	615	176	964	31	40
11.00	780	3,000	690	182	1,291	32	41
11.15	802	3,050	818	193	1,354	32	41
11.30	828	3,040	940	218	1,399	35	41
11.45	854	3,040	1,027	222	1,430	34	41
12.00	945	4,000	1,550	254	1,935	37	43
12.15	932	3,380	1,197	260	1,612	38	42
12.30	919	3,590	1,212	230	1,677	39	43
12.45	750	3,600	1,150	263	1,671	37	41
13.00	152	934	283	90	436	38	42
13.15	666	3,200	800	170	1,390	33	38
13.30	695	3,201	880	171	1,417	34	37
13.45	793	3,210	730	175	1,372	35	38
14.00	682	2,680	555	150	1,128	36	40
14.15	666	2,450	535	128	1,038	35	38
14.30	620	2,190	426	117	911	35	39
14.45	561	1,880	406	107	798	35	38
15.00	599	2,090	433	113	879	34	37
15.15	490	981	208	66	418	35	37
15.30	77	1,262	255	70	529	34	36
15.45	109	854	192	58	368	33	35
16.00	95	552	120	40	237	34	35

พหูน ปณฺ ชีเว

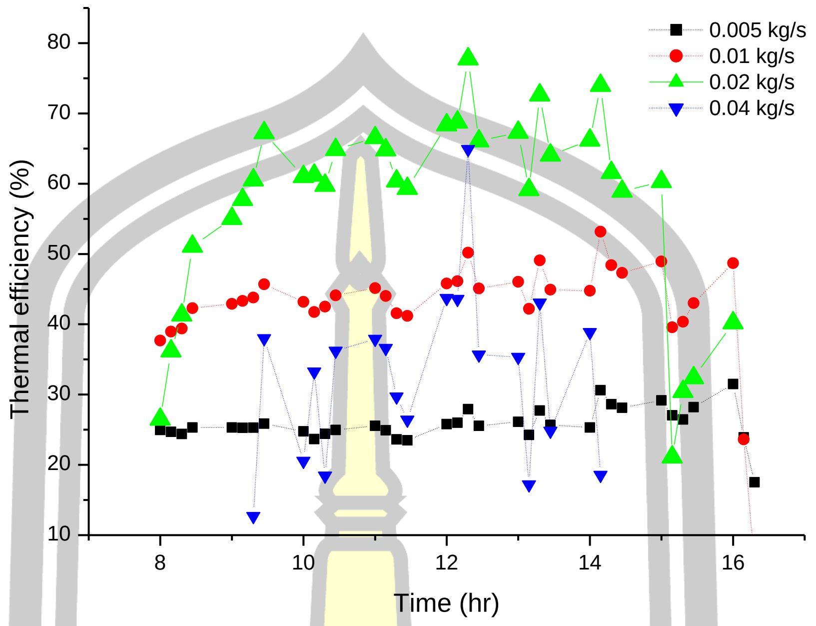
4.2.2 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผง SPVT



ภาพประกอบ 4.10 ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผง SPVT ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ณ เวลาใด ๆ

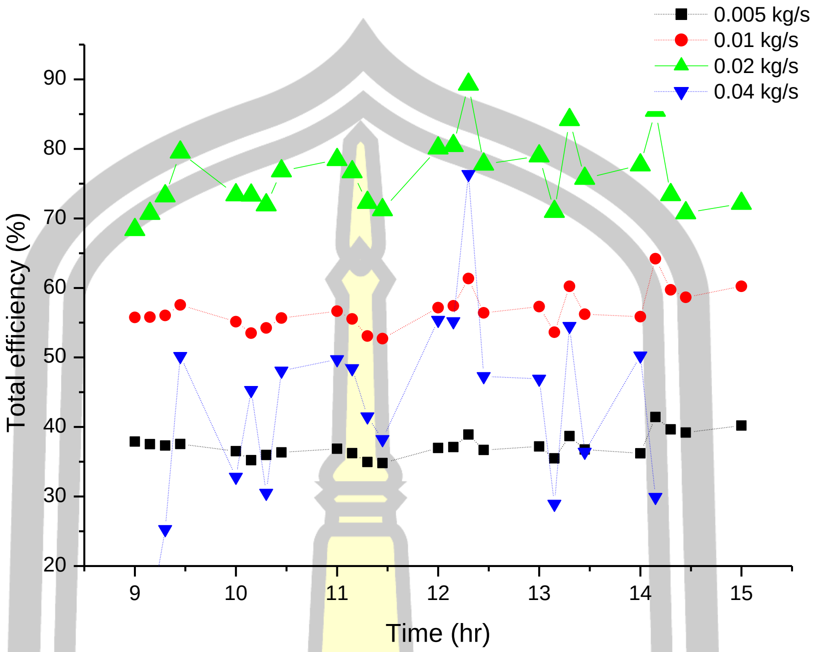
จากภาพประกอบ 4.10 พบว่าในการทดสอบที่อัตราการไหลที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที ตลอดการทดลองมีค่าสูงที่สุด ตามมาด้วย 0.04, 0.01 และ 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ ที่อัตราการไหลของน้ำที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที มีค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าเฉลี่ยในตลอดทั้งการทดสอบเท่ากับร้อยละ 12.73 โดยแผงทดสอบมีประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุดร้อยละ 18.71 ที่เวลา 16.30 นาฬิกา ส่วนค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าต่ำสุดของแผงมีค่าเท่ากับร้อยละ 11.49 ที่เวลา 14.00 นาฬิกา

4.2.3 ประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง SPVT



ภาพประกอบ 4.11 ประสิทธิภาพทางความร้อนของแผง SPVT ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ณ เวลาใด ๆ

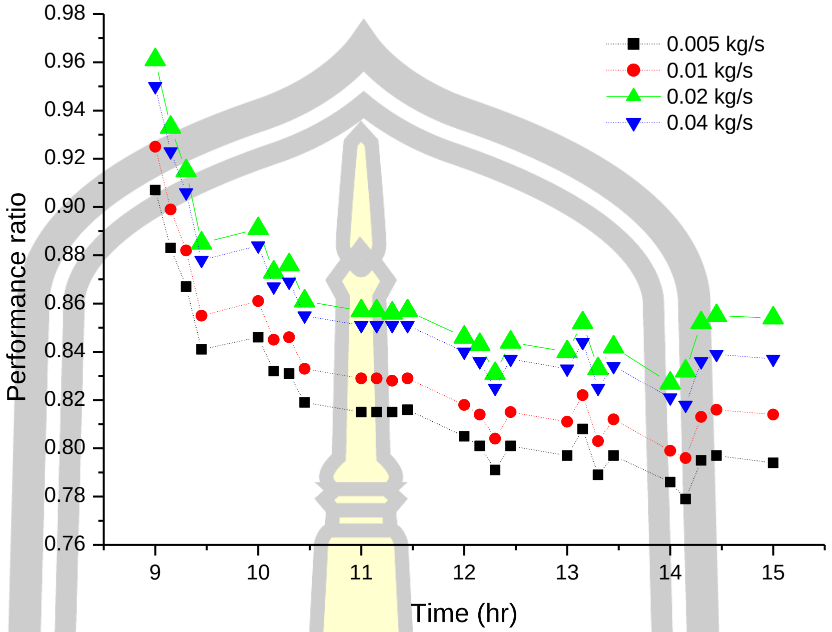
จากภาพประกอบ 4.11 พบว่าในการทดสอบที่อัตราการไหลที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที ตลอดการทดลองมีค่าสูงที่สุด ตามมาด้วย 0.01, 0.04 และ 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที ตามลำดับ ที่อัตราการไหลของน้ำที่ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที มีค่าประสิทธิภาพทางความร้อนเฉลี่ยในตลอดทั้งการทดสอบเท่ากับร้อยละ 49.36 โดยแผงทดสอบมีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดร้อยละ 77.73 ที่เวลา 12.30 นาฬิกา ส่วนค่าประสิทธิภาพทางความร้อนต่ำสุดของแผงมีค่าเท่ากับร้อยละ 21.09 ที่เวลา 15.15 นาฬิกา



ภาพประกอบ 4.12 ประสิทธิภาพรวมของแผง SPVT ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ณ เวลาใด ๆ

โดยเมื่อวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพรวมของแผง SPVT พบว่า ค่าประสิทธิภาพรวม ณ เวลาใด ที่ใช้อัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพรวมของแผงที่ใช้ค่าอัตราการไหลอื่น ๆ รวมทั้งสูงกว่าที่ใช้การไหลเวียนแบบธรรมชาติอย่างชัดเจน ดังภาพประกอบ 4.12 โดยมีประสิทธิภาพรวมตั้งแต่เวลา 9:00-15:00 น. โดยเฉลี่ยเท่ากับ 74.75% สูงกว่าการใช้น้ำไหลเวียนแบบธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพรวมเพียง 27.50%

4.2.4 สมรรถนะทางไฟฟ้าของแผง SPVT



ภาพประกอบ 4.13 สมรรถนะทางไฟฟ้าของแผง SPVT ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ณ เวลาใด ๆ

จากภาพประกอบ 4.13 พบว่าที่อัตราการไหลของน้ำ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที ตลอดการทดลองมีค่าสมรรถนะของระบบสูงที่สุด โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.91 สอดคล้องกับงานของ Bashir M. และคณะ [13]

บทที่ 5
สรุปผล

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษารูปแบบการไหลเวียนของน้ำที่ต่างกันในแผงผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมชนิดกึ่งโปร่งแสง โดยใช้น้ำไหลผ่านด้านบนและด้านล่างของแผงเซลล์เพื่อถ่ายเทความร้อนออกจากแผงเซลล์ ซึ่งใช้รูปแบบการไหลเวียนแบบธรรมชาติ และรูปแบบการไหลเวียนแบบบังคับที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน โดยทำการทดลองระบบและเก็บข้อมูลตั้งแต่เวลา 08.00-16.30 นาฬิกาตั้งแต่เดือน ตุลาคม-พฤศจิกายน 2562 ที่มหาวิทยาลัยมหาสารคาม แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างความสัมพันธ์แบบถดถอย เพื่อทำการวิเคราะห์ ค่าอุณหภูมิน้ำที่ได้ ค่ากำลังไฟฟ้าของแผงที่ผลิตได้ ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า เพื่อประเมินสมรรถนะ ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าและทางความร้อนของแผง ภายใต้รูปแบบการไหลและค่าอัตราการไหลที่แตกต่างกัน

ผลของการทดลองแสดงให้เห็นว่ารูปแบบการไหลเวียนน้ำแบบธรรมชาติ ทำให้ความร้อนสะสมบนแผงถูกส่งผ่านออกไปได้น้อยกว่าแบบบังคับ ทำให้ได้ค่าอุณหภูมิน้ำออกจากแผง SPVT สูงกว่าในรูปแบบการไหลเวียนแบบบังคับ อย่างไรก็ดี ด้วยค่าอัตราการไหลที่ต่ำที่สุดเพียง 0.005 กิโลกรัมต่อวินาที โดยเฉลี่ย ทำให้รูปแบบการไหลเวียนแบบบังคับมีความโดดเด่นมากกว่าเมื่อพิจารณาถึงค่าประสิทธิภาพต่าง ๆ ของแผง SPVT ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่า รูปแบบการไหลเวียนน้ำแบบบังคับที่ค่าอัตราการไหลของน้ำเท่ากับ 0.02 กิโลกรัมต่อวินาที เป็นอัตราการไหลที่ให้ค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้า ประสิทธิภาพทางความร้อน ประสิทธิภาพรวม และสมรรถนะของระบบ ของแผง SPVT เฉลี่ยสูงสุด โดยมีค่าเท่ากับ 12.73%, 49.36%, 62.09% และ 0.91 ตามลำดับ ในส่วนของค่าความส่องสว่างนั้น ความสูงจากพื้นที่ระยะ 2.60, 1.50 และ 0.40 เมตร มีค่าเท่ากับ 2,169, 609 และ 147 ลักซ์ ตามลำดับ แผง SPVT ที่ทำการศึกษาเป็นรูปแบบหนึ่งของอุปกรณ์พลังงานที่สามารถพัฒนาไปสู่การประยุกต์ในการผลิตไฟฟ้า ความร้อน และแสงสว่างธรรมชาติ เพื่อใช้ประโยชน์ในอาคารต่าง ๆ ได้ต่อไป

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบและเก็บข้อมูลทั้ง 4 อัตราการไหล พบว่ามีข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ทั้งนี้เพื่อเป็น ประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจศึกษาและนำไปพัฒนาต่อยอดงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

พหุน ปณฺ ฑิโต ชีโว

5.2.1 ในการทำการทดสอบแต่ละอัตราการไหลของน้ำ ควรมีแผงอ้างอิงไว้ทดสอบในช่วงระยะเวลาเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบค่าลักษณะทางไฟฟ้า ค่าอุณหภูมิแผงทดสอบ ทั้งนี้เพื่อผลการเปรียบเทียบที่ได้จะมีผลที่แตกต่างและชัดเจนมากขึ้น

5.5.2 การทดสอบที่เกี่ยวข้องกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรทำการทดสอบในช่วงฤดูร้อน เพราะจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงขึ้นและได้กำลังไฟฟ้าอย่างเต็มที่

พหูน ปณฺฑิโต ชีเว

บรรณานุกรม

[1] ศักยภาพรังสีรวมปี 2552. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน 2558.

[2] รายงานประจำปี 2559. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์ พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน 2559;27-33.

[3] Dubey S, Sarvaiya, JN, Seshadri B. Temperature dependent photovoltaic (PV) efficiency and its effect on PV production in the world–a review. Energy Procedia 2013;33:311-321.

[4] Deo A, Mishra GK, Tiwari GN. A thermal periodic theory and experimental validation of building integrated semi-transparent photovoltaic thermal (BiSPVT) system. Solar Energy 2017;155:1021-1032.

[5] Taffesse F, Verma A, Singh S, Tiwari GN. Periodic modeling of semi-transparent photovoltaic thermal-trombe wall (SPVT-TW). Solar Energy 2016;135: 265-273.

[6] Gaur A, Tiwari GN, Ménézo C, Al-Helal IM. Numerical and experimental studies on a Building integrated Semi-transparent Photovoltaic Thermal (BISPVT) system: Model validation with a prototype test setup. Energy conversion and management 2016;129:329-343.

[7] Chow TT, Chan ALS, Fong KF, Lin Z, He W, Ji J. Annual performance of building-integrated photovoltaic/water-heating system for warm climate application. Applied Energy 2009;86(5):689-696.

[8] Javed A. The Effect of Temperatures on the Silicon Solar Cell. International Journal of Emerging Technologies in Computational and Applied Sciences (IJETCAS) 2014;9: 305-308.

[9] Kumar R, Rosen MA. Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins Appl. Therm. Eng. 31 (8e9) 2011;1402-1410

[10] Badescu V, Landsberg PT, Devos A. Statistical thermodynamic foundation for photovoltaic and photothermal conversion III: application to hybrid solar converters. J Appl. Phys. 1997; 81:3692-3699

[11] Duffie JA, Beckman WA. Solar Engineering of Thermal Processes, second ed, john Wiley and Sons Inc, New York 1991.

[12] Diwania S, Agrawal S, Siddiqui AS et al. Photovoltaic–thermal(PV/T) technology: a comprehensive review on applications and its advancement. Int J Energy Environ Eng 2020;11: 33–54.

[13] Bashir M, Ali H, Khalil S et al. Comparison of performance measurements of photovoltaic modules during winter months in Taxila, Pakisatan 2014.

[14] Kamthania D, Tiwari GN. Energy metrics analysis of semi-transparent hybrid PVT double pass facade considering various silicon and non-silicon based PV module Hyphen is accepted. Solar energy 2014;100: 124-140.

[15] Martial A, Akata EA, Njomo D, Agrawal B. Thermal Energy Optimization of Building Integrated Semi-Transparent Photovoltaic Thermal Systems. International Journal of Renewable Energy Development 2015;4(2).

[16] Khelifa A, Touafek K, Ben Moussa H, Tabet I. Modeling and detailed study of hybrid photovoltaic thermal (PV/T) solar collector. Sol. Energy 2016;169–176

[17] Shi Q, Lv J, Guo C, Zheng B. Experimental and simulation analysis of a PV/T system under the pattern of natural circulation. Appl. Therm. Eng.2017;828–837.

[18] ณัฐวัฒน์ จิตศีล. แนวทางการปรับปรุงแสงสว่างเพื่อความสม่ำเสมอในการส่องสว่างกรณี ศึกษา อาคารตลาดเชิงวัฒนธรรมองค์การบริหาร ส่วนตำบลพระธาตุอำเภอนาดูนจังหวัดมหาสารคาม. วารสารสถาปัตยกรรม การออกแบบ และการก่อสร้าง 2019;1(1):65-76.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตัวอย่างข้อมูลการทดลอง
ภาคผนวก ข ตัวอย่างวิธีการคำนวณ

ภาคผนวก ก ตัวอย่างข้อมูลการทดลอง

ตาราง 1 อุณหภูมิแผง SPVT ที่วัดในแต่ละจุดที่อัตราการไหลของน้ำ 0.005 kg/s วันที่ 30/10/62

เวลา	ความเข้มแสง G (W/m^2)	อุณหภูมิแผง SPVT (T_{spvt})						T_{spvt} (avg.)
		บนแผง			ใต้แผง			
		บน	กลาง	ล่าง	บน	กลาง	ล่าง	
8.00	-	-	-	-	-	-	-	-
8.15	444	34.38	34.02	32.84	31.68	31.51	30.72	32.52
8.30	496	31.87	31.93	31.04	30.74	30.55	28.89	30.84
8.45	529	31.98	31.98	31.68	31.29	29.87	28.84	30.94
9.00	593	33.59	33.74	33.23	32.76	31.31	30.18	32.47
9.15	622	35.64	35.23	34.55	34.33	32.54	31.48	33.96
9.30	684	36.33	36.42	36.13	35.27	33.95	32.55	35.11
9.45	740	38.11	38.07	37.53	36.83	35.04	33.59	36.53
10.00	767	39.53	39.16	38.80	37.52	39.19	34.69	38.15
10.15	797	38.16	38.34	38.33	37.39	38.45	34.34	37.50
10.30	827	39.84	39.57	39.31	38.67	39.66	35.09	38.69
10.45	864	41.54	40.91	40.77	40.36	41.60	36.35	40.26
11.00	877	40.34	40.87	40.58	39.94	40.69	35.65	39.68
11.15	861	40.73	40.76	40.58	40.27	40.59	35.90	39.81
11.30	865	40.27	39.78	40.64	40.46	40.51	36.27	39.66
11.45	873	42.57	41.98	41.46	40.97	41.32	36.31	40.77
12.00	874	41.61	41.80	41.43	41.43	41.99	37.07	40.89
12.15	820	43.04	43.19	42.25	42.12	43.08	37.56	41.87
12.30	891	44.40	44.85	43.84	43.13	44.25	38.42	43.15
12.45	839	44.08	44.66	42.38	40.96	44.37	38.08	42.42
13.00	855	43.34	44.06	42.64	41.87	42.97	37.49	42.06

13.15	845	42.33	43.32	43.03	42.65	43.07	38.12	42.09
13.30	822	42.73	43.58	42.68	42.71	43.92	38.50	42.35
13.45	840	40.52	42.55	41.48	42.39	41.46	36.80	40.87
14.00	724	40.15	41.79	39.96	39.84	40.47	36.59	39.80
14.15	537	39.80	40.60	38.89	38.48	39.14	36.11	38.84
14.30	554	39.02	40.76	39.11	38.40	39.06	35.57	38.65
14.45	586	41.21	42.48	40.36	40.19	40.77	36.60	40.27
15.00	530	40.82	42.25	40.16	39.86	40.89	36.88	40.14
15.15	269	35.54	36.78	35.20	36.20	37.57	34.59	35.98
15.30	383	37.08	38.36	36.63	36.59	36.02	33.93	36.43
15.45	343	35.77	37.19	35.95	35.77	35.55	33.65	35.64
16.00	312	35.22	36.18	35.08	34.80	34.90	33.18	34.89
16.15	270	34.81	35.31	34.13	33.94	34.03	32.80	34.17
16.30	241	-	-	-	-	-	-	-

พหุน ปณ ฑิโต ชีเว

ตาราง 2 อุณหภูมิแผง SPVT ที่วัดในแต่ละจุดที่อัตราการไหลของน้ำ 0.01 kg/s วันที่ 2/11/62

เวลา	ความเข้มแสง G (W/m^2)	อุณหภูมิแผง SPVT (T_{spvt})						T_{spvt} (avg.)
		บนแผง			ใต้แผง			
		บน	กลาง	ล่าง	บน	กลาง	ล่าง	
8.00	390	31.29	30.81	30.14	29.15	28.47	28.21	29.68
8.15	444	30.76	30.73	30.22	29.04	28.41	28.54	29.62
8.30	496	31.11	31.52	30.65	29.48	29.27	28.99	30.17
8.45	529	33.90	33.29	32.02	30.76	30.43	30.03	31.74
9.00	593	34.57	34.46	32.97	31.85	31.41	31.01	32.71
9.15	622	36.25	35.81	33.78	32.52	32.21	31.74	33.72
9.30	684	37.47	37.21	34.81	33.66	33.28	32.68	34.85
9.45	740	41.30	40.59	37.36	35.69	35.70	34.52	37.53
10.00	767	37.20	36.87	34.79	33.88	33.64	32.98	34.90
10.15	797	42.39	41.41	37.86	36.41	36.56	35.19	38.30
10.30	827	35.03	35.47	33.81	33.29	32.80	32.56	33.82
10.45	864	40.94	41.17	38.47	35.60	35.50	35.73	37.90
11.00	877	37.17	37.48	35.46	34.56	34.34	33.75	35.46
11.15	861	38.71	38.30	36.53	34.67	34.73	34.14	36.18
11.30	865	37.62	37.38	35.58	35.14	34.92	33.69	35.72
11.45	873	36.61	36.68	34.97	34.54	34.12	33.35	35.05
12.00	874	37.69	37.75	35.76	34.63	34.53	33.75	35.68
12.15	820	37.03	37.12	35.47	34.68	34.48	33.70	35.41
12.30	891	38.35	39.13	36.47	35.25	34.43	34.79	36.40
12.45	839	37.45	38.23	36.04	34.81	34.43	34.47	35.90
13.00	855	36.30	35.85	34.35	33.49	33.76	33.11	34.48
13.15	845	36.66	36.94	34.82	34.52	34.70	33.70	35.22

พหุนฺ ปโม คุณฺ ติโต ชิเว

13.30	822	37.02	36.77	35.22	34.20	34.31	33.42	35.16
13.45	840	-	-	-	-	-	-	-
14.00	724	44.15	43.20	41.07	39.54	38.63	36.73	40.55
14.15	537	43.82	44.65	41.54	38.71	38.11	38.19	40.84
14.30	554	40.00	41.71	38.47	37.10	36.73	36.57	38.43
14.45	586	37.90	38.72	37.11	34.87	34.72	35.08	36.40
15.00	530	36.41	36.92	35.38	34.21	34.03	34.21	35.19
15.15	269	34.28	34.89	34.00	32.88	32.62	33.27	33.66
15.30	383	34.09	34.68	33.76	32.88	32.59	33.07	33.51
15.45	343	35.64	34.99	34.64	33.03	32.97	33.31	34.09
16.00	312	38.38	38.82	38.13	35.04	34.76	35.15	36.71
16.15	270	34.37	34.53	33.85	33.04	32.84	33.16	33.63
16.30	241	-	-	-	-	-	-	-

พหูนํ ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตาราง 3 ผลต่างอุณหภูมิน้ำออก-น้ำเข้า จากแผง SPVT ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.005 kg/s วันที่ 6/11/62

เวลา	ความเข้มแสง G (W/m^2)	อุณหภูมิแวดล้อม T_a (°C)	อุณหภูมิแผงเฉลี่ย T_{spvt} (°C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผง SPVT T_{wo} (°C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผง SPVT T_{wi} (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ ΔT (°C)
8.00	356	26.07	26.60	28.20	24.93	3.26
8.15	415	27.54	28.85	31.21	25.71	5.50
8.30	470	26.88	29.42	31.85	25.77	6.07
8.45	523	28.83	31.40	33.65	26.49	7.16
9.00	570	30.19	32.61	35.11	27.39	7.72
9.15	623	31.01	33.70	36.79	28.36	8.43
9.30	664	30.40	34.94	38.42	29.08	9.34
9.45	703	31.78	35.51	39.53	29.50	10.03
10.00	736	30.14	35.83	40.39	30.00	10.38
10.15	738	31.06	35.34	41.12	30.42	10.71
10.30	781	32.40	37.36	42.02	30.87	11.15
10.45	796	31.25	37.11	42.69	31.19	11.50
11.00	807	32.70	39.27	43.78	31.57	12.20
11.15	830	31.43	38.21	44.10	31.77	12.33
11.30	843	33.91	39.51	44.55	32.22	12.33
11.45	846	32.72	40.22	45.31	31.91	13.40
12.00	858	33.86	39.27	45.56	31.94	13.62
12.15	865	33.69	39.56	44.57	32.61	11.96
12.30	867	34.32	41.46	46.75	31.96	14.78
12.45	801	31.97	38.93	45.94	32.12	13.82
13.00	803	33.96	39.18	44.75	33.01	11.74
13.15	793	31.44	40.84	44.87	33.80	11.07

13.30	734	34.05	40.58	44.65	33.77	10.88
13.45	779	33.75	38.98	44.57	34.07	10.50
14.00	723	33.87	41.43	45.17	34.29	10.88
14.15	236	33.57	38.95	42.26	34.25	8.02
14.30	625	36.30	40.76	43.34	34.49	8.85
14.45	574	34.46	39.10	42.05	34.59	7.47
15.00	518	35.43	39.72	42.67	34.56	8.10
15.15	464	34.68	39.34	41.83	34.70	7.13
15.30	466	34.45	38.46	41.14	34.65	6.49
15.45	413	34.92	38.56	40.20	34.65	5.55
16.00	287	34.28	37.30	38.63	34.42	4.21
16.15	66	29.74	32.63	34.18	33.64	0.54
16.30	107	-	-	-	-	-

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตาราง 4 ผลต่างอุณหภูมิน้ำออก-น้ำเข้า จากแผง SPVT ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.02 kg/s วันที่ 5/11/62

เวลา	ความเข้มแสง G (W/m^2)	อุณหภูมิแวดล้อม T_a (°C)	อุณหภูมิแผงเฉลี่ย T_{spvt} (°C)	อุณหภูมิน้ำออกจากแผง SPVT T_{wo} (°C)	อุณหภูมิน้ำเข้าแผง SPVT T_{wi} (°C)	ผลต่างอุณหภูมิ ΔT (°C)
8.00	377	26.22	27.00	27.72	25.19	2.53
8.15	441	27.92	28.49	28.98	26.09	2.89
8.30	476	26.99	29.11	30.67	27.57	3.10
8.45	529	28.45	30.01	31.88	28.25	3.63
9.00	576	28.96	30.64	32.46	28.57	3.89
9.15	623	29.20	31.32	33.51	28.96	4.55
9.30	663	29.67	31.88	34.33	29.18	5.15
9.45	715	30.16	33.01	35.26	29.56	5.70
10.00	746	31.15	33.29	35.91	29.81	6.10
10.15	773	30.63	34.66	36.97	30.20	6.77
10.30	806	31.38	34.60	37.61	30.41	7.21
10.45	827	33.17	35.96	38.07	30.62	7.45
11.00	848	32.84	36.26	38.75	31.13	7.62
11.15	864	33.51	36.97	39.00	31.37	7.63
11.30	872	32.19	35.69	38.92	31.49	7.43
11.45	872	32.93	36.92	39.39	31.70	7.69
12.00	870	35.45	38.15	40.13	31.83	8.30
12.15	862	33.70	36.44	39.53	31.98	7.55
12.30	856	34.60	37.87	40.41	32.16	8.25
12.45	851	36.47	38.19	40.08	32.18	7.90
13.00	826	33.72	37.33	39.88	32.11	7.77
13.15	803	32.45	36.26	39.86	31.67	8.19

พหุนปณฺ ศิโต ชีว

13.30	770	36.01	37.75	40.28	32.24	8.04
13.45	757	33.88	37.36	39.46	32.05	7.42
14.00	689	35.01	37.78	39.81	32.55	7.27
14.15	677	35.25	37.85	39.23	32.80	6.44
14.30	620	32.90	34.20	35.54	32.34	3.21
14.45	573	33.53	36.84	38.37	32.76	5.61
15.00	498	33.38	36.42	37.79	32.71	5.08
15.15	452	33.34	35.69	37.12	32.82	4.29
15.30	408	32.91	35.10	36.34	32.65	3.69
15.45	316	32.72	35.07	35.63	32.56	3.07
16.00	256	32.64	33.99	34.69	32.13	2.56
16.15	211	32.07	33.16	33.96	31.97	1.99
16.30	132	30.96	32.01	32.69	31.88	0.81

พหูน ปญ ญ ฑิโต ชีเว

ตาราง 5 ตัวอย่างข้อมูลคุณลักษณะทางไฟฟ้าของอัตราการไหลของน้ำที่ 0.005 kg/s และ ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.02 kg/s

0.005 kg/s วันที่ 6/11/62				0.02 kg/s วันที่ 5/11/62		
เวลา	G (W/m^2)	V_{OC} (V)	I_{SC} (A)	G (W/m^2)	V_{OC} (V)	I_{SC} (A)
8.00	356	21.26	1.88	377	21.36	2.32
8.15	415	21.27	2.26	441	21.45	2.64
8.30	470	21.37	2.46	476	21.48	2.70
8.45	523	21.40	2.64	529	21.51	3.10
9.00	570	21.42	2.80	576	21.56	3.16
9.15	623	21.40	2.96	623	21.58	3.40
9.30	664	21.38	3.12	663	21.60	3.62
9.45	703	21.36	3.20	715	21.62	3.72
10.00	736	21.32	3.56	746	21.62	3.78
10.15	738	21.32	4.00	773	21.62	3.92
10.30	781	21.27	3.64	806	21.60	4.00
10.45	796	21.28	3.60	827	21.58	4.20
11.00	807	21.27	3.68	848	21.56	4.32
11.15	830	21.23	4.08	864	21.56	4.34
11.30	843	21.32	3.90	872	21.56	4.44
11.45	846	21.32	3.92	872	21.52	4.32
12.00	858	21.13	4.08	870	21.52	4.28
12.15	865	21.11	4.04	862	21.50	4.38
12.30	867	21.13	4.02	856	21.47	4.06
12.45	801	20.99	3.64	851	21.44	4.22
13.00	803	21.01	3.74	826	21.43	4.10
13.15	793	20.95	3.92	803	21.42	4.04

พหุนปณฺฑิต ชีวา

13.30	734	20.93	3.26	770	21.35	3.96
13.45	779	20.98	3.68	757	21.36	3.90
14.00	723	20.91	3.26	689	21.29	3.62
14.15	236	20.40	1.60	677	21.28	3.40
14.30	625	20.82	2.94	620	21.34	3.26
14.45	574	20.81	2.98	573	21.16	2.98
15.00	518	20.72	2.50	498	21.06	2.74
15.15	464	20.62	2.38	452	20.99	2.34
15.30	466	20.62	2.64	408	20.91	2.32
15.45	413	20.54	2.00	316	20.71	1.84
16.00	287	20.24	1.48	256	20.56	1.72
16.15	66	18.67	0.46	211	20.37	1.40
16.30	107	19.23	0.74	132	19.86	1.02

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ตาราง 6 แสดงอุณหภูมิน้ำออก (T_{wo}) จากแผง SPVT ที่ได้จากการใช้แบบจำลอง

เวลา	G (W/m^2)	T_a (°C)	T_{wi} (°C)	T_{wo} (°C)			
				0.005 kg/s	0.01 kg/s	0.02 kg/s	0.04 kg/s
8.00	364	26.25	25.05	29.31	28.09	25.66	20.79
8.15	427	26.99	25.87	30.97	29.75	27.32	22.45
8.30	475	27.12	25.94	31.57	30.36	27.92	23.06
8.45	532	28.02	26.64	33.20	31.99	29.55	24.68
9.00	578	28.65	27.33	34.55	33.33	30.90	26.03
9.15	616	29.34	28.13	35.94	34.72	32.29	27.42
9.30	657	29.80	28.58	36.95	35.74	33.30	28.44
9.45	738	30.79	29.33	38.90	37.69	35.25	30.38
10.00	702	30.47	29.54	38.50	37.28	34.85	29.98
10.15	799	30.86	30.20	40.15	38.94	36.50	31.63
10.30	705	31.02	30.46	39.54	38.32	35.89	31.02
10.45	762	31.59	30.76	40.67	39.46	37.02	32.15
11.00	749	31.85	30.93	40.84	39.63	37.19	32.33
11.15	766	31.76	31.01	41.00	39.78	37.35	32.48
11.30	782	31.59	31.32	41.27	40.05	37.62	32.75
11.45	772	31.54	31.37	41.18	39.96	37.53	32.66
12.00	766	32.35	31.42	41.68	40.46	38.03	33.16
12.15	758	32.53	31.64	41.88	40.67	38.23	33.37
12.30	786	33.31	31.64	42.67	41.45	39.02	34.15
12.45	738	32.43	31.79	41.73	40.51	38.08	33.21
13.00	718	32.66	31.97	41.81	40.59	38.16	33.29
13.15	705	31.96	31.87	41.17	39.95	37.52	32.65
13.30	697	33.15	32.08	42.02	40.80	38.37	33.50

13.45	690	32.55	32.15	41.61	40.39	37.96	33.09
14.00	762	33.10	32.75	43.08	41.87	39.43	34.56
14.15	550	33.58	32.64	41.30	40.08	37.65	32.78
14.30	505	32.85	32.62	40.38	39.16	36.73	31.86
14.45	498	32.75	32.67	40.29	39.07	36.64	31.77
15.00	473	32.92	32.77	40.23	39.01	36.58	31.71
15.15	307	31.71	32.68	37.78	36.57	34.13	29.27
15.30	354	31.83	32.69	38.32	37.10	34.66	29.80
15.45	332	31.91	32.56	38.07	36.85	34.42	29.55
16.00	311	32.16	32.42	37.94	36.72	34.29	29.42
16.15	184	30.55	32.13	35.46	34.25	31.81	26.95
16.30	152	29.39	31.22	33.75	32.53	30.09	25.23

พหูน ปณฺ ฑิโต ชีเว

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ

จากผลการทดลองการใช้น้ำในการระบายความร้อนออกจากแผง SPVT ที่อัตราการไหลของน้ำ 0.02 kg/s เมื่อวันที่ 5/11/62 (ภาคผนวก ก ตารางที่ 5) ที่เวลา 11.30 น. ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ 872 W/m^2 ค่ากระแสไฟฟ้าวงจรปิด 4.44 A และค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด 21.56 V

วิธีการคำนวณ จากสมการประสิทธิภาพทางไฟฟ้า

$$\eta_{el} = FF\left(\frac{V_{OC}I_{SC}}{GA_c}\right)(100)$$

$$\eta_{el} = (0.8)\left(\frac{21.56V \times 4.44A}{872W/m^2 / 0.72m^2}\right)(100)$$

$$\eta_{el} = 12.69\%$$

การคำนวณหาค่าสมรรถนะของแผง SPVT

$$PR = \frac{\left(P_{mea} / P_{MPP(stc)}\right)}{G/1000}$$

$$PR = \frac{\left(21.56V \times 4.44A / 18V \times 5.6A\right)}{843W/m^2/1000}$$

$$PR = 1.12$$

พหูนํ ปณฺฑิโต ชีเว

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายเอกภูมิ ใจศิริ
วันเกิด	วันที่ 20 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2519
สถานที่เกิด	อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดกาฬสินธุ์
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	144 หมู่ 4 ตำบลนิคมห้วยผึ้ง อำเภอห้วยผึ้ง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46240
ตำแหน่งหน้าที่การงาน	เจ้าของกิจการ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	ร้านเอกวิศวกรรม 54 หมู่ 9 ตำบลนิคมห้วยผึ้ง อำเภอห้วยผึ้ง จังหวัดกาฬสินธุ์ 46240
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2542 ปริญญาการศึกษาบัณฑิต (กศ.บ.) สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
	พ.ศ. 2564 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วท.ม.) สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ทุนวิจัย	กองส่งเสริมการวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม