

การศึกษาประสิทธิภาพของชุดแผงแสงอาทิตย์ที่มีระบบระบาย
ความร้อนและแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์

The efficiency study of photovoltaic module set with
cooling system and sun reflector

ปริญญานิพนธ์

ของ

จตุพร สอนสนาม 52010310333

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

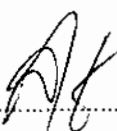
ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

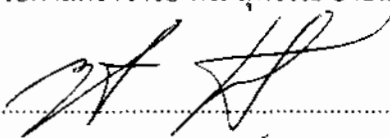


คณะกรรมการสอบปริญญาโท ได้พิจารณาปริญญาโท ฉบับนี้แล้วเห็นสมควรรับเป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของ
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

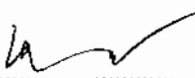
คณะกรรมการสอบปริญญาโท


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุพรรณ ยังยีน)

ประธานกรรมการ


.....
(อาจารย์ ดร.ชลธิ โพธิ์ทอง)

กรรมการ


.....
(อาจารย์ ดร.นุชิตา สุวแพทย์)

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ได้อนุมัติให้รับปริญญาโทฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม


.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บพิธ บุปผโชติ)
หัวหน้าสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.นุชิตา สุวแพทย์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งกรุณาความช่วยเหลือ ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และช่วยแก้ปัญหาต่างๆตลอดจนการเอาใจใส่ทุกๆ ขั้นตอนทั้งในการทดสอบและการทำปริญญานิพนธ์จนทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุพรรณ ยั่งยืน ประธานกรรมการคุมสอบปริญญานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.ชลธิ์ โพธิ์ทอง กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำในการทำปริญญานิพนธ์ ตลอดจนการสอนวิชาความรู้ต่างๆและขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ประสบการณ์และประสิทธิภาพวิชาความรู้ต่างๆทั้งนี้ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอขอบคุณเป็นอย่างสูง

ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอขอบคุณพี่นิสิตปริญญาโท นางสาวประภาพิทย บัญหล้า สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำทั้งการทดสอบและการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้อย่างดี

ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอขอบคุณ บิดา มารดา และเพื่อนๆที่คอยเอาใจใส่ ให้การสนับสนุนทุกสิ่งทุกอย่างตลอดมา ทั้งเรื่องการศึกษาและเรื่องอื่นๆ ทั้งให้คำปรึกษา คอยให้กำลังใจที่ดีแก่ผู้จัดทำเสมอมาขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

หากเนื้อหาหรือข้อมูลต่างๆในการทำปริญญานิพนธ์นี้มีผลประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้าแก่ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ท่านอื่นๆผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ขอยกคุณงามความดีทั้งหลายให้แก่บุคคลทุกท่านที่ได้กล่าวมา สุดท้ายนี้หากปริญญานิพนธ์เล่มนี้มีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำปริญญานิพนธ์ต้องกราบขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

จิตุพร สอนสนาม

ชื่อเรื่อง	การศึกษาประสิทธิภาพของชุดแผงแสงอาทิตย์ที่มีระบบระบายความร้อนและแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์
ผู้วิจัย	นางสาวจตุพร สอนสนาม
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.นุชิตา สุวแพทย์
ปริญญา	วศ.บ. สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัย	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่พิมพ์ 2556

บทคัดย่อ

จากการศึกษาประสิทธิภาพแผงแสงอาทิตย์ชนิด Monocrystalline ขนาด 40 วัตต์ โดยทำการทดสอบแผงแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ ในการทดสอบประกอบไปด้วย ชุดควบคุม ชุดทดสอบที่มีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ และชุดทดสอบที่มีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำทำงานร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ พบว่าระบบระบายความร้อนสามารถทำให้อุณหภูมิของแผงมีค่าลดลง และชุดทดสอบที่มีระบบระบายความร้อนทำงานร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ มีค่าอุณหภูมิของแผงต่ำที่สุด นอกจากนี้จากข้อมูลพบว่าแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ให้กับแผงได้ ในการพิจารณาค่าประสิทธิภาพพบว่า ชุดควบคุม ชุดทดสอบที่มีระบบระบายความร้อน และชุดทดสอบที่มีระบบระบายความร้อนทำงานร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ มีประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 27.76 29.72 และ 24.45 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า การระบายความร้อนให้กับแผงแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของแผงได้ดี และเมื่อติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบระบายความร้อนเพื่อเพิ่มปริมาณรังสีแสงอาทิตย์นั้น พบว่าระบบระบายความร้อนสามารถลดอุณหภูมิของแผงได้มากทำให้แผงผลิตกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าได้ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม

TITLE The efficiency study of photovoltaic module set with cooling system and sun reflector.

AUTHOR Ms.Jatuporn Sonsanam.

ADVISOR Dr.Nuchida Suwapaet.

DEGREE B.Eng. (Mechanical Engineering)

UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2013

ABSTRACT

The efficiency of a 40-watts mono crystalline photovoltaic (PV) module was studied by testing the PV module set which installed the cooling system and the sun reflector. In the experiment, the test sets were the control set, the test set with cooling system, and the test set with cooling system and sun reflector. The results showed that the cooling system could reduce the temperature of the PV and the test set with cooling system and sun reflector had the lowest PV temperature among three sets. The results also showed that the a sun reflector could increase the amount of incident radiation on PV. The efficiency consideration showed that the control set, the test set with cooling system, and the test set with cooling system and sun reflector resulted in the average efficiency of 27.76%, 29.72%, and 24.45%, respectively. Therefore, sinking heat from PV could increase the PV efficiency. When the sun reflector was installed along with the cooling system in order to gain more incident radiation, the cooling system could reduce PV temperature remarkably so that the electricity and the voltage were increasingly produced, comparing to the control PV module set.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์.....	1
ขอบเขตการทำวิจัย.....	1
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
สถานที่ทำการทดสอบ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
การทำงานของแผงแสงอาทิตย์.....	3
ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพ.....	5
แผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์.....	6
มุมของแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์.....	7
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	11
ชุดอุปกรณ์ในการทดสอบ.....	11
ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดสอบ.....	13
ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิ.....	15
ขั้นตอนในการทดสอบ.....	15
การบันทึกข้อมูล.....	16
บทที่ 4 ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ.....	18
การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ.....	18
รายละเอียดของแผงแสงอาทิตย์.....	19
การวิเคราะห์ข้อมูล.....	20
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบข้อเสนอแนะ.....	28
ข้อเสนอแนะ.....	29
บรรณานุกรม.....	30
ภาคผนวก.....	31
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	58

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ	หน้า
2.1 n-type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์.....	3
2.2 p-type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์.....	4
2.3 ไดอะแกรมของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์และตัวสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์.....	7
2.4 ตัวอย่างรูปแสดงมุมสะท้อนของเดือนมกราคม.....	7
3.1 ชุดควบคุมในการทดสอบ.....	11
3.2 ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน.....	12
3.3 ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์.....	13
3.4 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิของแผงโฟโตโวลตาอิก.....	15
4.1 ชุดติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ	18
4.2 แผงแสงอาทิตย์ รุ่น TPS – 150 Mono – crystalline 40 วัตต์.....	19
4.3 ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์.....	20
4.4 อุณหภูมิแผง.....	21
4.5 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร.....	22
4.6 แรงดันไฟฟ้าเปิด.....	23
4.7 กำลังไฟฟ้า.....	24
4.8 ประสิทธิภาพ.....	25

บัญชีตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงค่ามุมสะท้อนของเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม	9
3.1 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูล	17
4.1 รายละเอียดแผงแสงอาทิตย์ รุ่น TPS – 150 Mono – crystalline 40 วัตต์	20
4.2 ข้อมูลประสิทธิภาพของชุด C ชุด W และชุด WR ของวันที่ 9 พฤษภาคม 2556	26

บทที่ 1

บทนำ

พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่สิ้นสุดอีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและตามปกติมนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติในชีวิตประจำวันอยู่แล้ว ตลอดหลายปีมานี้เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาจนถึงขั้นนำมาใช้งานได้จริง อย่างไรก็ตามการนำอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์เหล่านี้มาใช้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องทราบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของบริเวณที่จะใช้งานด้วย โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำ ขึ้นอยู่กับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น โดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากจะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง

ในการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีประสิทธิภาพสูงหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับหลากหลายปัจจัย เช่น ค่าความเข้มรังสี พื้นที่รับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มุมสะท้อนของแผ่นรวมแสง ความร้อนบนหน้าแผงเซลล์พลังงานอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งปัจจัยทั้งหมดล้วนจะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสิ้น

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของแผงแสงอาทิตย์ ชนิด Mono crystalline ขนาด 40 วัตต์ ที่มีระบบระบายความร้อนทำงานร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ และรายงานผลที่ได้จากการศึกษาวิจัย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการทำงานของแผงแสงอาทิตย์ ชนิด Mono crystalline ขนาด 40 วัตต์
2. เพื่อทดสอบแผงแสงอาทิตย์ที่มีระบบระบายความร้อนทำงานร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์
3. เพื่อรายงานผลประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์ ชนิด Mono crystalline ขนาด 40 วัตต์ ที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์

ขอบเขตการทำวิจัย

1. แผงแสงอาทิตย์ ชนิด Mono crystalline ขนาด 40 วัตต์
2. ชุดทดสอบจะประกอบไปด้วย

2.1 ชุดระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ

2.2 ชุดแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์

3. บันทึกข้อมูลค่าความเข้มแสง อุณหภูมิของแผง ค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันของแผง จากการทดสอบในวันและเวลาที่ทำการทดสอบโดยช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลคือ 09.00 – 15.00 น.

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบถึงการทำงานของแผงแสงอาทิตย์
2. ได้ทราบถึงผลของความร้อนและการรวมแสงที่มีต่อการทำงานของแผงแสงอาทิตย์จากการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์
3. ได้ทราบถึงประสิทธิภาพของแผงที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์

สถานที่ทำการทดสอบ

บ้านขามเรียง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

บทที่ 2

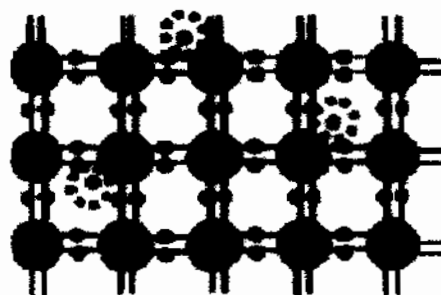
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การทำงานของแผงแสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนขึ้นในเซลล์แสงอาทิตย์

ส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งเป็น 2 ชั้น ได้แก่

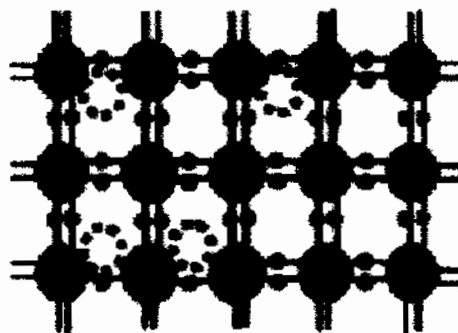
- 1) n-type ของเซลล์ที่ได้โด๊ปกับสารฟอสฟอรัส คุณสมบัติเป็นผู้ให้ (Donor) (-) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์



ภาพประกอบ 2.1 n-type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์

ที่มา : (http://img.tarad.com/shop/f/freeenergy/img-lib/con_20100704182734_u.doc)

- 2) p-type ของเซลล์ที่ได้การโด๊ปกับสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับ (Acceptor) : Hole (+)



ภาพประกอบ 2.2 p-type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์

ที่มา : (http://img.tarad.com/shop/f/freeenergy/img-lib/con_20100704182734_u.doc)

เมื่อนำขั้วทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันเรียกว่า p-n junction จึงทำให้เกิดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของขั้วแสงอาทิตย์

- 1) ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด n-type ของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้ อิเล็กตรอน (-) แต่ก็ยังมีโฮล (+) ปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยด้าน n-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน (-) ส่วน p-type ของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่ เป็นโฮล (+) แต่ยังคงมีอิเล็กตรอน (-) ปะปนบ้างเล็กน้อย ด้าน p-type จะมีแถบโลหะ เรียกว่า Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล (+)
- 2) เมื่อมีแสงแดดตกกระทบระดับต่ำ แสงมีพลังงาน $< E_g$ (Energy gap) แสงอาทิตย์จะถ่ายเท พลังงานให้กับอิเล็กตรอน (-) และโฮล (+) ทำให้เกิดการจับคู่กัน ระหว่าง (+) กับ (-) ภายใน type เดียวกันก่อน
- 3) เมื่อแสงแดดมีพลังงานสูงขึ้น แสงมีพลังงาน $> E_g$ (Energy gap) ทั้งอิเล็กตรอน (-) และโฮล (+) จะวิ่งเข้าหากันเหมือนกันโดย อิเล็กตรอน (-) จะวิ่งไปยังชั้น n-type และโฮล (+) จะวิ่ง ไปยังชั้น p-type อิเล็กตรอน (-) ของชั้น n-type จะไม่สามารถเข้าไปในชั้น p-type ได้ โฮล (+) ของชั้น p-type ก็จะไม่สามารถเข้าไปในชั้น n-type ได้เช่นกัน
- 4) อิเล็กตรอน (-) ของชั้น n-type วิ่งไปรวมกันที่ Electrode (-) และโฮล (+) ของชั้น p-type จะวิ่งไปรวมกันที่ Electrode (+)
- 5) เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Electrode ทั้งสอง ไปยัง Load ให้ครบวงจร ก็จะทำให้เกิด กระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอน (-) และโฮล (+) จะวิ่งเพื่อจับคู่กันอีกครั้ง ที่ Load

ความร้อนเป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของ PV ลดลงเนื่องจาก ขณะที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ จะเกิดการคายพลังงานความร้อนออกมา พลังงานความร้อนนี้จะทำให้สารประกอบเกิดการขยายตัว จึง ทำให้ band gap แคบลง ทำให้อิเล็กตรอนมีระยะทางหรือช่องว่างสั้นลงเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้สั้น

ลงจึงทำให้มีกระแสไฟฟ้าต่ำลงด้วย ปกติเซลล์แต่ละเซลล์จะให้แรงดันไฟฟ้าที่ 0.5 Volt กำลังงานของแผงแสงอาทิตย์ เกิดจาก $Power = V \times I$ โดย I จะผกผันกับอุณหภูมิ

ตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพ

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบ หรือคำนวณจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

1. ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอก และวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 1,000 W ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลก ความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 750 W ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง

2. อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุก ๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ V_{oc}) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5$ องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ V_{oc} จะลดลง 0.525 V ($21 V \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 V ($21V - 0.525V$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงด้วย

จากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่น แผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 W ต่อตารางเมตร ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความ

เข้มแสง 1,000 W ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียสแล้ว จะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 W จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิด

แผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์

1. มุมของรังสีดวงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบของโลกที่เวลาใดๆ กับรังสีตรง หรือตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบ สามารถอธิบายได้โดยใช้มุมต่างๆ ดังนี้

ละติจูด (Latitude) คือ มุมที่อยู่ทางทิศเหนือหรือทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางทิศเหนือกำหนดให้มีค่าเป็นบวก และเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง -90 องศา ถึง 90 องศา

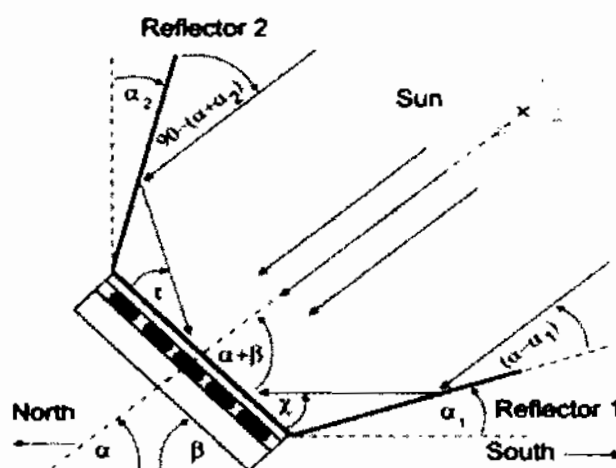
มุมชั่วโมง (Hour Angle) คือ มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมริเดียนท้องถิ่นไปทางตะวันออกหรือตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงสุริยะ และเป็นบวกหลังเที่ยงสุริยะ โดยมีค่า 15 องศาต่อชั่วโมง

มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle) คือ มุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบศูนย์สูตร กำหนดให้มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชันมีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง -23.45 องศา ถึง 23.45 องศา สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$x = (\beta + 2) \times (\alpha_1 - \alpha) \quad (2.1)$$

$$\tau = (x + 2) \times (\alpha_2 - \beta) \quad (2.2)$$

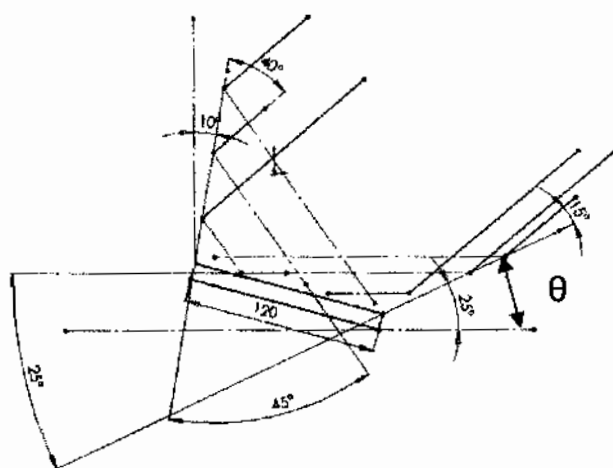
$$\sin \alpha = (\cos \phi \times \cos \delta \times \cos \omega) + (\sin \phi \times \sin \delta) \quad (2.3)$$



ภาพประกอบ 2.3 ไดอะแกรมของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์และตัวสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์
ที่มา : (www.elsevier.com/locate/apenergy)

มุมของแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นรังสีแสงอาทิตย์ โดยกำหนดให้มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์และไม่มีการติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ พบว่า กรณีที่ติดตั้งตัวสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ มีค่าความเข้มข้นของรังสีแสงอาทิตย์มากกว่ากรณีที่ไม่มีติดตั้งตัวสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ กรณีที่ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์มีค่าความเข้มข้นของรังสีแสงอาทิตย์เท่ากับ 1,893 วัตต์ต่อตารางเมตร และไม่ติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์มีค่าความเข้มข้นของรังสีแสงอาทิตย์เท่ากับ 930.83 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่มา : (สุรศักดิ์ ก้อนมะณี และ ธนากร สอนสูง. 2556 : บริษัทยานิพนธ์)



ภาพประกอบ 2.4 ตัวอย่างรูปแสดงมุมสะท้อนของเดือนมกราคม

ตาราง 2.1 แสดงค่ามุมสะท้อนของเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม

เดือน	มุม θ (องศา)
มกราคม	25
กุมภาพันธ์	25
มีนาคม	30
เมษายน	35
พฤษภาคม	35
มิถุนายน	35
กรกฎาคม	35
สิงหาคม	35
กันยายน	35
ตุลาคม	30
พฤศจิกายน	25
ธันวาคม	25

ที่มา : (สุรศักดิ์ ก้อนมะณี และ ธนากร สอนสูง. 2556 : ปริญญานิพนธ์)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จารุวัฒน์ เจริญจิต และบัญญัติ นิยมवास (2554 ฉบับที่ 3 : 265-274) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดสอบสมรรถนะการกลั่นน้ำทะเลด้วยรังสีอาทิตย์แบบมีแผ่นสะท้อนรังสี ซึ่งพัฒนาจากเครื่องกลั่นน้ำแบบอ่าง ครอบด้วยกระจกใสเอียงด้านเดียว 15 องศา กับแนวระนาบ โดยออกแบบระบบให้มีการดูดซับรังสีอาทิตย์บริเวณอ่างของเครื่องกลั่นให้มากขึ้น โดยติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีทำด้วยกระจกเงาทั้ง 4 ด้าน ทำมุม 30 องศา กับแนวดิ่ง ทำหน้าที่สะท้อนรังสีอาทิตย์ให้ตกบนพื้นดูดซับในช่วงเวลาเที่ยงวันให้ได้มากที่สุด และสะท้อนรังสีอาทิตย์ให้อยู่ในกระจกใสที่ครอบเครื่องกลั่น เพื่อเพิ่มอุณหภูมิในเครื่องกลั่น โดยอาศัยหลักการสภาวะเรือนกระจก โดยออกแบบ และสร้างเครื่องกลั่นจำนวน 2 เครื่อง เพื่อทดสอบเปรียบเทียบสมรรถนะการกลั่น ในช่วงเวลา 09.00 – 15.00 น. เจื่อนไขแรก คือการเปรียบเทียบสมรรถนะการกลั่นที่ระดับน้ำในเครื่องกลั่นปกติที่มีแผ่นสะท้อนรังสี เจื่อนไขที่สอง นำระดับน้ำที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบระบบกลั่นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง มาทดสอบสมรรถนะการกลั่นกรณีที่มีแผ่นสะท้อนรังสี จากการทดสอบพบว่า การกลั่นน้ำทะเลที่ระดับความสูง 20 มิลลิเมตร แบบไม่ต่อเนื่องให้

สมรรถนะสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับสมรรถนะการกลั่นกรณีมีแผ่นสะท้อนรังสีอาทิตย์และไม่มีแผ่นสะท้อนรังสี พบว่าให้อัตราการกลั่นน้ำอยู่ที่ 2.35 ลิตรต่อตารางเมตร และ 1.93 ลิตรต่อตารางเมตร ตามลำดับ โดยกรณีมีแผ่นสะท้อนรังสีมีสมรรถนะสูงกว่าประมาณ 21.55% ซึ่งค่าจะแปรผันตามพื้นที่ระเหยและค่ารังสีอาทิตย์

อนุสรณ์ แสงประจักษ์ (2009 : 215-222) งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาดูอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด c-Si และ mc-Si ระหว่างใช้งานจริง ที่มีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงเซลล์มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งได้ทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคยใช้งานมาแล้วชนิด c-Si และ mc-Si เปรียบเทียบกัน ที่ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จากผลการศึกษาพบว่าการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองชนิดในช่วงอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดลดลงอย่างรวดเร็ว และการใช้งานแผงทั้งสองชนิดในช่วงอุณหภูมิ 55 ถึง 65 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ได้ลดลงไปจากผู้ผลิตไว้ 22 ถึง 25 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้การใช้แผงทั้งสองชนิดในพื้นที่ดังกล่าว ภายใต้อุณหภูมิไม่เกิน 65 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าวงจรไฟฟ้าแรงดันเปิดออกไม่แตกต่างกัน

ประภาพิทย์ บุญหล้า (2556 : บทคัดย่อ) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลดอุณหภูมิด้วยน้ำต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิก ซึ่งได้ทำการทดสอบพ่นน้ำบนผิวหน้าแผงโฟโตโวลตาอิก แผงชนิด Monocrystalline ขนาด 40 วัตต์ และแผง Amorphous silicon ขนาด 40 วัตต์ ในการทดสอบประกอบไปด้วยแผงควบคุม และแผงทดสอบ จากข้อมูลการทดสอบพบว่า น้ำสามารถลดอุณหภูมิในการทำงานของแผงได้เป็นอย่างดี โดยการทดสอบของแผงชนิด Monocrystalline และแผงชนิด Amorphous silicon มีค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงระหว่างแผงควบคุมและแผงทดสอบโดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับร้อยละ 28.74 และร้อยละ 36.82 ตามลำดับ และจากการลดอุณหภูมิของแผงด้วยวิธีการพ่นน้ำบนผิวหน้าของแผงในแต่ละการทดสอบ พบว่ามีผลต่อประสิทธิภาพในการทำงานของแผงโดยแผงชนิด Monocrystalline มีค่าประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นเฉลี่ยตลอดทั้งวันเท่ากับร้อยละ 12.82 ซึ่งสูงกว่าการทดสอบของแผงชนิด Amorphous silicon ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 8.19 ดังนั้นการลดอุณหภูมิด้วยน้ำจึงมีผลต่อความสามารถในการทำงานของแผงโฟโตโวลตาอิก ซึ่งน้ำสามารถลดอุณหภูมิในการทำงานของแผงและเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของแผงได้เป็นอย่างดี

Abdolzadeh, Ameri and Mehrabian (2011 : 1546-1555) ได้ศึกษาผลของการฉีดพ่นน้ำบนโมดูลแสงอาทิตย์ต่อประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการสูบน้ำภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน ดำเนินการศึกษาโดยการตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบสูบน้ำที่ใช้ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบระบายความร้อนด้วยละอองน้ำ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญซึ่งเกิดจากการฉีดพ่นน้ำ และผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ฉีดพ่นน้ำเพื่อระบายความร้อนจะมีบทบาทสำคัญในการลดการสูญเสียพลังงาน

Rahman *et al.* (2009 : 1-4) มีวิธีการมากมายที่ถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่พบมากที่สุดคือระบบการติดตามดวงอาทิตย์ ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ทดลองใช้แผ่นสะท้อนลำแสงกระจาย (diffused) การประยุกต์ใช้แผ่นสะท้อนนี้ มีราคาถูกมาก และไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมใด ผลการทดลองแสดงให้เห็นการปรับปรุงที่ได้เพิ่มประสิทธิภาพในการสร้างพลังงานโดยรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบได้เก็บข้อมูลเหล่านี้ในเวลาเดียวกัน 1.แผงที่มีระบบติดตาม 2.แผงที่วางทำมุม 23.5 องศา กับแนวระดับและมีแผ่นสะท้อนแสงกระจาย 3.แผงที่วางทำมุม 23.5 องศา กับแนวระดับที่ไม่มีแผ่นสะท้อนแสงกระจาย ผลการทดลองพบว่าในเชิงประสิทธิภาพถ้ามีการติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงกระจายนั้น แผงแสงอาทิตย์นั้นไม่จำเป็นต้องมีระบบติดตามดวงอาทิตย์

Suwapaet and Boontla (2013 : 281-284) ได้ทำการทดสอบแผงแสงอาทิตย์ชนิด Monocrystalline silicon (MCS) และ Amorphous silicon (AS) ในสภาวะการทำงานปกติ เพื่อตรวจสอบผลกระทบจากการทำงานของแผงโฟโตโวลตาอิกในสภาวะอุณหภูมิสูงต่อพลังงานที่ได้ ซึ่งได้ทำการทดลองที่ตำบลขามเรียง จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่าที่อุณหภูมิสูง Amorphous silicon สามารถให้พลังงานที่มากกว่า เทียบกับ Monocrystalline silicon นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ 25 องศา ที่เป็นค่าทดสอบมาตรฐาน (STD) พบว่าถ้าอุณหภูมิที่สูงขึ้น 80% - 115% AS จะให้พลังงานไฟฟ้าลดลง 3% - 20% ในขณะที่ MCS ให้พลังงานลดลง 23% - 33%

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบแผงแสงอาทิตย์ Mono crystalline ขนาด 40 วัตต์ โดยได้ติดตั้งระบบระบายความร้อนร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งในการทดสอบจะประกอบด้วย ชุดทดสอบทั้งหมด 3 ชุด ได้แก่ ชุดควบคุม ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน และ ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

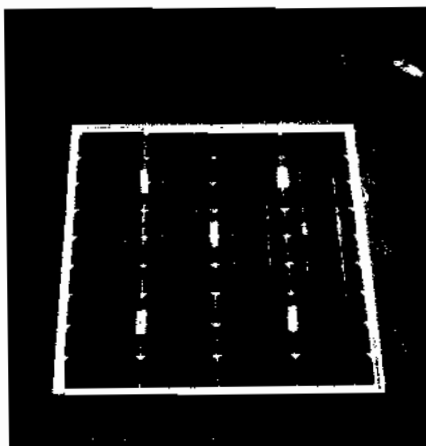
- 1.ชุดอุปกรณ์ในการทดสอบ
- 2.ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดสอบ
- 3.ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิของแผง
- 4.ขั้นตอนในการทดสอบ
- 5.การบันทึกข้อมูล

ชุดอุปกรณ์ในการทดสอบ

1. ชุดควบคุม

1.1 แผงแสงอาทิตย์ชนิด Mono crystalline 40 วัตต์ จำนวน 1 แผง

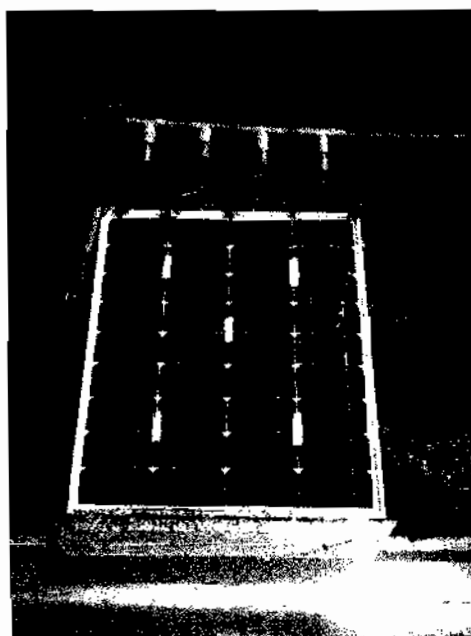
1.2 รางสำหรับวางแผงแสงอาทิตย์ซึ่งมีความสูงด้านหน้า 20 เซนติเมตรและด้านหลัง 36 เซนติเมตร ความกว้าง 64 เซนติเมตร และความยาว 125 เซนติเมตร ซึ่งแผงแสงอาทิตย์จะเอียง 16 องศากับพื้น



ภาพประกอบ 3.1 ชุดควบคุมในการทดสอบ

2. ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน

- 2.1 แผงแสงอาทิตย์ชนิด Mono crystalline 40 วัตต์ จำนวน 1 แผง
- 2.2 รางสำหรับวางแผงแสงอาทิตย์ซึ่งมีความสูงด้านหน้า 20 เซนติเมตร และด้านหลัง 36 เซนติเมตร ความกว้าง 64 เซนติเมตร และความยาว 125 เซนติเมตร ซึ่งแผงแสงอาทิตย์จะเอียง 16 องศาขึ้น
- 2.3 ถังน้ำขนาด 100 ลิตร คุมด้วยฉนวนกันความร้อน จำนวน 1 ถัง โดยมีวาล์ว เปิด-ปิด น้ำ 2 วาล์ว
- 2.4 ขาดังสำหรับวางถังน้ำสูง 150 เซนติเมตร ความกว้างของแท่นวางถังน้ำทำด้วยไม้อัด ขนาด 50x50 เซนติเมตร
- 2.5 ชุดระบายความร้อนที่ติดตั้งหัวฉีดพ่นน้ำยี่ห้อ super products ประเภทหัวพ่น 180 องศาเซลเซียส จำนวน 4 หัว ใช้สำหรับฉีดพ่นน้ำให้กระจายทั่วผิวหน้าแผงแสงอาทิตย์ซึ่งมีระยะห่างของแต่ละหัวพ่น 11.5 เซนติเมตร



ภาพประกอบ 3.2 ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน

3. ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์

- 3.1 แผงแสงอาทิตย์ชนิด Mono crystalline silicon 40 วัตต์ 17.5 โวลต์ จำนวน 1 แผง
- 3.2 รางสำหรับวางแผงแสงอาทิตย์ซึ่งมีความสูงด้านหน้า 20 เซนติเมตร และด้านหลัง 36 เซนติเมตร ความกว้าง 64 เซนติเมตร และความยาว 125 เซนติเมตร ซึ่งแผงแสงอาทิตย์จะเอียง 16 องศาขึ้น

3.3 แผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ขนาด กว้าง 0.8 เมตร ยาว 1.2 เมตร และหนา 0.003 เมตร ทำมุมสะท้อน 35 องศา กับพื้น เนื่องจากทำการทดลองในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน (ตารางที่ 2)

3.4 ถังน้ำขนาด 100 ลิตร หุ้มด้วยฉนวนกันความร้อน จำนวน 1 ถัง โดยมีวาล์ว เปิด-ปิด น้ำ 2 วาล์ว

3.5 ขาตั้งสำหรับวางถังน้ำสูง 150 เซนติเมตร ความกว้างของแท่นวางถังน้ำทำด้วยไม้อัด ขนาด 50x50 เซนติเมตร

3.6 ชุดระบายความร้อนที่ติดตั้งหัวฉีดพ่นน้ำยี่ห้อ super products ประเภทหัวพ่น 180 องศา จำนวน 4 หัว ใช้สำหรับฉีดพ่นน้ำให้กระจายทั่วผิวหน้าแผงแสงอาทิตย์ซึ่งมีระยะห่างของแต่ละหัวพ่น 11.5 เซนติเมตร



ภาพประกอบ 3.3 ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์

2.ตัวแปรที่เกี่ยวข้องในการทดสอบ

ในการทดสอบจะบันทึกข้อมูลต่อไปนี้

2.1 กระแสลัดวงจร (I_{sc}) ของแผงแสงอาทิตย์ ซึ่งจะวัดค่าโดยเครื่องมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ UNI-T UT33D

2.2 แรงดันเปิด (V_{oc}) ของแผงแสงอาทิตย์ ซึ่งจะวัดค่าโดยเครื่องมัลติมิเตอร์ยี่ห้อ UNI-T UT33D

2.3 อุณหภูมิของแผง จะใช้เทอร์โมคัปเปิล ชนิด k สัมผัสบริเวณผิวหน้าของแผง เพื่อวัดค่าอุณหภูมิ โดยจะต่อสายเทอร์โมคัปเปิลกับเครื่องดาต้าล็อกเกอร์ ยี่ห้อ Wisco รุ่น AI210

2.4 ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในบริเวณที่ทำการทดสอบ ในการวัดค่าจะใช้

Pyranometer ยี่ห้อ Apogee รุ่น SP-110

2.5 ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่วัดจากบริเวณที่แสงเกิดการสะท้อนจากแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ จะใช้ Pyranometer ยี่ห้อ EKO รุ่น MS-64

2.6 ค่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จะใช้เทอร์มิสเตอร์ ดิจิตอล สำหรับวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมทั่วไป

เมื่อทำการทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลเรียบร้อยแล้วจะนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ผล ซึ่งในการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพ จะเป็นการวิเคราะห์จากค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าเปิด

1.พลังงานแสงอาทิตย์ ที่แผงแสงอาทิตย์ได้รับ

$$P_{sun} = GA \quad (3.1)$$

เมื่อกำหนดให้

P_{sun} แทน พลังงานแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

G แทน ความเข้มแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

A แทน พื้นที่รับแสงของแผงแสงอาทิตย์ ตารางเมตร (m^2)

2.ประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์

เนื่องจากการวัดค่าจะเป็นการวัดค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิด (V_{oc}) ดังนั้นในงานวิจัยนี้การคำนวณกำลังไฟฟ้าจะนำค่า (I_{sc}) และ (V_{oc}) มาพิจารณา

$$P_{pv} = I \times V = I_{sc} \times V_{oc} \quad (3.2)$$

เมื่อกำหนดให้

P แทน กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

V แทน ความต่างศักย์ มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I แทน กระแสไฟฟ้า มีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

สำหรับการคำนวณประสิทธิภาพของแผงจะสามารถคำนวณได้จาก

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{pv}}{P_{sun}} = \frac{I_{sc} \times V_{oc}}{G \times A} \quad (3.3)$$

เมื่อกำหนดให้

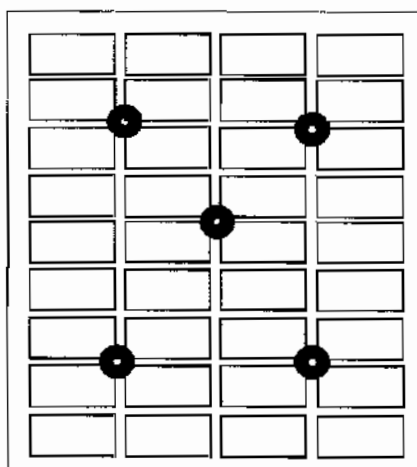
η แทน ประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์

P_{in} แทน กำลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

P_{out} แทน กำลังงานที่ได้จากแผงแสงอาทิตย์ มีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

3. ตำแหน่งในการวัดอุณหภูมิของแผง

แผงแสงอาทิตย์ใน 3 ชุดทดสอบจะมีตำแหน่งการวัดอุณหภูมิที่จุดเดียวกันทั้ง 3 แผง ซึ่งจะใช้สายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K สัมผัสบริเวณผิวหน้า ซึ่งในแต่ละแผงมีจุดสัมผัส 5 จุด ดังภาพประกอบ 3.4



ภาพประกอบ 3.4 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิของแผงโฟโตโวลตาอิก

4. ขั้นตอนในการทดสอบ

ทำการทดสอบที่บ้านขามเรียง ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม เวลาการเก็บข้อมูลในหนึ่งวันเริ่มตั้งแต่เวลา 09.00 – 15.00 นาฬิกา (เฉพาะวันที่มีแดด) เป็นเวลาทั้งหมด 6 ชั่วโมง ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบดังต่อไปนี้

1. นำแผงแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผงวางในแนวเดียวกันและหันด้านหน้าแผงไปทางทิศใต้ ซึ่งแผงที่ 1 คือชุดควบคุม แผงที่ 2 คือทดสอบที่มีการพ่นน้ำบนผิวหน้าของแผง และแผงที่ 3 คือแผงทดสอบที่มีการพ่นน้ำบนผิวหน้าของแผง ทำงานร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์
2. นำเครื่องดาต้าล็อกเกอร์เชื่อมต่อกับสายเทอร์โมคัปเปิล ชนิด K และนำปลายสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K สัมผัสที่ผิวด้านหน้าของแผงแสงอาทิตย์ทั้งสามแผงตามตำแหน่งดังภาพประกอบ 3.4
3. สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดัน จะใช้เครื่องมือมิเตอร์ วัดค่าโดยตรงจากสายไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์
4. นำเครื่องวัดความเข้มแสง Pyranometer ยี่ห้อ Apogee รุ่น SP-110 วางใกล้กับบริเวณที่ทำการทดสอบ โดยจะวางตัวในแนวเดียวกับชุดควบคุม ทำมุม 16 องศา กับแนวระดับ
5. นำเครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์ Pyranometer ยี่ห้อ EKO รุ่น MS-64 โดยจะวางเครื่องวัดรังสีแสงอาทิตย์ ไว้ช่วงแผงโฟโตโวลแตอิกซึ่งอยู่บริเวณตรงข้ามกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ ทำมุม 16 องศา กับแนวระดับ
6. เตรียมเครื่องเทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอลที่จะใช้สำหรับวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมทั่วไป โดยจะวางใกล้กับบริเวณที่ทำการทดสอบ
7. การเปิด - ปิดวาล์วน้ำจะเป็นไปตามเวลาในการทดสอบ คือเริ่มเปิดในเวลา 9.00 นาฬิกา และปิดในเวลา 15.00 นาฬิกา โดยปรับให้อัตราการไหลของน้ำคือ 2 ลิตรต่อนาที
8. จากนั้นเริ่มทำการทดสอบและบันทึกข้อมูล

5. การบันทึกข้อมูล

ค่าอุณหภูมิของแผงแสงอาทิตย์และค่าความเข้มรังสีแสง จะบันทึกค่าโดยจากเครื่องดาต้าล็อกเกอร์ ค่ากระแสแรงดันและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจะบันทึกค่าด้วยมือ โดยใช้ตารางบันทึกข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตาราง 3.1 ตัวอย่างตารางบันทึกข้อมูล

บันทึกข้อมูลวันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2556

ชื่อผู้บันทึก.....

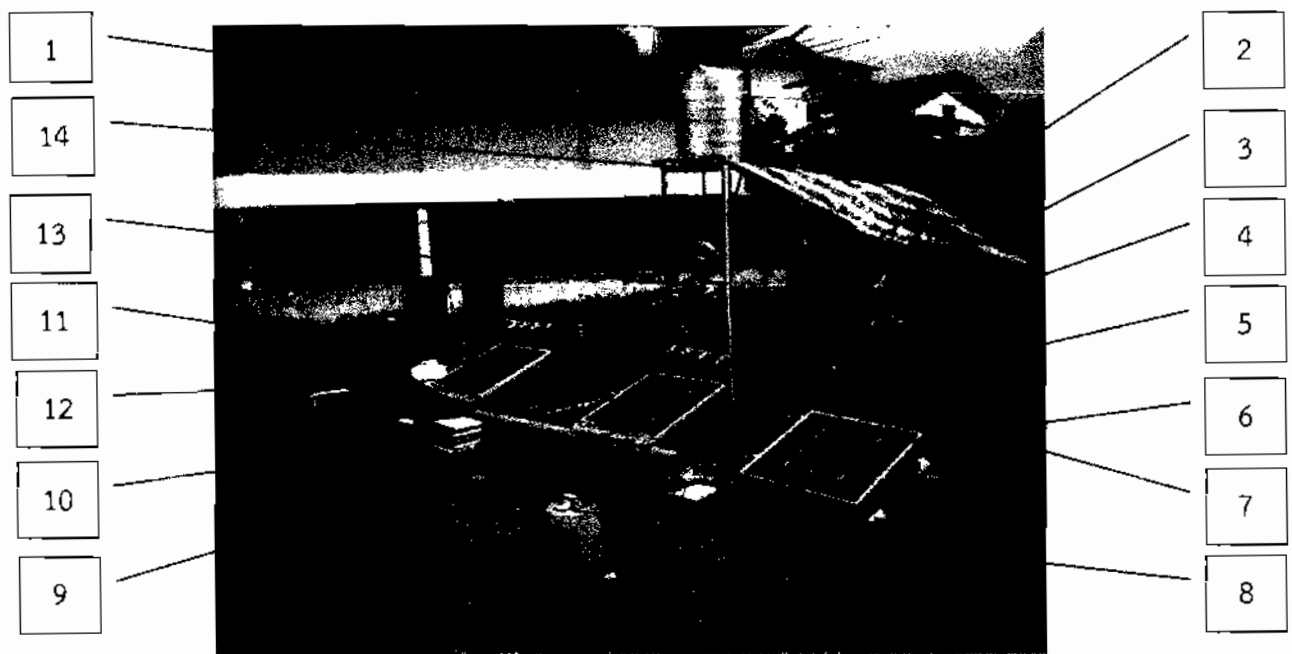
เวลา	แผงควบคุม		P	แผงพ่นน้ำ		P	แผงพ่นน้ำ+รวมแสง		P	อุณหภูมิแวดล้อม °C
	I_{sc}	V_{oc}		I_{sc}	V_{oc}		I_{sc}	V_{oc}		
9.00										
9.15										
9.30										
9.45										
10.00										
10.15										
10.30										
10.45										
11.00										
11.15										
11.30										
11.45										
12.00										
12.15										
12.30										
12.45										
13.00										
13.15										
13.30										
13.45										
14.00										
14.15										
14.30										
14.45										
15.00										
15.15										
15.30										

บทที่ 4

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของแผงแสงอาทิตย์ ชนิด Mono crystalline ขนาด 40 วัตต์ ที่มีระบบระบายความร้อนทำงานร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ ได้ทำการทดสอบตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2556 รวมทั้งสิ้น 25 วัน ซึ่งเวลาในการเก็บข้อมูลเริ่มตั้งแต่เวลา 09.00 – 15.00 นาฬิกา โดยเก็บข้อมูลจากแผงแสงอาทิตย์ 3 ชุด คือ 1.) ชุดควบคุม (C) 2.) ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน (W) และ 3.) ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ (WR)

การติดตั้งชุดอุปกรณ์ในการทดสอบ



หมายเลข	คำอธิบาย
1	ถังน้ำ
2	คอมพิวเตอรืโน้ตบุ๊ก
3	เทอร์โมมิเตอร์ ดิจิตอล
4	ดาต้าล็อกเกอร์ยี่ห้อ Wisco รุ่น AI210
5	มัลติมิเตอร์ UNI-T UT33D
6	ชุดควบคุม
7	ชุดหัวฉีดพ่นน้ำ ยี่ห้อ superproducts

หมายเลข	คำอธิบาย
8	Pyranometer Apogee รุ่น SP-110
9	ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน
10	รางน้ำและอ่างรองน้ำออก
11	เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ ยี่ห้อ EKO รุ่น MS-64
12	ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อนร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์
13	ตัววัดอัตราการไหล
14	วาล์ว เปิด-ปิด น้ำ

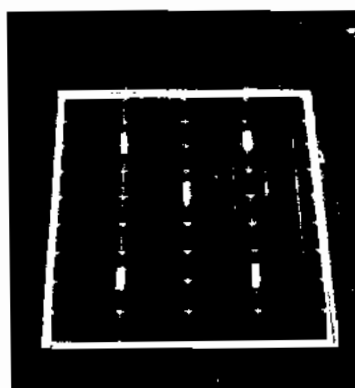
*หมายเหตุ รายละเอียดอุปกรณ์แสดงในภาคผนวก ข.

ภาพประกอบ 4.1 ชุดติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ

ในการทดสอบจะเริ่มจากนำแผงแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผงมาวางในแนวเดียวกันหันด้านหน้าแผงไปทางทิศใต้ จากนั้นนำเครื่องดาต้าล็อกเกอร์เชื่อมกับสายเทอร์โมคัปเปิลชนิด K นำปลายสายเทอร์โมคัปเปิลสัมผัสด้านหน้าแผงแสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผง ใช้มัลติมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันโดยวัดค่าโดยตรงจากสายไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ นำเครื่องวัดความเข้มแสง Pyranometer Apogee รุ่น SP-110 วางไว้ใกล้บริเวณทดสอบ และวางเครื่องวัดความเข้มแสง ยี่ห้อ EKO รุ่น MS-64 ไว้ข้างแผงแสงอาทิตย์ซึ่งอยู่บริเวณตรงข้ามกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ เตรียมเทอร์โมมิเตอร์ดิจิตอลวางไว้บริเวณทำการทดสอบเพื่อวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อม แล้วทำการเปิด - ปิด วาล์วน้ำตามเวลาในการทดสอบ จากนั้นเริ่มทำการทดสอบและเก็บข้อมูลตามเวลาที่กำหนด

รายละเอียดของแผงแสงอาทิตย์

แผงแสงอาทิตย์ชนิด Mono crystalline ขนาด 40 วัตต์ รุ่น TPS - 105 มีรายละเอียดของแผง แสดงในตาราง 4.1 ซึ่งในการเก็บข้อมูลนั้นจะมีการเก็บข้อมูลของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) และแรงดันไฟฟ้าเปิด (V_{oc})



ภาพประกอบ 4.2 แผงแสงอาทิตย์ รุ่น TPS - 150 Mono crystalline 40 วัตต์

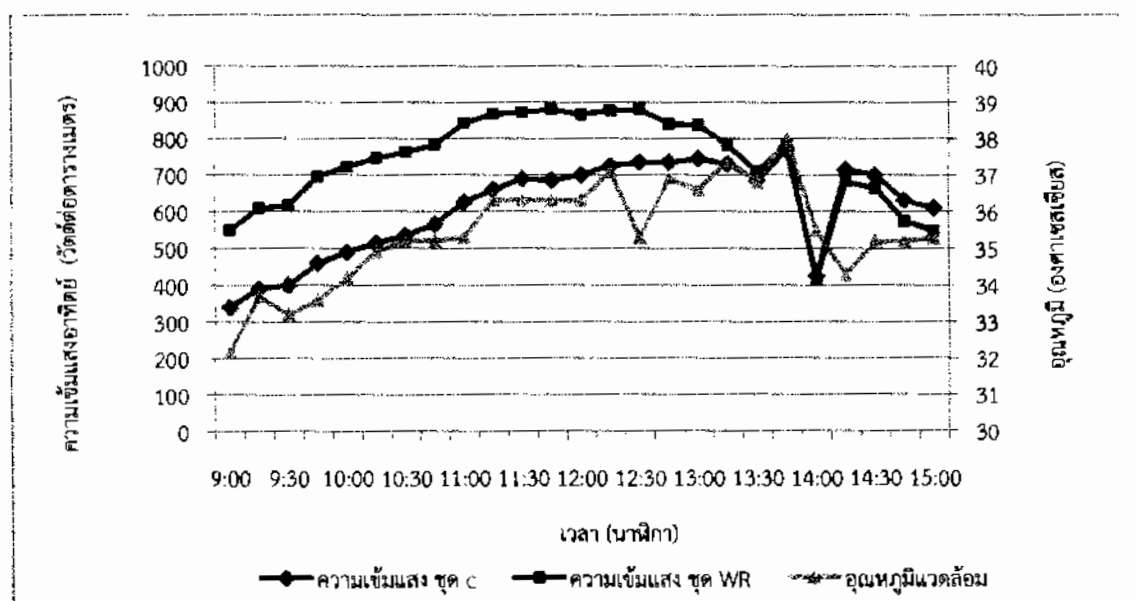
ตาราง 4.1 รายละเอียดแผงแสงอาทิตย์ รุ่น TPS - 150 Mono crystalline 40 วัตต์

Model	TPS105 - 40W - MONO
Maximum Power (Pmax)	40W ($\pm 5\%$)
Rated Voltage (Vmp)	17.2 V
Rated Current (Imp)	2.33 A
Open Circuit Voltage (Voc)	21.5 V
Short Circuit Current (Isc)	2.5 A
Maximum System Voltage	1000 V
Test Condition	AM 1.5, 1000 วัตต์/ตารางเมตร, 25 องศา

การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 25 วัน ผู้วิจัยได้เลือกข้อมูลของวันที่ 9 พฤษภาคม 2556 ที่เป็นข้อมูลที่สม่ำเสมอมาวิเคราะห์และวิจารณ์ผลดังต่อไปนี้ โดยข้อมูลของวันทดสอบอื่นๆได้แสดงในภาคผนวก ง.

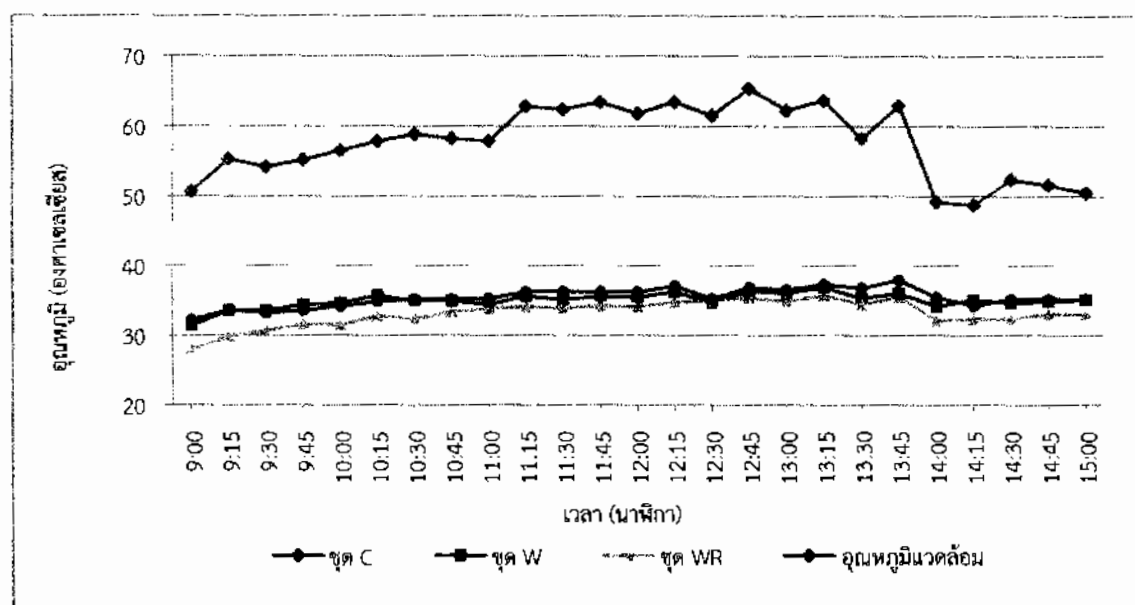
1. ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์



ภาพประกอบ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ชุด C ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ชุด WR กับอุณหภูมิแวดล้อมเทียบกับเวลาทำการทดสอบของวันที่ 9 พฤษภาคม 2556

จากภาพประกอบ 4.3 พบว่าค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ชุด C ตลอดทั้งการทดสอบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 610.4 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ชุด C สูงสุดเท่ากับ 770 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่เวลา 13.45 นาฬิกา ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ชุด C ต่ำสุดเท่ากับ 340 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่เวลา 09.00 นาฬิกา ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ชุด WR ตลอดทั้งการทดสอบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 736.2 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ชุด WR สูงสุดเท่ากับ 880 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่เวลา 12.30 นาฬิกา ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ชุด WR ต่ำสุดเท่ากับ 414 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่เวลา 14.00 นาฬิกา และเมื่อสังเกตจากเส้นกราฟจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ชุด C และค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ชุด WR ที่ช่วงเวลา 13.30 นาฬิกา ถึง 14.15 นาฬิกา มีค่าลดลงเนื่องจากในช่วงเวลาที่ทำกรทดสอบนั้นมีเมฆมากหรือฟ้าครึ้ม จึงส่งผลให้ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในช่วงเวลานั้นมีค่าลดลง ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับข้อมูลอุณหภูมิสภาพแวดล้อม โดยอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเฉลี่ยตลอดทั้งการทดสอบมีค่าเท่ากับ 35.45 องศาเซลเซียส อุณหภูมิสูงสุด เท่ากับ 38.0 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วงเวลา 13.45 นาฬิกา และอุณหภูมิต่ำสุด เท่ากับ 32.2 องศาเซลเซียส ที่ช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา

2. อุณหภูมิแสง

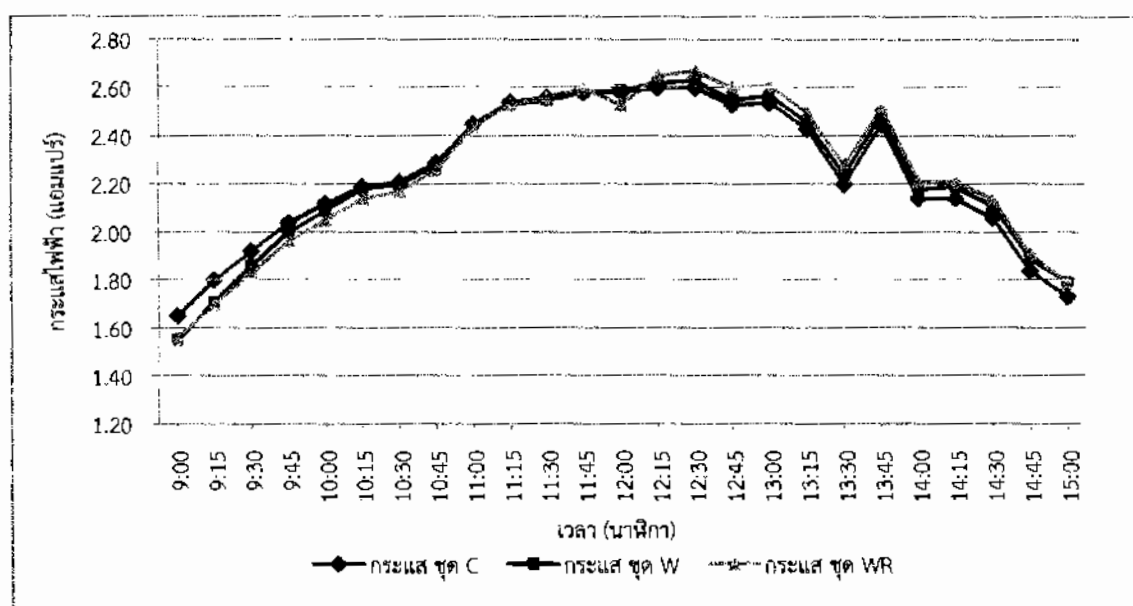


ภาพประกอบ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแสงอาทิตย์ชุด C ชุด W ชุด WR และค่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อมเทียบกับเวลาที่ทำกรทดสอบของวันที่ 9 พฤษภาคม 2556

จากภาพประกอบ 4.4 พบว่าอุณหภูมิของแผงแสงอาทิตย์ชุด C จะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าชุด W และชุด WR ทุกช่วงเวลา เนื่องจากชุด W และชุด WR นั้นมีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำจึงทำให้ อุณหภูมิของการทดสอบต่ำกว่าชุด C และพบว่าอุณหภูมิของแผงแสงอาทิตย์ชุด C ชุด W ชุด WR และ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม มีค่าที่เป็นไปตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (ภาพประกอบ 4.4) โดยอุณหภูมิ ของแผงแสงอาทิตย์ชุด C ตลอดทั้งการทดสอบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 57.83 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดเท่ากับ 65.38 องศาเซลเซียส ที่เวลา 12.45 นาฬิกา และค่าต่ำสุดเท่ากับ 48.78 องศาเซลเซียส ที่เวลา 14.15 นาฬิกา อุณหภูมิของแผงแสงอาทิตย์ชุด W ตลอดทั้งการทดสอบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 35.04 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดเท่ากับ 36.96 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13.15 นาฬิกา และค่าต่ำสุดเท่ากับ 31.46 องศา เซลเซียส ที่เวลา 09.00 นาฬิกา และอุณหภูมิของแผงแสงอาทิตย์ชุด WR ตลอดทั้งการทดสอบมีค่า เท่ากับ 33.19 องศาเซลเซียส มีค่าสูงสุดเท่ากับ 35.82 องศาเซลเซียส ที่เวลา 13.15 นาฬิกา และค่า ต่ำสุดเท่ากับ 27.98 องศาเซลเซียส ที่เวลา 09.00 นาฬิกา

สังเกตได้ว่าแผงที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนจะมีค่าอุณหภูมิของแผงที่ใกล้เคียงกับ อุณหภูมิแวดล้อมและค่าอุณหภูมิของแผงจากทุกชุดการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันกับค่า ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (ภาพประกอบ 4.4)

3. กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc})

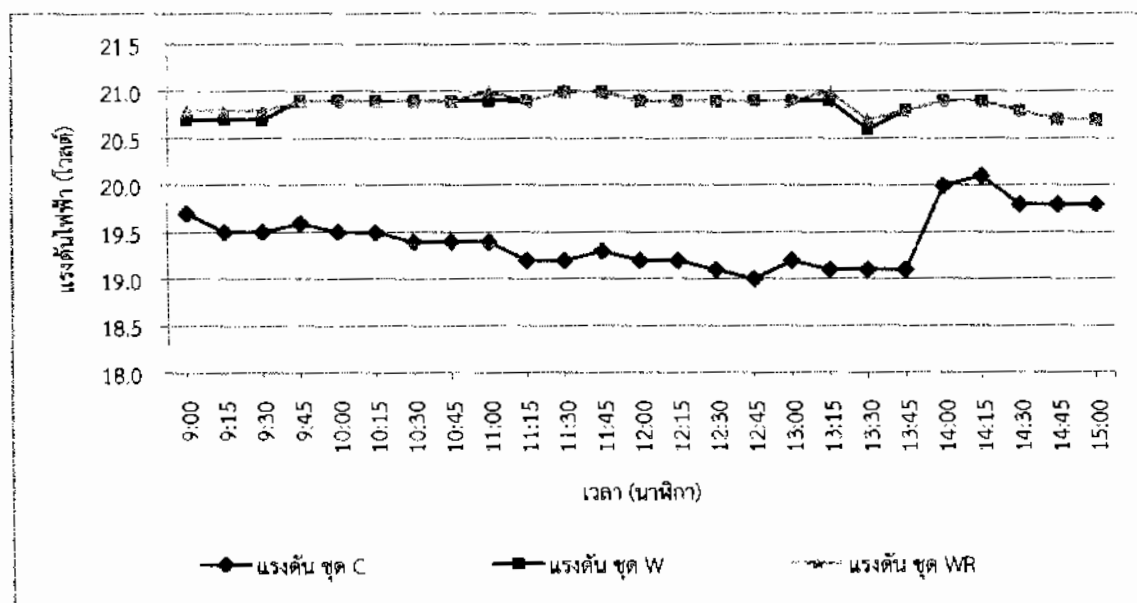


ภาพประกอบ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของชุด C ชุด W และชุด WR เทียบกับ เวลาในการทดสอบของวันที่ 9 พฤษภาคม 2556

จากภาพประกอบ 4.5 ในตลอดทั้งการทดสอบพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าชุด C ชุด W และชุด WR ที่ช่วงเวลา 13.30 นาฬิกา มีค่าที่ลดลง เนื่องจากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าลดลง และกระแสไฟฟ้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์ ตลอดทั้งการทดสอบพบว่าค่ากระแสไฟฟ้าชุด C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.25 แอมแปร์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 2.6 แอมแปร์ ที่ช่วงเวลา 12.15 -12.30 นาฬิกา และค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.65 แอมแปร์ ที่ช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งการทดสอบของชุด W มีค่าเท่ากับ 2.25 แอมแปร์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 2.63 แอมแปร์ ในช่วงเวลา 12.30 นาฬิกา และค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.55 แอมแปร์ ที่ช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา และค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งการทดสอบของชุด WR มีค่าเท่ากับ 2.26 แอมแปร์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 2.67 แอมแปร์ โดยในช่วงเวลา 12.30 นาฬิกา และค่าต่ำสุดเท่ากับ 1.56 แอมแปร์ ที่ช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา

สังเกตได้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าชุด WR จะมีค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงที่สุด ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับการทำงานร่วมกันระหว่างระบบระบายความร้อนกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ จากภาพประกอบ 4.5 พบว่าชุด WR มีอุณหภูมิของแผงที่ต่ำที่สุด ดังนั้นการที่แผงมีอุณหภูมิที่ต่ำประกอบกับค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของชุด WR มีค่ามากกว่า จึงส่งผลให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่า

4. แรงดันไฟฟ้าเปิด (V_{oc})



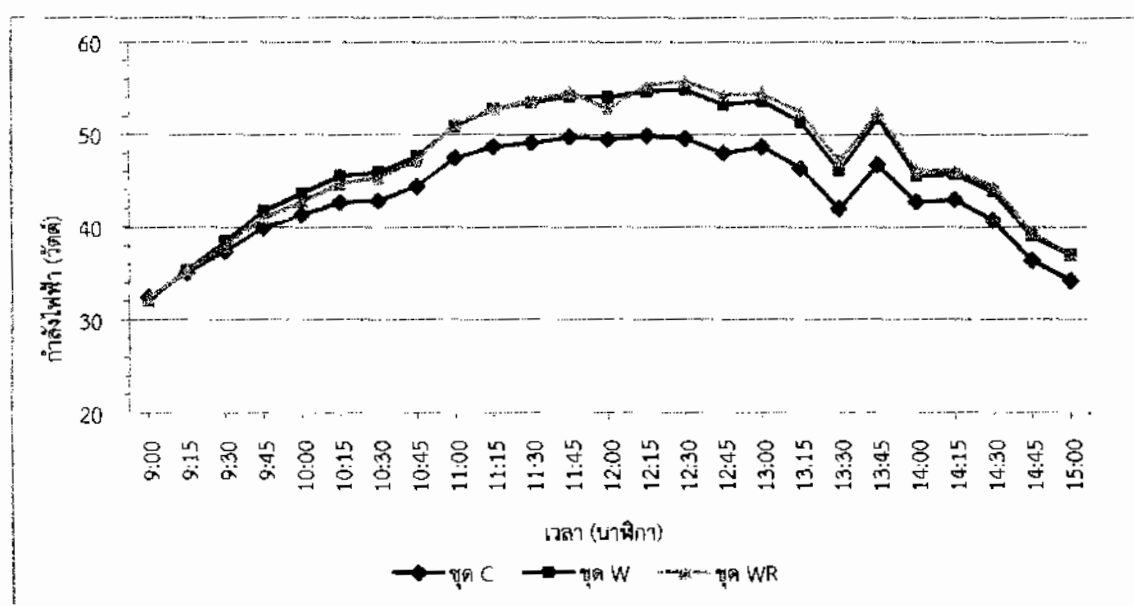
ภาพประกอบ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าชุด C แรงดันไฟฟ้าของชุด W และแรงดันไฟฟ้าของชุด WR เทียบกับเวลาในการทดสอบของวันที่ 9 พฤษภาคม 2556

จากภาพประกอบ 4.6 พบว่าจากการทดสอบตลอดทั้งวันค่าแรงดันไฟฟ้าชุด C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 19.4 โวลต์ ค่าแรงดันไฟฟ้าของชุด C สูงสุดเท่ากับ 20.1 โวลต์ ที่เวลา 14.15 นาฬิกา และค่าต่ำสุดเท่ากับ 19 โวลต์ ที่เวลา 12.45 นาฬิกา แรงดันไฟฟ้าของชุด W มีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งการทดสอบเท่ากับ 20.8 โวลต์ ค่าแรงดันไฟฟ้าของชุด W สูงสุดเท่ากับ 21 โวลต์ ที่เวลา 11.30 - 11.45 นาฬิกา และค่าต่ำสุดเท่ากับ 20.6 โวลต์ ที่เวลา 13.30 นาฬิกา และแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยตลอดทั้งการทดสอบของชุด WR มีค่าเท่ากับ 20.9 โวลต์ ค่าแรงดันไฟฟ้าของชุด WR สูงสุดเท่ากับ 21 โวลต์ ที่เวลา 13.15 นาฬิกา และค่าต่ำสุดเท่ากับ 20.7 โวลต์ ที่เวลา 14.45 - 15.00 นาฬิกา

เนื่องจากอุณหภูมิของแผงแสงอาทิตย์มีผลต่อแรงดันไฟฟ้ามากกว่ากระแสไฟฟ้า จากภาพประกอบ 4.6 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลา 13.30 นาฬิกา ชุด W และชุด WR มีอุณหภูมิสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยจึงทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงไม่มาก เนื่องจากมีการระบายความร้อนทำให้อุณหภูมิของแผงมีความสม่ำเสมอ ส่วนที่ชุด C ที่เวลา 14.00 นาฬิกา แรงดันมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการที่อุณหภูมิของแผงของชุด C ที่เวลา 14.00 นาฬิกา มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว(ภาพประกอบ 4.5) จึงส่งผลให้แรงดันมีค่าสูงขึ้น ซึ่งหมายความว่ากรณีที่อุณหภูมิของแผงแสงอาทิตย์มีค่าลดลงสามารถส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

5. ประสิทธิภาพของแผง

ในการพิจารณาประสิทธิภาพแผงแสงอาทิตย์ จะพิจารณาจากค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากสมการที่ 3.1 ในบทที่ 3 โดยแสดงผลการคำนวณในภาพประกอบที่ 4.8



ภาพประกอบ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าของชุด C ชุด W และชุด WR เทียบกับเวลาในการทดสอบของวันที่ 9 พฤษภาคม 2556

จากภาพประกอบ 4.7 พบว่าชุด W และชุด WR มีค่ากำลังไฟฟ้ามากกว่าชุด C ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของชุด W และชุด WR จะอยู่ในช่วงเวลาเดียวกันคือ 12.30 นาฬิกา โดยชุด W มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 54.97 วัตต์ และชุด WR มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 55.80 วัตต์ ส่วนชุด C นั้นมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่เวลา 12.15 นาฬิกา ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 49.92 วัตต์ และช่วงเวลาที่ชุด C ชุด W และชุด WR มีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดคือเวลา 09.00 นาฬิกา โดยชุด C มีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 32.51 วัตต์ ชุด W มีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 32.09 วัตต์ และชุด WR มีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับ 32.45 วัตต์

ซึ่งจากข้อมูลเมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้ามาเฉลี่ยในหนึ่งวัน พบว่าชุด C มีค่าเท่ากับ 43.6 วัตต์ ชุด W มีค่าเท่ากับ 47 วัตต์ และชุด WR มีค่าเท่ากับ 47.1 วัตต์ แสดงให้เห็นว่าแผงที่มีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (ชุด W และ ชุด WR) จะส่งผลให้แผงสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงกว่าแผงที่ทำงานในสภาวะปกติ (ชุด C)

ตาราง 4.2 ข้อมูลประสิทธิภาพของชุด C ชุด W และชุด WR ของวันที่ 9 พฤษภาคม 2556

เวลา	ประสิทธิภาพชุด C (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพชุด W (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพชุด WR (ร้อยละ)
9:00	36.00	35.54	22.31
9:15	33.89	34.18	21.88
9:30	35.25	36.25	23.25
9:45	32.73	34.22	22.17
10:00	31.77	33.57	22.34
10:15	31.23	33.32	22.57
10:30	30.18	32.37	22.39
10:45	29.61	31.76	22.72
11:00	28.64	30.73	22.92
11:15	27.83	30.17	22.94
11:30	26.83	29.23	23.21
11:45	27.38	29.79	23.36
12:00	26.65	29.12	22.99
12:15	25.93	28.44	23.75
12:30	25.44	28.16	23.87
12:45	24.63	27.31	24.37
13:00	24.65	27.15	24.52
13:15	23.94	26.52	25.32

ตาราง 4.2 ข้อมูลประสิทธิภาพของชุด C ชุด W และชุด WR ของวันที่ 9 พฤษภาคม 2556 (ต่อ)

13:30	23.10	25.37	25.03
13:45	22.89	25.33	25.15
14:00	37.93	40.37	42.02
14:15	22.66	24.11	25.52
14:30	21.94	23.61	25.27
14:45	21.78	23.39	25.94
15:00	21.15	22.88	25.48
max	37.93	40.37	42.02
min	21.15	22.88	21.88
เฉลี่ย	27.76	29.72	24.45

จากตาราง 4.2 พบว่าในช่วงเวลา 09.00 นาฬิกา ชุด C จะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่า ชุด W และชุด WR หลังจากนั้น ชุด W จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า ชุด C และชุด WR จนถึงเวลา 14.00 นาฬิกา ประสิทธิภาพของชุด WR มีค่าสูงกว่า ชุด C และชุด W โดยที่การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของทั้ง 3 แผง อาจเนื่องมาจากผลของค่าเข้มรังสีแสงอาทิตย์จากภาพประกอบ 4.4 จากการคำนวณพบว่าชุด WR มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 42.02 ชุด W มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 40.37 และชุด C มีค่าประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับร้อยละ 37.93 ที่เวลา 14.00 นาฬิกา และที่เวลา 15.00 นาฬิกา ชุด C ชุด W และชุด WR มีค่าประสิทธิภาพต่ำสุดร้อยละ 21.15 ร้อยละ 22.88 และร้อยละ 21.88 ตามลำดับ

จากการนำข้อมูลค่าประสิทธิภาพมาเฉลี่ยในหนึ่งวัน พบว่า ชุด C มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 27.76 ชุด W มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 29.72 และชุด WR มีค่าประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 24.45 จากผลการเฉลี่ยประสิทธิภาพในหนึ่งวัน จะเห็นได้ว่า ชุด W มีค่าประสิทธิภาพดีที่สุด

จะเห็นได้ว่า แม้ว่าค่าความเข้มแสงของชุด WR จะมีค่ามากที่สุด แต่ค่ากระแสและแรงดันก็มีค่าไม่แตกต่างจากชุด W ทำให้เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพเทียบกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ชุด WR จึงมีค่าประสิทธิภาพที่ต่ำที่สุด

ข้อสังเกตเพิ่มเติมจากอุณหภูมิของแผงแสงอาทิตย์พบว่าระบบระบายความร้อนด้วยน้ำของชุด WR สามารถลดอุณหภูมิของแผงได้มากที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากเมื่อค่าความเข้มแสงมากอุณหภูมิของแผงก็จะสูง ทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ระบายความร้อนและอุณหภูมิของแผงมีค่ามาก จึงส่งผลให้ชุด WR มีค่าอุณหภูมิของแผงต่ำที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบและข้อเสนอแนะ

จากการเก็บข้อมูลเพื่อศึกษาการทำงานของแผงแสงอาทิตย์ ชนิด Mono – crystalline ขนาด 40 วัตต์ ซึ่งได้ทำการทดสอบแผงแสงอาทิตย์ที่มีระบบระบายความร้อนทำงานร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ เวลาที่ทำการทดสอบคือ 09.00 – 15.00 นาฬิกา และได้เลือกข้อมูลจากการทดสอบในวันที่ดีที่สุดมา 1 วัน คือวันที่ 9 พฤษภาคม 2556

จากผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิแผงแสงอาทิตย์ชุด C มีค่าสูงสุด เนื่องจากไม่มีระบบระบายความร้อน นอกจากนี้อุณหภูมิแผงของชุด W และชุด WR มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิแวดล้อมและมีแนวโน้มของเส้นกราฟข้อมูลไปในทิศทางเดียวกันกับเส้นกราฟข้อมูลของค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ เมื่อพิจารณาข้อมูลกระแสไฟฟ้าลัดวงจร พบว่าชุด WR มีค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงสุด ซึ่งอาจเกิดจากการทำงานร่วมกันระหว่างระบบระบายความร้อนกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ เมื่อชุด WR มีอุณหภูมิของแผงต่ำและมีค่าความเข้มรังสีสูง ทำให้ชุด WR ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มาก และเมื่อพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดพบว่าชุด WR และชุด W มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสูงกว่าชุด C จากการสังเกตข้อมูลพบว่า ที่ชุด C เมื่ออุณหภูมิของแผงลดลงอย่างรวดเร็วค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดของชุด C จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของแผงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันไฟฟ้ามากกว่าค่ากระแสไฟฟ้า

จากการศึกษาประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์พบว่าใน 1 วัน ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของชุด C ชุด W และชุด WR มีค่าเท่ากับร้อยละ 27.76 , 29.72 และ 24.45 ตามลำดับ แม้ว่าค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของชุด W และชุด WR จะไม่แตกต่างกัน แต่เนื่องจากค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ของชุด WR มีค่ามากกว่า จึงทำให้ประสิทธิภาพของชุด WR มีค่าต่ำกว่าชุด W และชุด C

ดังนั้นสรุปได้ว่า การระบายความร้อนให้กับแผงแสงอาทิตย์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของแผงแสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี และเมื่อติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ร่วมกับระบบระบายความร้อนเพื่อเพิ่มปริมาณรังสีแสงอาทิตย์นั้น พบว่าระบบระบายความร้อนสามารถลดอุณหภูมิของแผงได้มาก ทำให้แผงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าได้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับแผงแสงอาทิตย์ของชุดควบคุม

ข้อเสนอแนะ

1. ควรเลือกช่วงฤดูร้อนในการทดสอบ เพื่อค่าความเข้มแสงที่สม่ำเสมอ
2. จากการทดสอบผู้วิจัยได้ใช้แผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์เพียง 1 แผ่น ถ้าหากลองติดตั้งแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์เพื่อรับแสงสะท้อนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพที่ได้อาจจะดีขึ้น
3. มุมของแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ อาจมีผลเคลื่อนบ้าง เนื่องจากพื้นที่ทำการทดสอบ ไม่สม่ำเสมอ
4. สถานที่ในการทดสอบ ควรเลือกสถานที่ที่โล่งแจ้ง ไม่มีร่มเงาบังแสงแดดในขณะที่ทำการทดสอบ

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

- จารุวัฒน์ เจริญจิต และบัญญัติ นิยมวาส. การศึกษาเชิงทดสอบสมรรถนะการกลั่นน้ำทะเลด้วยรังสีอาทิตย์แบบมีแผ่นสะท้อนรังสี. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สงขลา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยสงขลา, ฉบับที่ 3, หน้า 265-274, 2554.
- บริษัท เบนนิฟิท มีเดีย จำกัด. เซลล์แสงอาทิตย์ http://img.tarad.com/shop/f/freeenergy/img-lib/con_20100704182734_u.doc . มิถุนายน, 2555 (ภาพประกอบหน้า 3 - 4)
- ประภาพิทย บัญหล้า. การเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิกด้วยวิธีการลดอุณหภูมิแผง . วิทยานิพนธ์. วศ.ม. มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2556.
- สุรศักดิ์ ก้อนมะณี และธนากร สอนอู่. เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เฮอร์โมอิลิกทริก ร่วมกับตัวสะท้อนแสงและฮีทปั้ม. ปรินูญานิพนธ์. วศ.บ. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาสารคาม : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2556.
- อนุสรณ์ แสงประจักษ์. อิทธิพลของอุณหภูมิสูงต่อค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานในประเทศไทย . วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, ฉบับที่ 2, หน้า 215-222, 2552 .
- เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (<http://www.vetech.in.th>). พฤษภาคม, 2556.
- ไดอะแกรมของตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์และตัวสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์ (www.elsevier.com/locate/apenergy) (ภาพประกอบหน้า 7)
- Abdolzadeh , M Ameri , M and Mehrabian, M . A . (2011). *Effects of water spray over the photovoltaic modules on the performance of a photovoltaic water pumping system under different operating conditions*, Energy Sources, Vol 33, pp. 1546 -1555.
- Pedro D. Silva, L.C. Goncalves, L. Pires (2002) *Transient behavior of a latent-heat thermal-energystore : numerical and experimental studies*. (www.elsevier.com/locate/apenergy).
- Rahman , R Ahmed , D Fahai , M Tasnuva , T Khan , Md . (2009). *Performonce enhancement of pv solar system by diffused reflection*, Department of EEE,United International University,Dhaka,Bangladesh. pp. 1 – 4.
- Suwapaet , N and Boonla, P. (2013) . *The investigation of produced power output during high operating temperature occurrence of monocrystalline and amorphous photovoltaic modules*, Bio-Energy and Renewable Research Laboratory, Faculty of Engineerin, Mahasarakham University, Mahasarakham (Thailand), pp. 281 – 284.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายละเอียดอุปกรณ์

1. มัลติมิเตอร์ (Multimeter)



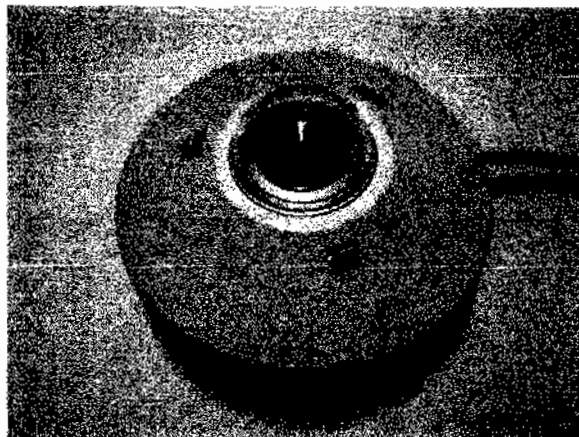
ภาพประกอบ 1 มัลติมิเตอร์ UNI-T UT33D

Palm-Size Digital Multimeters		
SPECIFICATIONS		
Basic Functions	Range	Best Accuracy
DC Voltage	200mV/2000mV/20V/200V/500V	±(0.6%+2)
AC Voltage	200V/500V	±(1.2%+10)
DC Current	2000μA/20mA/200mA/10A	±(1%+2)
Resistance	200Ω/2000Ω/20kΩ/200kΩ/20MΩ/200MΩ	±(0.8%+2)
Special Functions		
Diode		✓
Continuity Buzzer		✓
Square Wave Output		✓
Data Hold		✓
Display Backlight		✓
Low Battery Display		✓
Input Impedance for DC Voltage Measurement	Around 10MΩ	✓
Max. Display	1999	✓
GENERAL CHARACTERISTICS		
Power	9V Battery (6F22)	
LCD Size	48 x 10mm	
Product Colour	Red and Grey	
Product Net Weight	150g	
Product Size	130 x 73.5 x 35mm	
Standard Accessories	Test Lead, Battery, English Manual, Holster	
Standard Individual Packing	Gift Box	
Standard Quantity Per Carton	60pcs	
Standard Carton Measurement	490 x 356 x 315mm (Around 0.055 CBM Per Standard Carton)	
Standard Carton Gross Weight	18kg	

ภาพประกอบ 2 รายละเอียดมัลติมิเตอร์

2. เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Pyranometer)

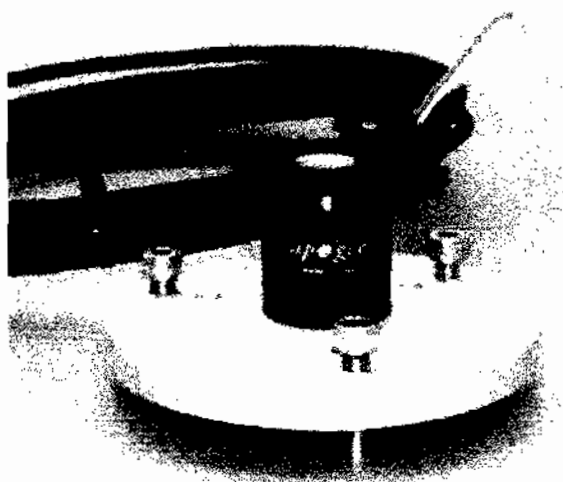
ยี่ห้อ EKO รุ่น MS-64 ใช้สำหรับวัดปริมาณรังสี-แสงอาทิตย์



ภาพประกอบ 3 เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ (Pyranometer)

3. เครื่องมือวัดค่าความเข้มแสง

ในการทดสอบนี้ใช้ Pyranometer ยี่ห้อ Apogee รุ่น SP-110 สำหรับวัดค่าความเข้มแสง



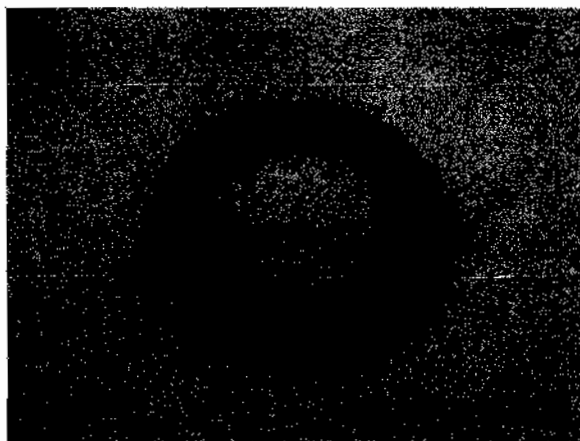
ภาพประกอบ 4 Pyranometer Apogee รุ่น SP-110

Cosine Response	: 45° zenith angle: $\pm 1\%$, 75° zenith angle: $\pm 4\%$
Spectral Range	: 380 to 1120 nm
Accuracy	: $\pm 5\%$
Uniformity	: $\pm 3\%$
Repeatability	: $\pm 1\%$
Output	: 0 to 350 mV
Responsivity	: 0.2 mV per W m^{-2}
Calibration Factor	: 5.0 W m^{-2} per mV
Response Time	: Less than 1 millisecond
Field of View	: 180°
Long-Term Drift	: Less than 2% per year
Power Requirement	: Self-powered
Current Draw	: N/A, self-powered
Operating Environment	: -40 to +60 °C
Mass	: 70 g
Warranty	: 4 years

ภาพประกอบ 5 รายละเอียดเครื่องมือวัดค่าความเข้มแสง

4. เทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิลที่ใช้วัดอุณหภูมิผิวหน้าของแผงโฟโตโวลแตอิกจะเป็นชนิด K



ภาพประกอบ 6 เทอร์โมคัปเปิล ชนิด K

5. ดาต้าล็อกเกอร์ (Datalogger)

สำหรับการบันทึกผลข้อมูลของอุณหภูมิแผงโฟโตโวลแตอิกกับอุณหภูมิน้ำเข้าและน้ำออกจะใช้ดาต้าล็อกเกอร์ยี่ห้อ Wisco รุ่น AI210 ซึ่งมีช่องรับสัญญาณทั้งหมด 24 ช่อง



ภาพประกอบ 7 ดาต้าล็อกเกอร์

6. เทอร์โมมิเตอร์ ดิจิตอล สำหรับวัดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมทั่วไป



ภาพประกอบ 8 เทอร์โมมิเตอร์ ดิจิตอล

เทอร์โมมิเตอร์ วัดอุณหภูมิ + ความชื้นสัมพัทธ์

พร้อมสาย ยาวประมาณ 1.5เมตร

ขนาดจอ LCD ประมาณ 4cm x 2.2cm

ขนาดตัวเครื่องประมาณ 4.6 x 2.7 x 1.3cm

วัดค่าอุณหภูมิได้ 40-70 องศาเซลเซียส

ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 10-95 %

Temperature Range : -40°C ~ 70°C

Measuring Humidity Range: 10% RH ~ 95% RH

Humidity Accuracy: 5%

Humidity Display Resolution: 1% RH

Temperature Accuracy: 1°C

Operating Voltage: 1.5v, or LR44 batteries(Include)

Sampling Period: 10S

Dimension: 48 x 28.5 x 15.2mm

LCD Dimension: 40 x 22.5mm

Installation dimensions: 46 x 27 x 13.5mm

Net Weight: 45g with wire

ภาพประกอบ 9 รายละเอียดเทอร์โมมิเตอร์ ดิจิตอล

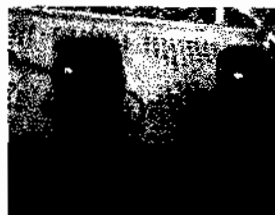
ภาคผนวก ข
รายละเอียดภาพประกอบ 4.1

ข.1.1 รายละเอียดภาพประกอบ 4.1

1. ถังน้ำ



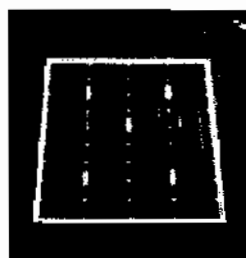
5. มัลติมิเตอร์ UNI-T UT33D



2. คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก



6. ชุดควบคุม



3. เทอร์โมมิเตอร์ ดิจิตอล



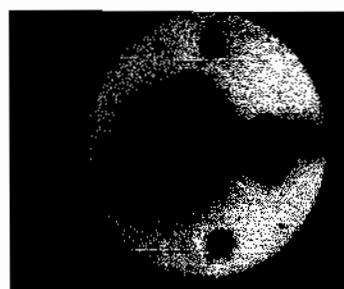
7. ชุดหัวฉีดพ่นน้ำ ยี่ห้อ superproducts



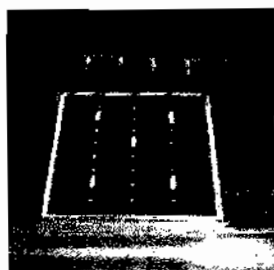
4. ดาต้าล็อกเกอร์ยี่ห้อ Wisco รุ่น AI210



8. Pyranometer Apogee รุ่น SP-110



9. ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน



12. ชุดทดสอบที่ติดตั้งระบบระบายความร้อน
ร่วมกับแผ่นสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์



10. รางน้ำและอ่างรองน้ำออก



13. ตัววัดอัตราการไหล



11. เครื่องวัดรังสีอาทิตย์ ยี่ห้อ EKO
รุ่น MS-64



14. วาล์ว เปิด-ปิด น้ำ



ภาคผนวก ค
ตารางข้อมูล

ตาราง ค.1.1 ความเข้มรังสีอาทิตย์ (วัตต์ต่อตารางเมตร) และอุณหภูมิสภาพแวดล้อม (องศาเซลเซียส)
วันที่ 9 พฤษภาคม 2556

เวลา	ความเข้มแสงควบคุม (วัตต์/ตารางเมตร)	ความเข้มแสงรวมแสง (วัตต์/ตารางเมตร)	อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)
9:00	340	548	32.2
9:15	390	609	33.7
9:30	400	617	33.2
9:45	460	696	33.6
10:00	490	722	34.2
10:15	515	746	34.9
10:30	535	763	35.2
10:45	565	783	35.2
11:00	625	842	35.3
11:15	660	868	36.3
11:30	690	872	36.3
11:45	685	880	36.3
12:00	700	866	36.3
12:15	725	878	37.1
12:30	735	880	35.3
12:45	735	840	36.9
13:00	745	838	36.6
13:15	730	781	37.4
13:30	685	710	36.8
13:45	770	785	38.0
14:00	425	414	35.5
14:15	715	682	34.3
14:30	700	663	35.2
14:45	630	574	35.2
15:00	610	548	35.3
max	770	880	38.0
min	340	414	32.2
เฉลี่ย	610.4	736.2	35.5

ตาราง ค.1.2 อุณหภูมิของแผงแสงอาทิตย์ ชุด C (องศาเซลเซียส) วันที่ 9 พฤษภาคม 2556

เวลา	อุณหภูมิ จุดที่ 1 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 2 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 3 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 4 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 5 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
9:00	49.30	51.20	51.20	50.00	51.80	50.70
9:15	54.60	55.70	56.00	56.30	54.00	55.32
9:30	52.60	53.60	54.70	54.60	55.60	54.22
9:45	54.00	53.50	54.90	59.00	54.80	55.24
10:00	54.50	55.70	56.70	57.20	58.40	56.50
10:15	56.10	56.30	57.40	61.50	58.30	57.92
10:30	56.90	58.60	59.30	59.20	60.60	58.92
10:45	57.30	56.10	57.30	63.50	57.30	58.30
11:00	55.60	55.90	58.20	59.60	60.20	57.90
11:15	62.30	63.50	62.30	65.30	60.60	62.80
11:30	60.10	61.60	62.80	63.20	64.30	62.40
11:45	62.40	62.60	62.30	68.10	61.70	63.42
12:00	61.80	63.90	62.60	60.10	60.70	61.82
12:15	62.00	63.80	63.10	66.90	61.60	63.48
12:30	59.80	61.20	62.00	61.80	62.70	61.50
12:45	64.90	66.20	64.70	68.60	62.50	65.38
13:00	62.10	65.70	63.10	59.60	61.10	62.32
13:15	63.50	64.40	63.10	67.00	60.30	63.66
13:30	58.20	60.70	59.10	56.30	57.00	58.26
13:45	63.10	64.70	62.90	65.20	59.00	62.98
14:00	48.30	50.60	49.70	47.90	49.60	49.22
14:15	49.00	49.30	49.00	50.10	46.50	48.78
14:30	51.60	54.10	52.80	50.90	52.60	52.40
14:45	51.70	52.80	52.30	52.20	49.20	51.64
15:00	50.20	52.50	51.00	48.90	50.20	50.56

ตาราง ค.1.3 อุณหภูมิของแผงแสงอาทิตย์ ชุด W (องศาเซลเซียส) วันที่ 9 พฤษภาคม 2556

เวลา	อุณหภูมิ จุดที่ 1 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 2 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 3 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 4 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 5 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
9:00	32.50	32.40	31.20	29.30	31.90	31.46
9:15	35.10	34.90	34.00	31.00	32.80	33.56
9:30	34.70	34.70	34.00	31.90	32.80	33.62
9:45	36.30	35.70	34.80	32.80	32.70	34.46
10:00	36.10	35.90	35.20	33.20	33.00	34.68
10:15	37.70	36.90	36.10	34.20	33.80	35.74
10:30	36.20	35.80	35.20	34.00	33.80	35.00
10:45	36.10	35.30	34.80	34.50	34.10	34.96
11:00	34.70	34.70	33.60	34.80	34.50	34.46
11:15	38.00	36.50	35.00	34.40	34.40	35.66
11:30	36.10	35.90	35.00	34.50	34.30	35.16
11:45	36.70	36.10	35.80	35.10	34.80	35.70
12:00	37.00	36.90	35.70	34.10	34.00	35.54
12:15	38.00	37.00	36.10	35.20	35.20	36.30
12:30	34.80	35.30	33.70	35.00	34.90	34.74
12:45	37.80	37.60	36.10	35.10	35.20	36.36
13:00	37.60	37.40	36.30	34.70	34.60	36.12
13:15	38.70	37.60	36.70	35.90	35.90	36.96
13:30	36.40	36.20	35.80	34.30	34.30	35.40
13:45	37.90	36.90	35.70	35.10	34.90	36.10
14:00	35.60	35.70	35.30	32.50	32.00	34.22
14:15	37.80	37.20	36.30	32.30	32.10	35.14
14:30	36.40	36.40	35.70	32.50	32.30	34.66
14:45	36.70	36.40	35.50	33.10	32.80	34.90
15:00	37.10	36.90	36.10	32.90	32.80	35.16

ตาราง ค.1.4 อุณหภูมิของแผงแสงอาทิตย์ ชุด WR (องศาเซลเซียส) วันที่ 9 พฤษภาคม 2556

เวลา	อุณหภูมิ จุดที่ 1 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 2 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 3 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 4 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิ จุดที่ 5 (องศาเซลเซียส)	อุณหภูมิเฉลี่ย (องศาเซลเซียส)
9:00	28.10	28.20	27.90	27.80	27.90	27.98
9:15	30.20	30.10	29.80	29.70	29.90	29.94
9:30	30.80	30.80	30.60	30.60	30.70	30.70
9:45	32.20	31.90	31.40	31.40	31.30	31.64
10:00	31.90	31.70	31.40	31.30	31.20	31.50
10:15	33.10	33.10	32.90	32.60	32.50	32.84
10:30	33.10	33.10	32.80	31.90	31.00	32.38
10:45	33.70	33.80	33.60	33.10	32.60	33.36
11:00	34.30	34.50	33.90	33.40	33.60	33.94
11:15	34.10	34.50	34.60	33.60	34.00	34.16
11:30	33.90	34.20	34.10	33.60	33.90	33.94
11:45	34.30	34.40	34.40	33.90	34.40	34.28
12:00	34.50	34.40	34.10	33.40	34.10	34.10
12:15	34.60	35.20	35.10	34.40	34.80	34.82
12:30	34.70	35.50	35.10	34.60	35.00	34.98
12:45	35.00	36.00	35.80	35.10	35.40	35.46
13:00	34.60	35.30	35.50	34.20	34.80	34.88
13:15	35.50	36.00	35.90	35.80	35.90	35.82
13:30	34.50	34.40	34.50	34.40	34.40	34.44
13:45	35.60	36.10	36.30	34.60	35.20	35.56
14:00	32.20	32.10	32.20	32.10	32.00	32.12
14:15	32.10	32.40	32.60	32.30	32.30	32.34
14:30	32.20	32.60	32.50	32.40	32.30	32.40
14:45	32.90	33.10	33.30	33.20	33.00	33.10
15:00	32.90	33.10	33.10	33.10	33.20	33.08

ตาราง ค.1.5 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (แอมแปร์) วันที่ 9 พฤษภาคม 2556

เวลา	กระแส ชุต C (แอมแปร์)	กระแส ชุต W (แอมแปร์)	กระแส ชุต WR (แอมแปร์)
9:00	1.65	1.55	1.56
9:15	1.80	1.71	1.70
9:30	1.92	1.86	1.83
9:45	2.04	2.00	1.96
10:00	2.12	2.09	2.05
10:15	2.19	2.18	2.14
10:30	2.21	2.20	2.17
10:45	2.29	2.28	2.26
11:00	2.45	2.44	2.44
11:15	2.54	2.53	2.53
11:30	2.56	2.55	2.56
11:45	2.58	2.58	2.60
12:00	2.58	2.59	2.53
12:15	2.60	2.62	2.65
12:30	2.60	2.63	2.67
12:45	2.53	2.55	2.60
13:00	2.54	2.57	2.61
13:15	2.43	2.46	2.50
13:30	2.20	2.24	2.28
13:45	2.45	2.49	2.52
14:00	2.14	2.18	2.21
14:15	2.14	2.19	2.21
14:30	2.06	2.11	2.14
14:45	1.84	1.89	1.91
15:00	1.73	1.79	1.79
max	2.60	2.63	2.67
min	1.65	1.55	1.56
เฉลี่ย	2.25	2.25	2.26

ตาราง ค.1.6 แรงดันไฟฟ้าเปิด (โวลต์) วันที่ 9 พฤษภาคม 2556

เวลา	แรงดันไฟฟ้า ชุด C (โวลต์)	แรงดันไฟฟ้าชุด W (โวลต์)	แรงดันไฟฟ้า ชุด WR (โวลต์)
9:00	19.70	20.70	20.80
9:15	19.50	20.70	20.80
9:30	19.50	20.70	20.80
9:45	19.60	20.90	20.90
10:00	19.50	20.90	20.90
10:15	19.50	20.90	20.90
10:30	19.40	20.90	20.90
10:45	19.40	20.90	20.90
11:00	19.40	20.90	21.00
11:15	19.20	20.90	20.90
11:30	19.20	21.00	21.00
11:45	19.30	21.00	21.00
12:00	19.20	20.90	20.90
12:15	19.20	20.90	20.90
12:30	19.10	20.90	20.90
12:45	19.00	20.90	20.90
13:00	19.20	20.90	20.90
13:15	19.10	20.90	21.00
13:30	19.10	20.60	20.70
13:45	19.10	20.80	20.80
14:00	20.00	20.90	20.90
14:15	20.10	20.90	20.90
14:30	19.80	20.80	20.80
14:45	19.80	20.70	20.70
15:00	19.80	20.70	20.70
max	20.10	21.00	21.00
min	19.00	20.60	20.70
เฉลี่ย	19.43	20.85	20.87

ตาราง ค.1.7 กำลังไฟฟ้า (วัตต์) วันที่ 9 พฤษภาคม 2556

เวลา	กำลังไฟฟ้า ชุด C (วัตต์)	กำลังไฟฟ้าชุด W (วัตต์)	กำลังไฟฟ้า ชุด WR (วัตต์)
9:00	32.51	32.09	32.45
9:15	35.10	35.40	35.36
9:30	37.44	38.50	38.06
9:45	39.98	41.80	40.96
10:00	41.34	43.68	42.85
10:15	42.71	45.56	44.73
10:30	42.87	45.98	45.35
10:45	44.43	47.65	47.23
11:00	47.53	51.00	51.24
11:15	48.77	52.88	52.88
11:30	49.15	53.55	53.76
11:45	49.79	54.18	54.60
12:00	49.54	54.13	52.88
12:15	49.92	54.76	55.39
12:30	49.66	54.97	55.80
12:45	48.07	53.30	54.34
13:00	48.77	53.71	54.55
13:15	46.41	51.41	52.50
13:30	42.02	46.14	47.20
13:45	46.80	51.79	52.42
14:00	42.80	45.56	46.19
14:15	43.01	45.77	46.19
14:30	40.79	43.89	44.51
14:45	36.43	39.12	39.54
15:00	34.25	37.05	37.05
max	49.92	54.97	55.80
min	32.51	32.09	32.45
เฉลี่ย	43.60	47.00	47.10

ตาราง ค.1.8 ประสิทธิภาพของชุด C ชุด W และชุด WR วันที่ 9 พฤษภาคม 2556

เวลา	ประสิทธิภาพชุด C (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพชุด W (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพชุด WR (ร้อยละ)
9:00	36.00	35.54	22.31
9:15	33.89	34.18	21.88
9:30	35.25	36.25	23.25
9:45	32.73	34.22	22.17
10:00	31.77	33.57	22.34
10:15	31.23	33.32	22.57
10:30	30.18	32.37	22.39
10:45	29.61	31.76	22.72
11:00	28.64	30.73	22.92
11:15	27.83	30.17	22.94
11:30	26.83	29.23	23.21
11:45	27.38	29.79	23.36
12:00	26.65	29.12	22.99
12:15	25.93	28.44	23.75
12:30	25.44	28.16	23.87
12:45	24.63	27.31	24.37
13:00	24.65	27.15	24.52
13:15	23.94	26.52	25.32
13:30	23.10	25.37	25.03
13:45	22.89	25.33	25.15
14:00	37.93	40.37	42.02
14:15	22.66	24.11	25.52
14:30	21.94	23.61	25.27
14:45	21.78	23.39	25.94
15:00	21.15	22.88	25.48
max	37.93	40.37	42.02
min	21.15	22.88	21.88
เฉลี่ย	27.80	29.70	24.50

ภาคผนวก ง
ตารางข้อมูลทุกวันที่ทำการทดสอบ

ตาราง ง.1.1 ความเข้มแสงควบคุม (วัดต่อตารางเมตร)

เวลา	9.5.13	11.5.13	13.5.13	14.5.13	15.5.13	17.5.13	21.5.13	22.5.13	25.5.13	26.5.13	27.5.13	28.5.13	29.5.13	31.5.13
9:00	340	515	305	310	330	325	325	30	365	-20	-10	0	0	-20
9:15	390	475	330	380	295	360	495	320	415	-5	-5	5	10	-20
9:30	400	550	350	405	425	410	160	250	185	0	0	5	5	-20
9:45	460	440	400	350	485	435	565	250	415	0	510	5	10	545
10:00	490	295	430	365	515	440	565	320	205	0	540	15	20	270
10:15	515	-10	435	480	15	445	595	320	220	0	570	15	10	280
10:30	535	595	405	595	20	495	625	505	235	0	610	5	15	-5
10:45	565	610	510	580	30	470	645	490	475	120	685	20	20	-10
11:00	625	630	525	475	605	490	720	500	560	0	15	15	20	-5
11:15	660	560	545	500	625	445	260	730	165	5	215	20	20	-5
11:30	690	545	535	640	485	365	145	635	270	10	230	20	25	0
11:45	685	565	415	285	665	335	155	610	615	10	765	20	40	100
12:00	700	710	280	515	635	575	735	605	180	10	185	25	30	-10
12:15	725	360	695	300	615	200	240	585	645	5	765	25	30	0
12:30	735	730	275	285	605	60	710	670	300	210	785	35	30	0
12:45	735	670	185	720	600	45	685	645	200	15	25	35	40	0
13:00	745	655	690	255	610		735	255	185	15	35	40	35	5
13:15	730	630	255	300	595		655	575	500	165	215	35	40	0
13:30	550	585	195	570	585		685	430	350	460	485	45	35	10
13:45	770	625	235	675	575		625	620	630	460	225	35	30	5
14:00	210	655	235	265	565		225	615	190	165	725	35	465	10
14:15	715	230	260	755	130		120	630		515	130	35	355	10
14:30	700	250	480	265	495		225	445		510	25	40	455	15
14:45	630	290	310	360	470		490	65		120	35	40	365	15
15:00	610	485	160	330	470		90	85		125	40	45	200	10

ความเข้มแสงควบคุม (วัดต่อตารางเมตร) (ต่อ)

เวลา	5.6.13	7.6.13	8.6.13	15.6.13	16.6.13	19.6.13	29.6.13	30.6.13	1.7.13	6.7.13	7.7.13
9:00	-20	-25	-20	-20	-10	0	-20	-10	-20	-20	-15
9:15	-15	-15	-10	-15	-10	0	0	0	-15	-10	-10
9:30	-20	-5	-10	-15	-10	5	0	0	-5	-5	-5
9:45	-15	-5	-5	-10	-10	0	0	0	0	0	-15
10:00	-15	0	0	-5	-5	15	0	5	5	0	-15
10:15	-15	0	0	-5	0	0	10	5	0	0	-5
10:30	-10	0	0	0	0	0	10	5	-5	5	0
10:45	0	0	0	0	0	5	5	10	-5	5	-5
11:00	-10	5	0	0	0	-5	20	0	5	5	0
11:15	-15	10	0	5	0	-15	20	15	0	15	0
11:30	-10	5	5	5	5	-10	15	5	10	10	0
11:45	-5	10	10	5	5	-15	10	20	10	15	0
12:00	0	15	20	15	15		25	25	20	10	5
12:15	0	30	20	5	10		15	20	15	10	0
12:30	-10	15	20	10	20		20	15	20	20	0
12:45	-5	15	25	15	20		15	20	15	30	10
13:00	10	20	30	10	25		30	20	15	10	0
13:15	-5	20	20	15	15		35	15	20	25	5
13:30	-5	20	30	10	15		40	20	15	15	10
13:45	-10	20	35	20	20		40	35	10	20	20
14:00	-10	10	25	25	15		40	15	20	20	15
14:15	-15	10	40	25	20		45	20	20	20	15
14:30	-10	25	25	20	15		35	25	30	10	270
14:45	-10	30	20	15	15		40	20	25	10	305
15:00	-10	30	25	15	20		45	25	25	20	560

ตาราง ง.1.2 ความเข้มแสงรวมแสง (วัดต่อตารางเมตร)

เวลา	9.5.13	11.5.13	13.5.13	14.5.13	15.5.13	17.5.13	21.5.13	22.5.13	25.5.13	26.5.13	27.5.13	28.5.13	29.5.13	31.5.13
9:00	548	659	665	420	361	546	483	316	533	675	588	438	562	602
9:15	609	647	677	511	365	600	712	416	598	773	602	483	598	602
9:30	617	759	700	538	552	659	361	320	249	848	637	511	625	726
9:45	696	602	619	448	633	686	822	320	568	404	675	538	673	698
10:00	722	410	661	454	669	671	834	414	266	795	706	604	692	335
10:15	746	793	635	619	710	655	870	408	333	791	736	627	708	337
10:30	763	805	588	759	696	714	899	663	284	751	779	657	755	852
10:45	783	824	732	712	746	615	897	680	647	162	864	686	771	734
11:00	842	834	742	548	787	675	1012	675	769	874	862	718	761	860
11:15	868	710	742	564	799	582	359	982	193	941	233	673	803	925
11:30	872	716	716	710	629	456	148	882	357	899	268	753	826	949
11:45	880	594	507	278	838	391	160	817	813	394	957	767	878	128
12:00	866	890	300	552	795	710	972	799	207	892	174	783	917	854
12:15	878	560	880	306	765	211	262	767	834	862	929	797	272	838
12:30	880	892	323	272	740	34	943	872	353	262	953	799	895	817
12:45	840	819	160	708	726	30	921	817	343	838	927	781	815	811
13:00	838	795	813	219	706		968	308	215	882	886	775	438	797
13:15	781	744	272	272	700		649	712	623	197	217	777	805	759
13:30	523	682	187	495	655		866	523	619	606	375	765	753	767
13:45	785	716	239	558	631		795	751	759	584	203	213	746	631
14:00	215	744	223	193	611		298	753	249	193	819	684	469	673
14:15	682	235	367	570	81		99	759		643	108	215	347	649
14:30	663	262	448	191	546		241	554		562	706	726	460	606
14:45	574	278	320	249	521		513	75		116	643	710	347	570
15:00	548	505	140	237	499		67	105		134	586	730	166	548

ความเข้มแสงรวมแสง (วัดต่อตารางเมตร) (ต่อ)

เวลา	5.6.13	7.6.13	8.6.13	15.6.13	16.6.13	19.6.13	29.6.13	30.6.13	1.7.13	6.7.13	7.7.13
9:00	588	544	475	501	475	665	659	556	517	611	414
9:15	189	582	529	477	385	176	592	592	519	588	477
9:30	276	625	564	529	580	588	631	491	596	625	580
9:45	535	669	590	649	552	286	661	779	667	659	215
10:00	387	694	631	669	602	755	673	148	655	698	574
10:15	454	720	653	688	639	243	730	844	272	706	341
10:30	343	787	673	722	631	357	809	852	645	783	613
10:45	412	777	700	755	544	316	158	897	258	886	702
11:00	276	771	716	753	714	154	866	852	702	815	769
11:15	320	166	748	785	643	538	247	866	763	684	247
11:30	538	850	773	615	753	286	901	168	836	899	824
11:45	781	785	197	813	696	379	201	911	838	876	680
12:00	728	882	773	793	779		915	540	919	164	716
12:15	278	276	771	767	712		929	252	911	389	243
12:30	223	872	755	799	807		842	178	209	911	572
12:45	377	272	797	767	791		832	170	813	355	704
13:00	361	201	140	844	785		866	497	235	736	538
13:15	189	442	150	763	746		856	544	564	773	501
13:30	249	836	815	803	746		868	278	168	682	560
13:45	207	824	830	633	675		761	225	201	633	213
14:00	172	203	761	734	609		834	164	258	633	280
14:15	166	580	249	761	584		495	215	667	108	241
14:30	185	712	690	661	513		659	763	663	566	252
14:45	185	578	227	615	477		355	189	598	523	284
15:00	178	517	635	341	408		604	702	570	469	493

ตาราง ง.1.3 อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)

เวลา	9.5.13	11.5.13	13.5.13	14.5.13	15.5.13	17.5.13	21.5.13	22.5.13	25.5.13	26.5.13	27.5.13	28.5.13	29.5.13	31.5.13
9.00	32.2	30.2	32.2	33.5	33.5	32.8		30.9	31.6	30.9	32.9	33.8	34.3	29.5
9.15	33.7	29.7	32.4	33.8	33.7	33.4		31.4	31.9	30.5	33	34.1	35	30.5
9.30	33.2	31.1	34.3	34.8	34.3	33.4	32.2	30.7	31.5	32.1	33.4	34.5	35.1	30.2
9.45	33.6	30.5	34.9	34.8	35.6	33.3	33.6	31.3	31.8	32.8	33.9	34.8	35.6	29.8
10.00	34.2	30.5	34.3	34.6	35.2	33.8	34	32.6	32.2	32.1	34.5	35.2	35.9	30.8
10.15	34.9	31.5	34.3	34.6	36.5	33.3	33.9	32.3	32.3	32.8	34.3	35.3	35.2	30.2
10.30	35.2	31.5	34.2	36.6	36.5	33.8	34.2	33.9	32.1	32.9	35.2	35.1	36.4	32.6
10.45	35.2	31.8	34.5	36.4	36.3	34.2	35.6	33.8	33.1	32.4	35.5	35.8	35.8	31.7
11.00	35.3	32.3	35.8	35.9	37	35.7	34.9	34	34.2	31.7	35	36.5	35.5	32.2
11.15	36.3	32.2	35.2	36.3	37	34.8	36.2	34.2	32.2	34	34.3	36.3	35.5	31.9
11.30	36.3	31.8	36.3	37.2	36.2	35.1	36.6	34.4	33.3	33.1	36.3	37.2	37.1	33.8
11.45	36.3	32.2	36.1	35.4	37.2	35.6	36.2	34.8	33.5	34.2	35.5	35.3	38	30.8
12.00	36.3	33.8	34.9	36.2	37.3	36.5	34.2	34	32.1	33.5	35.4	36.8	36.6	32.8
12.15	37.1	33.9	37	36.7	38.2	35.2	33.9	34.5	34.5	33.9	35.9	37.1	36.9	34.1
12.30	35.3	33.7	35.7	36.2	37.9	34.3	34.2	35.9	33.3	33.8	36.5	36.1	37.3	34
12.45	36.9	34	35.5	56.3	37.9	34	36.5	35.1	35.3	34.9	36.7	36.8	37.8	34.3
13.00	36.6	33.6	37.9	36.1	38.2		35.4	35.5	33.9	35.2	37.1	37.3	36	33.8
13.15	37.4	34	36.8	36	38.2		37	34.8	34	35.9	35.9	36.9	38.2	33.6
13.30	36.8	34.5	35.6	37.5	38.3		37	35.3	35.9	33.8	36.9	37	38.3	35
13.45	38	34.7	35.4	38.1	39.5		36.4	37.2	55.9	34.9	36.2	36.9	37.1	34.8
14.00	35.5	34.2	36.5	36.1	39		37.5	35.2	34.3	34.6	38.1	37	37.9	34.6
14.15	34.3	33.7	35.5	37.1	37.4		37.3	38.1		35.1	36.4	36.1	37.3	34.4
14.30	35.2	33.7	36.3	36.5	37.2		36.4	33.8		34.8	34.5	38	37.5	35.2
14.45	35.2	33.9	36.9	36.3	38.1		34.9	31.3		34.8	36.5	37.5	37.2	35.1
15.00	35.3	34.7	35.8	36.6	38.4		36.2	30.3		34.1	36.8	37.5	36.2	35.1

อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส) (ต่อ)

เวลา	5.6.13	7.6.13	8.6.13	15.6.13	16.6.13	19.6.13	29.6.13	30.6.13	1.7.13	6.7.13	7.7.13
9.00	30	32.2	32.2	31.1	31.8	32.7	33.4	33.7	34.2	31.6	31.7
9.15	28.9	32.3	32.6	31.1	31.7	31.2	33.9	32.9	32.7	31.7	31.2
9.30	30.6	33.3	32.6	31.7	32.2	33.4	33	33.4	32.2	32.1	31.6
9.45	30.3	33.3	33.8	31.8	32.4	31.8	34.1	34.1	34.3	33.5	31.5
10.00	30.3	34.2	32.9	32.5	34.2	34	34.8	33.1	34.8	32	32.4
10.15	30.5	34	33.8	32.6	34.1	32.5	34.9	35.5	32.7	34	31.9
10.30	30.7	34.4	34	33.9	34.1	32.7	34.4	34.7	34.1	33.8	34.3
10.45	31.2	35.8	33.8	32.9	32.9	32.3	34.2	33.5	33.5	34.3	33.2
11.00	30.2	35	34.2	33.6	34.2	31.2	36.3	34.4	35	35.9	34.3
11.15	30.3	37.2	34.2	33.8	33.2	32.2	35.3	34.3	35.3	34.1	33
11.30	31.8	36.6	34.3	33.5	34.8	30.3	36.3	34.2	34.9	33.9	34
11.45	31.9	35.1	34.5	33.8	34.3	31.5	34.9	36.3	35.9	35.3	33.8
12.00	32.5	35.5	36.1	34.2	36.2		36.9	34.2	35.5	33.1	34.2
12.15	31.9	34.3	35.3	33.3	34.8		37.2	35.1	36.5	36.2	33.8
12.30	30.8	35.8	35.8	34.3	35.7		36.8	35.1	35.8	35.3	34
12.45	31.5	35	36.4	35.1	35.4		36.9	36.3	35.8	35.9	35.1
13.00	33	35.1	36.1	34.1	36.4		37	35.5	35.6	35.4	34.5
13.15	31.4	36	35.8	34.7	35.5		37	35.5	35.9	35.5	34.7
13.30	31.4	35.7	36.1	35.3	35.8		36.7	35.7	35.5	36.1	35.8
13.45	31.3	35.2	36.1	34.1	35.7		37.4	34.8	35.8	35.3	35.5
14.00	31.8	33.7	36.9	35.8	35.9		38.5	35.1	36.2	36	35.3
14.15	30.9	35.4	35	34.7	35.5		37.7	35	37.3	35	32.9
14.30	31.2	36.2	36.6	35.5	35.6		37.1	36.4	36.9	35.6	32.1
14.45	31.3	36.6	35.1	34.5	34.9		37.1	35.6	37.1	35.7	32.6
15.00	31.5	36.1	37	34.5	55.3		36.6	36.2	37.7	35.6	33.2

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นางสาวจตุพร สอนสนาม
วันเกิด วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2534
ภูมิลำเนา บ้านเลขที่ 29 หมู่ 7 ตำบลสระคู อำเภอสุวรรณภูมิ
จังหวัดร้อยเอ็ด รหัสไปรษณีย์ 45130
หมายเลขโทรศัพท์ 0883273432

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2548 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสุวรรณภูมิพิทยไพศาล
พ.ศ.2551 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสุวรรณภูมิพิทยไพศาล
พ.ศ.2556 ปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยมหาสารคาม