



การลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเทคนิคการสะท้อนแสง


โดย

ณัฐพล แจ้งจงดี  
คณาพจน์ ยอดมณี  
สมพล บุญญสุวรรณ์

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2561



Cooling solar cells by using the light  
reflection technique

By

Nattapon Jangjongdee

Kanapod Yodmanee

Sompon Buntasuwanno

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattanakosin

Fiscal year 2018

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยประจำปี 2561 ทำให้งานวิจัยชิ้นนี้สามารถดำเนินการ และบรรลุวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ในการทดสอบ ทำให้การทดสอบสามารถดำเนินการไปได้อย่างราบรื่น

สุดท้าย คณะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครูบาอาจารย์ ที่อบรมสั่งสอนจนทำให้คณะผู้วิจัย มีโอกาสในการทำวิจัยนี้ นอกจากนี้ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านที่มีความเกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งคณะผู้วิจัยไม่ได้เอ่ยนามถึง ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบแต่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ณัฐพล แจ่มจงดี และคณะ

สิงหาคม พ.ศ.2562

## บทคัดย่อ

รหัสโครงการ Inn 002/2561  
ชื่อโครงการ “การลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเทคนิคการสะท้อนแสง”  
ชื่อนักวิจัย นายณัฐพล แจ้งจดี, นายคณาพจน์ ยอดมณี, ผศ.สมพล บุญญสุวรรณโณ

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ การใช้พลังงานในประเทศในปัจจุบัน พลังงานที่เราใช้กันอยู่ทุกวันนี้ส่วนใหญ่ได้จากพลังงานสิ้นเปลือง โดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงนับวันมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกทีในขณะที่ในประเทศไม่มีแหล่งน้ำมันเพียงพอกับความความต้องการใช้ใน แต่ละปีรัฐจึงต้องสูญเสียงบประมาณในการนำเข้าน้ำมันดิบเป็นจำนวนมหาศาล ดังนั้น แนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานสิ้นเปลืองก็คือการใช้พลังงานทดแทน ซึ่งจากสภาพภูมิศาสตร์และตำแหน่งที่ตั้งของประเทศไทย พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์เป็นอย่างมาก โดยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเทคนิคการสะท้อนแสง การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า มีการใช้งานอยู่เป็นจำนวนมากแต่เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้แสงเพียงอย่างเดียวความร้อนซึ่งตามมากับแสงอาทิตย์จึงไม่จำเป็นต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าแต่จะลดประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก 1 องศาเซลเซียส จะทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งภายในที่ร่ม และรับแสงจากการสะท้อนจากกระจกเพื่อเป็นการลดอุณหภูมิให้เซลล์แสงอาทิตย์ โดยการสร้างชุดป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อให้อยู่ในพื้นที่ร่ม ติดตั้งกระจกสะท้อนแสง สะท้อนเข้าไปที่เซลล์แสงอาทิตย์ โดยทดลองที่ระยะ 2 เมตร ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ และโพลีคริสตัลไลน์ อย่างละ 2 แผง ใช้สองแผงต่อ 1 ชนิดเพื่อเปรียบเทียบผลการทดลองจากการสะท้อนแสง และรับแสงอาทิตย์โดยตรง

**คำสำคัญ:** เซลล์แสงอาทิตย์ การสะท้อนแสง การลดอุณหภูมิ

---

E-mail Address : nattaponnonburi@gmail.com

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม พ.ศ.2560 – กันยายน พ.ศ.2561

## Abstract

**Code of project** Inn 002/2561  
**Project name** cooling solar cells by using the light reflection technique  
**Researcher name** Mr.Nattapon Jangjongdee, Mr.Kanapod yodmanee,  
Asst.Sompon Bunyasuwanno

Energy is an important factor in human life. Today's energy use is the energy we use today, most of it is energy. In spite of the rising oil prices, our country does not have enough oil to meet the demand. So the state has to spend a lot of money on imports of crude oil, so one way to reduce energy consumption is to use renewable energy. Based on the geography and location of Thailand. Solar energy is a renewable energy that is very suitable to use as a lot. Solar energy can be transformed into electricity. Therefore, this research presents cooling solar cells by using the light reflection technique. The use of solar cells to convert light energy into electricity. But because solar panels produce electricity by using only light, the heat that comes with solar energy is not necessary to generate electricity, but to reduce the efficiency of solar cells. The temperature increases every 1 degree Celsius. Will reduce the electricity production of solar cells. In order to increase efficiency, solar cells are installed inside the shade and receive light from the mirror to reduce the temperature of the solar cells. By creating a solar protective cover to cover the solar cells in an indoor area. Install mirror glass Reflection into the solar cell Experiment at 2 meters using mono-crystalline solar cells. Two panels are used in each of two panels to compare the results of the experiment. And direct sunlight.

**Keywords:** solar cells, reflection, cooling

---

**E-mail Address** : nattaponnonburi@gmail.com

**Period of Project** : October 2016 – September 2017

## สารบัญ

## หน้า

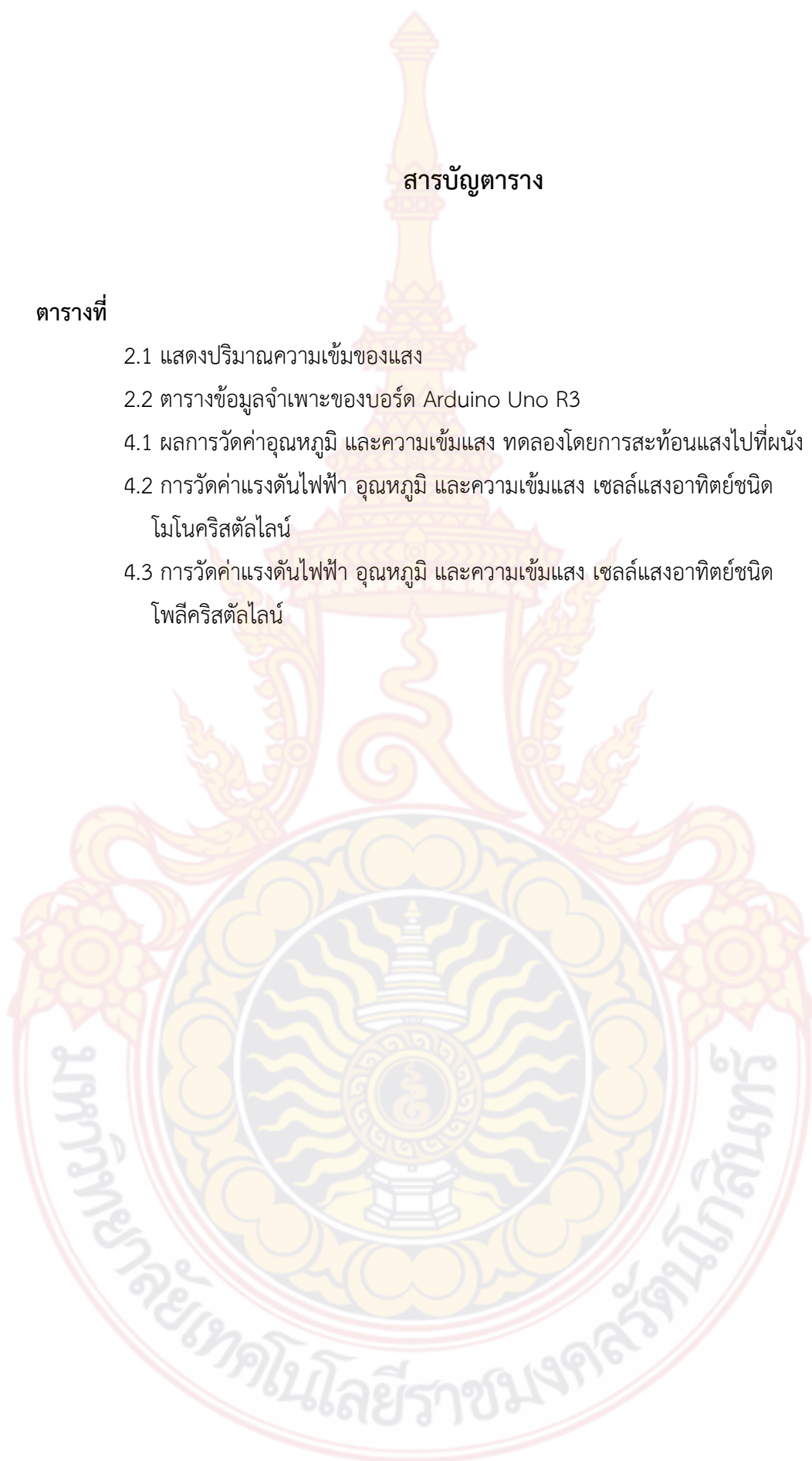
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ขั้นตอนการวิจัย	3
1.6 ข้อจำกัดของการวิจัย	3
1.7 กรอบแนวคิดในการวิจัย	3
1.8 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ทฤษฎีพลังงานแสงอาทิตย์	6
2.2 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์	11
2.3 ทฤษฎีกระจกและการสะท้อนของแสง	15
2.4 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดูโน่	16
2.5 ทฤษฎีฉนวนกันความร้อน	19

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 3</b>	
<b>วิธีการดำเนินการวิจัย</b>	
3.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัย	20
3.2 จัดทำชุดโครงสร้างระบบจำลองความเข้มแสง และโครงสร้างระบบสะท้อนแสง	21
3.3 จัดทำชุดโครงสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า	25
3.4 จัดทำชุดโครงสร้างระบบวัดอุณหภูมิ และติดตั้งระบบวัดความเข้มแสง	27
<b>บทที่ 4</b>	
<b>ผลการวิจัย</b>	
4.1 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	31
4.2 ผลการทดลองสะท้อนแสงฉายเข้าผนังที่ร่วม	31
4.3 การทดลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์	35
4.4 การทดลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์	39
<b>บทที่ 5</b>	
<b>สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ</b>	
5.1 สรุปผลการวิจัย	43
5.2 ปัญหาและอุปสรรค	43
5.3 ข้อเสนอแนะ	44
<b>บรรณานุกรม</b>	45
<b>ภาคผนวก</b>	46
ภาคผนวก ก	47
ภาคผนวก ข	50
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	60

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงปริมาณความเข้มของแสง	8
2.2 ตารางข้อมูลจำเพาะของบอร์ด Arduino Uno R3	18
4.1 ผลการวัดค่าอุณหภูมิ และความเข้มแสง ทดลองโดยการสะท้อนแสงไปที่ผนัง	33
4.2 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์	37
4.3 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์	40



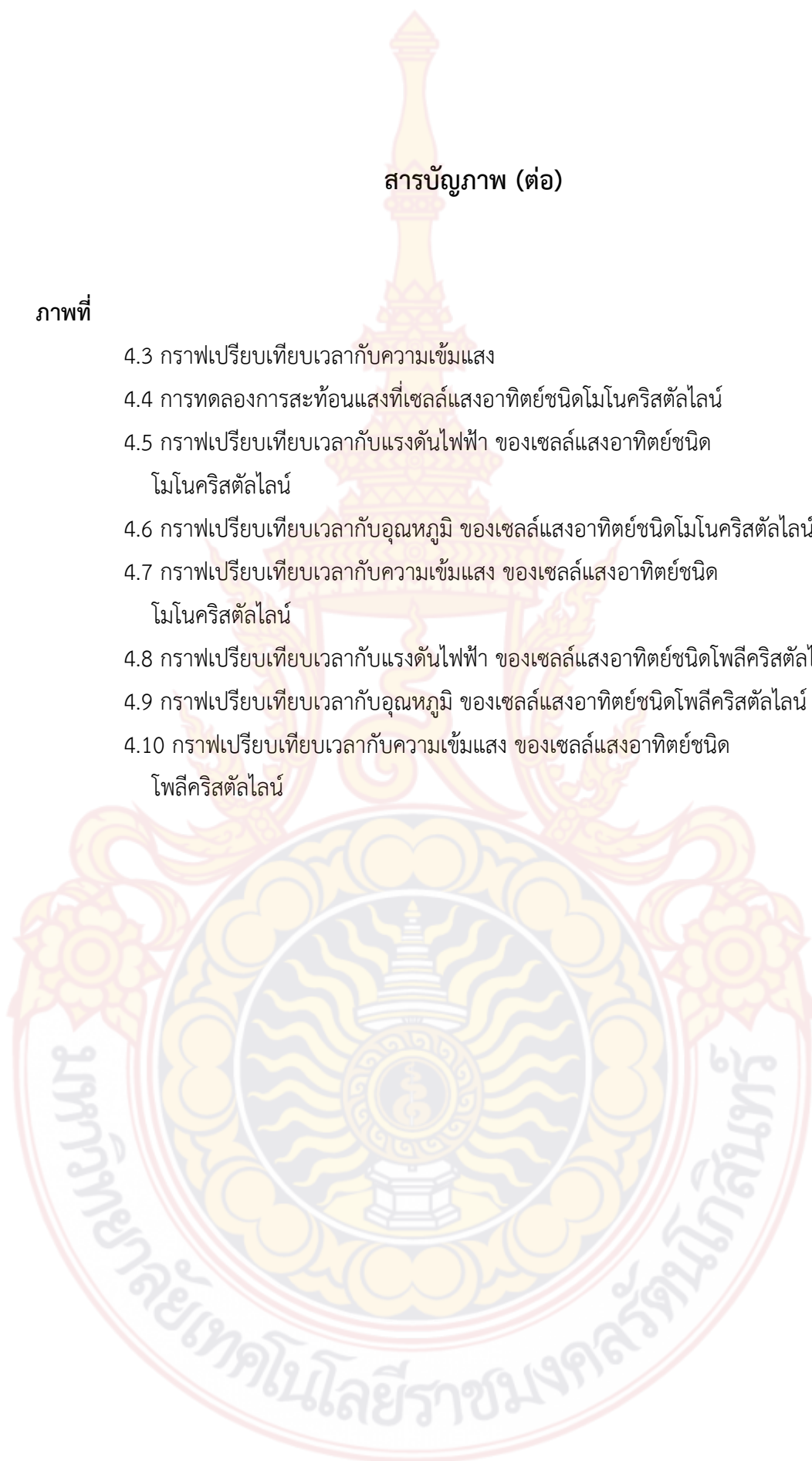


## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 เซลล์แสงอาทิตย์	1
1.2 กระบวนการของระบบลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเทคนิคการสะท้อนแสง	4
2.1 การนำเซลล์หลายๆ ตัวมาต่อรวมกันในแผงเซลล์แสงอาทิตย์	12
2.2 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบอนุกรม	12
2.3 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบขนาน	13
2.4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดต่างๆ	15
2.5 การสะท้อนของแสงบนกระจกกราบ	16
2.6 Arduino Uno R3	18
2.7 ฉนวนกันความร้อน	19
3.1 โครงสร้างระบบจำลองความเข้มแสง	22
3.2 ชุดควบคุมความสว่างของแสง	22
3.3 โปรแกรม Sketch UP 2013	23
3.4 ออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม sketch Up 2013 ชุดสะท้อนแสงส่วนฐาน	23
3.5 ชุดป้องกันเสากระจก	24
3.6 ออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม sketch Up 2013 ชุดสะท้อนแสงส่วนบน	24
3.7 แผ่นกระจกสะท้อนแสง	25
3.8 ออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม sketch Up 2013 ชุดติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	25
3.9 ชุดติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	26
3.10 ออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม sketch Up 2013 ชุดป้องกันรังสีอาทิตย์	26
3.11 ชุดป้องกันรังสีอาทิตย์	27
3.12 วงจรที่ใช้ในการวัดและแสดงผลค่าอุณหภูมิ	28
3.13 ชุดประมวลผลและแสดงผล	30
4.1 ทดลองโดยการสะท้อนแสงไปที่ผนังเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ ความเข้มแสง ระหว่างการสะท้อนแสง และการรับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์	32
4.2 กราฟเปรียบเทียบเวลากับอุณหภูมิ	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.3 กราฟเปรียบเทียบเวลากับความเข้มแสง	35
4.4 การทดลองการสะท้อนแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์	36
4.5 กราฟเปรียบเทียบเวลากับแรงดันไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์	38
4.6 กราฟเปรียบเทียบเวลากับอุณหภูมิ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์	38
4.7 กราฟเปรียบเทียบเวลากับความเข้มแสง ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์	39
4.8 กราฟเปรียบเทียบเวลากับแรงดันไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์	41
4.9 กราฟเปรียบเทียบเวลากับอุณหภูมิ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์	41
4.10 กราฟเปรียบเทียบเวลากับความเข้มแสง ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์	42

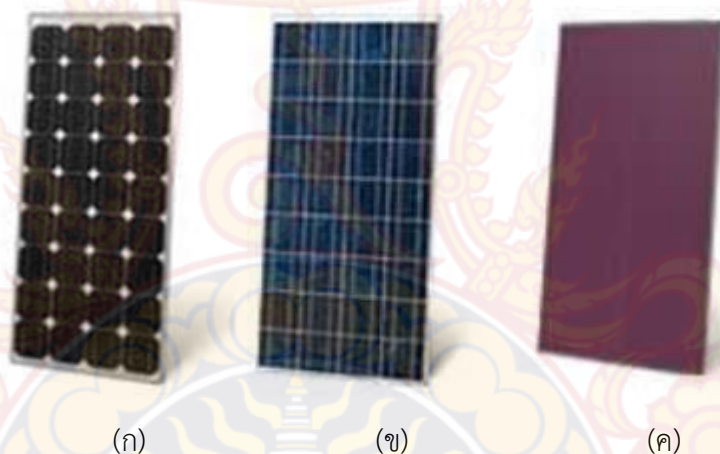


## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Solar cell หรือ PV มีชื่อเรียกหลายอย่างเช่น เซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์สุริยะ โดย PV ย่อมาจากคำว่า Photovoltaic หมายถึงกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงโดยเปลี่ยนเป็นพลังงานงานไฟฟ้ากระแสตรง เซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว, เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส ดังภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 เซลล์แสงอาทิตย์

- (ก) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว
- (ข) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม
- (ค) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส

จากภาพที่ 1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว เป็นชนิดที่มีความนิยมสูงเพราะมีประสิทธิภาพในการทำงานดี ประมาณ 10-15% ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวมเป็นอีกชนิดที่มีความนิยมใน บางพื้นที่ ข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้คือ ทนทานต่อการใช้งานในอุณหภูมิสูงกว่าชนิดผลึกเดี่ยว แต่ประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำ ประมาณ 5-10% และชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ อาจทำมาจากสารกึ่งตัวนำ เช่น แกลเลียม, อาร์เซไนต์, แคดเมียม เป็นต้น จะมีประสิทธิภาพประมาณ 20-25% แต่ข้อเสียคือ ราคาค่อนข้างสูง

ในประเทศไทยได้มีการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้กันมากขึ้น เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, โรงงานอุตสาหกรรม, สถาบันการศึกษา หรือแม้แต่บ้านเรือนสมัยใหม่ ที่มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้ามาเป็นทางเลือกหนึ่งในการประหยัดพลังงานด้านอื่นๆ ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงออกมาได้ทันทีเมื่อมีแสงตกกระทบ ส่วนใหญ่จะมีการใช้อุปกรณ์อื่นๆ เพิ่มเติมเช่น ระบบแปลงไฟฟ้า, แบตเตอรี่, ระบบประจุไฟฟ้า เป็นต้น เพื่อความสะดวกในการใช้งาน

การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันพบว่า อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของโลกส่งผลโดยตรงกับเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปกติประสิทธิภาพจะทดสอบที่อุณหภูมิ 25°C แต่ในการใช้งานจริงจะมีอุณหภูมิประมาณ 50-60°C เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง 0.5% ต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 1°C นั่นหมายความว่า เมื่อนำมาใช้จริงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง 12-18% ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาได้จากสูตร

$$\eta = \frac{P}{G \times A} \times 100\% \quad (1)$$

เมื่อ $\eta$	คือ ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (%)
$P$	คือ กำลังงานเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ (W)
$G$	คือ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ (W/m <sup>2</sup> )
$A$	คือ พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (m <sup>2</sup> )

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 2.1 เพื่อลดอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 2.3 เพื่อศึกษาผลของการสะท้อนแสงของกระจกเงา

## 3. สมมุติฐานการวิจัย

สมมุติฐานของงานวิจัยนี้จะเป็นการลดอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยการนำกระจกเงามาวางรับแสงในพื้นที่ที่มีแสงโดยกระจกเงาจะมีมุมเอียงประมาณ 45° เพื่อมาสะท้อนแสงไปยังทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะถูกวางอยู่ในที่ร่มซึ่งได้รับแสงมาจากกระจกเงา โดยวิธีนี้ความร้อนจากการสะท้อนจะมากาลลดลงในระยะที่กำหนดไว้ โดยจะใช้อุณหภูมิแวดล้อมที่มี

ค่าคงที่อ้างอิงในการทดสอบ อีกทั้งยังเป็นการยืดอายุการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้นด้วย

#### 4. ขอบเขตของการวิจัย

- 4.1 ใช้หลอดสปอร์ตไลท์ที่ให้แสงสีเดียวกับดวงอาทิตย์ และมีชุดควบคุมความเข้มแสง
- 4.2 ใช้กระจกเงาที่มีคุณสมบัติในการสะท้อนแสงได้ดี
- 4.3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดผลึกเดี่ยว และชนิดผลึกรวม ขนาดไม่เกิน 100W
- 4.4 มีเซนเซอร์วัดอุณหภูมิจำนวน 4 ชุด และเซนเซอร์วัดความเข้มแสงจำนวน 2 ชุด
- 4.5 จำลองโหลดเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และผลการวัดแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของแผง

#### 5. ขั้นตอนการวิจัย

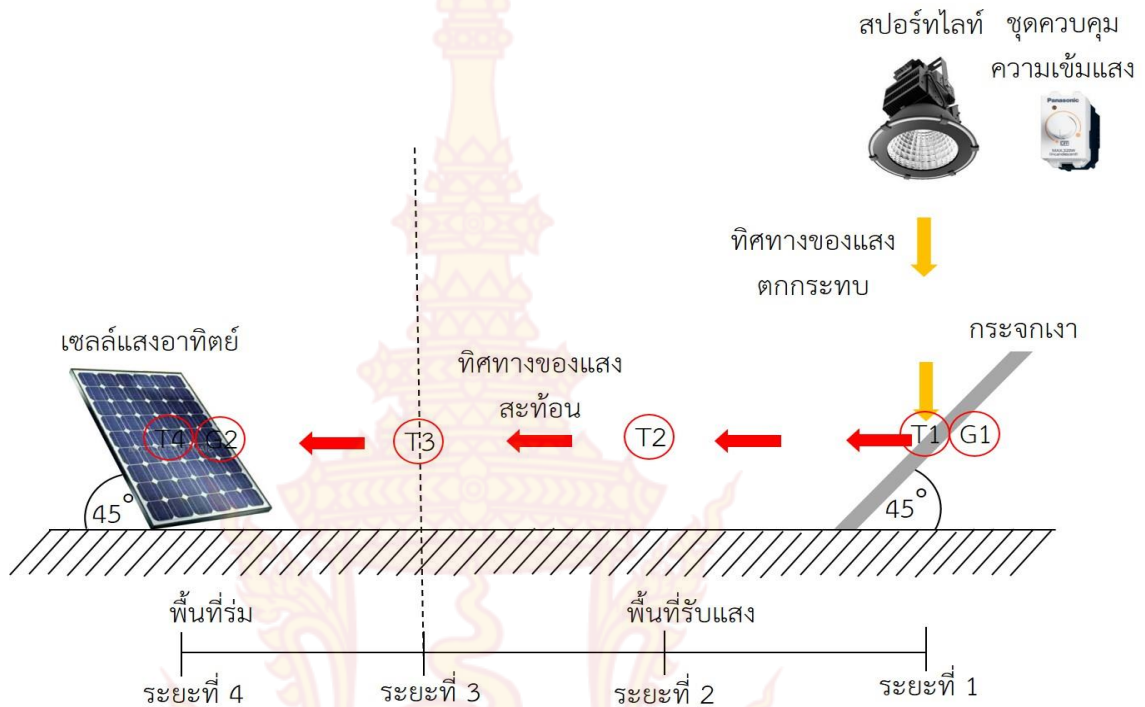
- 5.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัย
- 5.2 จัดทำชุดโครงสร้างระบบจำลองความเข้มแสง และโครงสร้างระบบสะท้อนแสง
- 5.3 จัดทำชุดโครงสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า
- 5.4 จัดทำชุดโครงสร้างระบบวัดอุณหภูมิ และติดตั้งระบบวัดความเข้มแสง
- 5.5 ทดสอบการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์กรณีไม่มีการสะท้อนแสง
- 5.6 ทดสอบการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์กรณีมีการสะท้อนแสง
- 5.7 สรุปผลและเปรียบเทียบของเทคนิคการสะท้อนแสง
- 5.8 จัดทำรูปเล่มฉบับสมบูรณ์

#### 6. ข้อจำกัดของการวิจัย

- 6.1 ใช้การสะท้อนแสงจากกระจกเงาเท่านั้น
- 6.2 มีการสร้างหลังคากันความร้อนให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

#### 7. กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเทคนิคการสะท้อนแสง ซึ่งจะแบ่งเป็นระบบต่างๆ ได้แก่ ระบบจำลองความเข้มแสง, ระบบสะท้อนแสง, ระบบวัดอุณหภูมิ, ระบบวัดความเข้มแสง และระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 กระบวนการของระบบลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเทคนิคการสะท้อนแสง

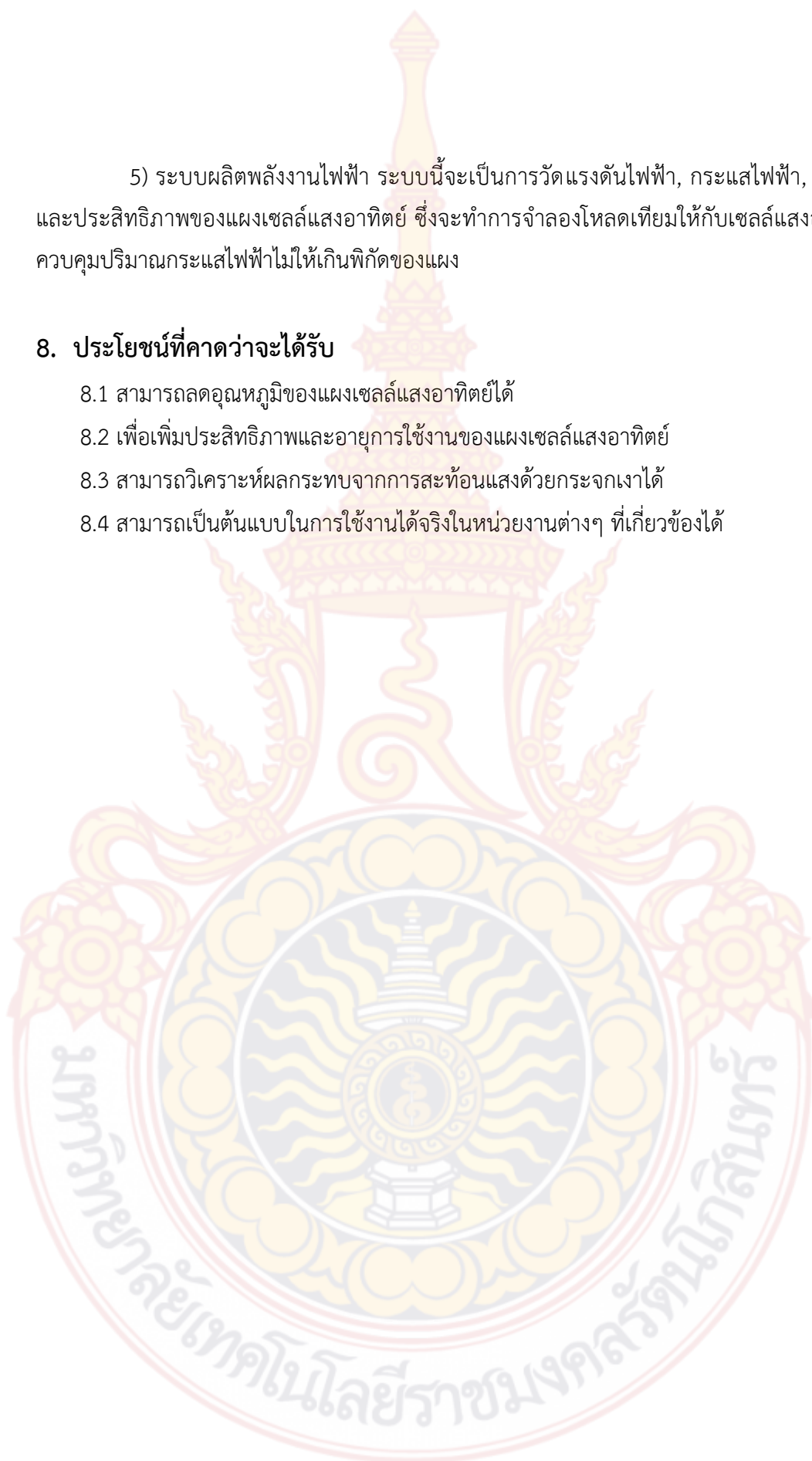
จากภาพที่ 1.2 จะแบ่งเป็นระบบต่างๆ จำนวน 5 ระบบดังนี้

- 1) ระบบจำลองความเข้มแสง ระบบนี้จะมีการจำลองความเข้มแสงจากหลอดสปอร์ตไลท์ชนิดสีโทนร้อน จำนวน 1 โคม ให้แสงสีเดียวกับดวงอาทิตย์ และมีความร้อนจากตัวไส้หลอด โดยสามารถควบคุมความเข้มแสงได้จากชุกควบคุม
- 2) ระบบสะท้อนแสง ระบบนี้จะใช้กระจกเงาที่มีความสะท้อนแสงได้ดี แต่สะท้อนความร้อนได้น้อย จำนวน 1 แผง วางบนฐานที่มั่นคงแข็งแรง วางเอียงกับแนวระดับพื้นเป็นมุม 45° เพื่อให้แสงสามารถสะท้อนไปในทิศทางที่กำหนดได้ โดยแสงจะสะท้อนลงบนพื้นที่ทั้งหมดของกระจกเงา
- 3) ระบบวัดอุณหภูมิ ระบบนี้จะมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ จำนวน 4 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งบนตัวกระจกเงา (ระยะที่ 1), ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างพื้นที่รับแสงกับพื้นที่ร่ม (ระยะที่ 2), ตำแหน่งพื้นที่ร่ม (ระยะที่ 3) และตำแหน่งบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ระยะที่ 4) เพื่อวัดอุณหภูมิความเปลี่ยนแปลงในสะท้อนของแสง
- 4) ระบบวัดความเข้มแสง ระบบนี้จะมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดความเข้มแสงที่ตำแหน่งต่างๆ จำนวน 2 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งบนตัวกระจกเงา (ระยะที่ 1) และตำแหน่งบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ระยะที่ 4) เพื่อวัดปริมาณความเข้มแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงในการสะท้อนแสง

5) ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า ระบบนี้จะเป็นการวัดแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำการจำลองโหลดเทียมให้กับเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อควบคุมปริมาณกระแสไฟฟ้าไม่ให้เกินพิกัดของแผง

## 8. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 8.1 สามารถลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้
- 8.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 8.3 สามารถวิเคราะห์ผลกระทบจากการสะท้อนแสงด้วยกระจกเงาได้
- 8.4 สามารถเป็นต้นแบบในการใช้งานได้จริงในหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องได้



## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อประกอบการพิจารณาในการลดอุณหภูมิ เซลล์แสงอาทิตย์ โดยเทคนิคการสะท้อนแสงซึ่งประกอบด้วยหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่สำคัญ คือ

1. ทฤษฎีพลังงานแสงอาทิตย์
2. ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์
3. ทฤษฎีกระจกและการสะท้อนของแสง
4. ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดูโน้
5. ทฤษฎีฉนวนกันความร้อน

#### 2.1 ทฤษฎีพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานที่มาจากดวงอาทิตย์ทุกวันในขณะที่พลังงานเชื้อเพลิงอื่น กำลังจะหมดโลกและแพงขึ้นเรื่อยๆ จึงมีการสร้าง เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ Solar Cell ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นไฟฟ้า เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีปริมาณการรับแสงแดดจากดวงอาทิตย์สูงมากการนำเอาพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยนำมาเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าเพื่อมาใช้ในชีวิตประจำวัน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะนอกจากจะช่วยชาติประหยัดพลังงานประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าแล้ว พลังงานจากแสงอาทิตย์ยังเป็นพลังที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วยการนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าต้องอาศัยแผงโซลาร์เซลล์ หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาสำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยจะนำซิลิกอนมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นเซลล์ ก็จะถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดประจุบวกและลบขึ้นในสารกึ่งตัวนำสารกึ่งตัวนำประเภท N จะดึงประจุลบ ส่วนสารกึ่งตัวนำประเภท P จะดึงประจุบวกทำให้มีการสะสมของประจุที่ขั้วทั้งสองขึ้น ดังนั้นเมื่อมีการเชื่อมวงจรภายนอก เช่น เอาหลอดไฟมาต่อคร่อมขั้วต่อ ก็จะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีหรือนำไปกักเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานภายหลังได้



### 2.1.1 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในทางไฟฟ้า

การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าจำแนกได้ 2 วิธี คือการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงเรียกว่า กระบวนการโฟโตโวลเทอิก (Photovoltaic Conversion) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนแล้วเปลี่ยนต่อเป็นไฟฟ้า โดยผ่านกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์เรียกว่า กระบวนการความร้อน (Solar Thermodynamic Conversion System) กระบวนการโฟโตโวลเทอิก (Photovoltaic Conversion) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลง พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยแสงตกกระทบผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) กระบวนการความร้อน (Solar Thermodynamic Conversion System) การผลิตไฟฟ้าด้วย พลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ กระบวนการความร้อนประกอบไปด้วย 2 องค์ประกอบหลักคือ ชุดเก็บสะสม ความร้อน และอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นไฟฟ้า

### 2.1.2 ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่า เมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลท์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนักความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตารางเซนติเมตร หรือ 1,000 W ต่อ ตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้น โลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตารางเซนติเมตร หรือ 750 W ต่อ ตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัด ประสิทธิภาพของแผง พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตนั้นจะแปรผันตรงกับพลังงานของแสงที่ส่องกระทบมัน (ส่วนประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานจะเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์) สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ตัวเดียวกันถ้าพลังงานแสงเข้าเพิ่ม (ลด) เป็น 2 เท่าพลังงานที่ได้จาก เซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเพิ่ม (ลด) 2 เท่าในช่วงกลางวันที่อากาศโปร่งใส พลังงานของแสงอาทิตย์จะเป็นประมาณ 1,000 W ต่อตารางเมตรโดยถ้าพูดเป็นหน่วย ของความสว่างก็ จะเท่ากับ 100,000-120,000 ลักซ์ (Lux) ตารางที่ 2.1 แสดงความเข้มของแสงอาทิตย์ใน กรณีต่างๆ รวมทั้งแสงจากไฟนีออนตามี่ต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลทั่วไปด้วยจะเห็นว่าในวันที่มีเมฆพลังงาน จากเซลล์แสงอาทิตย์จะตกอยู่ระดับ 1/10 – ครึ่งหนึ่งของวันที่อากาศดี ถ้าหากฝนตกก็จะตกอยู่ ระดับ 1/20-1/5ของวันอากาศดีนี่คือจุดอ่อนหนึ่งในการใช้งานของเซลล์สงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงหนึ่งวัน จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณ แสงอาทิตย์ที่ได้รับตอนช่วงเช้าและเย็นที่ความ

เข้มของแสงอาทิตย์น้อย กว่าตอนช่วงกลางวัน นั้น เอาร์ทพุทจากเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตามไปด้วยในการใช้งาน กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับโดยผ่าน อินเวอร์เตอร์ (เปลี่ยนกระแสตรงเป็นกระแสสลับ) นั้นถ้าหากเอาร์ทพุทต่ำกว่าค่าหนึ่ง อินเวอร์เตอร์จะไม่ทำงานนั่นก็คือช่วงเช้าๆหรือเย็นๆ อาจจะใช้งานไม่ได้เนื่องจากมุมตำแหน่งของดวงอาทิตย์มองจากจุด ต่างๆ บนโลกจะเปลี่ยนไปตามเดือนต่างๆของปีจึงทำให้ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงจุดนี้ด้วยสำหรับประเทศไทยนั้นอยู่ในตำแหน่งที่การติดตั้งเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์ไม่ยาก

**ตารางที่ 2.1** แสดงปริมาณความเข้มของแสง

แหล่งแสง	สภาพอากาศ/สถานที่	ความสว่าง (Lux)
แสงอาทิตย์ (กลางวัน)	อากาศดีมาก	100,000 - 120,000
	อากาศดี	50,000 - 100,000
	มีเมฆ	50,000 - 10,000
	ฝนตก	20,000 - 5,000
หลอดไฟนีออน	โตะเขียนแบบ	- 1,000
	สำนักงาน	300 - 600
	ห้องอาหาร ทางเดิน	ต่ำกว่า 200
	บันได	ต่ำกว่า 100

### 2.1.3 อุดหนุน

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุดหนุนที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุดหนุนสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ๓๐ องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage) ที่ 21 โวลท์ ณ อุดหนุน ๓๐ องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผง แสงอาทิตย์เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุดหนุน ๓๐ องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 โวลท์ถ้า อุดหนุนสูงกว่า ๓๐ องศาเซลเซียส เช่น อุดหนุน ๓๕ องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผง แสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ( $0.5\% \times 5$  องศา C) นั่นคือแรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ VDC จะลดลง 0.525 โวลท์ ( $21 \text{ V} \times 2.5\%$ ) เหลือเพียง 20.475 โวลท์ ( $21\text{V} - 0.525\text{V}$ ) สรุปได้ว่าเมื่ออุดหนุนสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงจากข้อกำหนด ดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผง แต่ละชนิดด้วยว่าใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่น

แผงชนิดหนึ่งระบุว่าให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 วัตต์ ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่าให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ ต่อ ตารางเมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส แล้วจะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 วัตต์ จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสาเหตุดังกล่าวผู้ที่ใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้ แผงแต่ละชนิดด้วย

#### 2.1.4 ศักยภาพและการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์

การพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์เป็นหัวข้อที่หลากหลาย ประเทศในโลกให้ความสนใจ และได้มีการพัฒนามาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง หลักจากเกิดวิกฤติการณ์ด้านพลังงานตั้งแต่ปี พ.ศ.2516 เป็นต้นมา ได้มีการศึกษาและวิจัยพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่องซึ่งรวมถึงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย นับจากปี พ.ศ.2534 ทั่วโลกเริ่มตระหนักถึงปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นโดยพลังงานธรรมชาติที่ปราศจากมลภาวะและมีอยู่อย่างมหาศาลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นแหล่งพลังงานที่ทำทลายความสามารถของมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง เพราะว่าปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ ตกกระทบมายังโลกมีค่ามหาศาล ( $1.7 \times 10^{17}$  วัตต์) ถ้ามนุษย์สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ ประโยชน์อย่างเต็มที่ โดยเราคงไม่จำเป็นต้องพึ่งพาพลังงานจากแหล่งอื่น แต่การนำพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้ประโยชน์ในโลกปัจจุบัน ได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายเหมือนกับการใช้พลังงานแบบดั้งเดิมหรือ พลังงานจากเชื้อเพลิงบรรพชีวิน เพราะว่าต้นทุนราคาพลังงานที่ผลิตจากแสงอาทิตย์มีราคาสูงเมื่อเทียบ กับราคาที่เกิดจากเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม เนื่องจากเทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าอยู่ในขั้นที่ต้องพัฒนาอีกมาก ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ไม่แพร่หลายมากนักแต่การพัฒนามาเป็นลำดับก็ตามจึงทำให้การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ไม่แพร่หลายมากนักแต่การพัฒนานำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ก็ได้มีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องในประเทศต่างๆ ทั่วโลก เพื่อให้มีการใช้อย่างแพร่หลายและมีความเหมาะสมทั้งด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์มากขึ้นและ สิ่งที่สำคัญก็คือการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นการช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการใช้และผลิตพลังงานจาก เชื้อเพลิงบรรพชีวิน ซึ่งเป็นปัญหารุนแรงต่อโลกในปัจจุบันนี้ การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในประเทศต่างๆ ทั่วโลก มีการใช้งานใน 2 ลักษณะ คือ ในรูปของการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์โดยตรง และการนำพลังงาน แสงอาทิตย์ไปผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศต่างๆ ทั่วโลกได้มีการพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์ใน รูปแบบต่างๆ มากมาย ตัวอย่างการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น โรงงานไฟฟ้าระบบหอรับกลางที่บาร์สโตว์ เป็นโรงงานหอพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ตั้งอยู่ที่เมือง บาร์สโตว์ในมลรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกาที่กำลังผลิต 10 เมกะวัตต์ ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำนวน 1,818 ชุด มีเนื้อที่รับแสงรวมทั้งสิ้น 73,200 ตารางเมตร

และโรงไฟฟ้าอาจมีระบบ ตัวรับแสงแบบพาราโบลิกในทะเลทรายโมจาเว่ (Mojave) ในมลรัฐ แคลิฟอร์เนีย และโรงไฟฟ้าเซลล์ แสงอาทิตย์ เช่น โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่สุดใน ประเทศเยอรมนีตั้งอยู่บริเวณไหล่เขา ระหว่างเมืองโกเบินและกอนดอฟ (Kobern – Gondorf) บริเวณนี้จะได้รับความเข้มข้นจากรังสีอาทิตย์ ประมาณ 1,100 กิโลวัตต์ – ชั่วโมงต่อตาราง กิโลเมตรต่อไป โรงไฟฟ้ามีกำลังผลิต 340 กิโลวัตต์ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศ สวิตเซอร์แลนด์ตั้งอยู่บนเทือกเขาโซไล (Soleil) มีกำลังผลิต 500 กิโลวัตต์ บนพื้นที่ 20,000 ตาราง เมตร โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศสหรัฐอเมริกาและ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศ อิตาลี เป็นต้น

### 2.1.5 ศักยภาพและการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

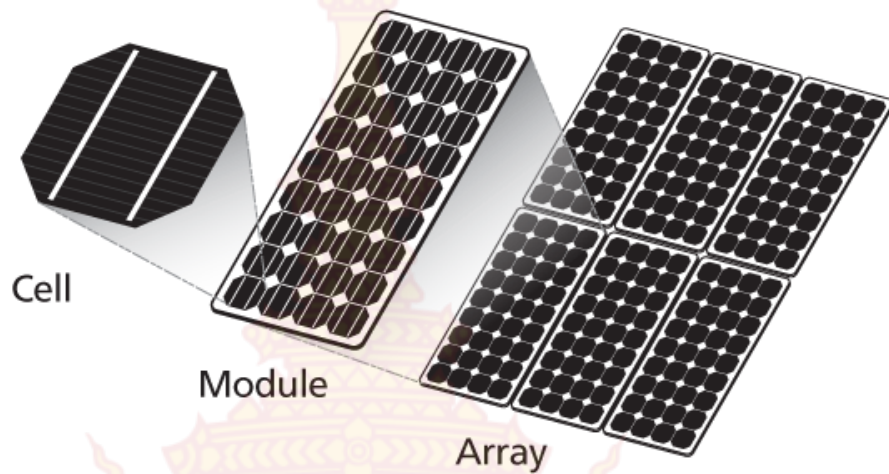
ประเทศไทยตั้งอยู่ที่ละติจูด 6-20 องศาเหนือ และลองจิจูด 97-106 องศาตะวันออก อยู่ในตำแหน่งภูมิประเทศที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ เฉลี่ยของ ประเทศมีค่าประมาณ 17 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน หรือเทียบเท่ากับ 4.7 กิโลวัตต์ – ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ถ้าสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงมาบนพื้นที่ของประเทศไทย เพียงหนึ่งในร้อยส่วน ของพื้นที่ทั้งหมดก็จะได้พลังงานเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดิบประมาณ 7,000,000 ตันต่อปี ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีศักยภาพสูงที่จะพัฒนาเป็น แหล่งพลังงานหลักต่อไป การพัฒนานำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในประเทศไทยได้มีการวิจัยและ พัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ทั้งการพัฒนาทางด้านเทคนิคและการจัดหาข้อมูลทางด้านพลังงาน แสงอาทิตย์โดยหน่วยงานที่ทำการศึกษาริวิจัยได้แก่กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและ สิ่งแวดล้อม สถาบันการศึกษาสภาวิจัย และการไฟฟ้าฝ่ายผลิต แห่งประเทศไทย เป็นต้น สำหรับข้อมูล ทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญที่บอก ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในประเทศไทยได้จัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาและ ส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดยมีการจัดทำแผนที่ศักยภาพ พลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นใหม่แทนแผนที่พลังงานแสงอาทิตย์ฉบับแรกที่ได้จัดทำขึ้นในปี พ.ศ.2527 โดยใช้เทคโนโลยีจากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งแล้วเสร็จในเดือนมิถุนายน พ.ศ.2542 นับว่าเป็นแหล่งข้อมูลที่ สำคัญที่สุดเพื่อใช้ประกอบในการจัดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์โดยจะให้ค่ารายละเอียดความเข้ม ของแสงอาทิตย์ถึงในระดับตำบล และ เพื่อให้มีการพัฒนาระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างจริงจัง และ มี การใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นภายในประเทศ ได้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อจัดทำข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ที่ เกี่ยวข้องกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสม สำหรับสภาวะอากาศเขตร้อนชื้นของประเทศไทย และจัดตั้งโครงการโรงงานต้นแบบผลิตภัณฑ์ แสงอาทิตย์แห่งแรกในประเทศไทย การนำพลังงาน แสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในประเทศไทยมีการใช้ในสองลักษณะ คือ การเปลี่ยนรูปเป็นพลังงาน

ความร้อน และการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกระบวนการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน ได้พัฒนามาใช้ในการอบแห้งพืชผลทางการเกษตร การทำน้ำร้อน การกลั่นน้ำ เป็นต้น สำหรับกระบวนการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ด้วย เทคโนโลยีปัจจุบันต้นทุนการผลิตประมาณ 5-10 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งยังไม่สามารถแข่งขันกับ การผลิตไฟฟ้าจากน้ำมัน ถ่านหินหรือก๊าซธรรมชาติได้ แต่จะมีความเหมาะสมในการใช้ในชนบทที่ ห่างไกลซึ่งระบบสายส่งไฟฟ้าขยายไปไม่ถึงระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีการติดตั้ง และใช้งานรวมประมาณ 3,734 กิโลวัตต์ โดยส่วนใหญ่เป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ระบบประจุ แบตเตอรี่

## 2.2 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ หรือโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า พบว่า กำลังไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตกำลังไฟฟ้า

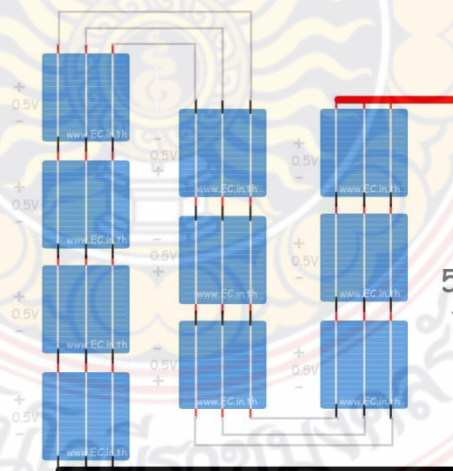
เซลล์แสงอาทิตย์ คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงาน ไฟฟ้า โดยใช้กระบวนการโฟโตโวลเทอิก (Photovoltaic Effect) ในสารกึ่งตัวนำ โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำ P และสารกึ่งตัวนำ N เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ ได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอ จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระในสารกึ่งตัวนำ ดังนั้น ถ้ามีการเชื่อมต่อระหว่างผิว ทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการไหลของอิเล็กตรอนซึ่งทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรง โดยปกติแล้วในแต่ละเซลล์ (Cell) ซึ่งเป็นตัวแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงนั้น จะมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.6 - 0.7 V ทำให้ในการใช้จริงจะต้องมีการต่ออนุกรมเซลล์หลายๆ ตัวเข้าด้วยกัน ทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้นและหากต้องการกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นก็สามารถทำได้โดยการต่อขนานกันซึ่งการต่อขนานหรืออนุกรมเข้าด้วยกันนั้นเป็นการเพิ่มกำลังไฟฟ้าในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในแผงก่อนนำไปใช้งาน ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งการต่อเซลล์หลายๆ ตัวรวมกันในแผงนั้นเราจะเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือที่เรียกในภาษาอังกฤษอีกชื่อหนึ่งว่า Photovoltaic Module (PV) โดยหน่วยที่ใช้เรียกจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นคือ แผงหรือโมดูล (Module)



ภาพที่ 2.1 การนำเซลล์หลายๆ ตัวมาต่อรวมกันในแผงเซลล์แสงอาทิตย์

### 2.2.1 การเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์

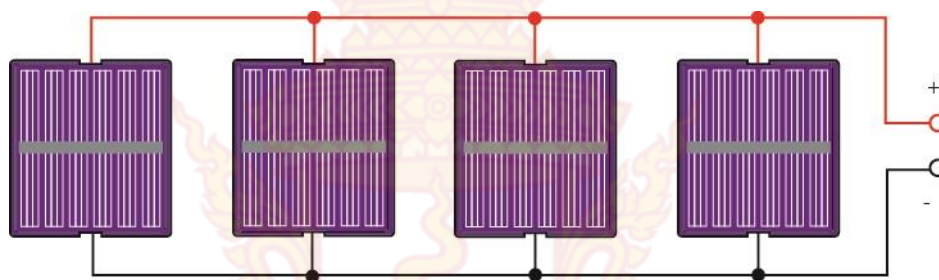
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในแต่ละแผง (Module) นั้น จะประกอบไปด้วยเซลล์ (Cell) หลายๆ ตัว อนุกรมหรือขนานกันภายในแผงโซลาร์เซลล์ แต่อย่างไรก็ตาม กำลังไฟฟ้าที่ผลิตด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผงอาจจะไม่เพียงพอต่อการใช้งานในระบบ เพราะฉะนั้น จึงจำเป็นต้องนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาต่อกัน การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบอนุกรมนั้น จะเป็นการเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า เพื่อจ่ายให้กับโหลดโดยกระแสไฟฟ้าที่จ่ายออกมาจะมีค่าเท่ากันทั้งวงจร



ภาพที่ 2.2 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบอนุกรม

กรณีนี้ต้องต่อมากกว่าหนึ่งแผง แต่ต้องการแรงดัน (V) เท่าเดิม แต่ได้กระแส (A) เพิ่มขึ้น ต้องต่อแบบขนาน โดยเอาขั้วบวกของแผงแรก ต่อกับขั้วบวกของแผงต่อไป แล้วเอาขั้วลบของแผงแรกต่อกับขั้วลบของแผงต่อไป เมื่อต่อจนครบทุกแผงแล้ว ก็สามารถนำสายไฟบวกและลบไปใช้ได้ทันที การต่อแบบนี้ แรงดันที่ได้จะยังคงเดิม แต่กระแสจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนแผงที่ต่อ

กรณีนี้จะนำมาใช้ก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ กินกระแสมากกว่ากระแสที่ได้จากแผงแผงเดียว หรือแผงเดียวไม่สามารถประจุแบตเตอรี่ได้



ภาพที่ 2.3 การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบขนาน

ในบางกรณีจะพบว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง จะระบุให้ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง 24V, 48V หรือมากกว่านั้นซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อแผงจะให้แรงดันเพียง 12V ทำให้ไม่เพียงพอ จำเป็นต้องเพิ่มแรงดันโดยการเพิ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาต่อกันแบบอนุกรม จะทำให้แรงดันเพิ่มขึ้นตามจำนวนแผงที่ถูกอนุกรมเข้าไป แต่กระแสจะไม่เพิ่มขึ้นวิธีการต่อแบบอนุกรมให้เอาสายจากขั้วลบของแผงแรก ต่อเข้ากับขั้วบวกของแผงที่สอง และขั้วลบของแผงที่สอง ต่อเข้ากับขั้วบวกของแผงที่สาม ทำสลับกันไปจนได้แรงดันที่ต้องการ ซึ่งขั้วที่เหลือของแผงแรกและแผงสุดท้ายจะเป็นขั้วที่นำไปใช้งาน

### 2.2.3 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่พบในท้องตลาดประเทศไทยปี 2558 สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ Crystalline และ Thin-Film โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.3.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประเภทแบบคริสตัลไลน์ (Crystalline Solar Cells) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สร้างจากผลึกสารกึ่งตัวนำอาทิ เช่น ซิลิกอน (Si) เป็นต้น ซึ่งให้กำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่สูงกว่าแบบฟิล์มบาง (Thin Film) แต่ประสิทธิภาพลดลงอย่างมากเมื่อทำงานอุณหภูมิสูงและไม่ตอบสนองรับย่านความถี่ทุกย่านของแสงอาทิตย์ ทำให้พลังงานที่ผลิตได้ต่อปีน้อยกว่าแบบฟิล์มบาง โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบคริสตัลไลน์นั้นแบ่งออกเป็น 2 ชนิดดังนี้

ก) แบบโมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline) หรือซิงเกิ้ลคริสตัลไลน์ (Single Crystalline) เซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดนี้ เป็นชนิดผลึกเดี่ยว โดยนำซิลิกอน (Si) ไปหลอมละลายที่อุณหภูมิสูงถึง 1,500 องศา เพื่อสร้างแท่งผลึกขนาดใหญ่ก่อนไปตัดเป็นแผ่นเวเฟอร์ โดยแผงแบบผลึกเดียวนั้น จะมีราคาแพงกว่าแบบโพลีคริสตัลไลน์ แต่จะให้พลังงานไฟฟ้าที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่ที่ติดตั้ง โดยจะมีประสิทธิภาพประมาณ 15-20% เนื่องจากการเรียกตัวในแต่ละเซลล์ โดยจะมีประสิทธิภาพการทำงานลดลงอย่างมาก เมื่อทำงานในสภาพอากาศที่มีอุณหภูมิสูงโดยการติดตั้งนั้นจะ ใช้พื้นที่ประมาณ 7-9 ตารางเมตรต่อกิโลวัตต์

ข) แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline) หรือมัลติคริสตัลไลน์ (Muliti Crystalline) หรือแบบผลึกรวม ได้ถูกพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยว โดยนำซิลิกอนมาหลอมให้เขาให้เป็นแท่งแล้วปล่อยให้เย็นตัวช้าๆ ก่อนไปตัดเป็นแผ่นเวเฟอร์เซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกผสม มีประสิทธิภาพกำลังไฟฟ้าที่ต่ำกว่าแบบโมโนคริสตัลเล็กน้อย เพราะการเรียกตัวของผลึกในเซลล์ที่แตกต่างกัน โดยแบบผลึกรวมนั้นจะประกอบไปด้วยผลึกเล็กๆ (Grain) เป็นจำนวนมาก แต่แบบ Mono-Si จะไม่มี Grain โดยเซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์ โดยปกติจะมีประสิทธิภาพประมาณ 13-16% โดยในปี 2558 เซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกผสมนั้นจะมีสัดส่วนบนทั้งตลาดมากที่สุด เพราะมีราคาถูกและกำลังไฟฟ้าสูงเมื่อเทียบกับพื้นที่ในการติดตั้งโดยการติดตั้งนั้นใช้พื้นที่ประมาณ 7.5-10 ตารางเมตรต่อกิโลวัตต์

2.2.3.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประเภทแบบฟิล์มบาง (Thin Film) จะมีความไวแสงมากที่สุด ทำให้สามารถรับแสงที่มีความยาวคลื่นต่างๆ ได้ดี ทำให้สามารถรับในพื้นที่ที่มีเมฆหมอกฝุ่นละออง ท้องฟ้าครึ้มๆ มีฝนตกชุก หรือแสงจากหลอดไฟฟ้าได้ สามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงได้ดี นิยมนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกา หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก เป็นต้น แต่มีข้อเสียคือ ให้กำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ในการติดตั้งไม่สูงมาก จึงทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก แต่เทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีสูงกว่าแบบคริสตัลไลน์ เนื่องจากคุณสมบัติไวแสง และตอบรับความถี่ทุกย่านของแสงอาทิตย์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ชนิดดังนี้

ก) อะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon) มีประสิทธิภาพประมาณ 9-11% ใช้พื้นที่ในการติดตั้งประมาณ 14-20 ตารางเมตรต่อกิโลวัตต์

ข) แคดเมียมเทลลูไรด์ (Cadmium Telluride : CdTe) มีประสิทธิภาพประมาณ 9-11% ใช้พื้นที่ในการติดตั้งประมาณ 12-17 ตารางเมตรต่อกิโลวัตต์

ค) คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลเนียม (Copper indium Diselenide : CIS) มีประสิทธิภาพ ประมาณ 10-12% ใช้พื้นที่ติดตั้งประมาณ 9-11 ตารางเมตรต่อกิโลวัตต์





ภาพที่ 2.4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดต่างๆ

#### 2.2.4 ทิศทางและมุมรับแสงของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

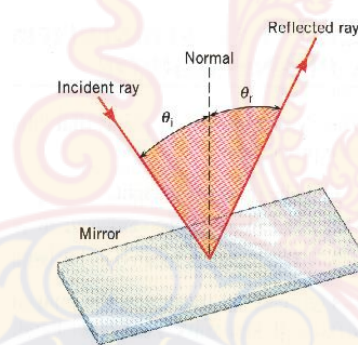
มุมและทิศทางในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการรับพลังงานแสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถติดตั้งได้บนพื้นที่ว่าง ทั้งบนหลังคาบ้าน บนหลังคาโรงจอดรถ บนหลังคาอาคารต่างๆ และบนพื้นดิน ซึ่งตำแหน่งที่ดีในการเลือกติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องเป็นตำแหน่งที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้ตลอดทั้งวัน โดยต้องไม่มีสิ่งปลูกสร้าง หรือสิ่งของอื่นใดมาบดบังแสงอาทิตย์ และไม่ควรเป็นสถานที่ที่มีฝุ่นหรือไอระเหยจากน้ำมันมากเกินไป การติดตั้งที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้สูญเสียพลังงานสะสมตลอดทั้งปีไปอย่างน่าเสียดาย โดยปกติการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในเมืองไทย นิยมที่จะติดตั้งให้ด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หันไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุมประมาณ 10-18 องศากับบนโลก

#### 2.3 ทฤษฎีกระจกและการสะท้อนของแสง

การสะท้อนของแสง (Reflection) เป็นปรากฏการณ์ที่แสงมีการเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ที่บริเวณรอยต่อของตัวกลาง 2 ชนิด โดยแสงจะเคลื่อนที่ย้อนกลับไปในตัวกลางเดิมแสงอาจเกิดการสะท้อนสมบูรณ์ (specular reflection) เช่นการสะท้อนผ่านกระจกเงา หรือสะท้อนไม่สมบูรณ์ (diffuse reflection) ซึ่งสูญเสียภาพเชิงฟิสิกส์แต่อนุรักษ์พลังงาน ขึ้นกับชนิดของตัวกลางที่บดบังซึ่งแสงเกิดการสะท้อน

แสงเป็นพลังงานรูปหนึ่ง เดินทางในรูปคลื่นด้วยอัตราเร็วสูง 300,000 กิโลเมตรต่อวินาที แหล่งกำเนิดแสงมีทั้งแหล่งกำเนิดที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น แสงดวงอาทิตย์ที่เป็นแหล่งพลังงานของสิ่งมีชีวิต แหล่งกำเนิดแสงที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น แสงสว่างจากหลอดไฟ เป็นต้น เมื่อแสงเคลื่อนที่ผ่านกลุ่มควีนหรือฝุ่นละออง จะเห็นเป็นลำแสงเส้นตรง และสามารถทะลุผ่านวัตถุได้ วัตถุที่ยอมให้

แสงเคลื่อนที่ผ่านเป็นเส้นตรงไปได้ นั่น เรียกว่าวัตถุนี้ว่า วัตถุโปร่งใส เช่น แก้ว อากาศ น้ำ เป็นต้น ถ้าแสงเคลื่อนที่ผ่านวัตถุบางชนิดแล้วเกิดการกระจายของแสงออกไป โดยรอบ ทำให้แสงเคลื่อนที่ไม่เป็นเส้นตรง เรียกว่าวัตถุนี้ว่า วัตถุโปร่งแสง เช่น กระดาษฝ้า กระดาษไข พลาสติกฝ้า เป็นต้น ส่วนวัตถุที่ไม่ยอมให้แสงเคลื่อนที่ผ่านไป เรียกว่า วัตถุทึบแสง เช่น ผนังคอนกรีต กระดาษแข็งหนาๆ เป็นต้น วัตถุทึบแสงจะสะท้อนแสงบางส่วนและดูดกลืนแสงบางส่วนไว้ทำให้เกิดเงาขึ้น การสะท้อนของแสง (Reflection) เมื่อแสงเดินทางมากระทบวัตถุแสงจะสะท้อนกลับไปยังตัวกลางเรียกว่าการสะท้อน การสะท้อนของแสงทำให้เกิดมุมตกกระทบคือมุมที่แสงตกกระทบทำกับเส้นตั้งฉากกับกระจก และมุมสะท้อนคือมุมที่แสงสะท้อนทำกับเส้นตั้งฉากกับกระจกกฎของการสะท้อนกล่าวว่า “เมื่อเกิดการสะท้อนแสงทุกครั้งมุมตกกระทบเท่ากับมุมสะท้อนเสมอ”



ภาพที่ 2.5 การสะท้อนของแสงบนกระจกกราบ

## 2.4 ทฤษฎีไมโครคอนโทรลเลอร์ อาร์ดูโน

ไมโครคอนโทรลเลอร์ (MCU) คือ อุปกรณ์ควบคุมขนาดเล็ก ซึ่งบรรจุความสามารถที่คล้ายคลึงกับระบบคอมพิวเตอร์ โดยในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รวมเอาซีพียู, หน่วยความจำ และพอร์ต ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักสำคัญของระบบคอมพิวเตอร์เข้าไว้ด้วยกัน โดยทำการบรรจุเข้าไว้ในตัวถังเดียวกัน โครงสร้างโดยทั่วไป ของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้น สามารถแบ่งออกมาได้เป็น 5 ส่วนใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

### 2.4.1 หน่วยประมวลผลกลาง หรือซีพียู (CPU : Central Processing Unit)

หน่วยประมวลผลกลาง หรือซีพียู เป็นสมองของคอนโทรลเลอร์ประกอบด้วยวงจรอิเล็คทรอนิกส์มากมายอยู่ภายใน ซึ่งมีแรมอยู่ด้วย มีหน้าที่ประมวลผลตามคำสั่งและรับส่งข้อมูลได้

### 2.4.2 หน่วยความจำ (Memory)

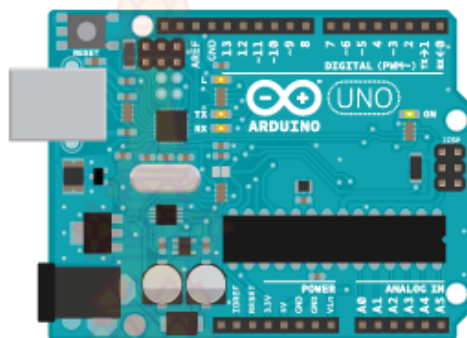
หน่วยความจำสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ หน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บโปรแกรมหลัก (Program Memory) เปรียบเสมือนฮาร์ดดิสก์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ คือข้อมูลใดๆ ที่ถูกเก็บไว้ในนี้จะไม่สูญหายไปแม้ไม่มีไฟเลี้ยง อีกส่วนหนึ่งคือ หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) ใช้เป็นเหมือนกับกระดาษทดในการคำนวณของซีพียู และเป็นที่พักข้อมูลชั่วคราวขณะทำงาน แต่หากไม่มีไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไปคล้ายกับหน่วยความจำแรม (RAM) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ทั่วไป แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์สมัยใหม่ หน่วยความจำข้อมูลจะมีทั้งที่เป็นหน่วยความจำแรม ซึ่งข้อมูลจะหายไปเมื่อไม่มีไฟเลี้ยง และเป็นอีอีพรอม (EEPROM : Erasable Electrically Read-Only Memory) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลได้แม้ไม่มีไฟเลี้ยงก็ตาม

### 2.4.3 ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก

ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก หรือพอร์ต (Port) มี 2 ลักษณะคือ พอร์ตอินพุต (Input Port) และพอร์ตส่งสัญญาณหรือพอร์ตเอาต์พุต (Output Port) ส่วนนี้จะใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ถือว่าเป็นส่วนที่สำคัญมาก ใช้ร่วมกันระหว่างพอร์ตอินพุต เพื่อรับสัญญาณ อาจจะใช้การกดสวิตช์ เพื่อนำไปประมวลผลและส่งไปพอร์ตเอาต์พุต เพื่อแสดงผลเช่น การติดสว่างของหลอดไฟ เป็นต้น

### 2.4.4 ช่องทางเดินของสัญญาณ หรือบัส (BUS)

ช่องทางการเดินทางของสัญญาณ หรือบัส คือเส้นทางการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู หน่วยความจำและพอร์ต เป็นลักษณะของสายสัญญาณ จำนวนมากอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยแบ่งเป็นบัสข้อมูล (Data Bus) , บัสแอดเดรส (Address Bus) และบัสควบคุม (Control Bus) วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา เป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากอีกส่วนหนึ่ง เนื่องจากการทำงานที่เกิดขึ้นในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดจังหวะ หากสัญญาณนาฬิกามีความถี่สูง จังหวะการทำงานก็จะสามารถทำได้ถี่ขึ้นส่งผลให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนั้น มีความเร็วในการประมวลผลสูงตามไปด้วยชนิดอาตุรโน เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดแบบสำเร็จรูป ในยุคปัจจุบัน ซึ่งถูกสร้างมาจาก Controller ตระกูล ARM ของ ATMEL ข้อดีของไมโครคอนโทรลเลอร์บอร์ดคือเรื่องของ Open Source ที่สามารถนำไป พัฒนาต่อเป็นอุปกรณ์ต่างๆ ได้และความสามารถในการเพิ่ม Boot Loader เข้าไปที่ตัว ARM จึงทำให้การ Upload Code เข้าตัวบอร์ดสามารถทำได้ง่ายขึ้น และยังมีการพัฒนา Software ที่ใช้ในการควบคุมตัวบอร์ด ของ Arduino มีลักษณะเป็นภาษา C++ ที่โปรแกรมเมอร์มีความคุ้นเคยในการใช้งาน ตัวบอร์ดสามารถนำโมดูลมาต่อเพิ่ม ซึ่งทาง Arduino เรียกว่าเป็น shield เพื่อเพิ่มความสามารถเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 2.6 Arduino Uno R3

Arduino Uno R3 คำว่า Uno เป็นภาษาอิตาลี ซึ่งแปลว่าหนึ่ง เป็นบอร์ด Arduino รุ่นแรกที่ผลิตออกมา มีขนาด ประมาณ 68.6x53.4 mm. เป็นบอร์ดมาตรฐานที่นิยมใช้งานมากที่สุด เนื่องจากเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับการเริ่มต้นเรียนรู้ Arduino และมี Shields ให้เลือกใช้งานได้มากกว่าบอร์ด Arduino รุ่นอื่นๆ ที่ออกแบบมา เฉพาะมากกว่า โดยบอร์ด Arduino Uno ได้มีการพัฒนาเรื่อยมา ตั้งแต่ R2 R3 และรุ่นย่อยที่เปลี่ยนชิปไอซี เป็นแบบ SMD เป็นบอร์ด Arduino ที่ได้รับความนิยมมากที่สุด เนื่องจากราคาไม่แพง และส่วนใหญ่โปรเจค และ Library ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นมา Support จะอ้างอิงกับบอร์ดนี้เป็นหลัก และข้อดีอีกอย่างคือกรณีที่ MCU เสียผู้ใช้งานสามารถซื้อมาเปลี่ยนเองได้ง่าย Arduino Uno R3 มี MCU ที่เป็น Package DIP ข้อมูลจำเพาะมีดังนี้

**ตารางที่ 2.2** ตารางข้อมูลจำเพาะของบอร์ด Arduino Uno R3

ชิปไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์	ATmega328
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่แนะนำ)	7 – 12 V
รองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้า (ที่จำกัด)	6 – 20 V
พอร์ต Digital I/O	14 พอร์ต (มี 6 พอร์ต PWM output)
พอร์ต Analog Input	6 พอร์ต
กระแสไฟที่จ่ายได้ในแต่ละพอร์ต	40 mA
กระแสไฟที่จ่ายได้ในพอร์ต	3.3V 50 mA
พื้นที่โปรแกรมภายใน	32 KB, 500B ใช้โดย Boot Loader
พื้นที่แรม	2 KB
พื้นที่หน่วยความจำถาวร (EEPROM)	1 KB
ความถี่คริสตัล	16 MHz

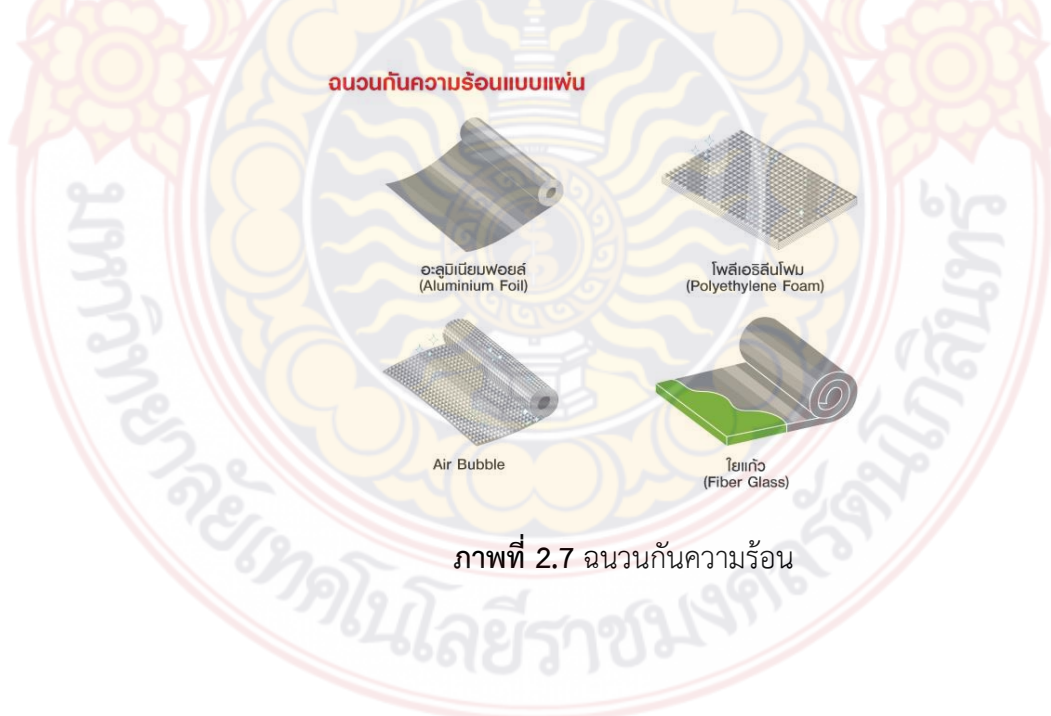
## ตารางที่ 2.2 ตารางข้อมูลจำเพาะของบอร์ด Arduino Uno R3 (ต่อ)

ขนาด	68.6 x 53.4 mm
น้ำหนัก	25 กรัม

## 2.5 ทฤษฎีฉนวนกันความร้อน

วัตถุหรือวัสดุที่มีความสามารถในการสกัดกั้นความร้อนไม่ให้ส่งผ่านจากด้านใดด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้ง่าย ฉนวนกันความร้อนที่ดีจะทำหน้าที่ด้านทานหรือป้องกันมิให้พลังงานความร้อนส่งผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้สะดวกการเลือกใช้งานฉนวนกันความร้อน พิจารณาจากประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อน (ค่า R) มีหน่วยเป็น ตารางเมตร-องศาเคลวินต่อวัตต์ (Thermal resistance – R value, m<sup>2</sup>K/W) สภาพการนำความร้อน (ค่า K) มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อเมตร-องศาเคลวิน (Thermal conductivity – K value, W/m.K)

ลักษณะของวัสดุฉนวนกันความร้อน อลูมิเนียมฟอยล์ มีความมันวาวของผิวแผ่นฟอยล์ มีคุณสมบัติในการสะท้อนความร้อน แบบโฟม ทนทานต่อกรดและด่าง น้ำหนักเบา แข็งแรง สามารถคงสภาพเดิมได้แม้จะโดนน้ำหรือความชื้น โยแก้ว มีโพรงอากาศเล็กๆ จำนวนมาก ซึ่งแทรกอยู่ระหว่างเส้นใยแก้ว ทำหน้าที่เก็บกักความร้อนไว้โยหิน จัดเป็นเส้นใยจากธรรมชาติที่ไม่มีสารประกอบของแอสเบสตอส (Asbestos) จึงปลอดภัยต่อสุขภาพ สามารถกันความร้อนและดูดซับเสียง เทียบเท่ากับฉนวนกันความร้อนใยแก้ว และสามารถทนไฟได้ดีกว่า



ภาพที่ 2.7 ฉนวนกันความร้อน

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการดำเนินการ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการจัดทำงานวิจัยการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเทคนิคการสะท้อนแสงโดยจะประกอบไปด้วย ขั้นตอนการจัดทำวิจัย ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

- 3.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัย
- 3.2 จัดทำชุดโครงสร้างระบบจำลองความเข้มแสง และโครงสร้างระบบสะท้อนแสง
- 3.3 จัดทำชุดโครงสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า
- 3.4 จัดทำชุดโครงสร้างระบบวัดอุณหภูมิ และติดตั้งระบบวัดความเข้มแสง

#### 3.1 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัย

การรวบรวมข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ จะค้นคว้าจากงานวิจัยและวารสารที่ได้ทำการตีพิมพ์ในงานประชุมวิชาการ หรือวารสารของมหาวิทยาลัยต่างๆ ดังนี้

1. ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์ ได้วิจัยระบบระบายความร้อนด้วยอากาศในเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้า โดยมีการติดตั้งช่องระบายอากาศบริเวณใต้แผง และพัดลมดูดอากาศ เพื่อดูดความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลสรุปคือสามารถลดอุณหภูมิลงได้ จาก  $60.8^{\circ}\text{C}$  เหลือ  $51.2^{\circ}\text{C}$  และเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดจาก  $183.4\text{W}$  เป็น  $204.4\text{W}$  แต่ยังไม่พบว่ามีวิธีการนี้ยังไม่มีมูลค่าในการลงทุน

2. ชันษา ผาสุกศาสตร์, สกลพัฒน์ ชมวงษ์ และศักดิ์นรินทร์ จันทโยธิน ได้วิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นระบายความร้อนแบบมีครีป ซึ่งมีการติดตั้งครีบอลูมิเนียมบริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อบังคับทิศทางการระบายความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลสรุปคือสามารถลดอุณหภูมิลงได้  $10-11^{\circ}\text{C}$  และมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นประมาณ  $6.32\%$  แต่ยังไม่พบว่ามีวิธีการนี้ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น และมีต้นทุนสูง

3. ประภาพิทธิ์ บุญหล้า และนุชิตา สุวแพทย์ ได้วิจัยการระบายความร้อนด้วยน้ำที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอร์ฟัส โดยมีการพ่นน้ำลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดอุณหภูมิของแผง มีการปั้มน้ำขึ้นบนถังเก็บน้ำและมีวาล์วเปิด-ปิด เพื่อควบคุมปริมาณน้ำให้ไหลผ่านผิวด้านบนของแผงลงมาด้านล่าง และดูดกลับขึ้นไปใหม่เป็นแบบวงปิด ผลสรุปคือ

สามารถลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 28.66-36.59% และแผงมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 7.74-10.05% แต่ยังคงพบว่าวิธีการนี้มีการลงทุนสูง

4. รพีพรรณ คุ่มปรารงค์, สมชาย มณีวรรณ และฉันทนา พันธุ์เหล็ก ได้วิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพ เซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สารเปลี่ยนสถานะเป็นตัวดูดซับความร้อนใต้แผงเซลล์ ซึ่งมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านจำลอง ภายใต้เซลล์อาทิตย์จะมีสารเปลี่ยนสถานะในรูปแบบต่างๆ คือ แบบทั่วไป, แบบตัววี และแบบตัวยู และทำการปล่อยสารเปลี่ยนสถานะลงบนตัวรูปแบบทั้งสาม ผลสรุปคือ ประสิทธิภาพแบบทั่วไปเพิ่ม 3.28% แบบตัววีเพิ่มขึ้น 4.79% และแบบตัวยูเพิ่มขึ้น 4.06% แต่ยังคงพบว่าวิธีการนี้มีการลงทุนสูง

5. จุไรรัตน์ อรรถนิตย, อลงกรณ์ พรหมที, ผดุงเกียรติ กุลสุวรรณ และภาณุพงษ์ กองธรรม ได้วิจัยการเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาโดยใช้ระบบกัลกน้ำ ซึ่งใช้หลักการกัลกน้ำมาปล่อยน้ำลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมีถังเก็บน้ำอยู่ระดับ 20cm. จากระดับอ้างอิง มีไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมอุณหภูมิและเปิด-ปิด โซลินอยด์วาล์ว ผลสรุปคือสามารถอุณหภูมิลงได้ จาก 66°C เหลือ 40°C กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 14.7% แต่ยังคงพบว่าวิธีการนี้มีการลงทุนสูง

6. มนตรี ชาวสุข และธณัฐยศ สมใจ ได้วิจัยการศึกษาผลของมุมกระจกสะท้อนต่อประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเป็นการนำกระจกเงาที่มีขนาดใกล้เคียงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งต่อเติมด้านข้างเพื่อเพิ่มแสงให้สะท้อนลงบนแผงโดยมีมุมที่ 50, 55, 61, 67 และ 75 องศา ตามลำดับ ผลสรุปคือ มุมที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 61 องศา และประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 22.05%

## 3.2 จัดทำชุดโครงสร้างระบบจำลองความเข้มแสง และโครงสร้างระบบสะท้อนแสง

### 3.2.1 จัดทำชุดโครงสร้างระบบจำลองความเข้มแสง

การจัดทำชุดโครงสร้างระบบจำลองความเข้มแสงจะใช้โครงสร้างเป็นหลักฉาก ขนาด 1.5 นิ้ว มาต่อเป็นโครงสร้างขนาด 3 x 3 x 3 เมตร และมีการติดตั้งสปอร์ตไลท์ ขนาด 1,500 วัตต์ จำนวน 9 โคม โดยมีชุดควบคุมความสว่างของแสงแต่ละหลอดแยกกันอิสระ โดยใช้ไฟฟ้า 3 เฟส เพื่อให้เฟสสมดุลดังภาพที่ 3.1 และ 3.2



ภาพที่ 3.1 โครงสร้างระบบจำลองความเข้มแสง



ภาพที่ 3.2 ชุดควบคุมความสว่างของแสง

จากการทดสอบระบบแสงสว่างเบื้องต้นระยะที่เหมาะสมในการสะท้อนแสงอยู่ที่ 2 เมตร หากอยู่ใกล้กว่า 2 เมตร แสงจะสะท้อนได้ไม่เต็มแผง แต่หากไกลกว่า 2 เมตร ความเข้มแสงจะลดลงมาก



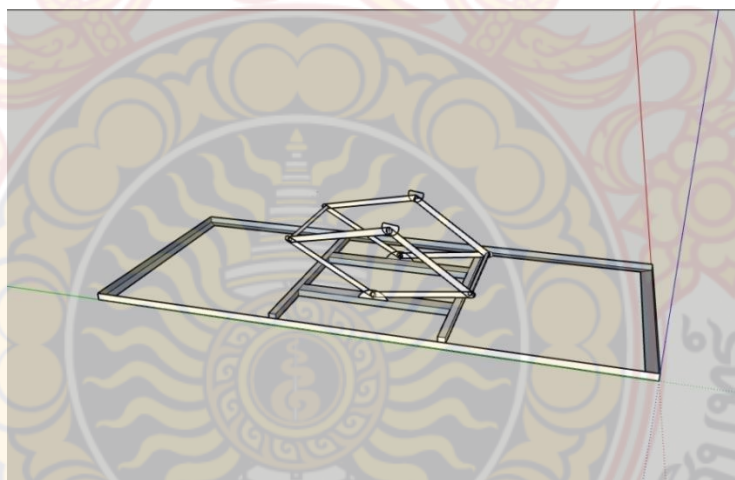
### 3.2.2 โครงสร้างระบบสะท้อนแสง

การออกแบบระบบโครงสร้างของชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้เทคนิคการสะท้อนแสง โดยใช้โปรแกรม Sketch UP 2013 ในการเขียนแบบ



ภาพที่ 3.3 โปรแกรม Sketch UP 2013

### 3.3.2 แบบโครงสร้างของชุดผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้การสะท้อนแสง

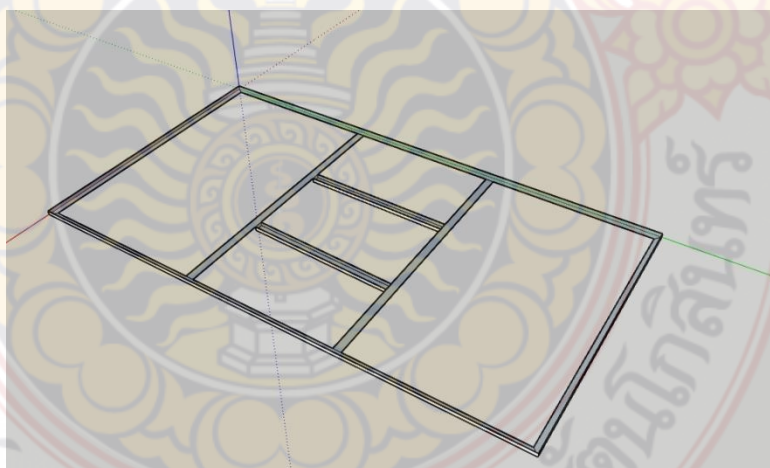


ภาพที่ 3.4 ออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม sketch Up 2013 ชุดสะท้อนแสงส่วนฐาน



ภาพที่ 3.5 ชุดป้องกันศากระจก

การประกอบโครงสร้างต้องใช้ เหล็กแผ่น ขนาดความหนา 3 มิลลิเมตร ความกว้าง 4 เซนติเมตรตัดเป็น 8 ชิ้น ด้านละ 4 ชิ้น แต่ละชิ้นยาว 78 เซนติเมตร ใช้เป็นตัวค้ำระจก เหล็กเกลียว เบอร์ 17 ขนาดความยาว 78 เซนติเมตร โดยประกอบเข้ากับแกนอลูมิเนียมตัน ชนิดสี่เหลี่ยม ขนาดความหนา 2 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร 2 ท่อน เพื่อใช้สำหรับป้องกันศากระจก โดยรวมแล้ว ใช้หลักการเดียวกับแม่แรงยกวัตถุ



ภาพที่ 3.6 ออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม sketch Up 2013 ชุดสะท้อนแสงส่วนบน

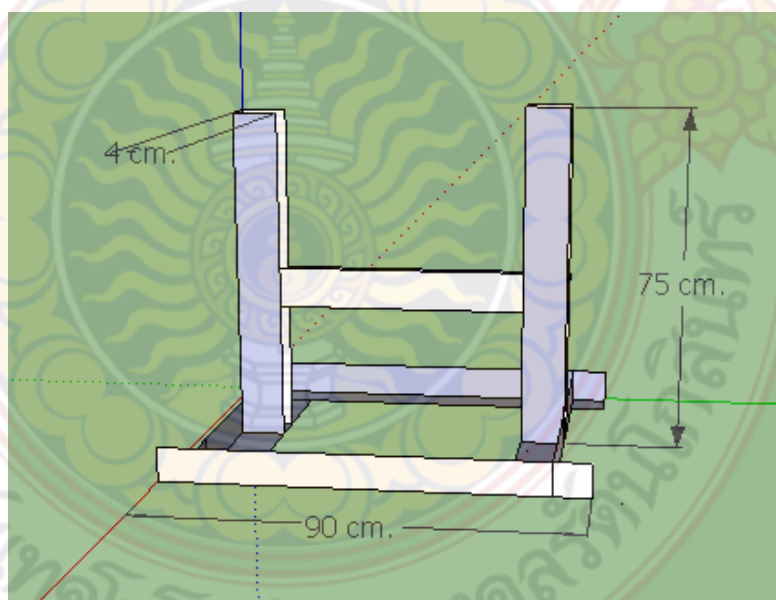


ภาพที่ 3.7 แผงกระจกสะท้อนแสง

การประกอบโครงสร้างต้องใช้ อลูมิเนียมฉาก มีขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร ความกว้าง 2.5 เซนติเมตร โดยโครงสร้างใช้อลูมิเนียมฉากประกอบเป็นฐานวางกระจก มีขนาดความกว้าง 75 x 140 เซนติเมตร เป็นอุปกรณ์สำหรับวางกระจกเพื่อรับแสง และสะท้อนไปยังเซลล์แสงอาทิตย์

### 3.3 จัดทำชุดโครงสร้างระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า

#### 3.3.1 แบบโครงสร้างของชุดติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์



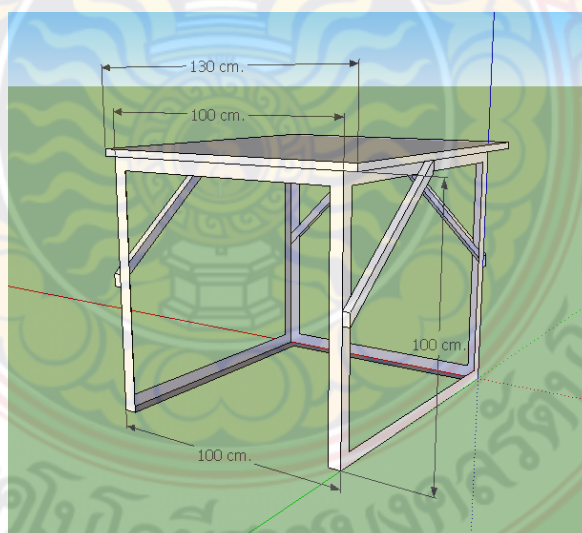
ภาพที่ 3.8 ออกแบบชิ้นงานด้วยโปรแกรม sketch Up 2013 ชุดติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 3.9 ชุดติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การประกอบโครงสร้างต้องใช้ เหล็กทำชั้น มีขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร ความกว้าง 3.5 เซนติเมตร โดยใช้เหล็กทำชั้นประกบเข้าด้วยกันเพื่อเป็นแบบเหล็กกล่องซี เป็นตัวล็อกเซลล์แสงอาทิตย์ โดยตัวยึดเซลล์แสงอาทิตย์มีความสูง 75 เซนติเมตร โดยฐานชุดติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์มีความกว้าง 90 เซนติเมตร เป็นอุปกรณ์สำหรับยึดเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรับแสงที่สะท้อนมาจากชุดสะท้อนแสงอาทิตย์

### 3.3.2 แบบโครงสร้างของชุดป้องกันรังสีอาทิตย์



ภาพที่ 3.10 ออกแบบขึ้นงานด้วยโปรแกรม sketch Up 2013 ชุดป้องกันรังสีอาทิตย์

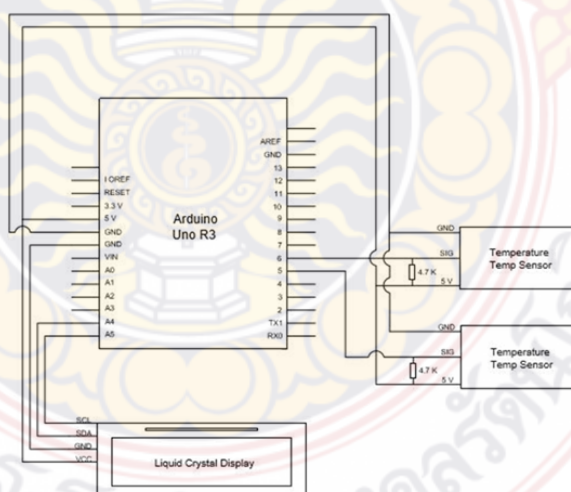


ภาพที่ 3.11 ชุดป้องกันรังสีอาทิตย์

การประกอบโครงสร้างต้องใช้ เหล็กทำชั้น มีขนาดความหนา 1 มิลลิเมตร ความกว้าง 3.5 เซนติเมตร โดยโครงสร้างมีความสูง 1 เมตร ความกว้าง 1 เมตร และฉนวนกันความร้อน 2 แผ่น มีขนาดความกว้าง 100 เซนติเมตร ความยาว 100 เซนติเมตร ประกบกันเป็นตัวป้องกันแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ผ่านการสะท้อนแสง

### 3.4 จัดทำชุดโครงสร้างระบบวัดอุณหภูมิ และติดตั้งระบบวัดความเข้มแสง

#### 3.4.1 ออกแบบชุดวัดอุณหภูมิ



ภาพที่ 3.12 วงจรที่ใช้ในการวัดและแสดงผลค่าอุณหภูมิ

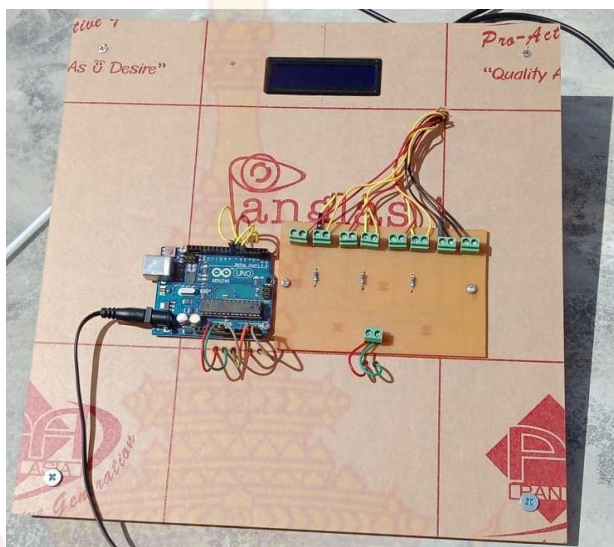
### 3.4.2 เขียนโปรแกรมชุดวัดอุณหภูมิ

```

#include<Wire.h>
#include<LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 5 //ตัวที่1 I/O 5
#define ONE_WIRE_BUS1 6 //ตัวที่2 I/O 6
#define ONE_WIRE_BUS2 7 //ตัวที่3 I/O 7
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); //ตัวที่1
OneWire oneWire1(ONE_WIRE_BUS1); //ตัวที่2
OneWire oneWire2(ONE_WIRE_BUS2); //ตัวที่3
DallasTemperature sensors(&oneWire);//ตัวที่1
DallasTemperature sensors1(&oneWire1);//ตัวที่2
DallasTemperature sensors2(&oneWire2);//ตัวที่3
float Celcius=0;//ตัวที่1
float Celcius1=1;//ตัวที่2
float Celcius2=2;//ตัวที่3
void setup(void)
{
  // start serial port
  Serial.begin(9600);
  Serial.println();
  Wire.begin();
  lcd.begin();
}
void loop(void)
{
  sensors.requestTemperatures();
  Celcius=sensors.getTempCByIndex(0);

```

```
sensors1.requestTemperatures();
Celcius1=sensors1.getTempCByIndex(1);
sensors2.requestTemperatures();
Celcius2=sensors2.getTempCByIndex(2);
delay(1000);
//ตัวที่1
Serial.println(" C ");
Serial.println(Celcius);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("A=");
lcd.print(Celcius);
lcd.setCursor(3,0);
//ตัวที่2
Serial.println(" C1 ");
Serial.println(Celcius1);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("B=");
lcd.print(Celcius1);
lcd.setCursor(3,1);
//ตัวที่3
Serial.println(" C2 ");
Serial.println(Celcius2);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print("C=");
lcd.print(Celcius2);
lcd.setCursor(10,1);
}
```



ภาพที่ 3.13 ชุดประมวลผลและแสดงผล

ชุดวัดอุณหภูมิจะแสดงผลอุณหภูมิทั้งหมด 3 ค่า โดยจะทำการวัดอุณหภูมิที่กระจกสะท้อนแสงและเซลล์แสงอาทิตย์ โดยจะแสดงผลค่าอุณหภูมิผ่านทางจอแอลซีดี

### 3.4.3 การต่อวงจร

3.4.3.1 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิโดยกำหนดขา Analog เชื่อมต่อกับพอร์ต I/O ขา 5, 6 และ 7 แล้วเชื่อมต่อ VCC กับพอร์ต 5V และ GND กับ GND

3.4.3.2 จอแสดงผลLCD 16x2+I2C โดยใช้ขา SDA, SCL เชื่อมต่อเข้ากับพอร์ต I/O ขา A4 และขา A5 ตามลำดับ และเชื่อมต่อ VCC กับพอร์ต 5V และ GND กับ GND



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

บทความนี้เป็นนำเสนอผลการทดสอบวัดแรงดันไฟฟ้า ค่าความเข้มแสง อุณหภูมิที่ผลิตได้จากการสะท้อนแสง และเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า ความเข้มแสง อุณหภูมิ ที่ผลิตได้จากการรับแสงอาทิตย์โดยตรง ทดสอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ และโพลีคริสตัลไลน์ โดยมีระยะห่างระหว่างกระจก กับเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 2 เมตร

#### 4.1 เครื่องมือวัดและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

1. มัลติมิเตอร์ดิจิตอล
2. ชุดวัดอุณหภูมิ
3. เครื่องวัดความเข้มแสง
4. ชุดป้องกันแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้มาจากการสะท้อน
5. ชุดสะท้อนแสงอาทิตย์
6. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ และโพลีคริสตัลไลน์
7. ชุดติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

#### 4.2 ผลการทดลองสะท้อนแสงฉายเข้าผนังที่ร่ม

การทดลองการสะท้อนแสงจากกระจก ไปที่ผนังที่ร่ม เพื่อวัดค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบกระจก วัดค่าความเข้มแสงที่ผนังโดยแสงมาจากการสะท้อนจากกระจก วัดอุณหภูมิที่กระจกสะท้อนแสง วัดอุณหภูมิที่ผนังโดยแสงมาจากการสะท้อนจากกระจก เพื่อดูความแตกต่างของความเข้มแสงอุณหภูมิ ที่มาจากแสงอาทิตย์โดยตรง และมาจากกระจกสะท้อนแสง



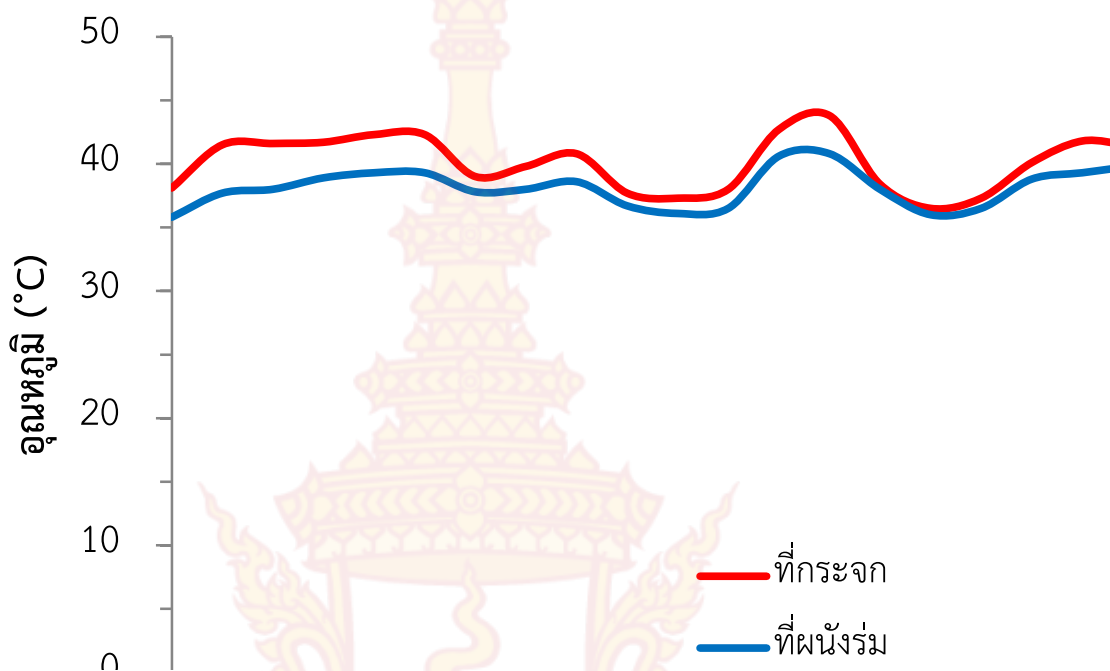
ภาพที่ 4.1 ทดลองโดยการสะท้อนแสงไปที่ผนังเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิ ความเข้มแสง ระหว่างการสะท้อนแสง และการรับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์

การทดลองเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 11.00 นาฬิกา ถึง เวลา 13.00 นาฬิกา ทำการติดตั้งชุดสะท้อนแสงห่างจากผนังเป็นระยะ 2 เมตร ติดตั้งชุดวัดอุณหภูมิ ชุดวัดความเข้มแสง ที่ผนัง ชุดสะท้อนแสง และบันทึกค่าอุณหภูมิ ความเข้มแสง



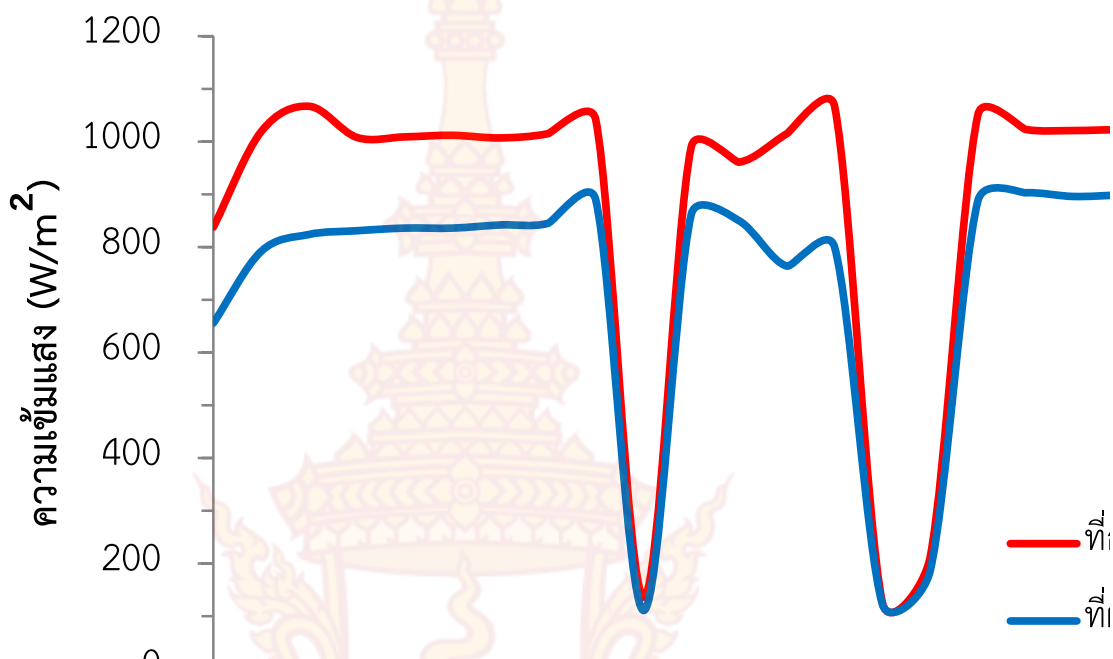
**ตารางที่ 4.1** ผลการวัดค่าอุณหภูมิ และความเข้มแสง ทดลองโดยการสะท้อนแสงไปที่ผนัง

เวลา (นาท)	อุณหภูมิ ที่กระจก (°C)	อุณหภูมิ ที่ผนัง (°C)	ความเข้มแสง ที่กระจก $W/m^2$	ความเข้มแสง ที่ผนัง $W/m^2$
0	38.1	35.8	838	656
5	41.5	37.7	1019	792
10	41.6	38.0	1067	824
15	41.7	38.9	1008	831
20	42.3	39.3	1009	836
25	42.3	39.3	1012	836
30	39.0	37.8	1007	842
35	39.8	38.0	1015	845
40	40.8	38.6	1042	890
45	37.7	36.7	136	111
50	37.3	36.1	990	862
55	38.0	36.5	961	850
60	42.7	40.6	1015	764
65	43.8	40.8	1067	800
70	38.4	38.0	126	123
75	36.5	36.0	212	186
80	37.3	36.5	1051	888
85	40.1	38.8	1023	903
90	41.8	39.3	1021	896
95	41.5	39.8	1022	899
100	42.0	40.0	1014	903
105	41.8	40.2	1003	867
110	40.9	40.2	164	157
115	37.4	36.9	555	510
120	38.2	37.3	864	701



ภาพที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบเวลากับอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่กระจกจะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 40.1 °C อุณหภูมิพื้นที่ผนังร่วมมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 38.3 °C จึงเห็นได้ว่าอุณหภูมิทางด้านผนังที่รับแสงจากการสะท้อนมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าพื้นที่รับแสงโดยตรง



ภาพที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบเวลากับความเข้มแสง

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของกระจกจะอยู่ที่  $850 \text{ W/m}^2$  และค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของผนังร่มจะอยู่ที่  $711 \text{ W/m}^2$  จะเห็นได้ว่าแสงที่มาจาก การสะท้อนแสงมีค่าความเข้มแสงที่น้อยกว่าการรับแสงโดยตรงอยู่ที่  $139 \text{ W/m}^2$

#### 4.3 การทดลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์

การทดลองโดยนำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์จำนวน 2 แผง แผงที่หนึ่งมาติดตั้งห่างจากกระจกสะท้อนระยะ 2 เมตร แผงที่สองนำมาติดตั้งด้านข้างใกล้ๆ กัน หันด้านหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ไปทางทิศใต้ ทำมุมประมาณ  $18^\circ$  โดยชุดกระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ทำการปรับองศาตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่รับแสงจากการสะท้อนได้รับแสงสูงสุด นำชุดป้องกันแสงอาทิตย์ ที่ไม่ได้มาจากการสะท้อนแสงไปคลุมจุดที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แผงที่หนึ่งรับแสงจากการสะท้อนเพียงอย่างเดียว บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 แผง บันทึกค่าความเข้มแสง และค่าอุณหภูมิ โดยทดลองและบันทึกค่าทั้งหมด 3 ครั้ง

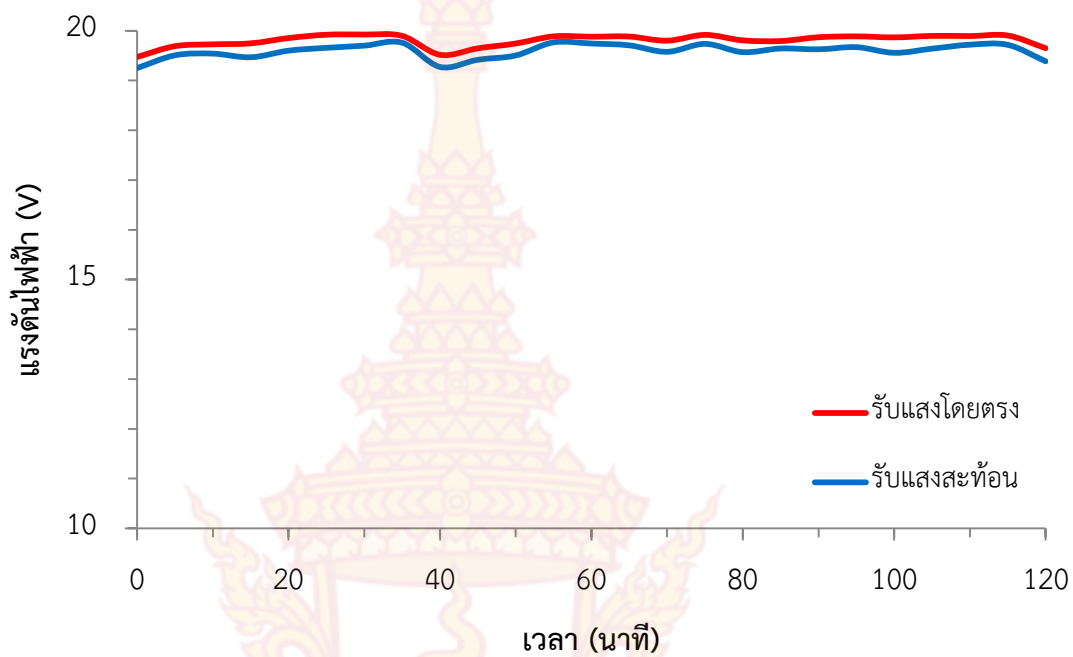


ภาพที่ 4.4 การทดลองการสะท้อนแสงที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์

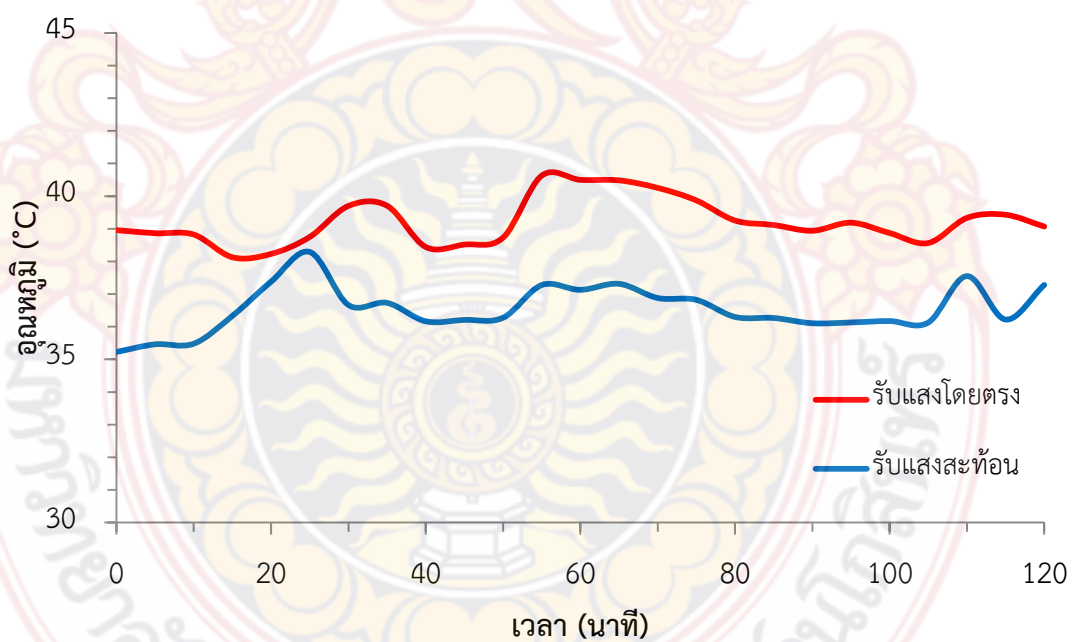
การทดลองใช้เวลา 2 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที เวลา 11.00 นาฬิกาถึงเวลา 13.00 นาฬิกา จำนวน 3 วัน ทำการติดตั้งชุดสะท้อนแสงห่างจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะ 2 เมตร โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะมีชุดป้องกันแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้มาจากการสะท้อน ติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ วัดความเข้มแสง วัดแรงดันไฟฟ้าบนที่ค่าแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสง และนำค่าที่ได้ทั้ง 3 วันมาเฉลี่ย

**ตารางที่ 4.2** การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์

เวลา (นาที)	รับแสงโดยตรง			รับแสงสะท้อน		
	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้ม แสง $W / m^2$	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้ม แสง $W / m^2$
0	19.5	39.0	560	19.3	35.2	355
5	19.7	38.9	670	19.5	35.5	461
10	19.7	38.8	726	19.5	35.5	487
15	19.7	38.1	731	19.5	36.3	481
20	19.9	38.2	954	19.6	37.4	694
25	19.9	38.8	964	19.7	38.3	707
30	19.9	39.7	954	19.7	36.7	736
35	19.9	39.7	942	19.8	36.7	737
40	19.5	38.4	557	19.3	36.2	398
45	19.6	38.5	701	19.4	36.2	527
50	19.7	38.7	954	19.5	36.3	748
55	19.9	40.6	949	19.8	37.3	716
60	19.9	40.5	970	19.7	37.1	728
65	19.9	40.5	957	19.7	37.3	714
70	19.8	40.3	891	19.6	36.9	659
75	19.9	39.9	945	19.7	36.8	714
80	19.8	39.3	931	19.6	36.3	697
85	19.8	39.1	841	19.6	36.3	626
90	19.9	38.9	901	19.6	36.1	702
95	19.9	39.2	909	19.7	36.1	707
100	19.9	38.9	890	19.6	36.2	693
105	19.9	38.6	912	19.6	36.1	726
110	19.9	39.3	915	19.7	37.6	724
115	19.9	39.4	901	19.7	36.2	689
120	19.7	39.1	774	19.4	37.3	563

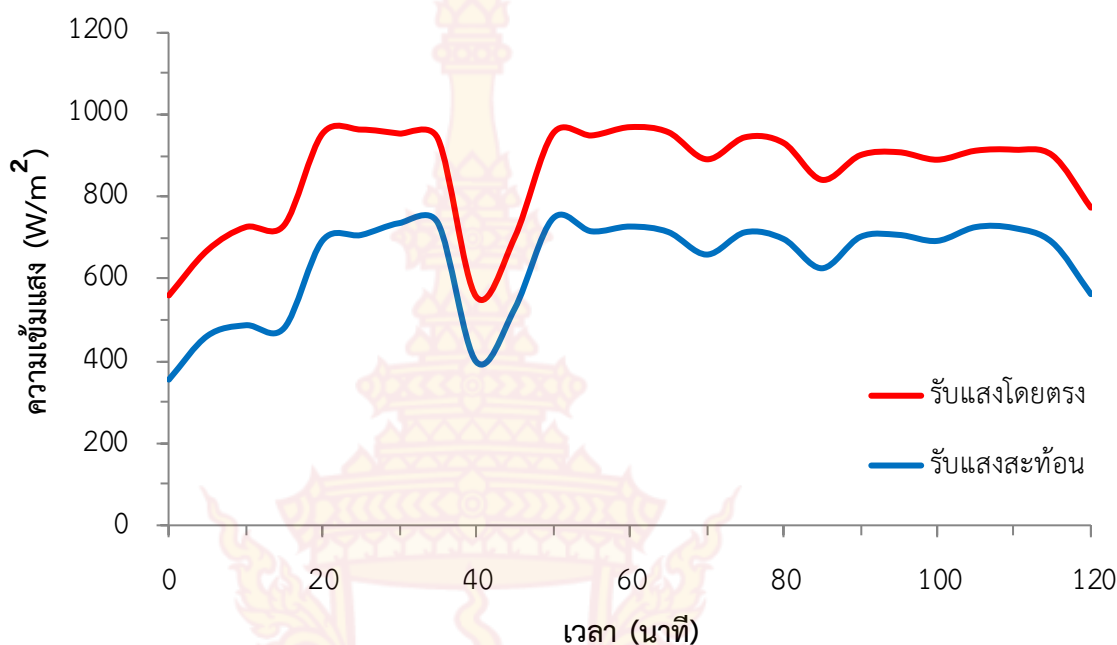


ภาพที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบเวลากับแรงดันไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์



ภาพที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบเวลากับอุณหภูมิ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์





ภาพที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบเวลากับความเข้มแสง ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์

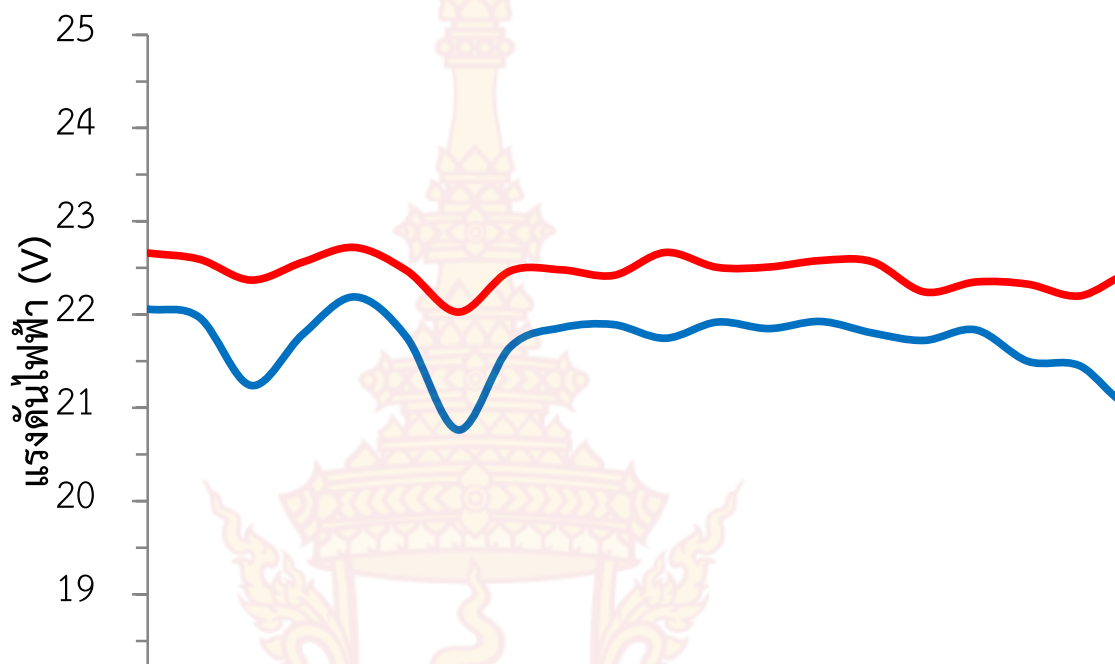
#### 4.4 การทดลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์

การทดลองโดยนำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์จำนวน 2 แผง แผงที่หนึ่งมาติดตั้งห่างจากกระจกสะท้อนระยะ 2 เมตร แผงที่สองนำมาติดตั้งด้านข้างใกล้ๆ กัน หันด้านหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ไปทางทิศใต้ ทำมุมประมาณ  $18^\circ$  โดยชุดกระจกสะท้อนแสงอาทิตย์ทำการปรับองศาตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่รับแสงจากการสะท้อนได้รับแสงสูงสุด นำชุดป้องกันแสงอาทิตย์ ที่ไม่ได้มาจากการสะท้อนแสงไปคลุมจุดที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อทำให้เซลล์แสงอาทิตย์แผงที่หนึ่งรับแสงจากการสะท้อนเพียงอย่างเดียว บันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 แผง บันทึกค่าความเข้มแสง และค่าอุณหภูมิ โดยทดลองและบันทึกค่าทั้งหมด 3 ครั้ง

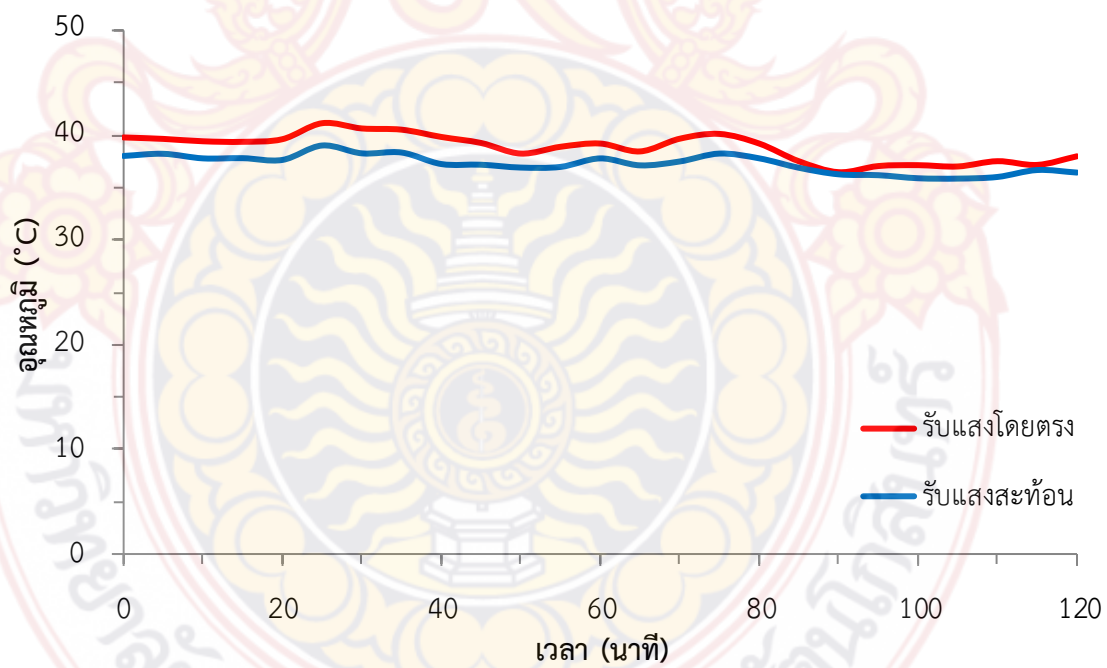
การทดลองใช้เวลา 2 ชั่วโมง ทำการบันทึกค่าทุกๆ 5 นาที เวลา 11.00 นาฬิกาถึงเวลา 13.00 นาฬิกา จำนวน 3 วัน ทำการติดตั้งชุดสะท้อนแสงห่างจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะ 2 เมตร โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะมีชุดป้องกันแสงอาทิตย์ที่ไม่ได้มาจากการสะท้อน ติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ วัดความเข้มแสง วัดแรงดันไฟฟ้าบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสง และนำค่าที่ได้ทั้ง 3 วันมาเฉลี่ย

**ตารางที่ 4.3** การวัดค่าแรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ และความเข้มแสง เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์

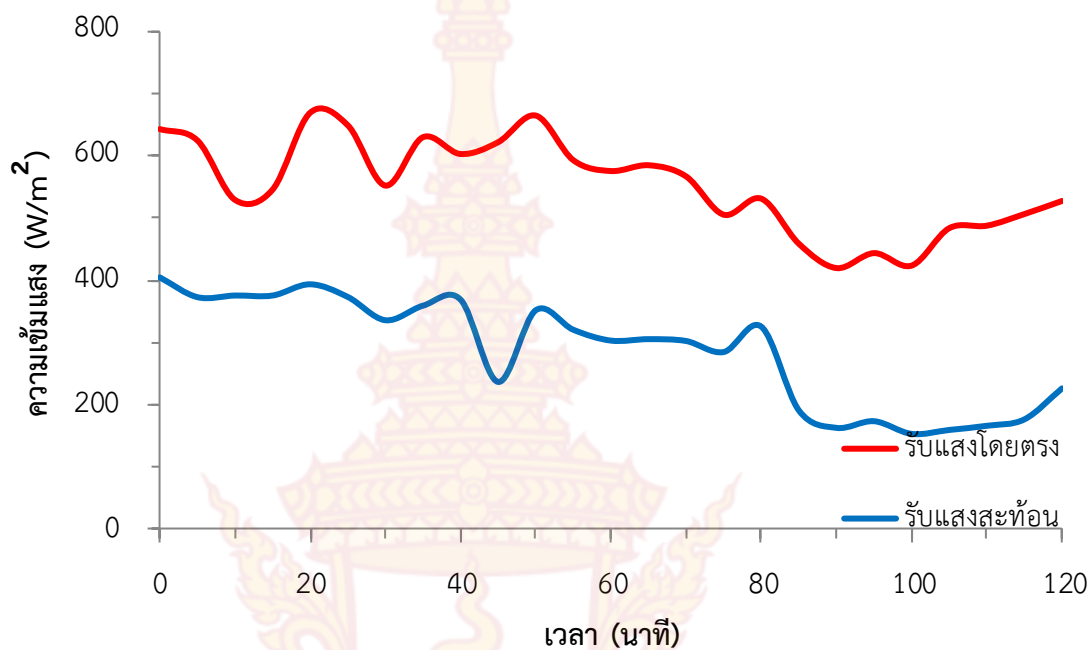
เวลา (นาที)	รับแสงโดยตรง			รับแสงสะท้อน		
	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้ม แสง $W / m^2$	แรงดัน ไฟฟ้า (V)	อุณหภูมิ (°C)	ความเข้ม แสง $W / m^2$
0	22.7	39.8	642	22.1	38.0	404
5	22.6	39.6	624	22.0	38.2	373
10	22.4	39.4	529	21.2	37.8	375
15	22.6	39.4	545	21.8	37.8	375
20	22.7	39.6	669	22.2	37.6	393
25	22.5	41.1	648	21.8	39.0	373
30	22.0	40.6	552	20.8	38.3	336
35	22.5	40.5	629	21.7	38.3	359
40	22.5	39.8	602	21.9	37.2	369
45	22.4	39.2	621	21.9	37.2	237
50	22.7	38.2	664	21.7	36.9	352
55	22.5	38.9	592	21.9	37.0	320
60	22.5	39.2	575	21.9	37.8	303
65	22.6	38.4	584	21.9	37.1	305
70	22.6	39.6	566	21.8	37.5	302
75	22.2	40.1	505	21.7	38.2	285
80	22.4	39.2	531	21.8	37.8	325
85	22.3	37.5	458	21.5	36.9	191
90	22.2	36.5	419	21.5	36.3	163
95	22.4	37.0	443	21.0	36.2	174
100	22.4	37.1	423	21.4	35.9	153
105	22.6	37.0	483	21.6	35.8	160
110	22.7	37.5	487	21.6	36.0	166
115	22.5	37.2	506	21.8	36.7	177
120	22.7	38.0	527	22.0	36.4	226



ภาพที่ 4.8 กราฟเปรียบเทียบเวลากับแรงดันไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์



ภาพที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบเวลากับอุณหภูมิ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์



ภาพที่ 4.10 กราฟเปรียบเทียบเวลากับความเข้มแสง ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์



## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

#### 1. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยฉบับนี้นำเสนอการลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเทคนิคการสะท้อนแสง เพื่อลดอุณหภูมิให้เซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้น อายุการใช้งานนานขึ้นเนื่องจากไม่ต้องนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งกลางแจ้ง โดยเซลล์แสงอาทิตย์จะติดตั้งในพื้นที่ร่มที่มีฉนวนกันความร้อน และรับแสงอาทิตย์จากการสะท้อนของกระจกเงา

ผลการทดสอบพบว่าความเข้มแสงที่สะท้อนจากกระจกในระยะ 2 เมตร แสงสะท้อนจากกระจกจะมีค่าความเข้มแสงน้อยกว่าพื้นที่รับแสงโดยตรงเฉลี่ย  $136 \text{ W/m}^2$  สามารถลดอุณหภูมิให้เซลล์แสงอาทิตย์ได้ประมาณ  $2 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ในส่วนของแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์กับโพลีคริสตัลไลน์ ที่รับแสงโดยตรงกับที่รับแสงจากการสะท้อนมีความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าประมาณ  $0.2\text{V}$  และ  $0.8\text{V}$  ตามลำดับ ในช่วงความเข้มแสงน้อยหรือมีเมฆมากแสงจากการสะท้อนจะมีความเข้มแสงน้อยกว่าพื้นที่รับแสงโดยตรงประมาณ  $216 \text{ W/m}^2$  และ  $265 \text{ W/m}^2$  ตามลำดับ อุณหภูมิพื้นที่รับแสงโดยตรงกับอุณหภูมิพื้นที่รับการสะท้อนแสง มีอุณหภูมิแตกต่างกันประมาณ  $2.7 \text{ }^{\circ}\text{C}$  และ  $1.6 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ตามลำดับ ในส่วนของการลดอุณหภูมินั้น พื้นที่รับการสะท้อนแสงจะสามารถลดอุณหภูมิได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศของแต่ละวันด้วย

#### 2. ปัญหาและอุปสรรค

2.1 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงแรก มีไอความร้อนจากแสงอาทิตย์ จึงทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูง ไม่ได้แตกต่างกันจากพื้นที่รับแสงโดยตรง ซึ่งต่อมาได้มีการติดแผ่นฉนวนกันความร้อนที่ด้านต่างๆ เพื่อป้องกันไอความร้อน ผลปรากฏว่าสามารถลดอุณหภูมิที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงได้มากขึ้น

2.2 การจัดสร้างชุดสะท้อนแสงอาทิตย์ ที่มีขนาดใหญ่ทำให้เกิดความผิดพลาดในเรื่องความแข็งแรงของโครงสร้าง และที่วางกระจกไม่แข็งแรง จึงได้เพิ่มความแข็งแรงโดยใช้วัสดุโครงสร้างที่มีความหนามากขึ้น

### 3. ข้อเสนอแนะ

3.1 อาจมีการเขียนโปรแกรม สำหรับบันทึกค่าอุณหภูมิ ความเข้มแสง แรงดันไฟฟ้า แบบเรียลไทม์ อัตโนมัติ และสามารถตั้งค่าให้บันทึกค่าในช่วงเวลาที่ต้องการได้

3.2 ใช้กระจกป้องกันความร้อนมาติดตั้งหน้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่รับแสงจากการสะท้อนแสงเพื่อให้สามารถลดอุณหภูมิได้มากขึ้น



## บรรณานุกรม

- ศาสตราจารย์ ดร.ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, ศึกษาการลดอุณหภูมิให้เซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบระบายความร้อนด้วยอากาศ, โครงการวิจัย สวทช.ภาคเหนือ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, กรกฎาคม 2559
- ทรงศักดิ์ พงษ์หิรัญ, สิริ สิรินิลกุล, โกวิท ผดุงกิจ, ปริญา เจาะล้ำลึก, ซีรพงศ์ บุญล้อม, การศึกษาผลของอุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีผลต่อกำลังการผลิตไฟฟ้า, บทความวิจัยภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- นิคม ผึ้งคำ, ภราดร รักดีวานิช, ยุทธนา ภูริระวินิชย์กุล, การศึกษาการเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบหล่อเย็น, บทความวิจัย ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- ชันษา ผาสุกศาสตร์, สกลพัฒน์ ชมวงษ์ และศักดิ์นรินทร์ จันทโยธี, การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แผ่นระบายความร้อนแบบมีครีป, วารสารมหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ประภาพิทย บัญหุลา และนุชิตา สุวแพทย์, การระบายความร้อนด้วยน้ำที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแผงโฟโตโวลตาอิกชนิดผลึกเดี่ยวและชนิดอะมอร์ฟัส, วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 9.
- รพีพรรณ คุ่มปรางค์, สมชาย มณีวรรณ และฉันทนา พันธุ์เหล็ก, การเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้สารเปลี่ยนสถานะเป็นตัวดูดซับความร้อนใต้แผงเซลล์, การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย (E-nett) ครั้งที่ 12
- จุไรรัตน์ อรรคนิตย์, อลงกรณ์ พรหมที, ผดุงเกียรติ กุลสุวรรณ และภาณุพงษ์ กองธรรม, การเพิ่มประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์หลังคาโดยใช้ระบบกัลกาน้ำ, วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.
- มนตรี ชาวสุข และธณัฐยศ สมใจ, การศึกษาผลของมุมกระจกสะท้อนต่อประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์, การดำเนินการด้านธุรกิจพลังงานทดแทน ประจำปี 2015 รุ่นที่ 1







ภาคผนวก ก  
โปรแกรม

### โปรแกรมชุดวัดอุณหภูมิ

```

#include<Wire.h>
#include<LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define ONE_WIRE_BUS 5 //ตัวที่1 I/O 5
#define ONE_WIRE_BUS1 6 //ตัวที่2 I/O 6
#define ONE_WIRE_BUS2 7 //ตัวที่3 I/O 7
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); //ตัวที่1
OneWire oneWire1(ONE_WIRE_BUS1); //ตัวที่2
OneWire oneWire2(ONE_WIRE_BUS2); //ตัวที่3
DallasTemperature sensors(&oneWire);//ตัวที่1
DallasTemperature sensors1(&oneWire1);//ตัวที่2
DallasTemperature sensors2(&oneWire2);//ตัวที่3
float Celcius=0;//ตัวที่1
float Celcius1=1;//ตัวที่2
float Celcius2=2;//ตัวที่3
void setup(void)
{
  // start serial port
  Serial.begin(9600);
  Serial.println();
  Wire.begin();
  lcd.begin();
}
void loop(void)
{
  sensors.requestTemperatures();
  Celcius=sensors.getTempCByIndex(0);

```

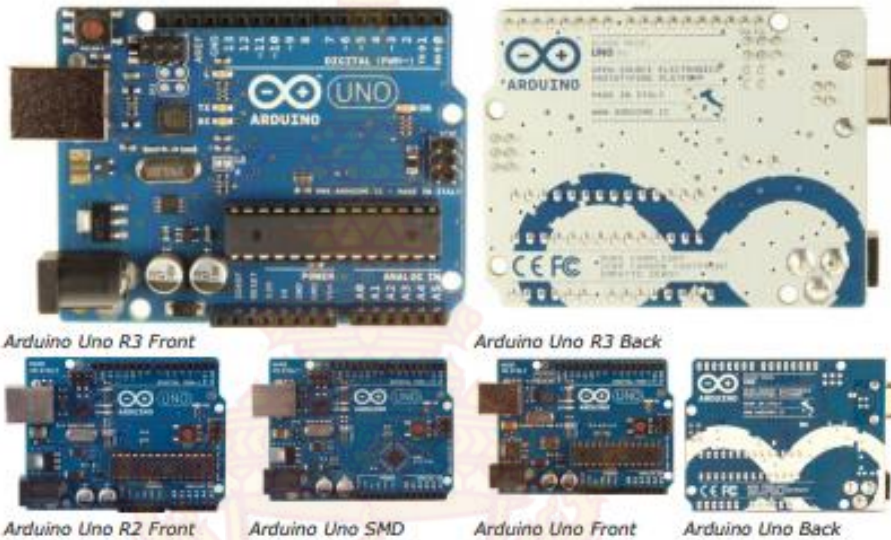
```
sensors1.requestTemperatures();
Celcius1=sensors1.getTempCByIndex(1);
sensors2.requestTemperatures();
Celcius2=sensors2.getTempCByIndex(2);
delay(1000);
//ตัวที่1
Serial.println(" C ");
Serial.println(Celcius);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("A=");
lcd.print(Celcius);
lcd.setCursor(3,0);
//ตัวที่2
Serial.println(" C1 ");
Serial.println(Celcius1);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("B=");
lcd.print(Celcius1);
lcd.setCursor(3,1);
//ตัวที่3
Serial.println(" C2 ");
Serial.println(Celcius2);
lcd.setCursor(8,1);
lcd.print("C=");
lcd.print(Celcius2);
lcd.setCursor(10,1);
}
```

ภาคผนวก ข  
datasheet



## ดาต้าชีทบอร์ด Arduino UNO R3

### Arduino Uno



### Overview

The Arduino Uno is a microcontroller board based on the ATmega328 ([datasheet](#)). It has 14 digital input/output pins (of which 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz ceramic resonator, a USB connection, a power jack, an ICSP header, and a reset button. It contains everything needed to support the microcontroller; simply connect it to a computer with a USB cable or power it with a AC-to-DC adapter or battery to get started.

The Uno differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega16U2 (Atmega8U2 up to version R2) programmed as a USB-to-serial converter.

[Revision 2](#) of the Uno board has a resistor pulling the BU2 HWB line to ground, making it easier to put into [DFU mode](#).

[Revision 3](#) of the board has the following new features:

- 1.0 pinout: added SDA and SCL pins that are near to the AREF pin and two other new pins placed near to the RESET pin, the IOREF that allow the shields to adapt to the voltage provided from the board. In future, shields will be compatible both with the board that use the AVR, which operate with 5V and with the Arduino Due that operate with 3.3V. The second one is a not connected pin, that is reserved for future purposes.
- Stronger RESET circuit.
- Atmega 16U2 replace the BU2.

"Uno" means one in Italian and is named to mark the upcoming release of Arduino 1.0. The Uno and version 1.0 will be the reference versions of Arduino, moving forward. The Uno is the latest in a series of USB Arduino boards, and the reference model for the Arduino platform; for a comparison with previous versions, see the [index of Arduino boards](#).

### Summary

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V

Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

## Schematic & Reference Design

EAGLE files: [arduino-uno-Rev3-reference-design.zip](#) (NOTE: works with Eagle 6.0 and newer)

Schematic: [arduino-uno-Rev3-schematic.pdf](#)

**Note:** The Arduino reference design can use an ATmega8, 168, or 328, Current models use an ATmega328, but an ATmega8 is shown in the schematic for reference. The pin configuration is identical on all three processors.

## Power

The Arduino Uno can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The power pins are as follows:

- **VIN.** The input voltage to the Arduino board when it's using an external power source (as opposed to 5 volts from the USB connection or other regulated power source). You can supply voltage through this pin, or, if supplying voltage via the power jack, access it through this pin.
- **5V.** This pin outputs a regulated 5V from the regulator on the board. The board can be supplied with power either from the DC power jack (7 - 12V), the USB connector (5V), or the VIN pin of the board (7-12V). Supplying voltage via the 5V or 3.3V pins bypasses the regulator, and can damage your board. We don't advise it.
- **3V3.** A 3.3 volt supply generated by the on-board regulator. Maximum current draw is 50 mA.
- **GND.** Ground pins.

## Memory

The ATmega328 has 32 KB (with 0.5 KB used for the bootloader). It also has 2 KB of SRAM and 1 KB of EEPROM (which can be read and written with the [EEPROM library](#)).

## Input and Output

Each of the 14 digital pins on the Uno can be used as an input or output, using [pinMode\(\)](#), [digitalWrite\(\)](#), and [digitalRead\(\)](#) functions. They operate at 5 volts. Each pin can provide or receive a maximum of 40 mA and has an internal pull-up resistor (disconnected by default) of 20-50 kOhms. In addition, some pins have specialized functions:

- **Serial: 0 (RX) and 1 (TX).** Used to receive (RX) and transmit (TX) TTL serial data. These pins are connected to the corresponding pins of the ATmega8U2 USB-to-TTL Serial chip.
- **External Interrupts: 2 and 3.** These pins can be configured to trigger an interrupt on a low value, a rising or falling edge, or a change in value. See the [attachInterrupt\(\)](#) function for details.
- **PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11.** Provide 8-bit PWM output with the [analogWrite\(\)](#) function.

- **SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK).** These pins support SPI communication using the [SPI library](#).
- **LED: 13.** There is a built-in LED connected to digital pin 13. When the pin is HIGH value, the LED is on, when the pin is LOW, it's off.

The Uno has 6 analog inputs, labeled A0 through A5, each of which provide 10 bits of resolution (i.e. 1024 different values). By default they measure from ground to 5 volts, though it is possible to change the upper end of their range using the AREF pin and the [analogReference\(\)](#) function. Additionally, some pins have specialized functionality:

- **TWI: A4 or SDA pin and A5 or SCL pin.** Support TWI communication using the [Wire library](#).

There are a couple of other pins on the board:

- **AREF.** Reference voltage for the analog inputs. Used with [analogReference\(\)](#).
- **Reset.** Bring this line LOW to reset the microcontroller. Typically used to add a reset button to shields which block the one on the board.

See also the [mapping between Arduino pins and ATmega328 ports](#). The mapping for the ATmega8, 168, and 328 is identical.

## Communication

The Arduino Uno has a number of facilities for communicating with a computer, another Arduino, or other microcontrollers. The ATmega328 provides UART TTL (5V) serial communication, which is available on digital pins 0 (RX) and 1 (TX). An ATmega16U2 on the board channels this serial communication over USB and appears as a virtual com port to software on the computer. The '16U2 firmware uses the standard USB COM drivers, and no external driver is needed. However, [on Windows, a .inf file is required](#). The Arduino software includes a serial monitor which allows simple textual data to be sent to and from the Arduino board. The RX and TX LEDs on the board will flash when data is being transmitted via the USB-to-serial chip and USB connection to the computer (but not for serial communication on pins 0 and 1).

A [SoftwareSerial library](#) allows for serial communication on any of the Uno's digital pins. The ATmega328 also supports I2C (TWI) and SPI communication. The Arduino software includes a Wire library to simplify use of the I2C bus; see the [documentation](#) for details. For SPI communication, use the [SPI library](#).

## Programming

The Arduino Uno can be programmed with the Arduino software ([download](#)). Select "Arduino Uno" from the **Tools > Board** menu (according to the microcontroller on your board). For details, see the [reference](#) and [tutorials](#).

The ATmega328 on the Arduino Uno comes preburned with a [bootloader](#) that allows you to upload new code to it without the use of an external hardware programmer. It communicates using the original STK500 protocol ([reference](#), [C header files](#)).

You can also bypass the bootloader and program the microcontroller through the ICSP (In-Circuit Serial Programming) header; see [these instructions](#) for details.

The ATmega16U2 (or 8U2 in the rev1 and rev2 boards) firmware source code is available. The ATmega16U2/8U2 is loaded with a DFU bootloader, which can be activated by:

- On Rev1 boards: connecting the solder jumper on the back of the board (near the map of Italy) and then resetting the 8U2.
- On Rev2 or later boards: there is a resistor that pulling the 8U2/16U2 HWB line to ground, making it easier to put into DFU mode.

You can then use [Atmel's FLIP software](#) (Windows) or the [DFU programmer](#) (Mac OS X and Linux) to load a new firmware. Or you can use the ISP header with an external programmer (overwriting the DFU bootloader). See [this user-contributed tutorial](#) for more information.

## Automatic (Software) Reset

Rather than requiring a physical press of the reset button before an upload, the Arduino Uno is designed in a way that allows it to be reset by software running on a connected computer. One of the hardware flow control lines (DTR) of the ATmega8U2/16U2 is connected to the reset line of the ATmega328 via a 100 nanofarad capacitor. When this line is asserted (taken low), the reset line drops long enough to reset the chip. The Arduino software uses this capability to allow you to upload code by simply pressing the upload button in the Arduino environment. This means that the bootloader can have a shorter timeout, as the lowering of DTR can be well-coordinated with the start of the upload. This setup has other implications. When the Uno is connected to either a computer running Mac OS X or Linux, it resets each time a connection is made to it from software (via USB). For the following half-second or so, the bootloader is running on the Uno. While it is programmed to ignore malformed data (i.e. anything besides an upload of new code), it will intercept the first few bytes of data sent to the board after a connection is opened. If a sketch running on the board receives one-time configuration or other data when it first starts, make sure that the software with which it communicates waits a second after opening the connection and before sending this data.

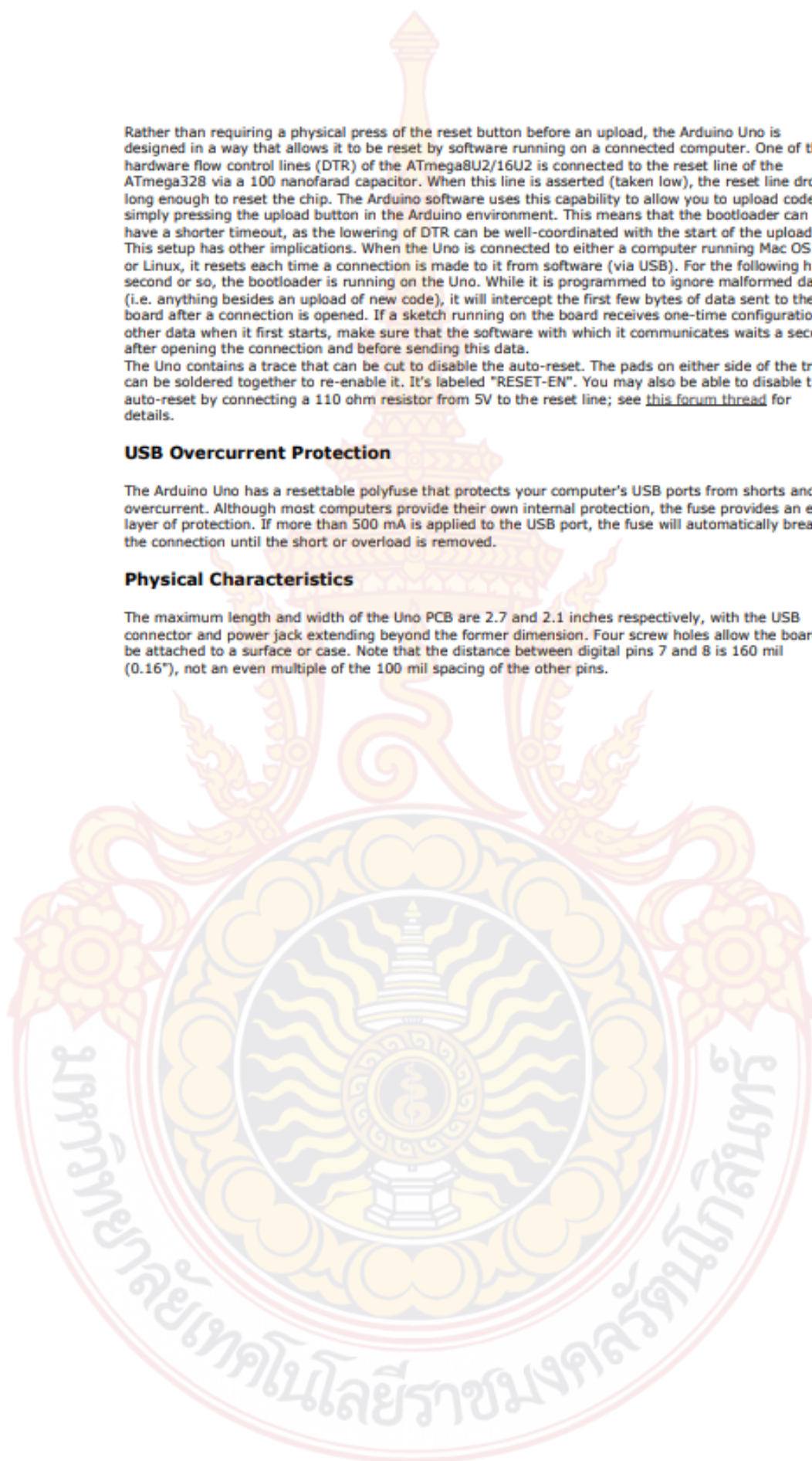
The Uno contains a trace that can be cut to disable the auto-reset. The pads on either side of the trace can be soldered together to re-enable it. It's labeled "RESET-EN". You may also be able to disable the auto-reset by connecting a 110 ohm resistor from 5V to the reset line; see [this forum thread](#) for details.

### USB Overcurrent Protection

The Arduino Uno has a resettable polyfuse that protects your computer's USB ports from shorts and overcurrent. Although most computers provide their own internal protection, the fuse provides an extra layer of protection. If more than 500 mA is applied to the USB port, the fuse will automatically break the connection until the short or overload is removed.

### Physical Characteristics

The maximum length and width of the Uno PCB are 2.7 and 2.1 inches respectively, with the USB connector and power jack extending beyond the former dimension. Four screw holes allow the board to be attached to a surface or case. Note that the distance between digital pins 7 and 8 is 160 mil (0.16"), not an even multiple of the 100 mil spacing of the other pins.





ดาต้าชีทเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์

Model No.	ED75-6M	ED80-6M	ED85-6M
<b>Warranty</b>			
Product Warranty	10 Years		
Power Warranty	12 Years of 90% Output Power, 25 Years of 80% Output Power		
<b>Electrical Data at STC</b>			
Maximum Power (Pmax)	75 Wp	80 Wp	85 Wp
Voltage at Maximum Power (Vmpp)	18.1 V	18.2 V	18.4 V
Current at Maximum Power (Impp)	4.14 A	4.4 A	4.62 A
Open Circuit Voltage (Voc)	22.1 V	22.3 V	22.4 V
Short Circuit Current (Isc)	4.39 A	4.66 A	4.9 A
Panel Efficiency	14.5 %	15.5 %	16.5 %
Power Tolerance (Positive)	+ 3 %	+ 3 %	+ 3 %
<i>Standard Test Conditions (STC): air mass AM 1.5, irradiance 1000W/m<sup>2</sup>, cell temperature 25°C</i>			
<b>Electrical Data at NOCT</b>			
Temperature	47 °C	47 °C	47 °C

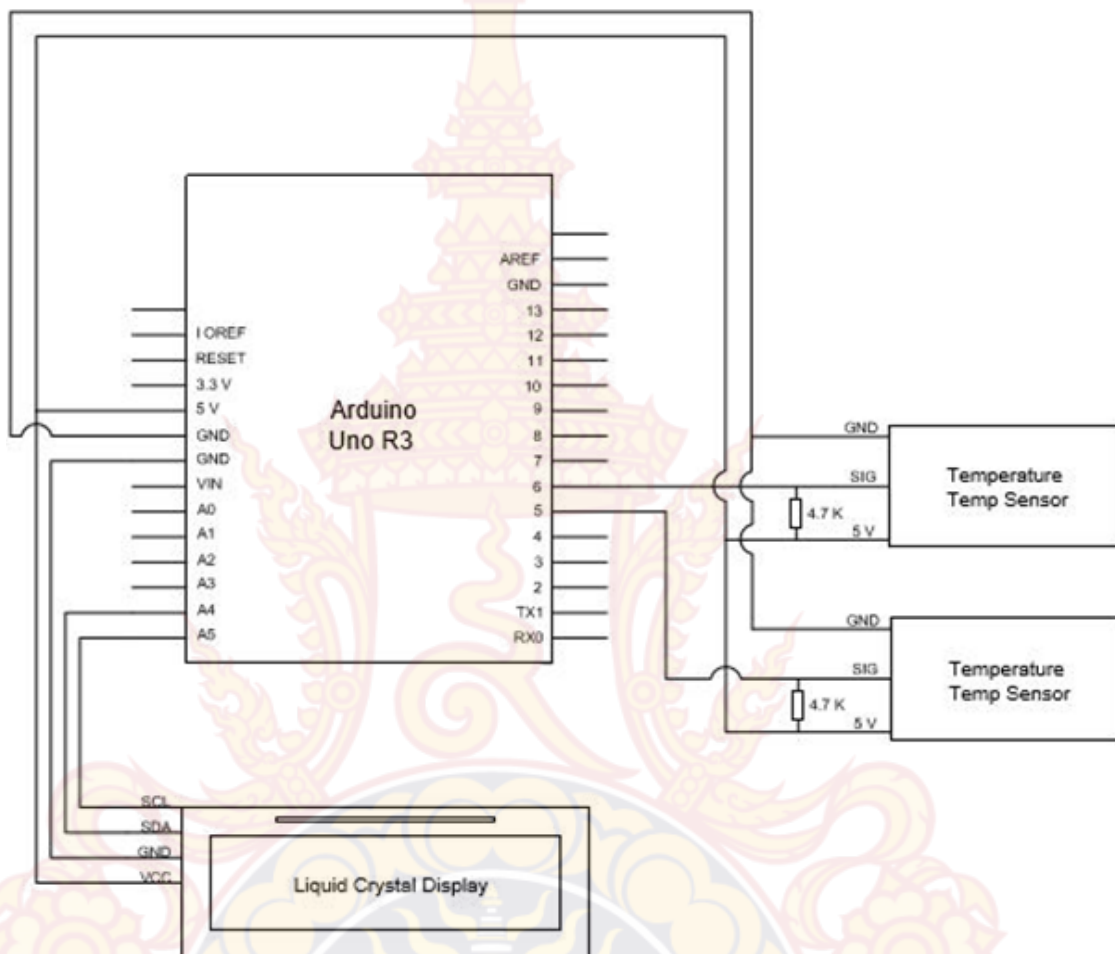
<b>Thermal Ratings</b>	
Operating Temperature Range	-40~85 °C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.4 %/°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.35 %/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.6 %/°C
<b>Maximum Ratings</b>	
Maximum System Voltage	600 V
<b>Material Data</b>	
Panel Dimension (H/W/D)	770x670x30 mm
Weight	6 kg
Cell Type	Monocrystalline
Cell Number	36
Glass Type	Tempered, Low Iron
Glass Thickness	3.2 mm
Encapsulant Type	EVA
Frame Type	Anodized Aluminium Alloy

ดาต้าชีทเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์

Model No.	80W 18V poly-crystalline solar module
Warranty	
Product Warranty	5 Years
Power Warranty	10 Years of 90% Output Power, 20 Years of 80% Output Power
Electrical Data at STC	
Maximum Power (Pmax)	80 Wp
Voltage at Maximum Power (Vmpp)	18 V
Current at Maximum Power (Impp)	4.44 A
Open Circuit Voltage (Voc)	22.1 V
Short Circuit Current (Isc)	4.89 A
Panel Efficiency	15 %
Power Tolerance (Positive)	+ 5 %
Power Tolerance (Negative)	- 5 %

Material Data	
Panel Dimension (H/W/D) ⑦	510x1000x25 mm
Weight	6.2 kg
Cell Type	Polycrystalline
Cell Size	156x156 mm
Cell Number	36
Glass Type	Tempered, High Transmittance, Low Iron
Glass Thickness	3.2 mm
Encapsulant Type	EVA
Back Cover Type	TPE
Frame Type	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box Diodes	3
Junction Box Protection Class	IP 67
Connector Type	Tyco Solarlock
Cable Crosssection	2.5 mm <sup>2</sup>
Cable Length	800 mm

วงจรวัดอุณหภูมิ



## ประวัติผู้วิจัย



1. ชื่อ สกุล นายณัฐพล แจ่มจดี
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า
3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ถ.เพชรเกษม ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์  
E-mail: nattaponnonburi@gmail.com
4. ประวัติการศึกษา  
ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
แขนง ไฟฟ้ากำลัง, พ.ศ. 2555  
ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตนนทบุรี  
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า  
แขนง ไฟฟ้ากำลัง, พ.ศ. 2547
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ  
นิวแมติกส์, PLC, การควบคุมระบบอัตโนมัติ
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

## ประวัติผู้วิจัย



1. ชื่อ สกุล

นายคณาพจน์ ยอดมณี

2. ตำแหน่งปัจจุบัน

อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า

3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและ  
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขต  
วังไกลกังวล ถ.เพชรเกษม ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์  
E-mail: kanapotyodmanee@gmail.com.

4. ประวัติการศึกษา

ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
พ.ศ. 2559

ปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์  
อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า  
พ.ศ. 2555

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

ไมโครคอนโทรลเลอร์, ระบบควบคุมอัตโนมัติ, ระบบอัจฉริยะ

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

## ประวัติผู้วิจัย



1. ชื่อ สกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์สมพล บุญญสุวรรณโณ
2. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า
3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตวังไกลกังวล ถ.เพชรเกษม ต.หนองแก อ.หัวหิน จ.ประจวบคีรีขันธ์  
E-mail: sompol.boo@rmutr.ac.th
4. ประวัติการศึกษา  
ปริญญาโท สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
ครุศาสตรอุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า  
พ.ศ. 2545  
ปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล  
ครุศาสตรอุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
พ.ศ. 2538
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย