

อภินันทนาการ



สำนักหอสมุด

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน.....29 ส.ค. 2554.....
เลขทะเบียน.....
เลขเรียกหนังสือ.....จ TK 2160.....

๒๖๖  
๒๕๕๓

สมรรถนะกลางแจ้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน

ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้น ระยะที่ 2

Outdoor performance of amorphous silicon photovoltaic module  
in hot climate Phase 2



โดย นายนิพนธ์ เกตุจ้อย และคณะ

พฤษภาคม 2553

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สมรรถนะกลางแจ้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน  
ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้น ระยะที่ 2  
Outdoor performance of amorphous silicon photovoltaic module  
in hot climate Phase 2

คณะผู้วิจัย สังกัด

- |                  |          |        |                      |
|------------------|----------|--------|----------------------|
| 1. นายนิพนธ์     | เกตุจ้อย | สังกัด | วิทยาลัยพลังงานทดแทน |
| 2. นายณัฐวุฒิ    | ชาวสะอาด | สังกัด | วิทยาลัยพลังงานทดแทน |
| 3. นางสาวจิตติพร | เจาะจง   | สังกัด | วิทยาลัยพลังงานทดแทน |
| 4. นายคงฤทธิ     | แมนศิริ  | สังกัด | วิทยาลัยพลังงานทดแทน |

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ  
ประจำปีงบประมาณ 2552

ชื่อโครงการ	สมรรถนะกลางแจ้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน อสัณฐานภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้น ระยะที่ 2
ชื่อผู้วิจัย	นายนิพนธ์ เกตุจ้อย นายณัฐวุฒิ ขาวสะอาด นางสาวจิตติพร เจาะจง นายคงฤทธิ แม่นศิริ
หน่วยงานที่สังกัด	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ถ. พิษณุโลก-นครสวรรค์ อ. เมือง จ. พิษณุโลก 65000 โทรศัพท์/โทรสาร 055 - 963188
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก จำนวนเงิน	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ 200,000 บาท ธันวาคม 2551 – พฤศจิกายน 2552

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน และพัฒนาให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน จากผลการศึกษาพบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีผลต่อค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งตัวแปรทั้งสองตัวแปรนี้จะส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ซึ่งพลังงานที่ได้จากการทำนายมีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.001 % และเมื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน (a-Si) แบบซิลิกอนผลึกผสม (p-Si) และแบบซิลิกอนผสมผสาน (HIT) โดยใช้ข้อมูลเป็นระยะเวลา 5 ปีเริ่มตั้งแต่ ปี 2548 จนถึง ปี 2552 พบว่าพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield ;  $Y_A$ ) แบบ a-Si p-Si และ HIT ที่สามารถผลิตได้โดยเฉลี่ยรายวัน มีค่าเท่ากับ 4.80 4.31 และ 4.50 kWh/KWp-d ตามลำดับ

<b>Title</b>	Outdoor performance of amorphous silicon photovoltaic module in hot climate Phase 2
<b>Researcher</b>	Mr.Nipon Ketjoy Mr.Nattawut Khaosaad Miss Titiporn Chorchong Mr.Kangrit Mansiri
<b>Organization</b>	School of Renewable Energy Technology (SERT) Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand
<b>Sponsor</b>	National Research Council of Thailand (NRCT)
<b>Budget</b>	200,000 Bath December 2008 - November 2009

#### **Abstract**

This research presents the effect of the natural parameters on amorphous silicon solar cell performance under actual field conditions and develops a mathematical model for long term performance of amorphous silicon solar cell. It was found that the effects of the natural parameters on a-Si performance under actual conditions such as the irradiance was affected on current of a-Si and the array temperature was affected on voltage of a-Si. The results of the first part, shows the parameters that affected on a-Si. These parameters are used to develop the mathematic model. From the relation between the irradiance and the array temperature, it could be correctly predict power output of photovoltaic array and array yield of a-Si array. The predicted array yield was error approximately 0.001 %. Comparisons of 3 photovoltaic technologies; Amorphous silicon solar cell (a-Si), Poly crystalline silicon solar cell (p-Si), and Hybrid silicon solar cell (HIT). By using data during 2005 to 2009: An average array yield per day are 4.80 4.31 and 4.50 kWh/kWp·d respectively for a-Si, p-Si and HIT.

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ โครงการสมรรถนะ  
กลางแจ้งของแผนเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐานภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นระยะที่ 2  
งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 ทางคณะผู้ดำเนินงานวิจัยจึงใคร่ขอขอบคุณ  
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติเป็นอย่างยิ่ง และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยนเรศวรที่  
สนับสนุนงานวิจัยอย่างจริงจังมาโดยตลอด รวมถึงคณะนักวิจัยและเจ้าหน้าที่ของวิทยาลัย  
พลังงานทดแทนทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย

พฤษภาคม 2553



## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

กิตติกรรมประกาศ

สารบัญ

สารบัญตาราง

สารบัญรูปประกอบ

รายการสัญลักษณ์

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของปัญหา

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

2.2 การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่างๆ

2.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.4 ตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.5 แบบจำลอง

2.6 ทฤษฎีการประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 วิธีดำเนินการทดลอง

3.1 ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน

3.2 พัฒนาให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน

3.3 การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1

1

5

5

5

6

6

7

8

10

15

19

22

28

28

33

35

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	38
4.1 ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อ สมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ ซิลิกอนอสัณฐาน	38
4.2 ผลการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนาย สมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน	46
4.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากระบบ เซลล์แสงอาทิตย์	47
<b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>	54
5.1 สรุปผลการวิจัย	54
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
<b>บรรณานุกรม</b>	55
<b>ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่</b>	58

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของประเทศไทย	3
ตารางที่ 2.1	ช่องว่างพลังงานของซิลิกอนกับอุนโทรมิ	12
ตารางที่ 3.1	ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน	28
ตารางที่ 3.2	ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติเพื่อพัฒนาให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน	33
ตารางที่ 3.3	ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	36
ตารางที่ 4.1	แสดง Temperature coefficient ของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี	38
ตารางที่ 4.2	การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย ( $Y_A$ Predict) กับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริงในแต่ละเดือน ( $Y_A$ Measure)	45
ตารางที่ 4.3	พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ( $Y_A$ )	48
ตารางที่ 4.4	สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี	51
ตารางที่ 4.5	ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	53
ตารางที่ 4.6	สรุปค่าตัวแปรที่สำคัญของการประเมินสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	53



## สารบัญรูปประกอบ

	หน้า
รูปที่ 1.1 แนวโน้มความต้องการพลังงาน (หน่วย Mtoe)	1
รูปที่ 1.2 การตลาดเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลก	2
รูปที่ 1.3 สัดส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Crystalline Silicon และ Thin Films (หน่วย MW)	2
รูปที่ 1.4 สถานการณ์ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยตั้งแต่อดีตถึงปี พ.ศ. 2552	4
รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปและการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	6
รูปที่ 2.2 คุณสมบัติกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	8
รูปที่ 2.3 IV-Curve กรณีเมื่อค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์คงที่และอุณหภูมิเซลล์เพิ่มขึ้น	10
รูปที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติ	29
รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์ ( $G_T$ ) กับกระแสไฟฟ้า (I)	30
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $T_a$ ) กับแรงดันไฟฟ้า (V)	31
รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมในแต่ละเดือน	32
รูปที่ 3.5 แนวโน้มการลดลงของกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่บริษัทผู้ผลิตทำทดสอบ	33
รูปที่ 3.6 กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ทำการจดบันทึกเป็นระยะเวลา 5 ปี	34
รูปที่ 3.7 ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ เพื่อพัฒนาให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์	35
รูปที่ 3.8 ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	36
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์ ( $G_T$ ) และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Temperature) ( $T_a$ )	39
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient Temperature) ( $T_{amb}$ ) กับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Temperature) ( $T_a$ )	40
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของอุณหภูมิอากาศแวดล้อมกับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $T_a/T_{amb}$ ) กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ( $T_{amb}$ )	41

### สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง (Power Measure) กับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย (Power Predict) ในแต่ละเดือน	42
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง ( $Y_A$ Measure) กับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย ( $Y_A$ Predict)	44
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริงในแต่ละเดือน ( $Y_A$ Measure) กับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย ( $Y_A$ Predict)	44
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง (Power Measure) กับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย (Power Predict)	46
รูปที่ 4.8 พลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี สามารถผลิตได้และพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือน	47
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ( $Y_r$ ) กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี ( $Y_r$ ) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si	49
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ( $Y_r$ ) กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี ( $Y_r$ ) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ p-Si	50
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ( $Y_r$ ) กับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี ( $Y_r$ ) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ HIT	51
รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี	52

## รายการสัญลักษณ์

$I_m$	คือ	ค่ากระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ต่ออยู่กับภาระทางไฟฟ้า (A)
$V_m$	คือ	ค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ต่ออยู่กับภาระทางไฟฟ้า (V)
$I_{sc}$	คือ	ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เกิดการลัดวงจร (A)
$V_{oc}$	คือ	ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า (V)
$P_m$	คือ	ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า (W)
F.F	คือ	ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด
$\eta_m$	คือ	ประสิทธิภาพสูงสุด (%)
$A_m$	คือ	พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $m^2$ )
$G_T$	คือ	ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ( $W/m^2$ )
$\eta_e$	คือ	ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนคู่อิเล็กตรอน - โฮลให้เป็นกระแสไฟฟ้า
$r$	คือ	สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ผิวด้านรับแสงของเซลล์
$\alpha$	คือ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $cm^{-1}$ )
$I$	คือ	ระยะทางที่โฟตอนในแสงอาทิตย์ที่สารกึ่งตัวนำซึ่งมีช่องว่างพลังงานสามารถดูดกลืนได้ $photon/cm^2 \cdot sec$
$e^{-\alpha}$	คือ	สัดส่วนของโฟตอนที่ทะลุผ่านเซลล์ต่อโฟตอนที่ตกกระทบทั้งหมด
$E_g$	คือ	ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ (eV)
$E_{go}$	คือ	ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 1.16 eV
$E_g(T)$	คือ	ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิใดๆ (eV)
$\gamma$	คือ	ค่าคงที่เฉพาะสารกึ่งตัวนำใดๆ สำหรับซิลิกอน = $7.02 \times 10^{-4} eV/K$
$\beta$	คือ	ค่าคงที่เฉพาะของสารกึ่งตัวนำใดๆ สำหรับซิลิกอน = 1,108 K
$N_c$	คือ	ความหนาแน่นประสิทธิผลของอิเล็กตรอนสเตทในแถบตัวนำ ( $cm^{-3}$ )
$N_v$	คือ	ความหนาแน่นประสิทธิผลของโฮลสเตทในแถบวาเลนซ์ ( $cm^{-3}$ )
$D_n$	คือ	ค่าคงที่ของการแพร่ของอิเล็กตรอน ( $cm^2/sec$ )
$D_p$	คือ	ค่าคงที่ของการแพร่ของโฮล ( $cm^2/sec$ )

### รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

$L_n$	คือ	ระยะแพร่ของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี (cm)
$N_D$	คือ	ความหนาแน่นของคอนเนอร์ ( $\text{cm}^3$ )
$N_A$	คือ	ความหนาแน่นของแอกเซปเตอร์ ( $\text{cm}^3$ )
$A_p$	คือ	พื้นที่หน้าตัดของรอยต่อ ( $\text{m}^2$ )
$m_e$	คือ	มวลประสิทธิภาพของอิเล็กตรอน (kg)
$m_h$	คือ	มวลประสิทธิภาพของโฮล (kg)
$h$	คือ	ค่าคงที่ของพลังค์ (J-sec)
$P_m$ (STC)	คือ	กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน (W)
$T_{\text{cell}}$	คือ	อุณหภูมิของเซลล์ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{amb}}(t)$	คือ	อุณหภูมิแวดล้อม ณ เวลาที่พิจารณา ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{max}}$	คือ	อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดของวัน ( $^{\circ}\text{C}$ )
$T_{\text{min}}$	คือ	อุณหภูมิแวดล้อมต่ำสุดของวัน ( $^{\circ}\text{C}$ )
$t$	คือ	$h-9$
$h$	คือ	เวลาที่พิจารณา (ชั่วโมง)
$Y_A$	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp)
$E_A$	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)
$P_O$	คือ	กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)
$Y_r$	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kWp)
$H_i$	คือ	พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{kWh/m}^2$ )
$G_{\text{STC}}$	คือ	ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ STC = $1 \text{ kW/m}^2$
$Y_f$	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)
$E_{\text{PV}}$	คือ	พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)
$P_O$	คือ	กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)
$E_L$	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงโดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)
$E_A$	คือ	พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)
$E_{\text{BU}}$	คือ	พลังงานที่ผลิตได้จากระบบพลังงานเสริม ในกรณีนี้คือ 0 (kWh)
$L_c$	คือ	พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)
$L_s$	คือ	พลังงานที่สูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

### รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

$T_a$	คือ	อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $^{\circ}\text{C}$ )
$PR$	คือ	สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์
$\eta_A$	คือ	ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)
$A_A$	คือ	พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{m}^2$ )
$\eta_{PV}$	คือ	ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

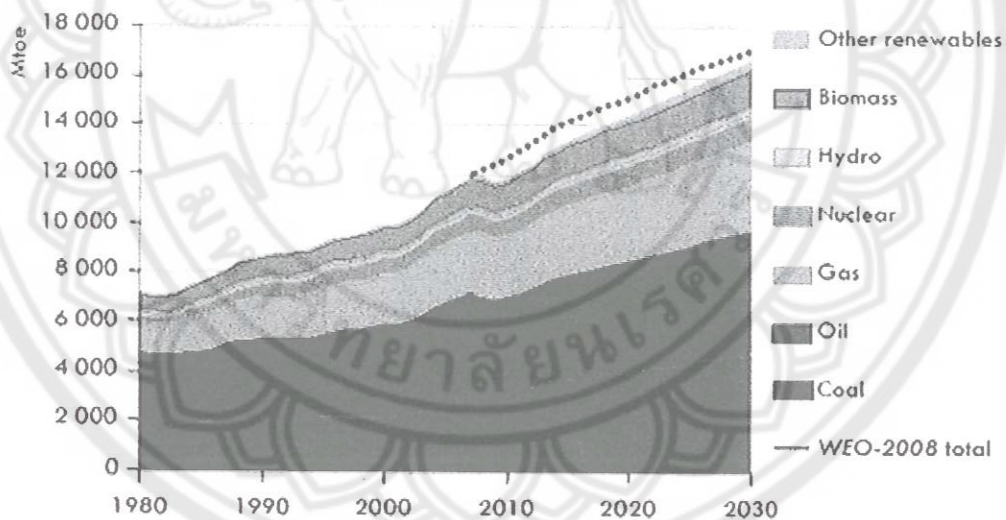


## บทที่ 1

### บทนำ

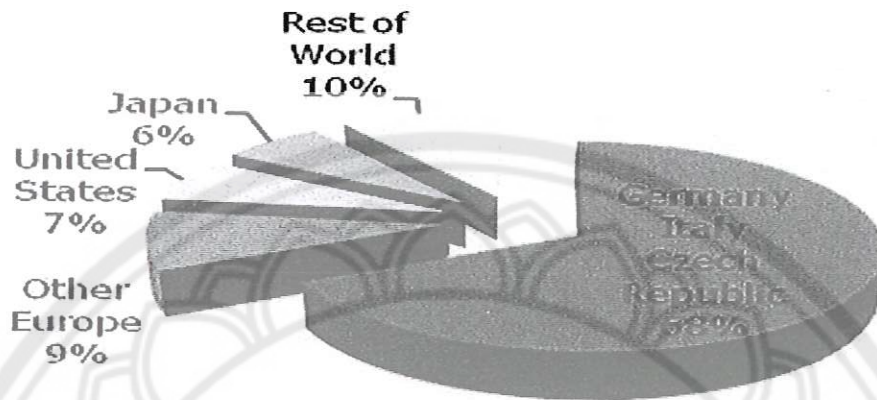
#### 1.1 ปัญหาและความเป็นมาของงานวิจัย

จากรูปที่ 1.1 ปัจจุบันความต้องการในการใช้พลังงานของประชากรโลกมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้น [1] ส่งผลทำให้ปริมาณของพลังงานฟอสซิลลดลงอย่างรวดเร็ว และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนที่รุนแรงขึ้น จึงทำให้มีอัตราการขยายตัวของธุรกิจทางด้านพลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการในการใช้พลังงานของประชากรโลก ดังนั้นจึงมีการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านพลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนรูปพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าในปี 2552 ตลาดของเซลล์แสงอาทิตย์มีปริมาณการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จาก 6,900 MW เป็น 7,300 MW [2] ซึ่งเป็นผลจากการตื่นตัวของประชาคมโลกในเรื่องการนำพลังงานทดแทนมาใช้แทนพลังงานฟอสซิล



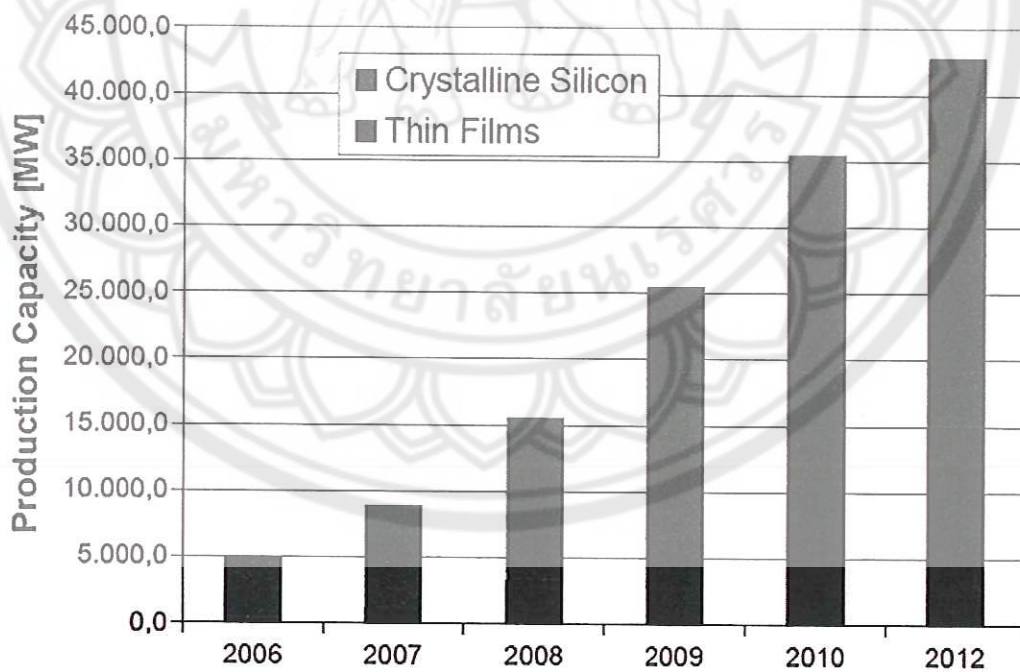
รูปที่ 1.1 แนวโน้มความต้องการพลังงาน (หน่วย Mtoe) [1]

**Photovoltaic Market in 2009  
Total: 7.3 GW**



Source: Solarbuzz, a part of The NPD Group

รูปที่ 1.2 การตลาดเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลก [2]



รูปที่ 1.3 สัดส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Crystalline Silicon และ Thin Films (หน่วย MW) [3]

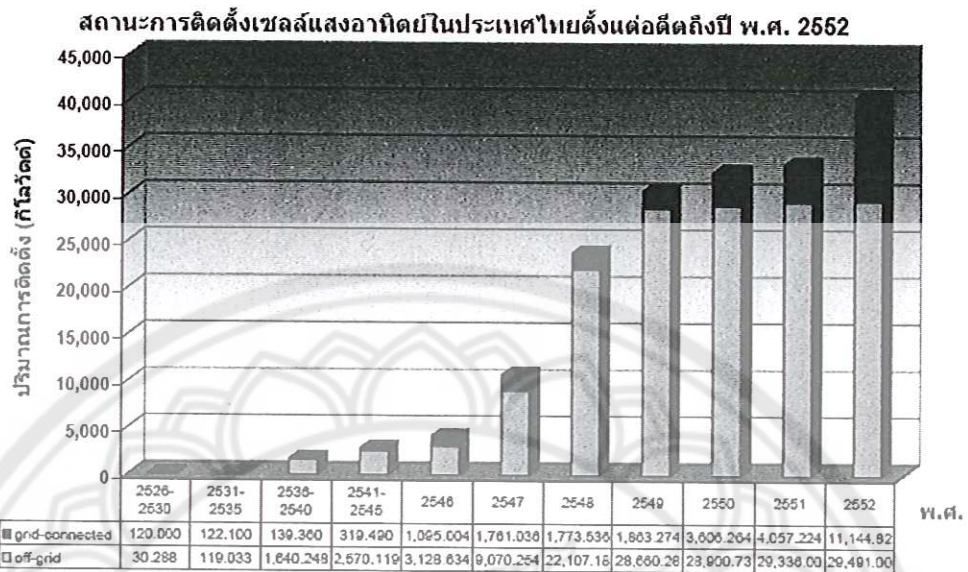
โดยเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันอาจแบ่งได้เป็นสองกลุ่มหลักคือ กลุ่มซิลิกอน (silicon) และกลุ่มสารประกอบ (compound) ซึ่งทั้งสองกลุ่มยังสามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้อีก ในรายงานฉบับนี้จะสนใจเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิกอนเป็นหลัก เนื่องจากมีสัดส่วนการใช้งานทั่วโลกรวมกันถึง 85% สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จากซิลิกอนที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันแบ่งได้เป็นสามชนิดคือ เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนผลึกเดี่ยว (mono-crystalline silicon solar cell; m-Si) เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนผลึกผสม (poly-crystalline Silicon solar cell; p-Si) และเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน (amorphous silicon solar cell; a-Si) ซึ่งสามารถแบ่งตามลักษณะของผลึกที่ใช้กันอยู่ออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน (Crystalline Silicon) และฟิล์มบาง (Thin Films) จากรูปที่ 1.3 จะเห็นว่าสัดส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากในปัจจุบันเซลล์กลุ่มฟิล์มบางได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจากผลการศึกษา พบว่า ฟิล์มบางสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าผลึกซิลิกอน [4 -14]

ในปีพ.ศ. 2552 ประเทศไทยโดยหน่วยงานของรัฐบาลได้จัดหาระบบพลังงานเพื่อสาธารณประโยชน์มาใช้ โดยได้นำเซลล์แสงอาทิตย์มาติดตั้งใช้งานในระบบไฟฟ้า ประมาณ 40 MW โดยส่วนใหญ่จะนำไปติดตั้งใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง เช่น ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบผลิตไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย ระบบประจุแบตเตอรี่ ระบบสื่อสารโทรคมนาคม และระบบสูบน้ำ เป็นต้น [15]

ตารางที่ 1.1 การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ ของประเทศไทย [15]

ลำดับที่	กิจกรรมใช้งาน	จำนวนการติดตั้ง (kW)	ร้อยละ
1	ระบบผลิตไฟฟ้า	26,612.666	65.60
2	ระบบประจุแบตเตอรี่	1,412.826	3.48
3	ระบบสื่อสารโทรคมนาคม	1,142.022	2.82
4	ระบบผลิตไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย	11,077.824	27.31
5	ระบบสูบน้ำ	323.495	0.80
	รวม	40,568.833	100





ที่มา : พท. ยร. กฟผ. กฟภ. กฟน. สวทช. สอท. กน. ศร. บจร. มท. มก. มท. สทท. TEL. โรงงานโซลาร์. บ.บางกอกโซลาร์ จำกัด.  
จัดทำโดย : สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เมื่อเดือนกุมภาพันธ์ 2553

รูปที่ 1.4 สถานการณ์ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยตั้งแต่อดีตถึงปี พ.ศ. 2552 [15]

ซึ่งการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยกว่า 90% เป็นแบบ m-Si และ p-Si เนื่องจากการนำเข้ามาใช้งานในประเทศไทยกว่า 20 ปีแล้ว จึงเป็นที่ยอมรับในเรื่องของความน่าเชื่อถือของเซลล์ชนิดดังกล่าว แต่ในปัจจุบันเซลล์ชนิด a-Si ได้รับความสนใจมากขึ้นโดยเฉพาะในภูมิภาคที่มีลักษณะอากาศร้อนชื้นเหมือนในประเทศไทย เนื่องจากการศึกษาของหน่วยงานในต่างประเทศรวมถึงการศึกษาของวิทยาลัยพลังงานทดแทนพบว่าสามารถผลิตพลังงานได้สูงกว่าแบบ m-Si และ p-Si [4 - 14] ซึ่งในประเด็นดังกล่าวนี้ยังเป็นที่โต้แย้งระหว่างกลุ่มผู้ผลิตทั้งสองกลุ่ม ดังนั้นวิทยาลัยพลังงานทดแทนโดยความร่วมมือกับ Kaneka Corporation ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si รายใหญ่ของญี่ปุ่นได้ร่วมศึกษาเพื่อให้ทราบถึงสมรรถนะกลางแจ้ง (ภายใต้การใช้งานจริง) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน (a-Si) ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นแบบประเทศไทยนั้นจะมีสมรรถนะจริงเป็นเช่นไร หลังจากได้ทำการศึกษาในระยะที่ 1 เสร็จสิ้นแล้ว (ได้รับการสนับสนุนการสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551) ทำให้ทราบถึงสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนอสัณฐานสูงกว่าชนิดซิลิกอนผลึกผสม และชนิดผสมผลาน ซึ่งในระยะที่ 2 นี้ จะทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน และพัฒนาให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐานผลลัพธ์ที่ได้ของโครงการจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่

เหมาะสมสำหรับประเทศไทย รวมถึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการเลือกพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เพื่อศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน และพัฒนาให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ทำการศึกษาภายใต้สภาวะอากาศแบบร้อนชื้น โดยใช้พื้นที่ศึกษาอยู่ภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาเปรียบเทียบบมีสามเทคโนโลยีคือ แผงเซลล์แบบซิลิกอนอสัณฐาน แบบซิลิกอนผลึกผสม และแบบซิลิกอนผสมผลึก

3. ใช้ข้อมูลจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษาอยู่ภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. เผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสาร และงานประชุมสัมมนาเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

2. ทราบถึงสมรรถนะกลางแจ้ง (ภายใต้การใช้งานจริง) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอน ออสัณฐาน (a-Si) ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นแบบประเทศไทยว่าจะมีสมรรถนะจริงเป็นเช่นไร

3. ผลลัพธ์ที่ได้ของโครงการจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย รวมถึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการเลือกพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศ

4. ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน

5. เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการตัดสินใจของหน่วยงานภาครัฐในการดำเนินโครงการด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต ลดการสูญเสียงบประมาณ

6. ตอบสนองนโยบายภาครัฐในเรื่องของการพัฒนาการใช้แหล่งพลังงานใหม่จากแสงอาทิตย์ของประเทศ

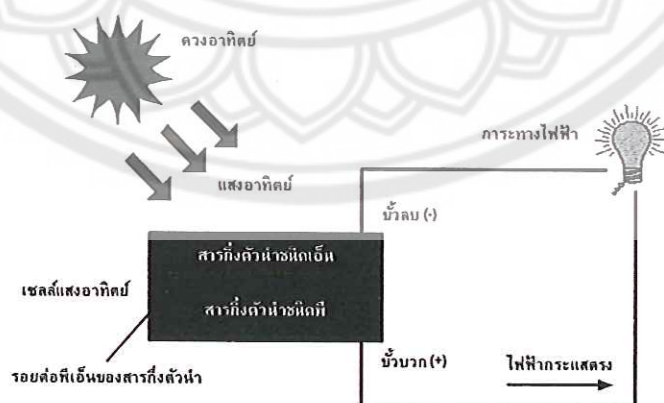
## บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้ไปเป็นไฟฟ้าได้ โดยไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปประกอบไปด้วยรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งส่วนใหญ่คือซิลิกอนที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เรียกรอยต่อนี้ว่ารอยต่อพีเอ็น (p-n Junction) ทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดพาหะทางไฟฟ้าขึ้นสองชนิดคือ อิเล็กตรอน (ประจุลบ) และ โฮล (ประจุบวก) สนามไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อพีเอ็นจะแยกอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นให้ไหลไปทางขั้วลบและ แยกโฮลให้ไหลไปทางขั้วบวก มีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง ดังนั้นเมื่อเราต่อขั้วดังกล่าวเข้ากับภาระทางไฟฟ้า (เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง) ก็จะเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นภายในวงจร ดังรูปที่ 2.1

เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะให้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์ ที่สภาวะวงจรเปิด และไม่มีภาระทางไฟฟ้า ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ (พื้นที่หน้าตัด) และยังขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวอย่างเช่น เซลล์แสงอาทิตย์จากโรงงานขนาดพื้นที่หน้าตัด 160 ตารางเซนติเมตร จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 2 วัตต์ ที่สภาวะความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ลดต่ำลงเหลือประมาณ 400 วัตต์ต่อตารางเมตร เซลล์แสงอาทิตย์นี้ก็จะผลิตไฟฟ้าได้เพียงประมาณ 0.8 วัตต์ [16]



รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปและการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

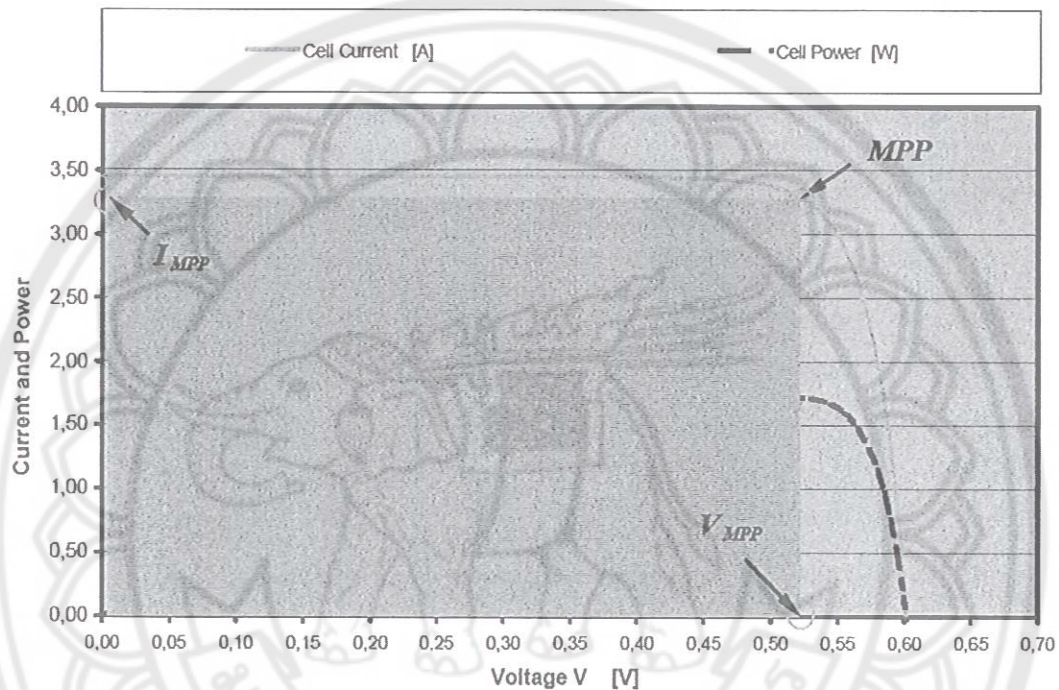
## 2.2 การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่าง ๆ [17]

การนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติมาทดแทนพลังงานรูปแบบอื่น ๆ ได้รับความสนใจและเป็นที่นิยมมากขึ้นสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างมากมาใช้ในการดำรงชีวิตรวมถึงไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อมเช่น

1. บ้านพักอาศัย ระบบแสงสว่างภายในบ้าน ระบบแสงสว่างนอกบ้าน (ไฟสนาม ไฟโรงจอดรถ และโคมไฟรั้วบ้าน ฯลฯ) อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ ระบบเปิด-ปิดประตูบ้าน ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบระบายอากาศ เครื่องสูบน้ำ เครื่องกรองน้ำ และไฟสำรองยามฉุกเฉิน ฯลฯ
2. ระบบสูบน้ำ อุปโภค สาธารณูปโภค ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เพาะปลูก ทำสวน-ไร่ เหมือนไร่ และชลประทาน ฯลฯ
3. ระบบแสงสว่าง โคมไฟป้ายรถเมล์ ตู้โทรศัพท์ ป้ายประกาศ สถานที่จอดรถ แสงสว่างภายนอกอาคาร และไฟถนนสาธารณะ ฯลฯ
4. ระบบประจุแบตเตอรี่ ไฟสำรองไว้ใช้ยามฉุกเฉิน ศูนย์ประจุแบตเตอรี่ประจำหมู่บ้าน ในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ แหล่งจ่ายไฟสำหรับใช้ในครัวเรือนและระบบแสงสว่างในพื้นที่ห่างไกล ฯลฯ
5. ทำการเกษตร ระบบสูบน้ำ พัดลมอบผลผลิตทางการเกษตร และเครื่องนวดข้าว ฯลฯ
6. เลี้ยงสัตว์ ระบบสูบน้ำ ระบบเติมออกซิเจนในบ่อน้ำ (บ่อกุ้งและบ่อปลา) และแสงไฟดักจับแมลง ฯลฯ
7. อณามัย ตู้เย็น ถังทำความเย็นเพื่อเก็บยาและวัคซีน อุปกรณ์ไฟฟ้าทางการแพทย์ สำหรับหน่วยอณามัย หน่วยแพทย์เคลื่อนที่ และสถานอณามัย ฯลฯ
8. คมนาคม สัญญาณเตือนทางอากาศ ไฟนำร่องทางขึ้น-ลงเครื่องบิน ไฟประกาศการไฟนำร่องเดินเรือ ไฟสัญญาณข้ามถนน สัญญาณจราจร โคมไฟถนน และโทรศัพท์ฉุกเฉิน ฯลฯ
9. สื่อสาร สถานีทวนสัญญาณไมโครเวฟ อุปกรณ์โทรคมนาคม อุปกรณ์สื่อสารแบบพกพา(เช่น วิทยุสนามของหน่วยงานบริการและทหาร) และสถานีตรวจสอบอากาศ ฯลฯ
10. บันเทิงและพักผ่อนหย่อนใจ แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับบ้านพักตากอากาศในพื้นที่ห่างไกล ระบบประจุแบตเตอรี่แบบพกพาติดตัวไปได้ และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ความบันเทิง ฯลฯ
11. พื้นที่ห่างไกล ภูเขา เกาะ ป่าลึก และพื้นที่สายส่งการไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ฯลฯ
12. อวกาศ ดาวเทียม

### 2.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถอธิบายได้โดยใช้กราฟแสดงคุณสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-Curve) ลักษณะของ IV-Curve ไม่ว่าจะ เป็นของเซลล์ (cell) โมดูล (module) แอร์เรย์ (array) จะมีลักษณะที่เดียวกัน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 คุณสมบัติกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [18]

1. ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ( $I_m$ ) คือค่ากระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ยังต่ออยู่กับภาระทางไฟฟ้า
2. ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ( $V_m$ ) คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ยังต่ออยู่กับภาระทางไฟฟ้า
3. ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร ( $I_{sc}$ ) คือค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เกิดการลัดวงจร
4. ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ( $V_{oc}$ ) คือค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ไม่มีการต่อภาระทางไฟฟ้า
5. ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ( $P_m$ ) คือค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาในขณะที่ยังมีการต่อภาระทางไฟฟ้า

6. ค่าฟิลล์แฟคเตอร์ (F.F) คือ ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$F.F = \frac{P_m}{I_{sc} \times V_{oc}} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (2.1)$$

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีควรมีค่าฟิลล์แฟคเตอร์มากกว่า 0.7 ขึ้นไป เพื่อให้จะให้จุดทำงานมีค่าใกล้เคียงกับจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

7. ประสิทธิภาพสูงสุด ( $\eta_m$ ) คือ ค่าอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อพลังงานที่ได้รับของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งหาค่าได้จากสมการ

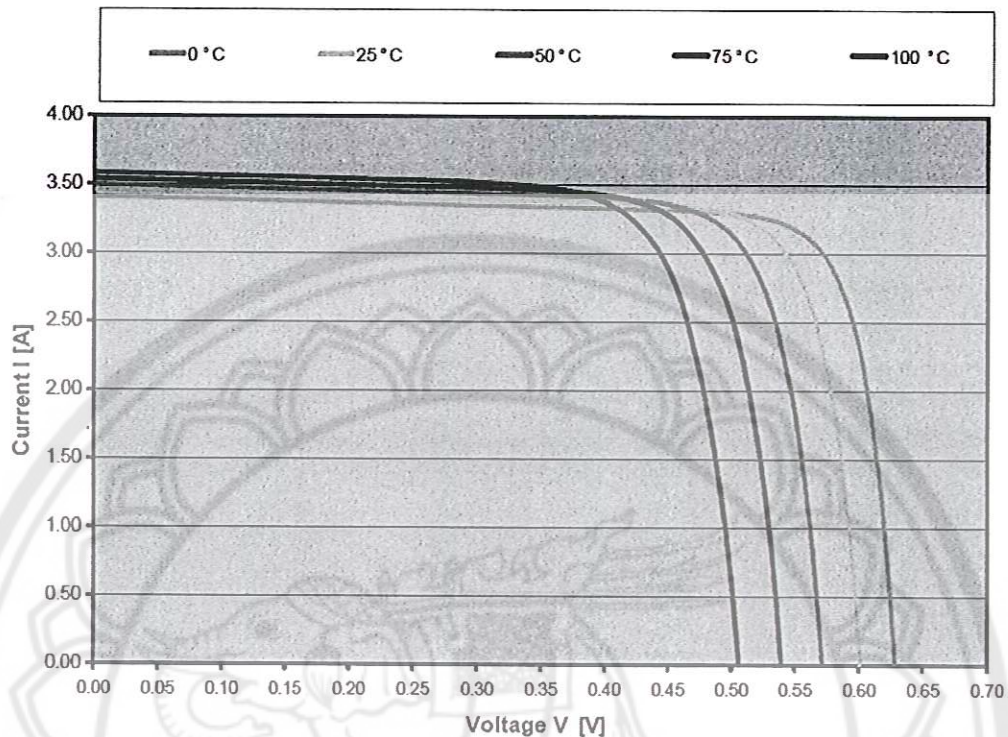
$$\eta_m = [P_m / A_m G_T] \times 100\% \quad (2.2)$$

เมื่อ  $A_m$  คือ พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $m^2$ )  
 $G_T$  คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ( $W/m^2$ )

ในกรณีที่รูปกราฟ IV-Curve นี้เปลี่ยนแกนไปอยู่ใน Quadrant ที่สองหรือสี่ (ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าเป็นลบ) จะหมายความว่าเกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า ซึ่งสาเหตุอาจเกิดจากการที่เซลล์มีอุณหภูมิสูงมาก และใกล้ที่จะเสียหาย ดังนั้นจึงนิยมติดตั้ง Bypass Diode ไว้ที่แผงเซลล์เพื่อป้องกันการเกิดแรงดันไหลย้อนกลับเข้าเซลล์แสงอาทิตย์

โดยปกติการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อรับรองคุณภาพจะกระทำที่เงื่อนไขเฉพาะเรียกว่า Standard Testing Condition (STC) ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางไฟฟ้าจะต้องภายใต้เงื่อนไขของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์  $1,000 \text{ W/m}^2$  ที่ค่ามวลอากาศ 1.5 และ อุณหภูมิเซลล์  $25 \text{ }^\circ\text{C}$

สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะมีลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจคือกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเมื่อความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อ IV-Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มรังสีดวงอาทิตย์คงที่ กับที่สภาวะอุณหภูมิแตกต่างกัน กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนจะตกลงเมื่ออุณหภูมิเซลล์สูงขึ้น ส่วนค่ากระแสสั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ค่าแรงดันไฟฟ้าจะตกลงอย่างมาก ซึ่งโดยปกติกำลังไฟฟ้าจะตกลงไปประมาณ 0.4–0.6 เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส [19]



รูปที่ 2.3 IV-Curve กรณีเมื่อค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์คงที่และอุณหภูมิเซลล์เพิ่มขึ้น [18]

#### 2.4 ตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลของอุณหภูมิต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

จากที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ผ่านมาถึงผลของอุณหภูมิเซลล์ว่าส่งผลกระทบโดยตรงกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถอธิบายรายละเอียดของผลกระทบดังกล่าว

ผลของอุณหภูมิต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

กระแสไฟฟ้าลัดวงจรสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ

$$I_{sc} = \eta_e (1-r)(1-e^{-\alpha}) q n_{ph}(E_g) \quad (2.3)$$

เมื่อ  $\eta_e$  คือ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนคู่อิเล็กตรอน - โฮลให้เป็นกระแสไฟฟ้า

$r$  คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ผิวด้านรับแสงของเซลล์

$\alpha$  คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{cm}^{-1}$ )

$I$  คือ ระยะทางที่โฟตอนในแสงอาทิตย์ที่สารกึ่งตัวนำซึ่งมีช่องว่างพลังงานสามารถดูดกลืนได้  $\text{photon}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$

$e^{-\alpha}$  คือ สัดส่วนของโฟตอนที่ทะลุผ่านเซลล์ต่อโฟตอนที่ตกกระทบทั้งหมด

$E_g$  คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ (eV)

เมื่อพิจารณาช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำจะพบว่าช่องว่างพลังงานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดังสมการ

$$E_g(T) = E_{g0} \frac{\gamma T^2}{T + \beta} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $E_{g0}$  คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 1.16 eV

$E_g(T)$  คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิต่าง ๆ (eV)

$\gamma$  คือ ค่าคงที่เฉพาะสารกึ่งตัวนำใดๆ สำหรับซิลิกอน =  $7.02 \times 10^{-4}$  eV/K

$\beta$  คือ ค่าคงที่เฉพาะของสารกึ่งตัวนำใดๆ สำหรับซิลิกอน = 1,108 K

เมื่ออุณหภูมิของสารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้นช่องว่างพลังงานจะลดลงสำหรับซิลิกอนช่องว่างพลังงานจะลดลงประมาณ  $2.3 \times 10^{-4}$  eV/K ดังนั้นจำนวนโฟตอนที่มีพลังงานมากกว่าช่องว่างพลังงานจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นผลให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรมากขึ้น

จากตารางที่ 2.1 แสดงค่าของช่องว่างพลังงานของซิลิกอนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่องว่างพลังงานของซิลิกอนจะเปลี่ยนไปเล็กน้อยขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25 – 70 °C ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรเพิ่มขึ้นเล็กน้อยขณะที่อุณหภูมิเซลล์สูงขึ้น ในทางปฏิบัติอาจจะถือว่าอุณหภูมิต่าง ๆ ไม่มีผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรก็ได้



ตารางที่ 2.1 ช่องว่างพลังงานของซิลิกอนกับอุณหภูมิ

อุณหภูมิ (°C)	ช่องว่างพลังงาน (eV)
25	1.115
30	1.114
35	1.129
40	1.111
45	1.110
50	1.108
55	1.107
60	1.105
65	1.104
70	1.103

ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันไฟฟ้าวงจรถัด

แรงดันไฟฟ้าวงจรถัดสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ

$$V_{oc} = qN_c N_c A_p \frac{1}{N_A \sqrt{\tau_n}} + \frac{1}{N_D \sqrt{\tau_p}} e^{E_g / KT} \quad (2.5)$$

โดยที่

$$\sqrt{\tau_n} = \frac{L_n}{\sqrt{D_n}} \quad (2.6)$$

$$\sqrt{\tau_p} = \frac{L_p}{\sqrt{D_p}} \quad (2.7)$$

$$N_c = 2 \frac{2\pi m_e * KT}{h^2}^{3/2} \quad (2.8)$$

$$N_v = 2 \frac{2\pi m * KT}{h^2}^{3/2} \quad (2.9)$$

- เมื่อ  $N_c$  คือ ความหนาแน่นประสิทธิผลของอิเล็กตรอนสเตทในแถบตัวนำ ( $\text{cm}^{-3}$ )  
 $N_v$  คือ ความหนาแน่นประสิทธิผลของโฮลสเตทในแถบวาเลนซ์ ( $\text{cm}^{-3}$ )  
 $D_n$  คือ ค่าคงที่ของการแพร่ของอิเล็กตรอน ( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )  
 $D_p$  คือ ค่าคงที่ของการแพร่ของโฮล ( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )  
 $L_n$  คือ ระยะแพร่ของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี (cm)  
 $N_D$  คือ ความหนาแน่นของคอนเนอร์ ( $\text{cm}^{-3}$ )  
 $N_A$  คือ ความหนาแน่นของแอกเซปเตอร์ ( $\text{cm}^{-3}$ )  
 $A_p$  คือ พื้นที่หน้าตัดของรอยต่อ ( $\text{m}^2$ )  
 $m_e$  คือ มวลประสิทธิภาพของอิเล็กตรอน (kg)  
 $m_h$  คือ มวลประสิทธิภาพของโฮล (kg)  
 $h$  คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (J-sec)

จำนวนอิเล็กตรอนหรือโฮลในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์เป็นไปตามสมการ

$$n_i^2 = N_c N_v e^{-E/kT} \quad (2.10)$$

จากสมการสามารถเขียน  $V_{oc}$  ใหม่ได้ดังนี้

$$V_{oc} = qA_p n_i^2 \frac{D_n / L_n}{N_A L_n} / \frac{D_p}{N_D L_p} \quad (2.11)$$

ค่า  $n_i^2$  สำหรับซิลิกอนมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดังสมการ

$$n_i^2 = 1.54 \times 10^{33} T^{33} 10^{6080/T} \quad (2.12)$$

ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น  $n_i$ ,  $L_n$  และ  $L_p$  จะเพิ่มขึ้นแต่การเพิ่มของ  $n_i$  จะมากกว่าการเพิ่มของ  $L_n$  และ  $L_p$  ซึ่งเป็นผลให้กระแสอิ่มตัวย้อนกลับเพิ่มขึ้น เมื่อกระแสอิ่มตัวย้อนกลับมากขึ้นค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะลดลง

### ผลของอุณหภูมิต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด

กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$P_m = P_m(\text{STC})[1 - 0.005(T_{\text{cell}} - 25)] \quad (2.13)$$

เมื่อ  $P_m(\text{STC})$  คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน (W)  
 $T_{\text{cell}}$  คือ อุณหภูมิของเซลล์ ( $^{\circ}\text{C}$ )

ดังนั้นถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 50 W เมื่อนำมาใช้งานที่อุณหภูมิของเซลล์  $55^{\circ}\text{C}$  กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเหลือ 34 W ในกรณีของประสิทธิภาพสูงสุดจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดังสมการ

$$\eta_m = \eta_m(\text{STC})[1 - 0.003(T_{\text{cell}} - 25)] \quad (2.14)$$

### อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient Temperature) [20]

การพิจารณาอุณหภูมิแวดล้อมในเขตร้อนชื้นจะใช้สมการของ Sinusoidal ambient temperature โดยจะพิจารณาจาก อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุดของวันนั้น

$$T_{\text{amb}}(t) = \frac{1}{2} \left[ (T_{\text{max}} + T_{\text{min}}) + (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \sin\left(\frac{2\pi}{24}t\right) \right] \quad (2.15)$$

เมื่อ:

$T_{\text{amb}}(t)$  คือ อุณหภูมิแวดล้อม ณ เวลาที่พิจารณา ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{\text{max}}$  คือ อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดของวัน ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $T_{\text{min}}$  คือ อุณหภูมิแวดล้อมต่ำสุดของวัน ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 $t$  คือ  $h - 9$   
 $h$  คือ เวลาที่พิจารณา (ชั่วโมง)

## 2.5 แบบจำลอง [21]

การจำลอง (Simulation) เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการในการแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ โดยสามารถให้คำจำกัดความได้ว่าหมายถึง "กระบวนการออกแบบแบบจำลอง (model) ของระบบงานจริง (real system) แล้วดำเนินการใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ (strategies) ต่าง ๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้"

จากคำจำกัดความจะพบว่า กระบวนการจำลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การสร้างแบบจำลองและการนำแบบจำลองไปใช้งานในเชิงวิเคราะห์ กลไกของวิธีการของการจำลองขึ้นอยู่กับแบบจำลองและการใช้งาน แบบจำลองอาจจะอยู่ในรูปหุ่น ระบบ หรือแนวความคิด โดยไม่จำเป็นต้องเหมือนกับระบบงานจริง แต่ต้องสามารถช่วยให้เข้าใจในระบบงานจริง เพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อปรับปรุงการดำเนินงานของระบบจริง

การจำลองด้วยคอมพิวเตอร์เป็นการศึกษาถึงปัญหาของระบบงานด้วยแบบจำลองที่อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นประเภทของแบบจำลองที่เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด เพราะสามารถใช้ได้กับปัญหาของระบบงานหลากหลายประเภท โดยในการทำงานจะเกี่ยวข้องกับการคำนวณข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งในการจัดเตรียมและการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้วิธีการทางสถิติ

### 2.5.1 แบบจำลอง (Simulation Models)

ตัวแทนของวัตถุ ระบบ หรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่ง โดยสามารถนำไปใช้งานได้หลายลักษณะ

2.5.1.1 เป็นเครื่องช่วยคิด (An aid to thought) ช่วยให้ผู้สร้างมองเห็นขั้นตอนการทำงานว่า มีกิจกรรมอะไรบ้างที่จะต้องทำ และทำอะไรก่อนอะไรหลัง

2.5.1.2 เป็นเครื่องสื่อความหมาย (An aid to communication) ช่วยให้เข้าใจพฤติกรรมของระบบงาน และช่วยให้สามารถอธิบายพฤติกรรม ปัญหา และการแก้ปัญหาของระบบ

2.5.1.3 เป็นเครื่องช่วยสอนและฝึกอบรม (A tool of training & instruction) เช่นแบบจำลองเครื่องควบคุมการบินช่วยให้นักบินทำความเข้าใจและความคุ้นเคยกับระบบควบคุมเครื่องบินก่อนขึ้น ผึกบินจริง

2.5.1.4 เป็นเครื่องมือสำหรับการทำนาย (A tool of prediction) ช่วยให้ผู้สร้างสามารถคาดคะเนหรือทำนายได้ว่าเมื่อมีเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อองค์ประกอบเกิดขึ้น จะมีผลอะไรเกิดขึ้นกับระบบ

2.5.1.6 เป็นเครื่องมือสำหรับการทดลอง (An aid to experimentation) ในกรณีที่ต้องการทดลองเงื่อนไขต่าง ๆ กับระบบงานจริงแต่ไม่สามารถทำได้ ก็จะนำเอาเงื่อนไขนั้นๆ มาทดลองกับแบบจำลองเพื่อดูว่าจะให้ผลอย่างไร เพื่อประโยชน์ในการตัดสินใจว่าควรจะนำเงื่อนไขนั้นๆ ไปใช้กับระบบงานจริงหรือไม่

## 2.5.2 ประเภทของแบบจำลอง (Classification of Simulation Models)

ในการจำแนกประเภทของแบบจำลอง สามารถจำแนกได้ตามประเภทของระบบงานที่แบบจำลองเป็นตัวแทน หรือจำแนกตามลักษณะพิเศษ ดังนี้

2.5.2.1 แบบจำลองทางกายภาพ (Physical or Iconic Models) คือ แบบจำลองที่มีลักษณะเหมือนกับระบบงานจริง โดยอาจมีขนาดเท่ากับของจริงหรือมีขนาดเล็กกว่าหรือใหญ่กว่า (Scaled Models) อาจเป็นแบบจำลองในมิติใดมิติหนึ่งหรือ 3 มิติ

2.5.2.2 แบบจำลองอนาลอก (Analog Models) คือ แบบจำลองที่มีพฤติกรรมเหมือนระบบงานจริง แต่อาจมีรูปลักษณะไม่เหมือนกับระบบงานจริง

2.5.2.3 แบบจำลองการตัดสินใจ (Decision Models) ในกิจการต่าง ๆ เช่น ธุรกิจ การลงทุน สงคราม ฯลฯ เป็นแบบจำลองที่ใช้แสดงผลเปรียบเทียบเมื่อมีการตัดสินใจในแบบต่าง ๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการตัดสินใจ

2.5.2.4 แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Models) - แบบจำลองที่อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยอาจเป็นแบบจำลองที่แปลงมาจากแบบจำลองประเภทอื่น ๆ

2.5.2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Models) - แบบจำลองที่ใช้สัญลักษณ์และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์แทนองค์ประกอบในระบบจริง แทนค่าลงในสูตรการคำนวณต่าง ๆ ในระบบงานจริงที่มีความยุ่งยากซับซ้อน อาจใช้แบบจำลองหลาย ๆ ประเภทร่วมกัน

## 2.5.3 โครงสร้างของแบบจำลอง (Structure of Simulation Models)

สามารถเขียนในรูปแบบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้

โดยที่ E	คือ ผลของการปฏิบัติการของระบบ
xi	คือ ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่สามารถควบคุมได้
yi	คือ ตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ไม่สามารถควบคุมได้
f	คือ ความสัมพันธ์ระหว่าง xi และ yi ที่ทำให้เกิด E

จากรูปแบบของฟังก์ชันข้างต้น โครงสร้างของแบบจำลองจะประกอบไปด้วย

2.5.3.1 องค์ประกอบ (Components) - ทุกระบบจะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ในแบบจำลองที่ใช้แทนระบบจริง ก็จะต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบที่จำเป็นสำหรับการทำงานของระบบ

### 2.5.3.2 ตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables & Parameters)

๑ ตัวแปร เป็นค่าที่ผันแปร มีได้หลายค่าตามสภาวะจริงของการใช้งาน แยกออกได้เป็น 2 ประเภท

ตัวแปรภายนอก (Exogeneous Variables) - มีลักษณะเป็นตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ซึ่งหมายถึง ตัวแปรจากภายนอกที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบ หรือเป็นตัวแปรซึ่งเป็นผลมาจากปัจจัยภายนอก

ตัวแปรภายใน (Endogeneous Variables) - ตัวแปรที่เกิดขึ้นภายในระบบ มีลักษณะเป็น

- ตัวแปรสถานภาพ (Status Variables) - ตัวแปรที่ใช้บอกสภาพหรือเงื่อนไขของระบบ

- ตัวแปรนำออก (Output Variables) - ผลที่ได้จากการใช้งานระบบในเชิงสถิติ ตัวแปรจากภายนอกจะเป็นตัวแปรอิสระ (Independent Variables) และตัวแปรภายในจะเป็นตัวแปรตาม (Dependent Variables)

◎ พารามิเตอร์ เป็นค่าคงที่ซึ่งผู้ใช้แบบจำลองเป็นผู้กำหนด อาจเป็นค่าที่กำหนดขึ้นเองเพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นจากค่าของพารามิเตอร์นั้นหรือเป็นค่าที่วัดหรือประเมินได้จากข้อมูล

2.5.3.3 ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Functional Relationships) - ฟังก์ชันที่อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับพารามิเตอร์ซึ่งมีได้ 2 ลักษณะ ได้แก่

◎ แน่นอนตายตัว (Deterministic) - เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าจะสามารถหาผลลัพธ์ที่แน่นอนได้

◎ ไม่แน่นอน (Stochastic) - เมื่อใส่ข้อมูลนำเข้าให้กับฟังก์ชัน จะไม่สามารถระบุผลลัพธ์ที่แน่นอนได้ รูปแบบของฟังก์ชันจะอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งฟังก์ชันความสัมพันธ์เหล่านี้อาจหาได้จากสมมติฐานหรือประเมินจากข้อมูลร่วมกับวิธีการทางสถิติหรือทางคณิตศาสตร์

2.5.3.4 ข้อจำกัด (Constraints) - ข้อจำกัดของค่าของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งอาจเป็นข้อจำกัดที่ผู้ใช้กำหนดขึ้น เช่น ปริมาณทรัพยากรในระบบ, ปริมาณที่ผลิตได้ต่อวัน หรืออาจเป็นข้อจำกัดของระบบจริงโดยธรรมชาติ เช่น การขายสินค้าจะไม่สามารถขายได้มากกว่าปริมาณที่ผลิต

2.5.3.5 ฟังก์ชันเป้าหมาย (Criterion Functions) - ข้อความที่บอกเป้าหมาย (Goals) หรือวัตถุประสงค์ (Objectives) ของระบบและวิธีประเมินผลตามเป้าหมาย โดยวัตถุประสงค์สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่

◎ การคงสภาพของระบบ (Retentive) - วัตถุประสงค์ที่จะทำให้ระบบสามารถคงสภาพการใช้ทรัพยากรเช่น เวลา พลังงาน ความชำนาญ ฯลฯ หรือคงสถานภาพของระบบ เช่น ความสะดวกสบาย คุณภาพ ความปลอดภัย

◎ การแสวงหา (Acquisitive) - วัตถุประสงค์ที่จะทำให้ระบบสามารถเพิ่มทรัพยากรต่าง ๆ เช่น กำไรลูกค้าหรือเปลี่ยนสถานภาพของระบบ เช่น ได้ส่วนแบ่งตลาดเพิ่มขึ้นลำดับความนิยม

### 2.5.4 กระบวนการจำลอง (Simulation Process)

การจำลองในปัจจุบันมักจะนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ เนื่องจากสามารถรองรับปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนและสามารถคำนวณหาข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการสำหรับการวิเคราะห์หาวิธีการแก้ปัญหา ขั้นตอนการดำเนินงานสำหรับการจำลองที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณประกอบด้วย

2.5.4.1 การตั้งปัญหาและให้คำจำกัดความของระบบ (Problem Formulation & System Definition) – การกำหนดวัตถุประสงค์ของระบบ การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่าง ๆ และวิธีการประเมินผล

2.5.4.2 การสร้างแบบจำลอง (Model Formulation) - การเขียนแบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา

2.5.4.3 การจัดเตรียมข้อมูล (Data Preparation) - การวิเคราะห์หาข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง และจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้

2.5.4.4 การแปรรูปแบบจำลอง (Model Translation) - แปลงแบบจำลองให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

2.5.4.5 การทดสอบความถูกต้อง (Validation) - การวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองสามารถใช้แทนระบบจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้

2.5.4.6 การออกแบบการทดลอง (Strategic Planning) - การออกแบบการทดลองที่ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ที่ต้องการ โดยกำหนดเงื่อนไขในการทดลอง

2.5.4.7 การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง (Tactical Planning) - การวางแผนว่าจะใช้แบบจำลองในการทดลองอย่างไรจึงจะได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลเพียงพอ

2.5.4.8 การดำเนินการทดลอง (Experimentation) - การคำนวณหาข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการและความไวของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลแบบจำลอง

2.5.4.9 การตีความผลการทดลอง (Interpretation) - จากผลการทดลองที่ได้รับ ตีความว่าระบบจริงมีปัญหอย่างไรและการแก้ไขปัญหานั้นจะได้ผลอย่างไร

2.5.4.10 การนำไปใช้งาน (Implementation) - เปรียบเทียบผลการทดลอง เลือกวิธีการที่แก้ไขปัญหาได้ดีที่สุดไปใช้กับระบบจริง

2.5.4.11 การจัดทำเอกสารการใช้งาน (Documentation) - การบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งานและผลที่ได้จากการใช้งาน เพื่อประโยชน์สำหรับผู้นำแบบจำลองไปใช้งาน และการปรับปรุงแบบจำลอง

### 2.5.5 การใช้งานแบบจำลอง (Applications of Simulation Models)

การจำลองเป็นเครื่องมือที่ใช้บอกผลต่าง ๆ อันจะเกิดจากระบบภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ ผลที่ได้จากแบบจำลองอาจนำไปใช้งานได้โดยตรงหรืออาจต้องนำไปวิเคราะห์ต่อ การจำลองเป็น

วิธีการหนึ่งในหลาย ๆ วิธีที่อาจใช้ช่วยแก้ปัญหาในการดำเนินงานของระบบ โดยการใช้งานแบบจำลองแทนระบบจริง จะเหมาะสมสำหรับกรณีต่าง ๆ ดังนี้

2.5.5.1 การทดลองกับระบบจริงอาจก่อให้เกิดความขัดข้องในการดำเนินงานตามปกติ

2.5.5.2 การทดลองกับระบบจริงจะควบคุมเงื่อนไขต่าง ๆ ของการทดลองได้ยาก ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน

2.5.5.3 การทดลองกับระบบจริงต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายจำนวนมาก จึงจะได้ข้อมูลเพียงพอในการวิเคราะห์

2.5.5.4 การทดลองกับระบบจริง อาจจะเป็นไปไม่ได้ที่จะทดลองกับเงื่อนไขทุกรูปแบบที่ต้องการ

2.5.6 การประยุกต์ใช้แบบจำลองกับระบบงานจริง (Areas of Application)

ตัวแบบจำลองปัญหา สามารถนำไปแก้ปัญหาต่าง ๆ ได้หลายระบบงาน ตัวอย่างเช่น

2.5.6.1 การจำลองระบบงานด้านอุตสาหกรรม เช่น ระบบสินค้าคงคลัง ระบบแถวคอย ระบบการสื่อสารระบบการรับ-จ่ายสินค้า

2.5.6.2 การจำลองระบบงานด้านบริหารธุรกิจและเศรษฐศาสตร์ เช่น ศึกษาภาวะการผลัด ภาวะเงินเฟ้อพฤติกรรมของผู้บริโภค

2.5.6.3 การจำลองสถานการณ์ในการรบ

2.5.6.4 การจำลองปัญหาด้านการจราจร ระยะเวลา การเปิดสัญญาณไฟ

2.5.6.5 การจำลองปัญหาด้านการจัดการคมนาคมทางอากาศ การกำหนดระดับการบินให้กับเครื่องบินลำต่าง ๆ เพื่อป้องกันอุบัติเหตุเครื่องบินชนกัน

2.5.6.6 การฝึกหัดบิน

2.5.6.7 การจำลองการแข่งขันด้านธุรกิจ ด้วยการทดลองใช้แผนธุรกิจรูปแบบต่าง ๆ

2.5.6.8 การจำลองเกี่ยวกับระบบการบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม

2.5.6.9 การจำลองผลกระทบทางเศรษฐกิจ ในการใช้นโยบายเศรษฐกิจทางด้านต่าง ๆ

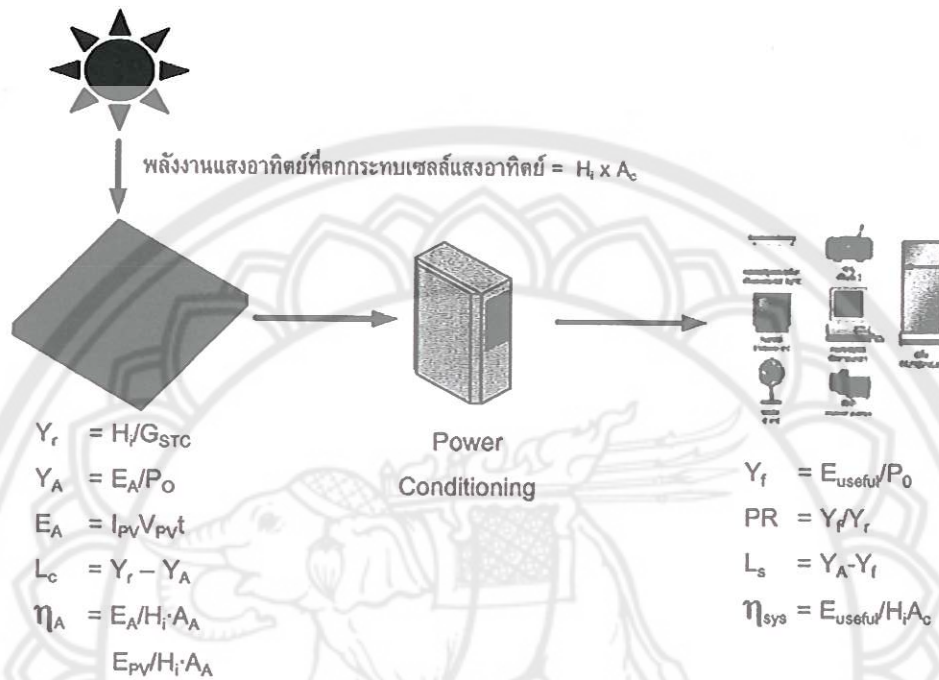
2.6 ทฤษฎีการประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบ

2.6.1 วิธีการประเมินระบบทางเทคนิค

การประเมินและวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านเทคนิคของสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน ระยะที่ 2 นี้ จะใช้วิธีการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค ที่อ้างอิงจาก International Energy Agency Photovoltaic Power Systems TASK 2 – Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems (IEA PVPS Task 2) [22] ซึ่งสามารถใช้ในการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield) และสามารถ



นำเอาค่าต่างๆ เหล่านั้น มาใช้การคำนวณหาสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio) โดยจะทำการกำหนดวิธีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้



พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_A = E_A / P_0 \tag{2.16}$$

$Y_A$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp)

$E_A$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)

$P_0$  คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_r = H_t / G_{STC} \tag{2.17}$$

$Y_r$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kWp)

$H_i$  คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{kWh/m}^2$ )

$G_{\text{STC}}$  คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์  $\text{STC} = 1 \text{ kW/m}^2$

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_f = E_{\text{PV}}/P_o \quad (2.18)$$

$Y_f$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{kWh/kWp}$ )

$E_{\text{PV}}$  คือ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า ( $\text{kWh}$ )

$P_o$  คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{Wp}$ )

$$E_{\text{PV}} = E_L/(1 + E_{\text{BU}}/E_A) \quad (2.19)$$

$E_L$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงโดยภาระทางไฟฟ้า ( $\text{kWh}$ )

$E_A$  คือ พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{kWh}$ )

$E_{\text{BU}}$  คือ พลังงานที่ผลิตได้จากระบบพลังงานเสริม ในกรณีนี้คือ 0 ( $\text{kWh}$ )

พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture Losses) หาได้จากสมการ

$$L_c = Y_r - Y_A \quad (2.20)$$

$L_c$  คือ พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{kWh/kWp}$ )

พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System Losses) หาได้จากสมการ

$$L_s = Y_A - Y_f \quad (2.21)$$

$L_s$  คือ พลังงานที่สูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{kWh/kWp}$ )

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio) หาได้จากสมการ

$$PR = Y_f/Y_r \quad (2.22)$$

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_A = E_A/H_i A_A \quad (2.23)$$

$\eta_A$  คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$A_A$  คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $m^2$ )

ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Total Efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_{PV} = E_{PV}/H_i A_A \quad (2.24)$$

$\eta_{PV}$  คือ ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

David L. King, William E. Boyson, Jay A. Kratochvil [3] ได้ทำการศึกษาพัฒนาสมการและประยุกต์ใช้กับการหาสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มานานกว่า 12 ปี โดยใช้ตัวแปรต่างๆ เช่น กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิ และแสงอาทิตย์ จากการศึกษาพัฒนาพบว่าสมการนี้สามารถวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ

วัฒน์พงษ์ รัชวิเชียร และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาการประเมินความเหมาะสมของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้งานจริง ศักยภาพ และคุณสมบัติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบทางเศรษฐกิจและสังคมจากการนำระบบเข้าไปติดตั้งให้กับประชาชน จากการศึกษาเอกสารและเก็บข้อมูลจากแหล่งต่างๆ พบว่า ณ สิ้นปี 2542 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่ในประเทศ มีกำลังไฟฟ้าติดตั้งรวมอยู่ประมาณ 4.4 MW<sub>p</sub> ผลการทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูบน้ำ และระบบประจุแบตเตอรี่ ตัวแทนพบว่า มีประสิทธิภาพของระบบเป็น 5.7 และ 1.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ราคาต่อหน่วยของระบบสูบน้ำตัวแทนเท่ากับ 20.47 บาท/ลูกบาศก์เมตร และราคาต่อหน่วยของระบบประจุแบตเตอรี่ตัวแทนเท่ากับ 43.01 บาท/kWh ผลการศึกษา sensitivity analysis แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนลดจะมี

ผลต่อราคาต่อหน่วยของน้ำและราคาต่อหน่วยของไฟฟ้ามากกว่าการเปลี่ยนแปลงราคาแผงเซลล์ ผลการศึกษายังพบว่า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความเหมาะสมในการใช้งาน แต่ปัญหาของระบบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการขาดการบริหารจัดการระบบที่ดีพอ ซึ่งปัญหาดังกล่าวมิได้เกิดจากตัวระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความบกพร่องแต่อย่างใด ดังนั้นการที่จะส่งเสริมให้เกิดการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างแพร่หลายนั้น หน่วยงานที่รับผิดชอบโครงการจะต้องมีการจัดฝึกอบรมเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจให้กับประชาชนในพื้นที่ และจัดให้มีการสร้างองค์กรขึ้นภายในชุมชน เพื่อเข้ามาบริหารจัดการการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์

Achitpon SaSitharanuwata, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy, and Suchart Yammen [6] ได้ทำการศึกษาและทดสอบระบบสถานีผลิตไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 kW<sub>p</sub> ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวรหลังจากติดตั้งใช้งานมาเป็นระยะเวลา 6 เดือน จากการศึกษาพบว่า ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 7,852 kWh และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si p-Si และ HIT มีค่าเท่ากับ 6.26% 10.48% และ 13.78%

Achitpon SaSitharanuwata, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy, and Suchart Yammen [7] ได้ทำการศึกษาและทดสอบระบบสถานีผลิตไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 kW<sub>p</sub> ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวรหลังจากติดตั้งใช้งานมาเป็นระยะเวลา 11 เดือน จากการศึกษาพบว่า ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 14,124 kWh และค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้รายวันเฉลี่ยเท่ากับ 42.8 kWh ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 33.08 kWh ถึง 48.73 kWh ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าอยู่ในช่วง 2.54 ชั่วโมงต่อวัน ถึง 3.62 ชั่วโมงต่อวัน และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si p-Si และ HIT มีค่าเท่ากับ 6.26% 10.48% และ 13.78% และสมรรถนะของระบบ เท่ากับ 0.57 - 0.79

Kritwiput Phaokeaw, Nipon Ketjoy, Wattanapong Rakwichian and Suchat Yammen [8] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si p-Si และ HIT ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นของจังหวัดพิษณุโลก ประเทศไทย ซึ่งทำการในการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แบบ โดยจะมุ่งเน้นทำการศึกษาค่ารังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่ามีผลกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบใดมากที่สุด จากการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นของจังหวัดพิษณุโลก ประเทศไทย มีความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า p-Si และ HIT แต่อย่างไรก็ตามแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si จะมีอัตราการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอื่น ๆ

Wuthipong Suponthana, Nipon Ketjoy, Wattanapong Rakwichian and Phumisak Inthanon [9] ได้ทำการศึกษาระบบบ้านพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 200,000 ระบบ ตั้งแต่ ปี

2548 - 2550 ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ภาค ได้แก่ ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากในเขตภาคเหนือใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดผลึกเดี่ยว (Mono Crystalline Silicon Solar Cell; m-Si) ส่วนในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดซิลิกอนอสัณฐาน (Amorphous Crystalline Silicon Solar Cell; a-Si) ซึ่งทั้ง 2 ภาคใช้เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่/เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบ MPPT และแบตเตอรี่ชนิด Deep Cycle จากการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า p-Si เท่ากับ 10% - 18% สมรรถนะของระบบ เท่ากับ 0.45 - 0.5

Achitpon SaSitharanuwat, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy and Wuthipong Suponthana[10] ได้ทำการศึกษาระบบสถานีผลิตไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 kW<sub>p</sub> ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 แบบ คือ แบบอิสระ (stand alone system) และ แบบเชื่อมต่อเข้ากับสายส่ง เพื่อศึกษาความต้องการพลังงานไฟฟ้าของอาคารทดสอบ จากการศึกษาพบว่า พลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si p-Si และ HIT เท่ากับ 102.39, 86.34 และ 80.20 ตามลำดับ และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ HIT p-Si และ HIT เท่ากับ 13.37 10.17 และ 6.59

Chatchai Sirisumpunwong, Nipon Ketjoy and Rattanan Boonmat [11] ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะในการปั้มน้ำของระบบปั้มน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ m-Si กับ a-Si จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของระบบที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ m-Si และ a-Si เท่ากับ 1.40 % และ 0.80 % และสมรรถนะในการปั้มน้ำ 1.13 และ 0.84 m<sup>3</sup>.kWh

ณัฐวุฒิ ชาวสะอาด นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒน์พงษ์ รักษ์วีเชียร [12] ทำศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเริ่มใช้งานในระยะแรกกับประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อระยะเวลาผ่าน จากการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนจะมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปีที่ 2 ที่หลังติดตั้งใช้งานประมาณร้อยละ 9.92 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ติดตั้งใช้งานในปีแรก และในปีที่ 3 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 13.83 หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเฉลี่ยในแต่ละปีเป็นร้อยละ 7.92 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอนจะมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปีที่ 2 หลังติดตั้งใช้งานร้อยละ 2.51 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ติดตั้งใช้งานในปีแรก และในปีที่ 3 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 2.62 หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเฉลี่ยในแต่ละปีประมาณร้อยละ 1.71 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอนประมาณร้อยละ 6.21



ฐิติพร เจาะจง นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รัชนีวิเชียร [13] ทำการศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริด ซิลิคอน (Hybrid Silicon Solar Cell ; HIT) จากการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT มีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปีที่ 2 หลังติดตั้งใช้งานร้อยละ 3.02 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ติดตั้งใช้งานในปีแรก ในปีที่ 3 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.22 และในปีที่ 4 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 7.72 หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 2.74/ปี

ฐิติพร เจาะจง นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รัชนีวิเชียร. [14] ทำการศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิด คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell; p-Si) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนอสัณฐาน (Amorphous Silicon Solar Cell; a-Si) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริด ซิลิคอน (Hybrid Solar cell; HIT จากการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนอสัณฐานจะมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปีที่ 2 หลังติดตั้งใช้งานประมาณร้อยละ 9.34 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ติดตั้งใช้งานในปีแรก ในปีที่ 3 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 3.79 และในปีที่ 4 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 5.54 หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเฉลี่ยเป็นร้อยละ 4.67/ปี แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิคอนจะมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปีที่ 2 หลังติดตั้งใช้งานร้อยละ 0.78 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ติดตั้งใช้งานในปีแรก ในปีที่ 3 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.01 และในปีที่ 4 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.60 หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.35/ปี และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปีที่ 2 หลังติดตั้งใช้งานร้อยละ 3.02 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ติดตั้งใช้งานในปีแรก ในปีที่ 3 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.22 และในปีที่ 4 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 7.72 หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเฉลี่ยประมาณร้อยละ 2.74/ปี

Takashi Minemoto [23] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการประเมินในสภาวะการใช้งานจริง เพื่อศึกษาตัวแปรของสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบกับพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ซึ่งจะทำการศึกษาสเปคตรัมของแสงอุณหภูมิจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ว่าผลต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si และ p-Si จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si จะขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของสเปคตรัมและต้องสูงกว่าสเปคตรัมของสีกรามส่วนพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

Ewan D. Dunlop [24] ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคโนโลยีซิลิคอน โดยเปรียบเทียบซิลิคอนและการเปลี่ยนแปลงของพลังงานตั้งแต่ 1982 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งจะแสดงให้เห็นการลดลงของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ โดยเขาใช้แผง

ซิลิกอนผลึกเดี่ยวที่สภาวะการใช้งานจริง และเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลาานาน จากการศึกษาพบว่า ผลกระทบของการลดลงของประสิทธิภาพของพลังงานขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซิลิกอน

E.E. van Dyk , E.L. Meyer [25] ได้ทำการศึกษาการสึกกร่อนของ Parasitic resistances ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ออกมาลดลง โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับจากความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขั้ว ซึ่งจะนำเทคโนโลยีมาใช้ในการวิเคราะห์และแสดงให้เห็นค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบจากความต้านทานทั้ง 2 ตัวนี้ จากการวิเคราะห์การลดลงของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมของแผงขนาด 130 kWh/m<sup>2</sup> ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าถึง 50% และการลดลงของความต้านทานขั้ว 29 % ของแผง CuInSe<sub>2</sub> ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าถึง 6 % จากการศึกษาในครั้งนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมและการลดลงของความต้านทานขั้วจะทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง

Toshiyulu Yamaguchi, Masanao Kawakami, Keiichi Kitano, Shigeyasu Nakagawa, Tetsuro Tokoro, Takumi Nakano, Kiyoteru Hayama and Hidemori Ohyama [26] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้ โดยจะศึกษาค่ารังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของพลังงานสำหรับระบบที่ติดตั้งในทิศเหนือกับทิศใต้เป็นเวลา 1 ปีของระบบที่ขนาด 40 kW ซึ่งทิศเหนือและทิศใต้มีค่ารังสีดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ย 3.14 kWh/m<sup>2</sup>·day และ 4.59 kWh/m<sup>2</sup>·day ตามลำดับ และอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศเหนือจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทิศใต้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตั้งแต่ 92.7 % และ 68.3 % ตามลำดับ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งลงมายังโลกโดยเฉลี่ยใน 1 เดือน จากมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 95.4 % จนถึง 32.1 % และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งลงมายังโลกโดยเฉลี่ยใน 1 ปี เท่ากับ 65.1 % จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้ต่อเดือนที่ตั้งติดตั้งในทิศเหนือต่ออัตราส่วนของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้ต่อเดือนที่ตั้งติดตั้งในทิศใต้ มีอัตราส่วนตั้งแต่ 96.4 % จนถึง 32.8 % และอัตราส่วนต่อปีเท่ากับ 66.4 %

Jinlei Ding, Xiaofang Cheng, Tairan Fu [27] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเฉพาะตัวของความต้านทานอนุกรม โดยนำคุณสมบัติเฉพาะของความต้านทานอนุกรมมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ อุณหภูมิ และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงที่สุด

Meena Dadu, A. Kapoor, K.N. Tripathi [28] ได้ทำการศึกษาค่าฟิลล์แฟคเตอร์ของ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับผลกระทบจากความต้านทานอนุกรม จากการศึกษาระแสไฟฟ้า 0.01 แอมแปร์ ความต้านทานอนุกรม 1.92 โอห์ม จะทำให้ค่าฟิลล์แฟคเตอร์ที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่า ความต้านทานอนุกรมที่มีค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณ เท่ากับ 4.8% และถ้ากระแสไฟฟ้า  $10^{-10}$  แอมแปร์ ความต้านทานอนุกรม 1.41 โอห์ม จะทำให้ค่าฟิลล์แฟคเตอร์ที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่า ความต้านทานอนุกรมที่มีค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณ เท่ากับ 4.85% ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าการ เปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมมีผลทำให้ค่าฟิลล์แฟคเตอร์เปลี่ยนแปลง

W. Tayati S. Sriwattananukulkit D Tayati and T. Komolmit [29] ได้ศึกษาในเรื่อง ของระบบบ้านแสงอาทิตย์พบว่าการติดตั้งและใช้งานทั่วทั้งประเทศซึ่งได้มีการประเมิน สมรรถนะและความยั่งยืนของโปรแกรมระบบบ้านเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวในประเทศไทย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ได้ทำการติดตามระบบบ้านแสงอาทิตย์จำนวน 98 หลังคาเรือน ซึ่งได้มีการ ติดตั้งในสองหมู่บ้านของจังหวัดเชียงใหม่ จากข้อมูลพบว่าความยั่งยืนของระบบมี ค่าประมาณ 1 ปี เนื่องจากปัญหาการจัดการระบบแต่จากการใช้งานระบบบ้านเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นพบว่าข้อดีหลายประการด้วยกันคือคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของเด็กๆ ในหมู่บ้านที่มีสุขภาพ พละนามัยที่สมบูรณ์มากขึ้น



### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้นำเสนอวิธีการดำเนินการวิจัย เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย วิธีการตรวจวัดและการเก็บข้อมูลต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่ทำการศึกษาจะใช้ข้อมูลจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่ศึกษาอยู่ภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยทำการบันทึกข้อมูลเป็นระยะเวลา 5 ปี เริ่มตั้งแต่ ปี 2548 จนถึง ปี 2552 ซึ่งจะแบ่งประเด็นที่ทำการศึกษาออกเป็น 3 ประเด็นหลักๆ ดังนี้

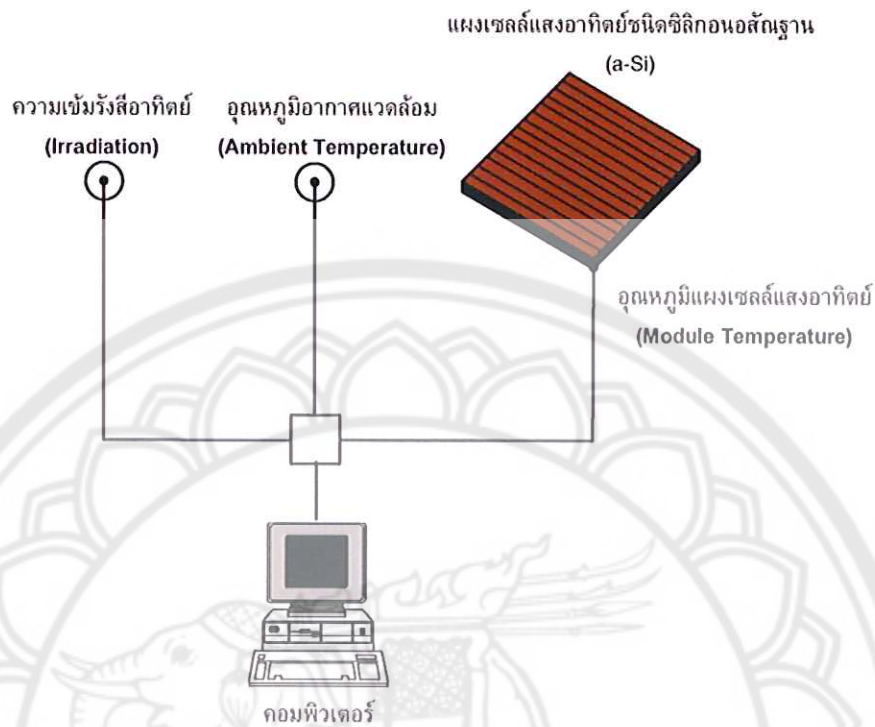
#### 3.1 ทำการศึกษาค้นหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน

ทำการศึกษาค้นหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน จะมุ่งเน้นการศึกษาเกี่ยวกับความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากตัวแปรทั้ง 3 ตัวแปรจะส่งผลต่อความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูล มีดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติ

ลำดับที่	ตัวแปร	สัญลักษณ์
1	ความเข้มรังสีอาทิตย์ (Irradiance)	$G_T$
2	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient Temperature)	$T_{amb}$
3	อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Temperature)	$T_a$

ในการทดลองและการเก็บบันทึกข้อมูลจะเป็นระบบบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยข้อมูลจะถูกบันทึกตลอด 24 ชั่วโมง ทุกๆ 5 นาที



รูปที่ 3.1 ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติ

การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์ส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำการวิเคราะห์ความเข้มรังสีอาทิตย์ว่าส่งผลต่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างไร ซึ่งจะทำให้ทราบว่าเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น - ลดลง อุณหภูมิอากาศแวดล้อมและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีพฤติกรรมเป็นอย่างไร และหาอัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เพื่อให้ทราบถึงอัตราส่วนระหว่างอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกี่เท่าของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เมื่อทราบความเข้มรังสีอาทิตย์หรืออุณหภูมิอากาศแวดล้อม

จากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม จะได้สมการเชิงเส้น (Linear equation) เพื่อทำนายค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แปรผันตรงกับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากสมการการหาลำลังไฟฟ้าจากกฎของโอห์มจะกำหนดตัวแปรดังสมการต่อไปนี้

$$P_{pv} = I_{pv}V_{pv} \quad (3.1)$$

โดยที่

$P_{pv}$  คือ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)

$I_{pv}$  คือ กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากกระแสไฟฟ้า (I) แปรผันตรง กับ  $G_T$  ดังรูปที่ 3.3

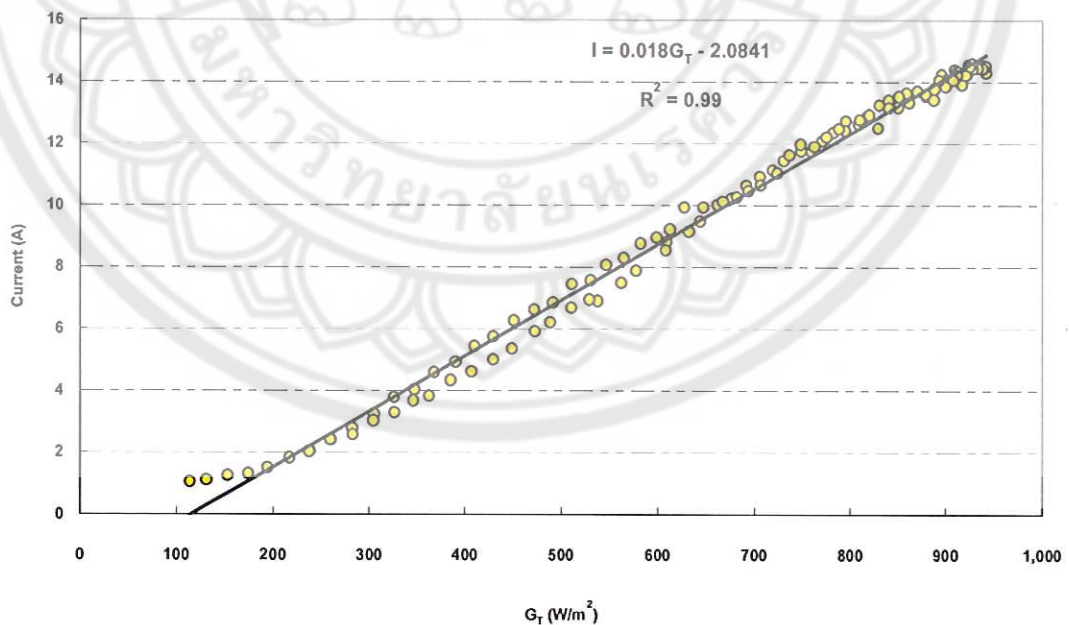
$V_{pv}$  คือ แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากแรงดันไฟฟ้า (V) แปรผันตรง กับ  $T_a$  ดังรูปที่ 3.4

จากสมการเชิงเส้น

$$Y = mX + C \quad (3.2)$$

จากรูปที่ 3.2 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่าง  $G_T$  กับ  $I$  ในรูปของสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

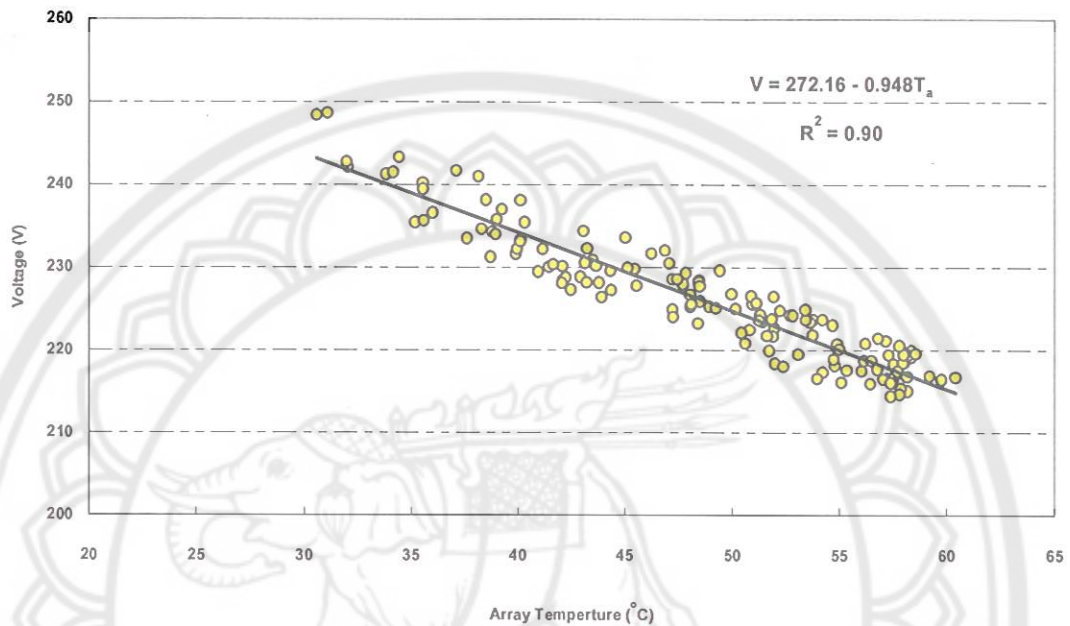
$$I = 0.018G_T - 2.0841 \quad (3.3)$$



รูปที่ 3.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $G_T$  กับ  $I$

จากรูปที่ 3.3 สามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_a$  กับ  $V$  ในรูปของสมการเชิงเส้นได้ดังนี้

$$V = 272.16 - 0.948T_a \quad (3.4)$$



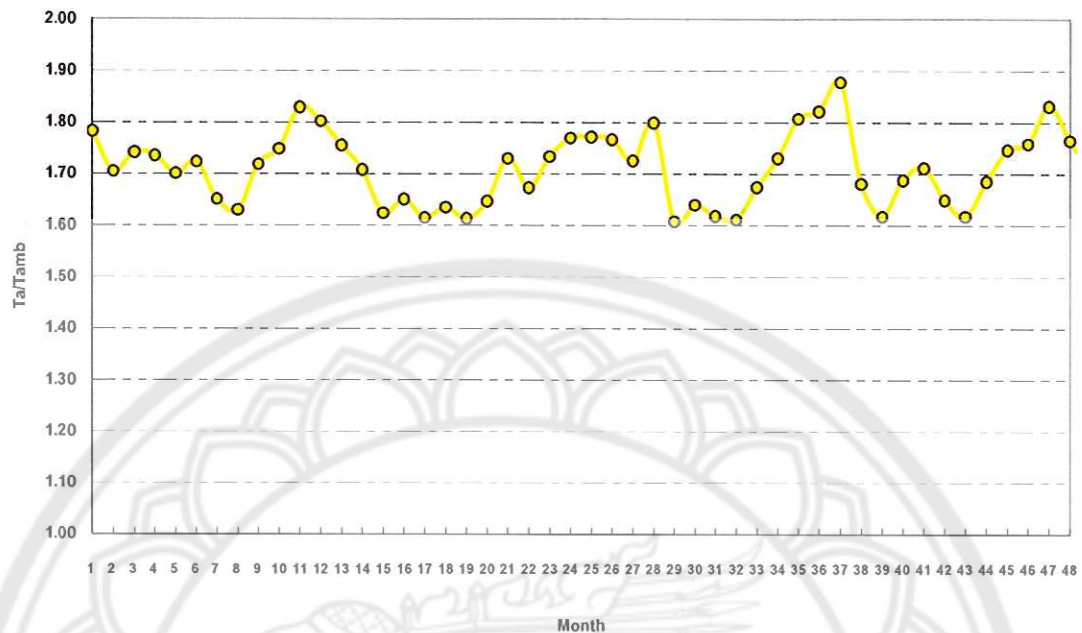
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_a$  กับ  $V$

จากสมการที่ 3.2 และ 3.3 สามารถเขียนสมการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับ  $G_T$  และ  $T_a$  ได้ดังนี้

$$P = ((0.018G_T - 2.0841) \times (272.16 - 0.948T_a)) \quad (3.5)$$

เนื่องจาก  $T_a$  มีค่าสูงกว่า  $T_{amb}$  ในอัตราส่วนที่คงที่ดังรูปที่ 3.4 แสดงอัตราส่วนระหว่าง  $T_a$  กับ  $T_{amb}$  ในแต่ละเดือน พบว่า  $T_a$  มีค่าประมาณ 1.71 เท่าของ  $T_{amb}$  ดังนั้นจึงเขียนสมการของแรงดันไฟฟ้าใหม่ ได้ดังนี้

$$V = 272.16 - 1.621T_{amb} \quad ; \quad T_a = 1.71 \times T_{amb} \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนระหว่าง  $T_a$  กับ  $T_{amb}$  ในแต่ละเดือน

จากสมการที่ 3.6 สามารถเขียนสมการหากำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับ  $G_T$  และ  $T_{amb}$  ได้ดังนี้

หรือ

$$P = ((0.018G_T - 2.0841) \times (272.16 - 1.621T_{amb})) \quad (3.7)$$

ซึ่งจากสมการที่ 3.6 หรือ 3.7 จะนำมาใช้ในการทำนายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si และทำนายพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ( $E_A$ ) โดยใช้สมการดังนี้

$$E_A = \int P_{pv} dt \quad \text{มีหน่วย Wh} \quad (3.8)$$

โดยที่

$E_A$  คือ พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)

$P_{pv}$  คือ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)

$dt$  คือ ระยะเวลาของเวลาที่ใช้ในการบันทึก (Hour)

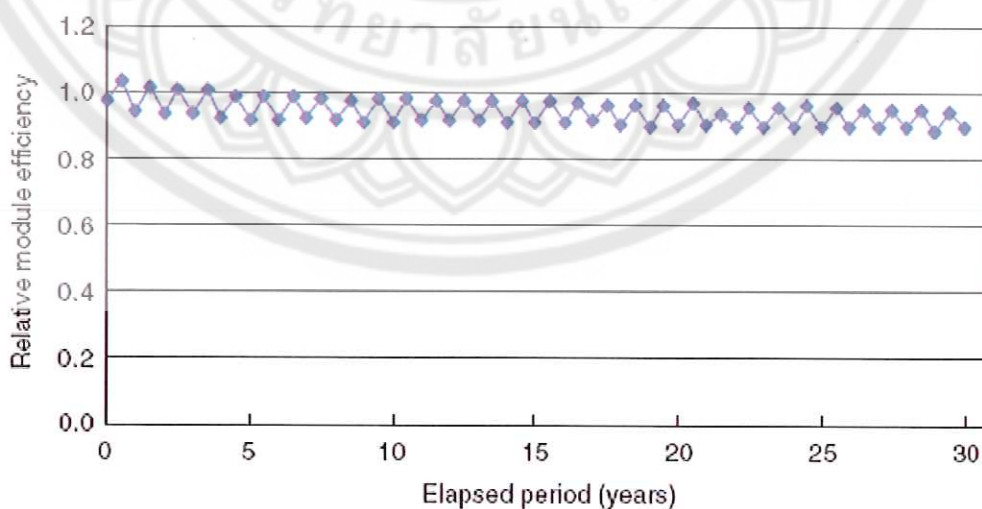
ในการวิเคราะห์หา  $E_A$  จะใช้สมการที่ 3.8 และทำการหา  $Y_A$  จากสมการที่ 2.16 เพื่อหาสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

### 3.2 พัฒนาให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน

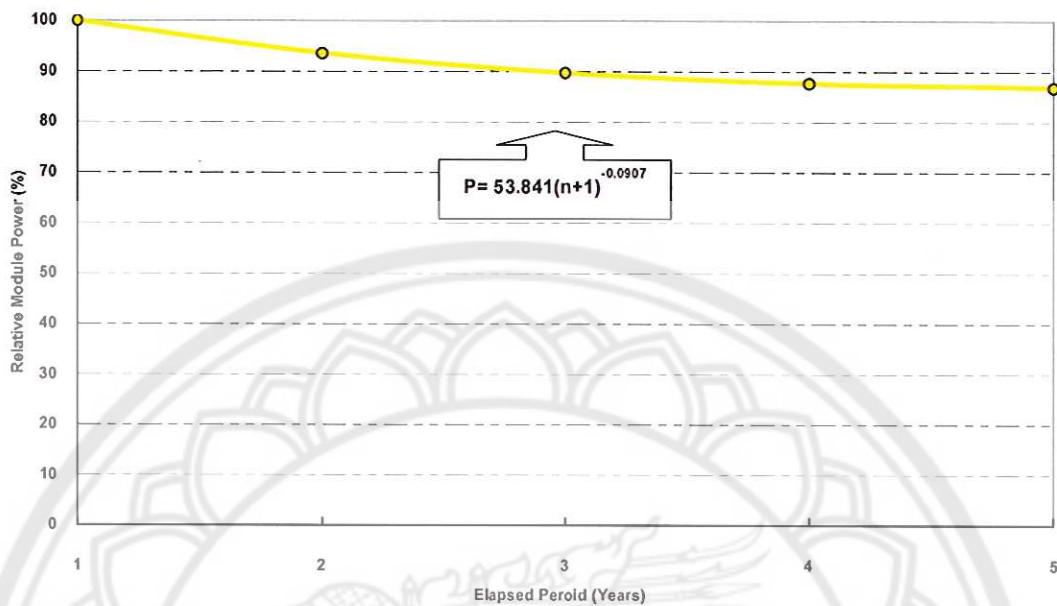
การพัฒนาให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si โดยนำกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ติดตั้งใช้งานตั้งแต่ปี 2548 ถึง 2552 มาคำนวณหาอัตราการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละปี และนำอัตราการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละปีมาใช้ในการทำนายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อติดตั้งใช้งานผ่านไปเป็นระยะเวลา 25 ปี โดยจะมีตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูล ดังตารางที่ 3.2 โดยการเก็บบันทึกข้อมูลจะทำการจดบันทึกด้วยมือทุกๆ 1 เดือน

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติเพื่อพัฒนาให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si

ลำดับที่	ตัวแปร	สัญลักษณ์
1	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage)	DC (V)
2	กระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current)	DC (A)
3	IV - Curve	IV
4	อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Temperature)	T <sub>a</sub>



รูปที่ 3.5 แนวโน้มการลดลงของกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่บริษัทผู้ผลิตทำทดสอบ [30]



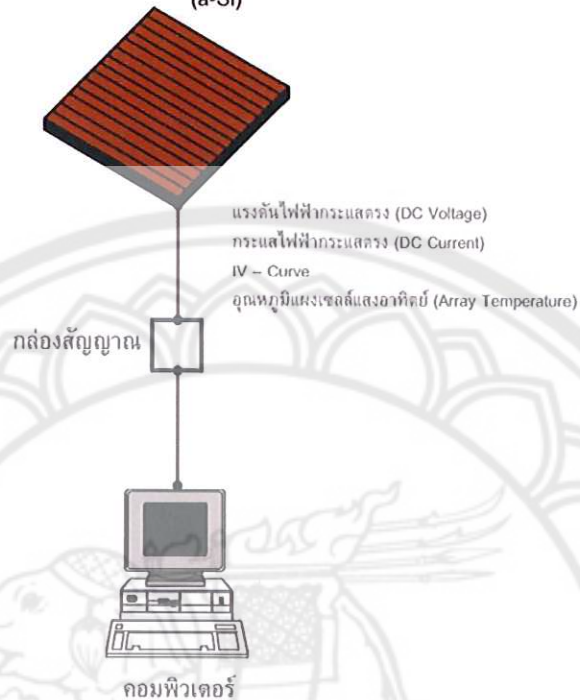
รูปที่ 3.6 แสดงกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ทำการจดบันทึกเป็นระยะเวลา 5 ปี

จากรูปที่ 3.5 แนวโน้มการลดลงของกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่บริษัทผู้ผลิตทำทดสอบ เนื่องจากทางบริษัทผู้ผลิตได้ทำการทดสอบการลดลงของกำลังไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 25 ปี ซึ่งจะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปีแรกที่ทำการติดตั้งใช้งานจนถึงปีที่ 5 และในปีที่ 6 กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะคงที่ไปจนถึงปีที่ 25 จากข้อมูลดังกล่าวทำให้สามารถตั้งสมมุติฐานได้ว่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการลดลงจนถึงปีที่ 5 และจะเริ่มคงที่ในปีที่ 6 ซึ่งจากรูปที่ 3.6 เป็นข้อมูลที่ได้ทำการเก็บบันทึกเป็นระยะเวลา 5 ปี จะสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ที่ใช้ในการทำนายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งใช้งานเป็นระยะเวลา 25 ปี ที่มี  $R^2 = 0.99$  ได้ดังนี้

$$P = 53.841(n+1)^{-0.0907}$$

3.9

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนอสัณฐาน  
(a-Si)



รูปที่ 3.7 ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ เพื่อพัฒนาให้เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### 3.3 การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

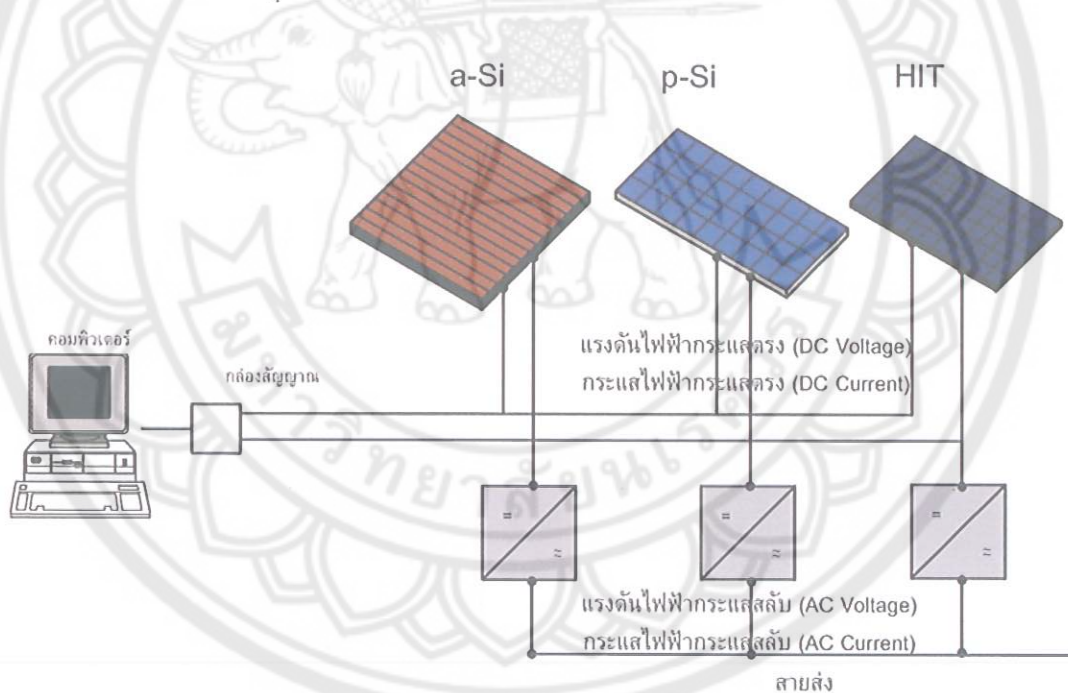
การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมุ่งเน้นทำการศึกษาคือ การศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่าใน 3 เทคโนโลยี เทคโนโลยีแบบใดมีสมรรถนะสูงกว่ากัน เพื่อใช้ในการเลือกใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย รวมถึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการเลือกพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศ โดยตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูล มีดังตารางที่ 3.4



ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ลำดับที่	ตัวแปร	สัญลักษณ์	a-Si	p-Si	HIT
1	ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (Irradiation)	$G_T$	1		
2	แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง (DC Voltage)	DC (V)	1	1	1
3	กระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC Current)	DC (A)	1	1	1
4	แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Voltage)	AC (V)	1	1	1
5	กระแสไฟฟ้ากระแสสลับ (AC Current)	AC (A)	1	1	1

ในการทดลองและการเก็บบันทึกข้อมูลจะเป็นระบบบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติ โดยข้อมูลจะถูกบันทึกตลอด 24 ชั่วโมง ทุกๆ 5 นาที



รูปที่ 3.8 ตัวแปรที่ทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลโดยอัตโนมัติ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์เปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำการวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี เพื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ว่าในสภาวะเดียวกัน

แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบใดสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงกว่ากัน ซึ่งจะทำให้ทราบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบมีสมรรถนะสูงกว่ำนั่นเอง



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

ในบทนี้นำเสนอผลการศึกษาและหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน เป็นระยะเวลา 5 ปี ตั้งแต่ ปี 2548 จนถึงปี 2552 โดยจะแบ่งผลการศึกษาดังกล่าวออกเป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน ส่วนที่สองเป็นผลการศึกษาการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน และส่วนที่สามเป็นผลการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี

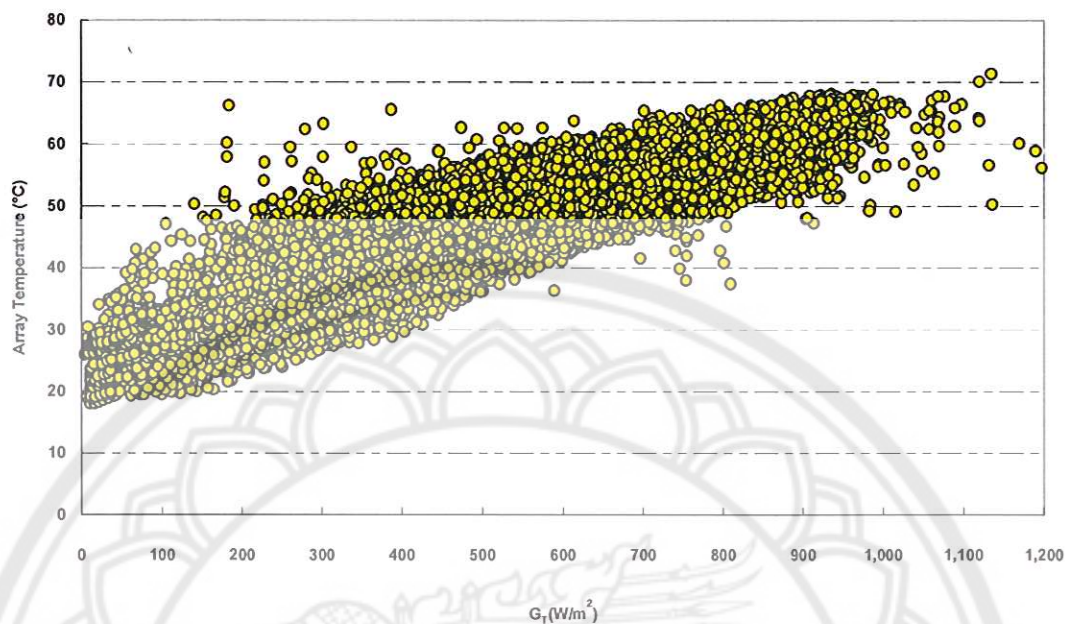
#### 4.1 ผลการศึกษาหาความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน

##### 4.1.1 ความสัมพันธ์ของตัวแปรทางธรรมชาติ

จากรูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $G_T$  กับ  $T_a$  พบว่าเมื่อ  $G_T$  เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้  $T_a$  เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเมื่อ  $T_a$  จะส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ทำให้กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่า Temperature coefficient เป็นค่าที่ใช้ในการบอกค่าเมื่อ  $T_a$  เพิ่มขึ้นจะส่งผลอย่างไรต่อแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดจะมีค่า Temperature coefficient ไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และบริษัทผู้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้จะ Temperature coefficient ดังตารางที่ 4.1

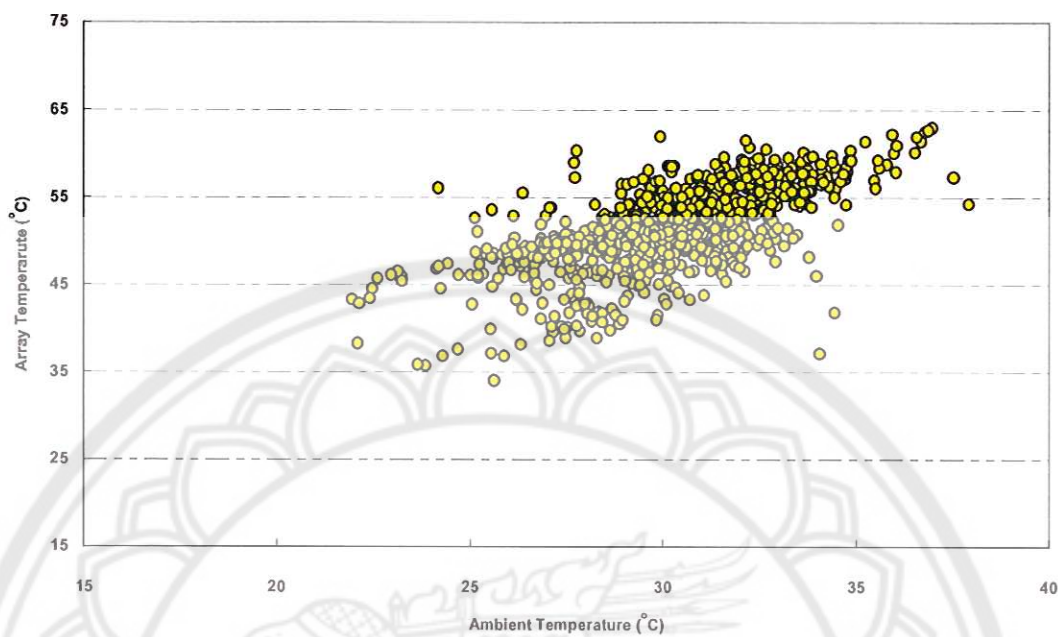
ตารางที่ 4.1 แสดง Temperature coefficient ของ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี

ตัวแปร	a-Si [30]	p-Si [31]	HIT [32]
Temperature Coefficients of $V_{oc}$ (%/°C)	-0.305	-0.367	-0.261
Temperature Coefficients of $I_{sc}$ (%/°C)	0.075	0.053	0.030
Temperature Coefficients of $P_{max}$ (%/°C)	-0.230	-0.485	-0.330



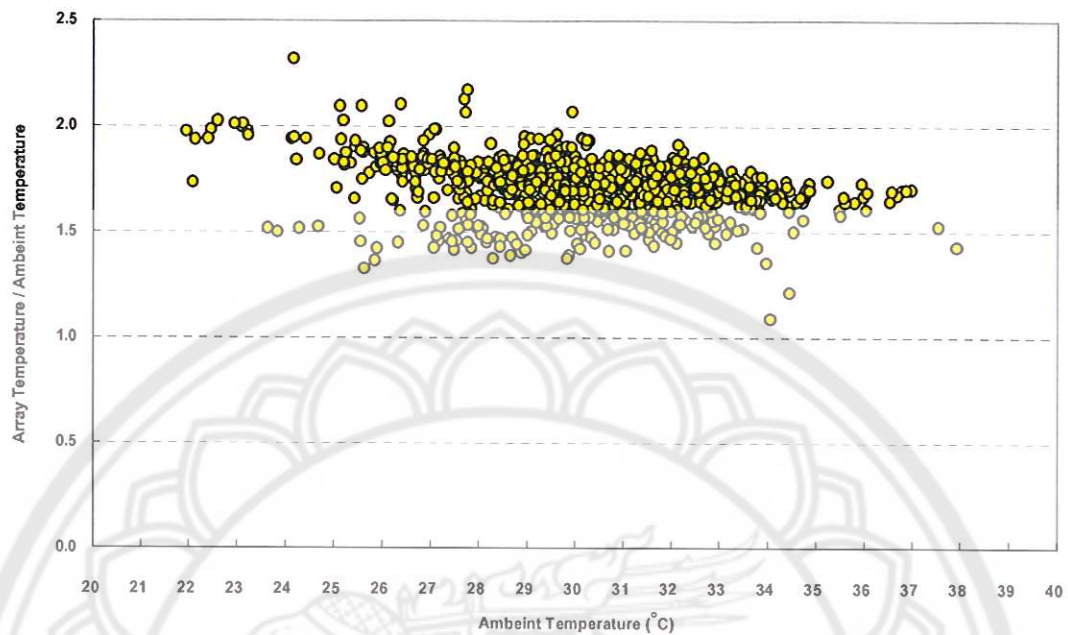
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง ( $G_T$ ) และ ( $T_a$ )

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si จะมีค่า Temperature coefficients ของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอื่นๆ จึงทำให้เมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงลดลงน้อยและจากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_{amb}$  กับ  $T_a$  พบว่าเมื่อ  $T_{amb}$  เพิ่มขึ้นจะทำให้  $T_a$  เพิ่มขึ้นและจะส่งผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนจาก  $T_a$  ไปยังอากาศแวดล้อม จึงทำให้มีความร้อนสะสมอยู่ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นและทำให้กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง  $T_{amb}$  กับ  $T_a$

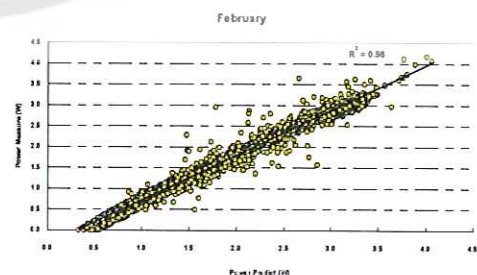
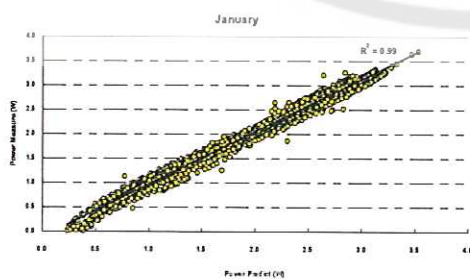
จากรูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของ  $T_a$  ต่อ  $T_{amb}$  กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม พบว่าอัตราส่วนของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ออุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ประมาณ 1.5 – 2 เท่า



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของอุณหภูมิอากาศแวดล้อม กับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $T_a/T_{amb}$ ) กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ( $T_{amb}$ )

#### 4.1.2 การทำนายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน ซึ่งจากสมการที่ 3.6 สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทำนายมีค่า  $R^2 = 0.96$  แสดงว่าสมการที่ใช้ในการทำนายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความเชื่อถือ เนื่องจาก  $R^2$  มีค่าใกล้เคียง 1



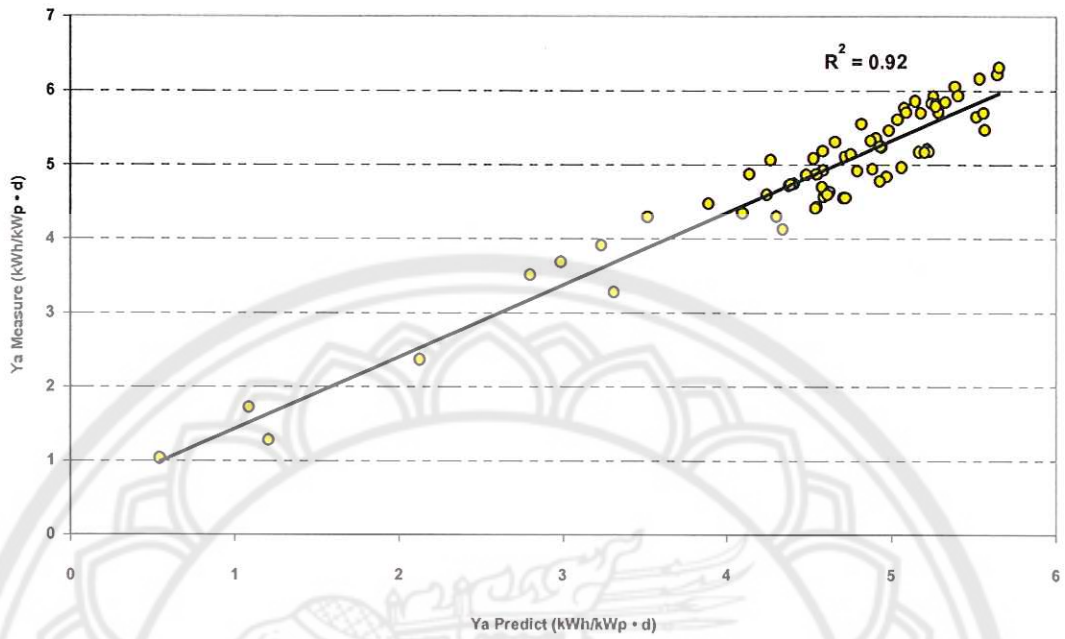


รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง (Power Measure) กับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย (Power Predict) ในแต่ละเดือน

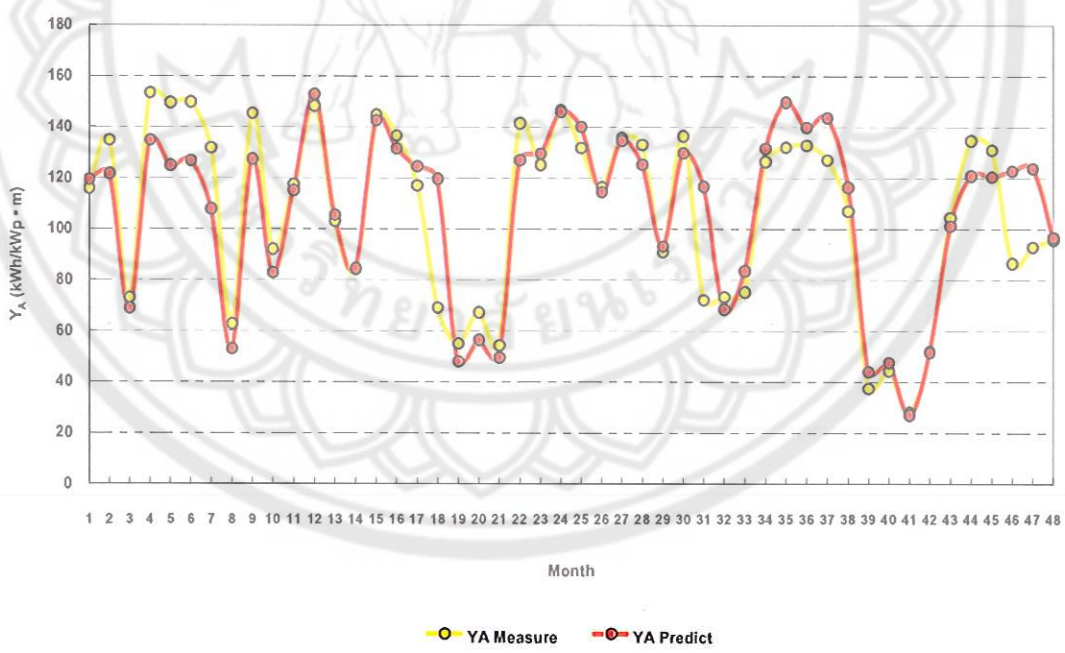
#### 4.1.3 การทำนายพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งาน (Array Yield) ( $Y_A$ )

จากสมการที่ 2.16 เมื่อทำการหาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง ( $Y_A$ ) กับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง ( $Y_A$ ) กับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย ดังรูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง ( $Y_A$ ) กับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย มีค่า  $R^2 = 0.92$  จากรูปที่ 4.6 และตารางที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง ( $Y_A$ ) กับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนายในแต่ละเดือนจะเห็นได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง ( $Y_A$ ) กับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนายมีค่าใกล้เคียงกัน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนายจะสูงกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง ประมาณ 2.12 % แต่เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอายุการใช้งานนาน จะมีการลดลงของ ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้า และประสิทธิภาพ ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาอัตราการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้ากับประสิทธิภาพ และควรที่มีการเก็บบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในผลการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้มีความถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น





รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง ( $Y_A$  Measure) กับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย ( $Y_A$  Predict)



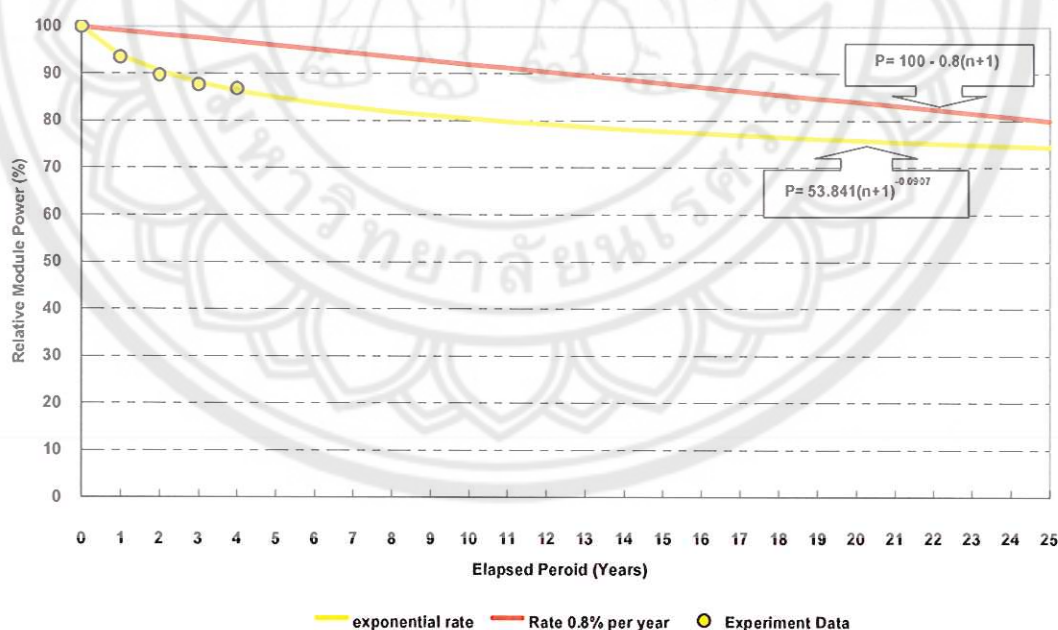
รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริงในแต่ละเดือน ( $Y_A$  Measure) กับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย ( $Y_A$  Predict)

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย ( $Y_A$  Predict) กับพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริงในแต่ละเดือน ( $Y_A$  Measure)

เดือน	$Y_A$ Measure	$Y_A$ Predict	Error	เดือน	$Y_A$ Measure	$Y_A$ Predict	Error
1	115.88	119.36	-3.01	25	131.80	140.10	-6.30
2	134.82	121.61	9.80	26	116.56	114.55	1.73
3	73.07	68.94	5.65	27	135.74	134.65	0.80
4	153.43	134.77	12.17	28	133.03	125.25	5.85
5	149.55	124.85	16.51	29	91.03	93.16	-2.34
6	149.73	126.83	15.30	30	136.45	129.76	4.91
7	131.78	107.82	18.18	31	72.14	116.66	-61.71
8	62.70	52.95	15.56	32	73.32	68.45	6.64
9	145.37	127.36	12.39	33	75.20	83.50	-11.04
10	92.03	82.84	9.99	34	126.44	131.61	-4.09
11	117.39	115.12	1.93	35	131.98	149.70	-13.43
12	148.25	152.83	-3.08	36	132.78	139.83	-5.31
13	103.07	105.45	-2.31	37	127.02	143.60	-13.06
14	84.31	84.48	-0.20	38	107.02	116.34	-8.71
15	144.70	142.51	1.52	39	37.44	43.97	-17.43
16	136.60	131.53	3.71	40	44.35	47.52	-7.15
17	117.07	124.57	-6.41	41	28.05	27.02	3.69
18	69.14	119.58	-72.96	42	51.88	51.58	0.57
19	54.99	48.05	12.62	43	104.48	101.24	3.10
20	67.20	56.44	16.01	44	134.72	120.86	10.29
21	54.33	49.56	8.78	45	131.01	120.51	8.02
22	141.49	126.98	10.25	46	86.50	122.80	-41.95
23	125.09	129.59	-3.60	47	92.94	123.80	-33.20
24	146.58	145.94	0.43	48	95.80	96.66	-0.89

## 4.2 ผลการศึกษาพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายสมรรถนะในระยะยาวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน

จากรูปที่ 4.7 เป็นผลการศึกษาการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับการรับประกันกำลังไฟฟ้าสูงสุดของบริษัทผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปบริษัทผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si จะมีการรับประกันกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่าเมื่อติดตั้งใช้งานในช่วงระยะเวลา 25 ปี กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะต้องลดลงไม่เกิน 20 % ซึ่งเป็นการรับประกันในสภาวะมาตรฐาน แต่เนื่องจากการรับประกันกำลังไฟฟ้าของบริษัทผู้ผลิตมีระยะเวลานาน ดังนั้นจึงควรมีการเก็บบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจากสมการที่ 3.9 กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมาจากความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม สามารถทำนายค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริงกับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทำนายมีค่า  $R^2 = 0.99$  แสดงว่าสมการที่ใช้ในการทำนายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความเชื่อถือเนื่องจาก  $R^2$  มีค่าใกล้เคียง 1



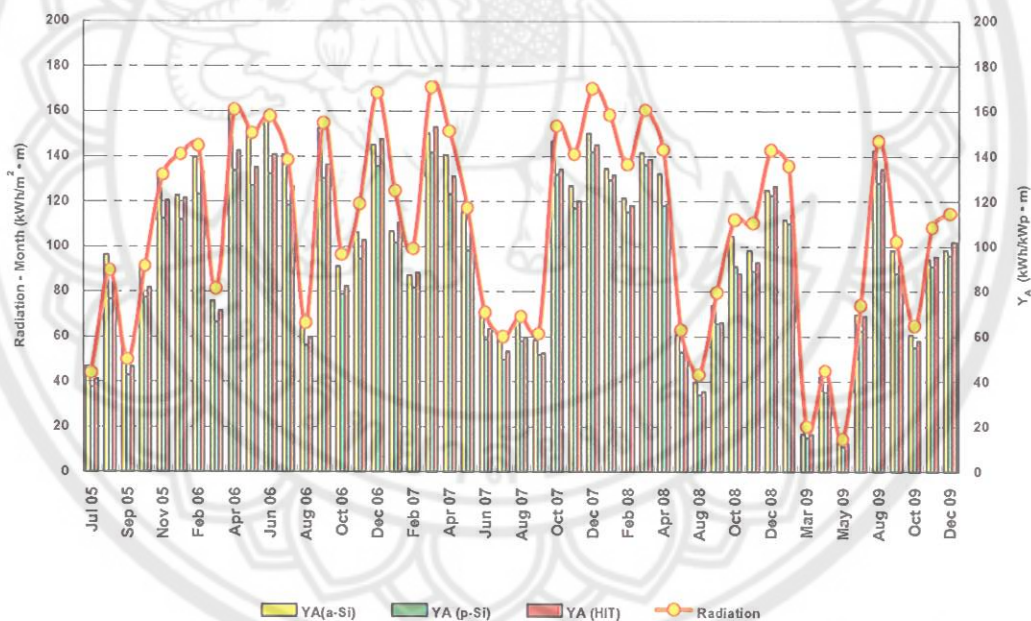
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการใช้งานจริง (Power Measure) กับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทำนาย (Power Predict)

### 4.3 ผลการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์

#### 4.3.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี

จากรูปที่ 4.8 และ ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยีสามารถผลิตได้รายเดือนและพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่าในปี 2552 พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si p-Si และ HIT สามารถผลิตได้เฉลี่ยรายวัน เท่ากับ 4.59 4.25 และ 4.45 kWh/kWp-d ตามลำดับ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่า p-Si และ HIT

ในปี 2548 ในเดือนกรกฎาคม จนถึงเดือนกันยายน นั้นมีค่า  $Y_A$  มากกว่า  $Y_f$  เนื่องจากค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si ยังไม่เสถียร (Stabilize) จึงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาได้นั้นมีค่าสูง



รูปที่ 4.8 ค่าพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยีสามารถผลิตได้และพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือน

ตารางที่ 4.3 พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ( $Y_A$ )

ปี	$Y_A$ (a-Si) (kWh/kWp·d)	$Y_A$ (p-Si) (kWh/kWp·d)	$Y_A$ (HIT) (kWh/kWp·d)
2548	5.02	4.40	4.56
2549	5.17	4.48	4.79
2550	4.85	4.39	4.63
2551	4.77	4.38	4.47
2552	4.59	4.25	4.45

หมายเหตุ: ปี 2548 จำนวนวันในการเก็บข้อมูล 114 วัน

ปี 2549 จำนวนวันในการเก็บข้อมูล 292 วัน

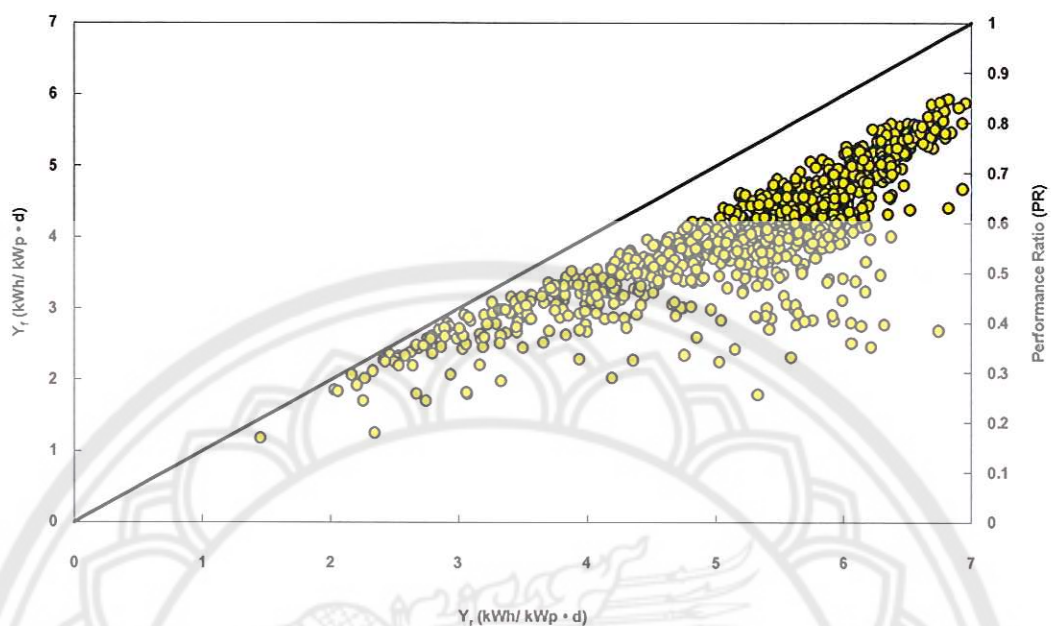
ปี 2550 จำนวนวันในการเก็บข้อมูล 263 วัน

ปี 2551 จำนวนวันในการเก็บข้อมูล 246 วัน

ปี 2552 จำนวนวันในการเก็บข้อมูล 186 วัน

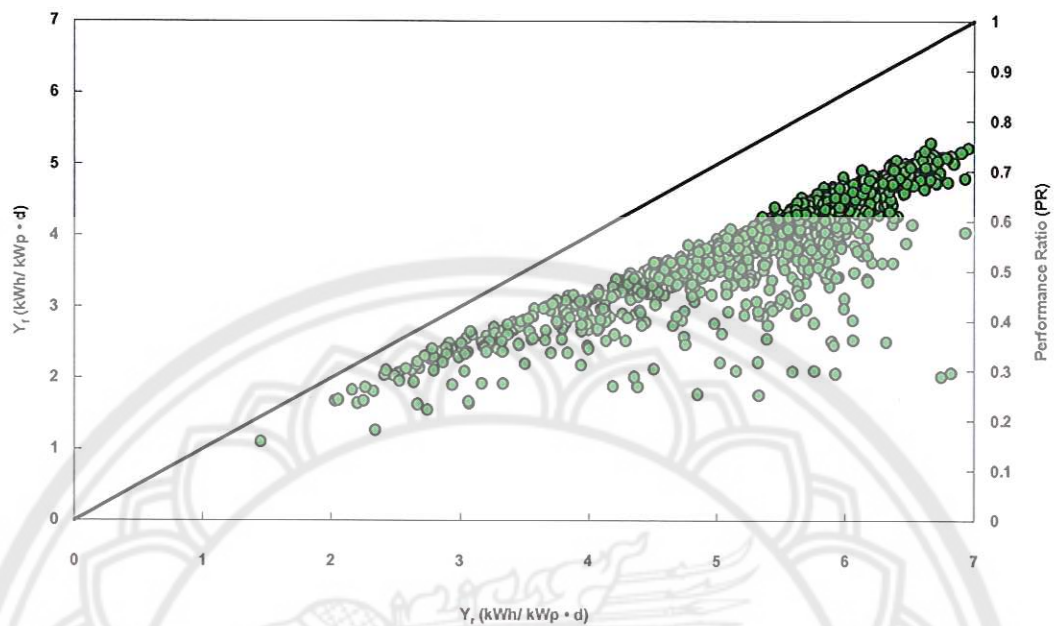
#### 4.3.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้ง 3 เทคโนโลยี

จากรูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ( $Y_f$ ) กับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี ( $Y_r$ ) และค่าสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะเพิ่มขึ้นตามค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี และส่งผลทำให้สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PR) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการวิจัยในครั้งนี้จะมีสมรรถนะอยู่ในช่วงประมาณ 0.5 ถึง 0.75



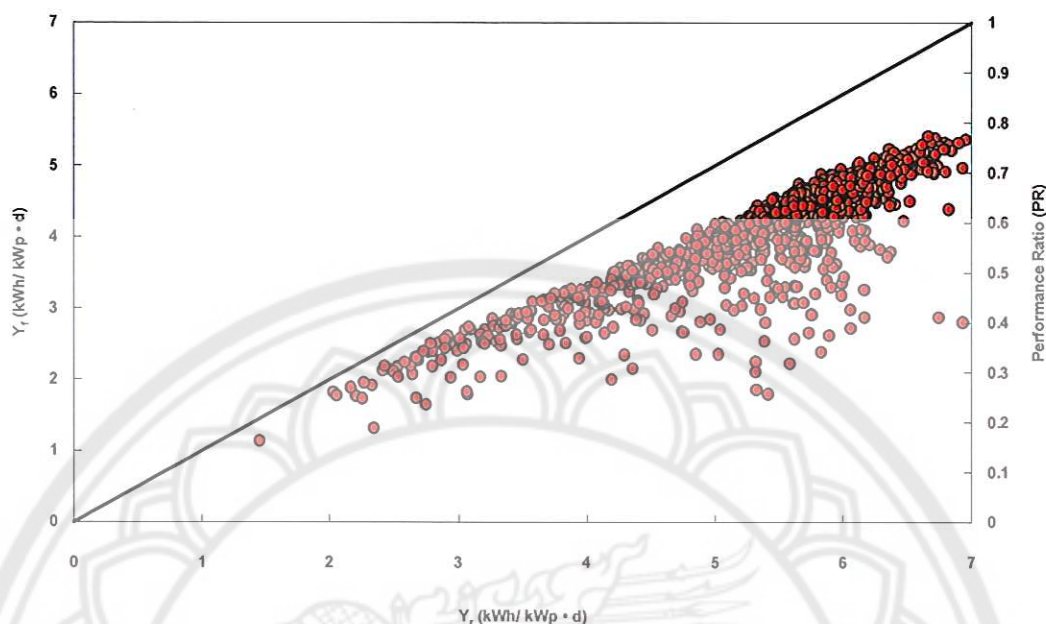
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ( $Y_f$ ) กับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี ( $Y_t$ ) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si

จากรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ( $Y_f$ ) กับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี ( $Y_t$ ) และสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกผสม พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะเพิ่มขึ้นตามพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี และส่งผลทำให้ค่าสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PR) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งระบบที่ติดตั้งใช้ในงานวิจัยครั้งนี้จะมีสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในช่วงประมาณ 0.5 ถึง 0.85



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ( $Y_r$ ) กับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี ( $Y_t$ ) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ p-Si

จากรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ( $Y_r$ ) กับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี ( $Y_t$ ) และสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผลาน พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะเพิ่มขึ้นตามพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี และส่งผลทำให้สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PR) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งระบบที่ติดตั้งใช้ในงานวิจัยครั้งนี้จะมีสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในช่วงประมาณ 0.5 ถึง 0.75



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ( $Y_r$ ) กับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี ( $Y_t$ ) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ HIT

จากตารางที่ 4.4 สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี จะเห็นได้ว่าสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะการใช้งานจริงโดยเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน (STC) ซึ่งมีค่าประมาณ 0.8 ถึง 0.9 เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะการใช้งานจริงจะมีการสูญเสียในการเชื่อมต่อมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน (STC)

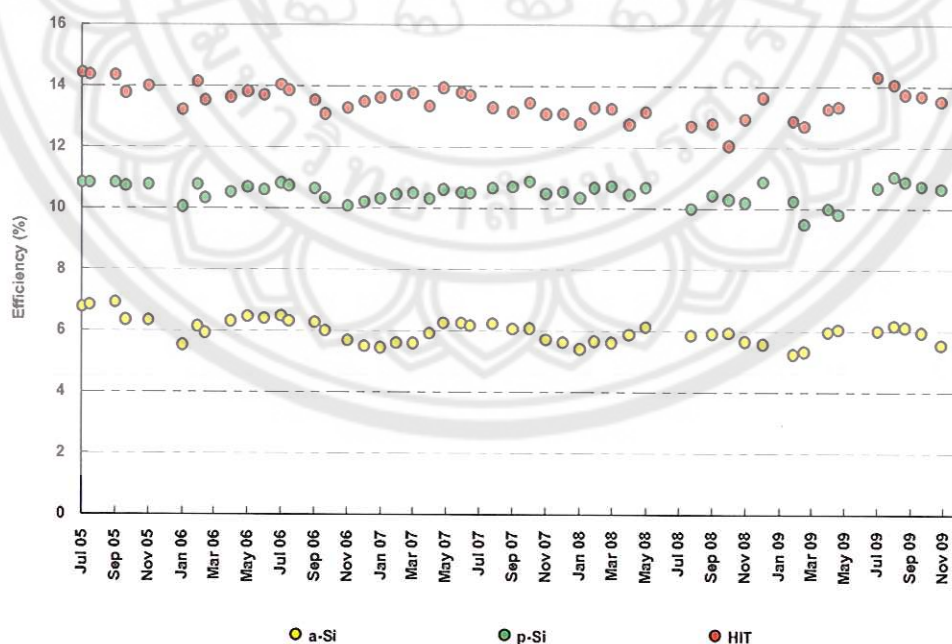
ตารางที่ 4.4 สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี

ปี	a-Si	p-Si	HIT
2548	0.88	0.77	0.81
2549	0.79	0.71	0.74
2550	0.81	0.76	0.79
2551	0.75	0.72	0.75
2552	0.81	0.74	0.77
ค่าเฉลี่ย	0.88	0.77	0.81



### 4.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี

จากรูปที่ 4.12 แสดงประสิทธิภาพเฉลี่ยรายเดือนในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และจากตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปี พบว่า แนวโน้มของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าลดลงเมื่อพิจารณาตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2548 จนถึงเดือนธันวาคม 2552 จากการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si จะมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าในปีที่ 2 หลังติดตั้งใช้งานประมาณร้อยละ 6.86 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพติดตั้งใช้งานในปีแรก ในปีที่ 3 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 2.87 ปีที่ 4 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 2.71 และในปีที่ 5 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.00 คิดเป็นอัตราการลดลงเฉลี่ยในแต่ละปีเป็นร้อยละ 2.48 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ p-Si จะมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าในปีที่ 2 หลังติดตั้งใช้งานร้อยละ 5.64 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพติดตั้งใช้งานในปีแรก ในปีที่ 3 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.10 ปีที่ 4 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.90 และในปีที่ 5 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.32 คิดเป็นอัตราการลดลงเฉลี่ยในแต่ละปีเป็นร้อยละ 1.39 และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ HIT จะมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าในปีที่ 2 หลังติดตั้งใช้งานร้อยละ 3.86 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพติดตั้งใช้งานในปีแรก ในปีที่ 3 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.87 ปีที่ 4 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 5.75 และในปีที่ 5 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 0.11 คิดเป็นอัตราการลดลงเฉลี่ยในแต่ละปีเป็นร้อยละ 2.12



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ปี	a-Si	Different Rate (%)	p-Si	Different Rate (%)	HIT	Different Rate (%)
2548	6.53	0.00	11.11	0.00	14.16	0.00
2549	6.08	6.86	10.48	5.64	13.61	3.86
2550	5.91	2.87	10.47	0.10	13.49	0.87
2551	5.75	2.71	10.38	0.90	12.71	5.75
2552	5.75	0.00	10.34	0.32	12.70	0.11
ค่าเฉลี่ย	6.00	2.48	10.55	1.39	13.33	2.12

ตารางที่ 4.6 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่สำคัญในการประเมินสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปร	a-Si	p-Si	HIT
$Y_r$ (kWh/kWp•d)	5.19	5.19	5.19
$Y_A$ (kWh/kWp•d)	4.80	4.31	4.50
$Y_f$ (kWh/kWp•d)	4.17	4.34	4.61
$L_c$ (kWh/kWp•d)	0.28	0.85	0.58
$L_s$ (kWh/kWp•d)	0.75	0.53	0.62
PR	0.80	0.73	0.77
$\eta_A$ (%)	6.00	10.55	13.33
$\eta_{Inverter}$ (%)	0.85	0.88	0.86

จากตาราง 4.6 สรุปค่าเฉลี่ยของตัวแปรที่สำคัญในการประเมินสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าสำหรับ a-Si มีค่า  $Y_A$  มากกว่า  $Y_f$  เนื่องจาก มีค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ต่ำกว่า p-Si และ HIT

## บทที่ 5

### บทสรุป

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะมีอิทธิพลต่อกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีอิทธิพลต่อแรงดันไฟฟ้า ตัวแปรทั้งสองนี้จะส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าว สามารถหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ซึ่งพลังงานที่ได้จากการทำนายที่มีค่าสูงกว่าพลังงานที่ได้จากการใช้งานจริง ประมาณ 0.58 % และเมื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 เทคโนโลยี พบว่า พลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si p-Si และ HIT ที่สามารถผลิตได้โดยเฉลี่ยรายวัน มีค่าเท่ากับ 4.80 4.31 และ 4.50 kWh/kWp-d ตามลำดับ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si p-Si และ HIT จะมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 2.48 1.39 และ 2.12 ต่อปี แสดงให้เห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si มีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ p-Si และ HIT

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของคุณค่าความต้านทานภายในและการดูแลรักษาระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีผลต่อการลดลงของคุณค่าพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้รายวัน และค่าสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์
2. ควรทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของคุณค่าสภาพท้องฟ้าและอากาศสำหรับประเทศไทยกับสเปกตรัมของรังสีอาทิตย์ที่มีผลต่อสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากการตอบสนองต่อเซลล์แต่ละชนิดไม่เท่ากัน
3. ควรมีการเก็บบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการทำนายกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

## บรรณานุกรม

- [1] International Energy Agency (IEA). World energy outlook 2009. World primary energy demand in the Reference Scenario
- [2] Solar buzz. New Marketbuzz 2010. Solarbuzz Reports World Solar Photovoltaic Market Grew to 7.3 Gigawatt in 2009. สืบค้นเมื่อ 20 พฤษภาคม 2553 จาก <http://www.solarbuzz.com/marketbuzz2010-intro.htm>.
- [3] Amulf Jäger-Waldau. PV Status Report 2008: Research, Solar Cell Production and Market Implementation of Photovoltaic. EUR 23604 EN-2008
- [4] วัฒนพงษ์ วัชรวิเชียรและนิพนธ์ เกตุจ้อย. (2544). การประเมินความเหมาะสมของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย.วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. หน้า 16-28
- [5] Nipon Ketjoy. (2545). Photovoltaic – Diesel Generator Hybrid System at Energy Park.Naresuan University Journal 1-8.
- [6] Achitpon SaSitharanuwata, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy, and Suchart Yammen. (2006). Performance evaluation of a 10 kWp PV power system prototype for isolated building in Thailand. Renewable Energy.
- [7] Achitpon SaSitharanuwata, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy, and Suchart Yammen. (2006). Design and Testing of a 10 kWp standalone PV Prototype for Future Community Grid Adapted for Remote Area in Thailand. International Journal of Renewable Energy (IIRE).p 33-43
- [8] Kritwiput Phaokeaw, Nipon Ketjoy, Wattanapong Rakwichan and Suchat Yammen. (2007). Performance of a-Si, p-Si and HIT PV Technological Comparison under Tropical Wet Climate Condition. International Journal of Renewable Energy (IIRE). p 23-34
- [9] Wuthipong Suponthana, Nipon Ketjoy, Wattanapong Rakwichan and Phumisak Inthanon. (2007). Performance Evaluation AC Solar Home System in Thailand: system using multi crystalline silicon PV module versus system using thin film amorphous silicon PV module. International Journal of Renewable Energy (IIRE).p 35-52
- [10] Achitpon SaSitharanuwat, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy and Wuthipong Suponthana. (2005). 10 kWp Multi Photovoltaic Cell Stand-Alone/Grid Connected System for Office Building. Technical Digest 15th Photovoltaic Science and Engineering Conference; 10-15 October 2005; Shanghai, China. p. 638-639.

- [11] Chatchai Sirisumpunwong, Nipon Ketjoy and Rattanan Boonmat. (2004). Performance Comparison of PV Water Pumping System Utilization: Crystalline and Amorphous Module. Technical Digest 14<sup>th</sup> Photovoltaic Science and Engineering Conference; 26-30 January 2004; Bangkok; Thailand; p.883-884.
- [12] ณัฐภูมิ ชาวสะอาด นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รัชวีเชียร. การศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพรายปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4 , 2551.
- [13] จูติพร เจาะจง นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รัชวีเชียร. การลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโอบริตติคัลคอนหลังการติดตั้งใช้งานในระยะยาว. การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1, 2551.
- [14] จูติพร เจาะจง นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รัชวีเชียร. การลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลังการติดตั้งใช้งานในระยะยาว. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ครั้งที่ 1, 2551.
- [15] สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน. สืบค้นเมื่อ 1 ตุลาคม 2552. จาก <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=98>
- [16] นิพนธ์ เกตุจ้อย. (2547). การบริหารจัดการโครงการบ้านพลังงานแสงอาทิตย์. เอกสารประกอบการฝึกอบรมการบริหารจัดการแบบยั่งยืนสำหรับโครงการบ้านพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [17] บริษัท ลีโอนิกส์ จำกัด. (2548). การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่างๆ. ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อวันที่ 9 กันยายน 2550, จาก [http://www.leonics.com/html/th/aboutpower/solar\\_knowledge.php](http://www.leonics.com/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php).
- [18] Kassel University. (2003). Photovoltaic Systems Technology SS 2003. Theoretical Description of the Solar Cell. p40.
- [19] นิพนธ์ เกตุจ้อย. (2547). ความปลอดภัยสำหรับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์. การฝึกอบรมเรื่องการติดตั้งและดูแลรักษาระบบบ้านพลังงานแสงอาทิตย์. วิทยาลัย พลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [20] Nipon Ketjoy. (2005). Photovoltaic Hybrid System for Rural Electrification in the Mekong Countries. Doctor of Engineering (Dr.-Ing). Kassel University, Germany.
- [21] คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยภาคกลาง. การจำลอง (Simulation). บทที่1 บทนำ Introduction to Simulation. สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2553 จาก <http://www.tuct.ac.th/Computer/sm/Chapter1.pdf>
- [22] International Energy Agency. (2002). Operational performance, reliability and Promotion of photovoltaic systems. Report IEA-PVPS T2-03:2002.

- [23] Takashi Minemoto, Shingo Nagae, Hideyuki Takakura. (3 April 2007). Impact of spectral irradiance distribution and temperature on the outdoor performance of amorphous photovoltaic modules. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 91 (2007) 919–923. (Scencedirect). สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550, จาก <http://www.sciencedirect.com/>.
- [24] Ewan D. Dunlop. (2003). LIFETIME PERFORMANCE OF CRYSTALLINE SILICON PV MODULES . 3rd World Conferences on Photovoltaic Energy Conversion. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550, จาก <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9136/28988/01305192.pdf>.
- [25] E.E. van Dyk E.L. Meyer. (2003). Analysis of the effect of parasitic resistances on the performance of photovoltaic modules. *Renewable Energy* 29 (2004) 333–344. (Scencedirect). สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550, จาก <http://www.sciencedirect.com/>.
- [26] Toshiyulu Yamaguchi, Masanao Kawakam, Keiichi Kitano, Shigeyasu Nakagawa, Tetsuro Tokoro, Takumi Nakano, Kiyoteru Hayama and Hidemori Ohyama. (2003). DATA ANALYSIS ON PERFORMANCE OF PV SYSTEM INSTALLED IN SOUTH AND NORTH DIRECTIONS. 3rd World Conferences on Photovoltaic Energy Conversion. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550, จาก <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9136/28988/01305031.pdf>.
- [27] Jinlei Ding, Xiaofang Cheng, Tairan Fu. (2004). Analysis of series resistance and P–T characteristics of the solar cell. *Vacuum* 77. (2005). 163–167. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550, จาก <http://www.sciencedirect.com/>.
- [28] Meena Dadu, A. Kapoor, K.N. Tripathi. (2001). Effect of operating current dependent series resistance on the fill factor of a solar cell. *Solar Energy Materials a Solar Cell* 71. (2002). p. 213–218. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550, จาก <http://www.sciencedirect.com/>.
- [29] Tayati, W. et al. (2004). Performance and Sustainability of a Solar Home System Program in Thailand. (pp.989-990). In the International PVSEC-14. Bangkok.
- [30] KANEKA CORPORATION. Product (Amorphous). สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2553 จาก <http://www.pv.kaneka.co.jp/>
- [31] Sharp CORPORATION. Photovoltaic module polycrystalline. สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2553 จาก [www.sharp.co.uk/solar](http://www.sharp.co.uk/solar)
- [32] SANYO Energy (USA) Corp. HIT PHOTOVOLTAIC MODULE . สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2553 จาก [www.sanyo.com/industrial/solar](http://www.sanyo.com/industrial/solar)



ISSN 1906-5337



วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เมษายน 2552 - กันยายน 2552

ทักษะ: วิชาเลิศ **เชิดชู** คุณธรรม

นำภูมิปัญญาพัฒนาท้องถิ่น

Industrial Technology  
Lampang Rajabhat University

Congratulations



วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง

## เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

## Industrial Technology

ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เมษายน 2552 – กันยายน 2552



## สารบัญ

	หน้า
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลงทุนด้านอุตสาหกรรมผลิตไฟฟ้า ในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว <i>Kiatisk Teowkul , Carlos J Alsua และ Bahaudin G Mujtaba</i>	1 - 13
ชุดบอกตำแหน่งสำหรับคนตาบอด วัน ไชย คำแสน และ ปณิธิ แสนจิตร	14 - 22
แนวทางการศึกษาคุณสมบัติการเป็นเชื้อเพลิงของก้อนวัสดุที่ใช้เพาะเห็ดแล้ว เพื่อนำมาใช้กับเทคโนโลยี แก๊สซิฟิเคชัน พิมพา ไฉนทาวงศ์ , สุริสา อินอูด, รวิภา ยงประยูร และ ทิบุลย์ หม่อมเขย	23 - 36
ศึกษาความเป็นไปได้ในการจัดการขยะอินทรีย์ในบริเวณมหาวิทยาลัยนเรศวร สำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ ศศิธร จิตต์ปราณีย์ และ สหัญยา ลาดปาละ	37 - 43
การศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้รายปีภายใต้ สถานะการใช้งานจริง ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด, ฐิติพร เจาะจง และนิพนธ์ เกตุจ้อย	44 - 49
การศึกษาการลดน้ำหนักเนื้อดินสำหรับการประดิษฐ์เครื่องประดับเซรามิก โดยการเติมวัสดุชนิดเผาใหม่ได้ ธิติมา คุณยศยิ่ง, ศิริมา เอมวงษ์, ไพฑูรย์ เกิดพร้อม และ แวอีเสียส บินโซคาโออะ	50 - 61
เครื่องช่วยฟังจังหวะการเต้นหัวใจด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ สกต จิโนสวัสต์ดี และ รัชนีวรรณ หมั่นแสวง	62 - 68
คำแนะนำสำหรับผู้เขียน	69 - 71

## การศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้รายปีภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

## Investigation of Annual Photovoltaic Array Yield under Actual Application

ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด, จูติพร เจาะจง และนิพนธ์ เกตุจ้อย\*

## บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง โดยทำการศึกษาข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิด คือ ซิลิกอนอสัณฐาน (Amorphous Silicon Solar Cell; a-Si) ผลึกผสมซิลิกอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell; p-Si) และไฮบริดซิลิกอน (Hybrid Solar cell; HIT) ของระบบสาธิตสถานีผลิตไฟฟ้ากระแสสลับจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 กิโลวัตต์ ภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ในการวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด สามารถผลิตได้นั้น ใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2548 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2551 เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้เป็นรายปี ผลการศึกษาพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si p-Si และ HIT สามารถผลิตได้ ในปี 2548 มีค่าเท่ากับ 885 739 และ 798 kWh/kWp ในปี 2549 มีค่าเท่ากับ 1,891 1,676 และ 1,779 kWh/kWp ในปี 2550 มีค่าเท่ากับ 1,761 1,604 และ 1,703 kWh/kWp และในปี 2551 มีค่าเท่ากับ 1,670 1,496 และ 1,583 kWh/kWp ตามลำดับ

คำสำคัญ : แผงเซลล์แสงอาทิตย์, สภาวะการใช้งานจริง

## Abstract

This paper presents an investigation of the annual yield from different photovoltaic (PV) arrays in an actual application. three types of PV arrays were studied; amorphous silicon solar cell (a-Si), polycrystalline silicon solar cell (p-Si) and hybrid silicon solar cell (HIT). The arrays are installed in a 10 kWp PV - AC power plant at the School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University in Phitsanulok. The annual yield is found by analyzing data from July 2005 to December 2008. The a-Si, p-Si and HIT modules are respectively found to have the following array yields; in 2005: 885, 739 and 798 kWh/kWp, in 2006: 1,891; 1,676 and 1,779 kWh/kWp, in 2007: 1,761; 1,604 and 1,703 kWh/kWp, and in 2008: 1,670; 1,496 and 1,583 kWh/kWp.

**Keyword** : Photovoltaic, Actual Application

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

**บทนำ**

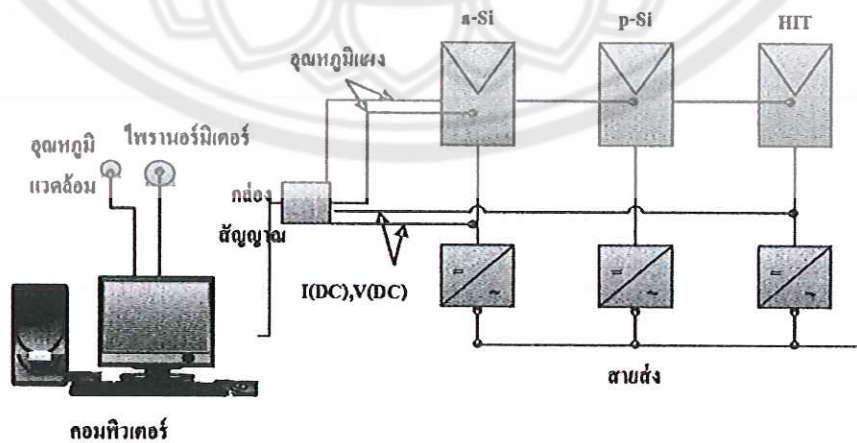
ประเทศไทยเป็นอีกประเทศหนึ่งที่สำคัญกับพลังงานทดแทน โดยรัฐบาลได้กำหนดนโยบายให้มีการใช้พลังงานทดแทนเป็นสัดส่วนไม่น้อยกว่าร้อยละ 8 ของปริมาณการใช้พลังงานขั้นต้นทั้งหมด ภายในปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพทางด้านพลังงานทดแทน โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจุบันรัฐบาลก็ให้การสนับสนุน ผ่าน โครงการใหญ่ๆ เช่น โครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้า โดยระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Home System; SHS) ประมาณ 3 แสนหลังคาเรือนทั่วประเทศ โครงการระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และพื้นที่เขตป่าสงวนต่างๆกว่า 2,000 ระบบในประเทศไทย นอกจากนี้รัฐบาลยังช่วยสนับสนุนงานวิจัยที่เกี่ยวกับทางด้านเซลล์แสงอาทิตย์อีกมากมาย จากข้อมูลการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยปัจจุบันประเทศไทยติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไปแล้วประมาณ 32 MW นอกจากนี้ยังเกิด โรงงานผลิตและประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นภายในประเทศ 5 บริษัท กำลังผลิตรวมประมาณ 65 MW/ปี [1]

สำหรับประเทศไทยนั้นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์กว่า 90% เป็นแบบ m-Si และ p-Si เนื่องจากมีการนำเข้ามาใช้งานในประเทศกว่า 20 ปีแล้ว จึงเป็นที่ยอมรับในเรื่องของความน่าเชื่อถือของเซลล์ชนิดดังกล่าว แต่ในปัจจุบันเซลล์ชนิด a-Si ได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าซึ่งมีผลการศึกษาพบว่า a-Si สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่า m-Si และ p-Si [2 -14] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร มีระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายระบบ จึงเกิดแนวคิดที่จะทำการศึกษาค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย รวมถึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการเลือกพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศ

**วิธีการศึกษา**

การศึกษาและเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

ทำการตรวจวัดและบันทึกค่าความเข้มรังสีอาทิตย์(H) กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I) และแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (V) เพื่อนำมาคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ( $Y_p$ ) โดยใช้ข้อมูลตั้งแต่ ปี 2548 - ปี 2551 ตำแหน่งการตรวจวัดแสดงดังรูปที่ 3 ซึ่งการศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นทำการศึกษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิด ได้แก่ a-Si p-Si และ HIT ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการศึกษา



รูปที่ 1 รูปแบบของระบบ โครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กที่วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าและจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดที่ STC

ตัวแปร	a-Si	p-Si	HIT
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (W)	54	80	180
แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ( $V_{oc}$ )	85	21.3	45.5
กระแสไฟฟ้าลัดวงจร ( $I_{sc}$ )	1.14	5.16	5.49
แรงดันไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{pm}$ )	62	17.1	36.5
กระแสไฟฟ้าสูงสุด ( $I_{pm}$ )	0.87	4.68	4.93
ขนาด (mm)	920x920x40	1,200x530x35	1443x812x35
กำลังไฟฟ้ารวม (W)	3,672	3,600	2,880

Standard Test Conditions (STC): Air mass 1.5, กำลังสีดวงอาทิตย์  $1,000 \text{ W/m}^2$ , อุณหภูมิแผง  $25^\circ\text{C}$ .

การประเมินพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

การวิเคราะห์ทางเทคนิคในการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ใช้วิธีการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค โดยอ้างอิงจาก International Energy Agency Photovoltaic Power Systems TASK 2 – Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems (IEA PVPS Task 2) [15] ซึ่งได้กำหนดให้มีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_r = H_i / G_{STC} \quad (1)$$

$Y_r$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี ( $\text{kWh/kWp}$ )

$H_i$  คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{kWh/m}^2$ )

$G_{STC}$  คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์

$$STC = 1 \text{ kW/m}^2$$

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_A = E_A / P_o \quad (2)$$

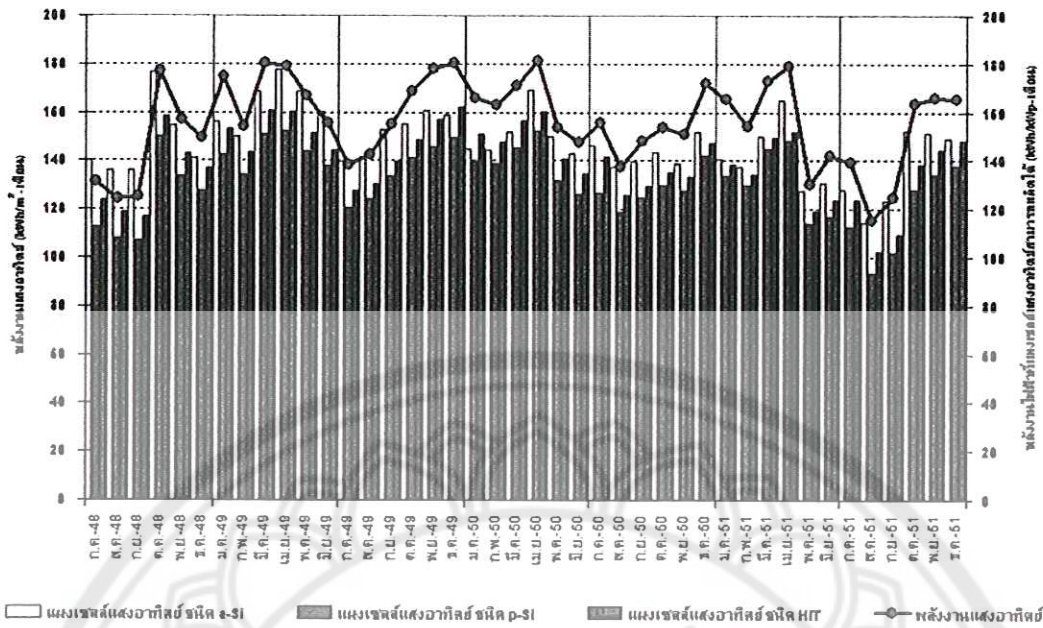
$Y_A$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง ( $\text{kWh/kWp}$ )

$E_A$  คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ( $\text{kWh}$ )

$P_o$  คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $\text{Wp}$ )

## ผลการศึกษา

จากรูปที่ 2 และตารางที่ 2 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si p-Si และ HIT พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด รองลงมา คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ต่ำที่สุด



รูปที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้รายเดือนและพลังงานแสงอาทิตย์รายเดือน

ตารางที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้รายปี

ปี	Ya(a-Si) (kWh/kWp)	Ya(p-Si) (kWh/kWp)	Ya(HIT) (kWh/kWp)
2548	885	739	798
2549	1,891	1,676	1,779
2550	1,761	1,604	1,703
2551	1,670	1,496	1,583

หมายเหตุ: ปี 2548 จำนวนวันในการเก็บข้อมูล 118 วัน  
 ปี 2549 จำนวนวันในการเก็บข้อมูล 310 วัน  
 ปี 2550 จำนวนวันในการเก็บข้อมูล 267 วัน  
 ปี 2551 จำนวนวันในการเก็บข้อมูล 291 วัน

**สรุปผล**

จากการศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงนี้ พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a - Si สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่า HIT และ p-Si ซึ่งผลการศึกษานี้ทำให้ทราบถึงความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด และเป็นข้อมูลประกอบการเลือกใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ งบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2551 และปี 2552 และขอขอบพระคุณคณาจารย์ นักวิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำ และข้อมูลสนับสนุนในการศึกษานี้ ทำให้การศึกษานี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- [2] Sandia National Laboratories. 2000. Modeling annual energy production from photovoltaic modules. Quarterly Highlights of Sandia's Photovoltaic Program. Vol. 3. pp. 1-7.
- [3] นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รัชนีวีเชียร.(2544). การประเมินความเหมาะสมของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร. หน้า 16-28
- [4] Nipon Ketjoy.(2545). Photovoltaic – Diesel Generator Hybrid System at Energy Park. Naresuan University Journal.p 1-8.
- [5] Aчитpon SaSitharanuwata, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy, and Suchart Yammen.(2006).Design and Testing of a 10 kWp standalone PV Prototype for Future Community Grid Adapted for Remote Area in Thailand. International Journal of Renewable Energy (IIRE).p 33-43
- [6] Aчитpon SaSitharanuwata, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy, and Suchart Yammen. (2006).Performance evaluation of a 10 kWp PV power system prototype for isolated building in Thailand. Renewable Energy.
- [7] Kritwiput Phaokeaw, Nipon Ketjoy, Wattanapong Rakwichian and Suchat Yammen. (2007). Performance of a-Si, p-Si and HIT PV Technological Comparison under Tropical Wet Climate Condition. International Journal of Renewable Energy (IIRE).p 23-34
- [8] Wuthipong Suponthana, Nipon Ketjoy, Wattanapong Rakwichian and Phumisak Inthanon. (2007). Performance Evaluation AC Solar Home System in Thailand: system using multi crystalline silicon PV module versus system using thin film amorphous silicon PV module. International Journal of Renewable Energy (IIRE).p 35-52
- [9] Aчитpon SaSitharanuwat, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy and Wuthipong Suponthana. (2005). 10 kWp Multi Photovoltaic Cell Stand-Along/Grid Connected System for Office Building. Technical Digest 15th Photovoltaic Science and Engineering Conference; 10-15 October 2005; Shanghai, China. p. 638-639.
- [10] Chatchai Sirisumpunwong, Nipon Ketjoy and Rattanan Boonmat. (2004). Performance Comparison of PV Water Pumping System Utilization: Crystalline and Amorphous Module. Technical Digest 14<sup>th</sup> Photovoltaic Science and Engineering Conference; 26-30 January 2004; Bangkok; Thailand; 883-884.
- [11] Meike, W. 1998. Hot climate performance comparison between poly-crystalline and amorphous Silicon cells connected to an utility mini-grid. Presented at Solar'98, Christchurch NZ, 25-27 November.
- [12] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด. (2549). การศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพรายปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง. มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [13] วุฒิพร เจาจง นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รัชนีวีเชียร. การลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดซิลิคอนหลังการติดตั้งใช้งานในระยะยาว. การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1, 2551.

[14] จูติพร เจาะจง นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒน์พงษ์ รัศมีวิเชียร. การลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลังการติดตั้งใช้งานในระยะยาว. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ครั้งที่ 1, 2551.

[15] International Energy Agency. (2002). Operational performance, reliability and Promotion of photovoltaic systems. Report IEA-PVPS T2-03:2002.







การประชุมวิชาการ  
**เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย**  
ครั้งที่ 6



5-7 พฤษภาคม 2553  
ณ โรงแรมออลสตีเดย์อินน์ รีสอร์ท ธีเจนท์ บีช ชะอำ จ. เพชรบุรี  
จัดโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

## ENETT6-1147 : อัตราการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานจริง Degradation of Maximum Peak Power of Photovoltaic under Operating Condition

ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด นีพนธ์ เกตุจ้อย\*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

โทร 0-5596-3188 โทรสาร 0-5596-3188 E-mail: niponk@nu.ac.th

Nattawut Khaosaad Nipon Ketjoy\*

School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

Tel: 0-5596-3188 Fax: 0-5596-3188 E-mail: niponk@nu.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาอัตราการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานจริง เพื่อศึกษากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่าเมื่อติดตั้งใช้งานเป็นเวลานานจะมีพฤติกรรมเป็นอย่างไรและชนิดใดที่มีอัตราการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากที่สุด โดยการวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นทำการศึกษากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนอสัณฐาน ชนิดผลึกผสมซิลิกอนและชนิดซิลิกอนผสมผลสาร ที่ติดตั้งใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จนถึงปี พ.ศ. 2552 โดยใช้ PV Analyzer ตรวจสอบค่าและวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูงสุด อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ ทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ 09.00 - 17.00 น. หลังจากนั้นนำข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์หาลำดับกำลังไฟฟ้าสูงสุด จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์อาทิตย์ชนิดอสัณฐานซิลิกอน ชนิดผลึกผสมซิลิกอนและ ชนิดผสมผลสารซิลิกอน มีอัตราการลดลงโดยเฉลี่ยรายปีคิดเป็นร้อยละ 2.64 3.46 และ 3.75 ตามลำดับ จากผลศึกษาวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์อาทิตย์ชนิดผสมผลสารซิลิกอน มีอัตราการลดลงมากที่สุด

**คำสำคัญ:** อัตราการลดลง / กำลังไฟฟ้าสูงสุด / แผงเซลล์แสงอาทิตย์

### Abstract

This article presents the degradation of maximum peak power ( $P_{max}$ ) of photovoltaic module (PV) under operating condition by study power output after long time installed, how was behavior of PV module and which type of PV module is the most decreased of  $P_{max}$ . The research aims to study  $P_{max}$  of 3 types, Amorphous Silicon, Poly Crystalline Silicon and Hybrid Crystalline Silicon, which have operated during 2005 – 2009. Current (A), voltage (V), power (W), array temperature ( $^{\circ}$ C), ambient temperature ( $^{\circ}$ C) and solar irradiation ( $W/m^2$ ) were measured by PV analyzer. The data were recorded every one hour from 09.00 to 17.00. After that, collected data was analyzed. The results of this research found that, the degradation rate of  $P_{max}$  of three different types are 2.22, 2.17 and 3.75 respectively. It can conclude that, HIT has the most degradation rate.

**Key words:** Degradation Rate / Peak Power / Photovoltaic Module

## อัตราการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานจริง Degradation of Maximum Peak Power of Photovoltaic under Operating Condition

ณัฐวดี ขาวสะอาด นิพนธ์ เกตุจ้อย\*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000  
โทร 0-5596-3188 โทรสาร 0-5596-3188 E-mail: niponk@nu.ac.th

Nattawut Khaosaad Nipon Ketjoy\*

School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand  
Tel: 0-5596-3188 Fax: 0-5596-3188 E-mail: niponk@nu.ac.th

\*Corresponding author

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษ้อัตราการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานจริง เพื่อศึกษาว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งใช้งานเป็นเวลานานจะมีพฤติกรรมเป็นอย่างไรและชนิดใดที่มีอัตราการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากที่สุด โดยการวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นทำการศึกษากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนอสัณฐาน ชนิดผลึกผสมซิลิกอนและชนิดซิลิกอนผสมผลึก ที่ติดตั้งใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จนถึงปี พ.ศ. 2552 โดยใช้ PV Analyzer ตรวจวัดค่าและวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูงสุด อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ 09.00 - 17.00 น. หลังจากนั้นนำข้อมูลต่างๆ มาวิเคราะห์หา กำลังไฟฟ้าสูงสุด จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์อาทิตย์ชนิดอสัณฐานซิลิกอน ชนิดผลึกผสมซิลิกอนและ ชนิดผสมผลึกซิลิกอน มีอัตราการลดลงโดยเฉลี่ยรายปีคิดเป็นร้อยละ 2.64 3.46 และ 3.75 ตามลำดับ จากผลศึกษาวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่า กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์อาทิตย์ชนิดผสมผลึกซิลิกอน มีอัตราการลดลงมากที่สุด

**คำสำคัญ:** อัตราการลดลง / กำลังไฟฟ้าสูงสุด / แผงเซลล์แสงอาทิตย์

### Abstract

This article presents the degradation of maximum peak power ( $P_{max}$ ) of photovoltaic module (PV) under operating condition by study power output after long time installed, how was behavior of PV module and which type of PV module is the most decreased of  $P_{max}$ . The research aims to study  $P_{max}$  of 3 types, Amorphous Silicon, Poly Crystalline Silicon and Hybrid Crystalline Silicon, which have operated during 2005 – 2009. Current (A), voltage (V), power

(W), array temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), ambient temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) and solar irradiation ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) were measured by PV analyzer. The data were recorded every one hour from 09.00 to 17.00. After that, collected data was analyzed. The results of this research found that, the degradation rate of  $P_{max}$  of three different types are 2.22, 2.17 and 3.75 respectively. It can conclude that, HIT has the most degradation rate.

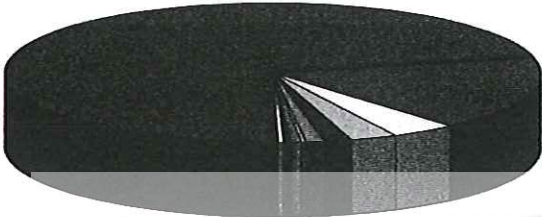
**Key words:** Degradation Rate / Peak Power / Photovoltaic Module

### 1. บทนำ

ในปัจจุบันตลาดเซลล์แสงอาทิตย์ของโลกมีความต้องการมากขึ้นจาก 5.95 จิกะวัตต์ ในปี 2551 เป็น 6.37 จิกะวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 5 ของความต้องการของโลก โดยส่วนใหญ่จะอยู่ในแถบยุโรป ประมาณ 71 % ของตลาด [1] ในประเทศไทยโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ดำเนินการจัดทำโครงการด้านพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศไทย นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526-2551 พบว่ามีหน่วยงานทั้งในส่วนของภาครัฐสถาบันการศึกษาและเอกชน ได้ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และรวมถึงระบบการสื่อสารด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนถึง 33 เมกะวัตต์ [2]

ในปัจจุบันนี้โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ที่สุดติดตั้งอยู่ที่ประเทศสเปน มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้า เท่ากับ 60 MW [3] ซึ่งนับว่าเป็นผู้นำในการติดตั้งโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ของยุโรปและของโลก จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมมากขึ้น และมีการติดตั้งโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์กระจายไปทั่วโลก ทั้งในยุโรปและเอเชียซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าเป็นเรื่องสำคัญมาก เนื่องจากถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มี

แนวโน้มการลดลงของสมรรถนะสูง จะส่งผลต่อความคุ้มค่าของการลงทุนสูง



- |               |               |           |            |               |         |                  |
|---------------|---------------|-----------|------------|---------------|---------|------------------|
| ■ Spain       | ■ Germany     | □ USA     | □ Korea    | ■ Portugal    | ■ Italy | ■ Czech Republic |
| ■ Japan       | ■ France      | ■ Belgium | □ Thailand | ■ Netherlands | ■ China | ■ Russia (incl.) |
| ■ Switzerland | ■ Philippines | ■ Taiwan  | □ Bulgaria |               |         |                  |

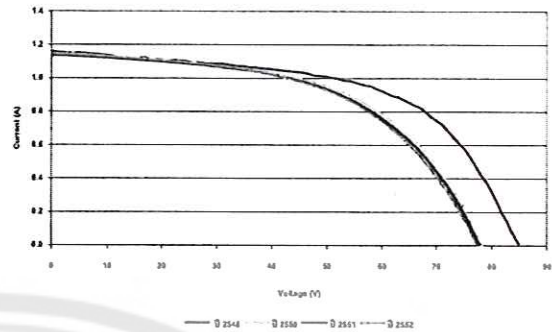
รูปที่ 1 ขนาดของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์รวมของแต่ละประเทศตั้งแต่ 1 MWขึ้นไปที่ติดตั้งทั่วโลก [3]

ประเทศไทยเริ่มมีความสนใจในการสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากรัฐบาลได้มีนโยบายที่จะเพิ่มส่วนให้แก่วิศวกรที่สร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการตอบรับซื้อไฟฟ้าแล้วจำนวน 279 ราย มีปริมาณพลังงานไฟฟ้าเสนอขาย 856 MW [4] แต่ยังไม่มีการศึกษาแนวโน้มการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานจริง ดังนั้นวิทยาลัยพลังงานทดแทนจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานจริง นั้นจะมีแนวโน้มของกำลังไฟฟ้าสูงสุด อัตราการลดลงเป็นอย่างไรและมีสาเหตุมาจากตัวแปรใดบ้าง ซึ่งสาเหตุของการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาจากหลายสาเหตุ ดังนั้นบทความนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาสาเหตุที่เกิดจากตัวเซลล์แสงอาทิตย์เป็นปัจจัยภายในและการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ประกอบอื่นๆเป็นปัจจัยภายนอก โดยผลลัพธ์ที่ได้ของบทความนี้จะเป็ประโยชน์ต่อการพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์และการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ประกอบต่างๆให้มีคุณภาพที่ดีขึ้น และเป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบโรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ต่อไป รวมถึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการเลือกพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศ

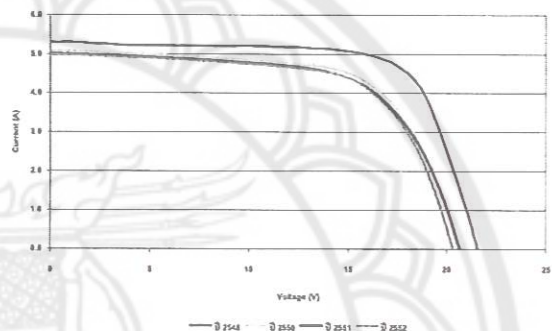
## 2. วิธีการดำเนินงาน

ทำการตรวจวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ที่ติดตั้งใช้งาน ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จนถึงปี พ.ศ. 2552 โดยการจดบันทึกด้วยมือ ซึ่งใช้ PV Analyzer เป็นเครื่องมือในการตรวจวัดและบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูงสุด อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ 09.00 - 17.00 น. หลังจากนั้นนำข้อมูลที่บันทึกมาวิเคราะห์หา IV-Curve ในแต่ละปี และปรับค่า IV-Curve ให้อยู่ในภาวะมาตรฐาน (Standard Testing Condition; STC) เพื่อเปรียบเทียบหา กำลังไฟฟ้าสูงสุด และอัตราการลดลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดว่าเป็นอย่างไร

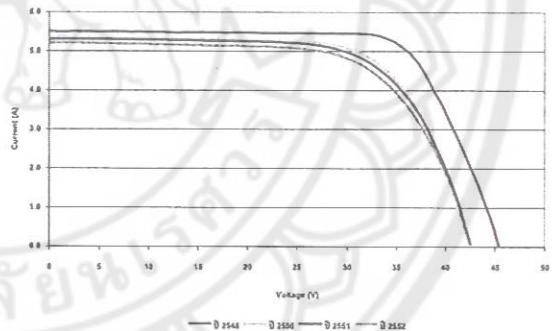
## 3. ผลการศึกษา



รูปที่ 2 IV - Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนอสัณฐาน ตั้งแต่ปี 2548 - 2552



รูปที่ 3 IV - Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอน ตั้งแต่ปี 2548 - 2552



รูปที่ 4 IV - Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผสมผลสาร ตั้งแต่ปี 2548 - 2552

จากรูปที่ 2 - 4 จะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด มีการเปลี่ยนแปลงของ IV - Curve เมื่อติดตั้งใช้งานผ่านไป กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนอสัณฐาน ชนิดผลึกผสมซิลิกอนและชนิดซิลิกอนผสมผลสาร จะมีอัตราการลดลงโดยเฉลี่ยรายปี คิดเป็นร้อยละ 2.22 2.17 และ 3.75 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผสมผลสารมีอัตราการลดลงเฉลี่ยรายปีสูงที่สุด และชนิดผลึกผสมซิลิกอนมีอัตราการลดลงต่ำที่สุด

## 4. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษาพบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะลดลงได้นั้น มีปัจจัยหลายประการ ซึ่งไม่ได้มาจากตัวเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่าง

เดียว การลดลงสามารถเกิดได้จากปัจจัยภายนอกอื่นๆ ที่ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ลดลงได้

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ งบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2551 และปี 2552 และขอขอบพระคุณคณาจารย์ นักวิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำ และข้อมูลสนับสนุนในการศึกษา นี้ ทำให้การศึกษาค้นคว้าสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Solar buzz. (2009). SOLAR ENERGY NEWS CENTER. Solar buzz Forecasts 6.37GW Global Photovoltaic Market in 2009; Represents Growth of 5%. สืบค้นจาก <http://www.solarbuzz.com/News/NewsNACO1047.htm>
- [2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2552). การใช้งาน. ปริมาณการใช้ สืบค้นจาก <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=429>
- [3] Denis Lenarčić. 2001-2009. PV PLANTS WORLD WIDE. สืบค้นจาก <http://www.pvresources.com/en/top50pv.php>
- [4] ดิเรก ลาวัญย์ศิริ. แนวทางการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน. คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. สืบค้นจาก [www.erc.or.th](http://www.erc.or.th).
- [5] S.R.Wenham, M.A. Green, M.E. Watt. (1994) .DEGRADTION AND FAILURE MODES. Applied Photovoltaics. National Library of Australia.
- [6] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด นิพนธ์ เกตุจ้อย และวิวัฒน์พงษ์ รักษ์วิเชียร. การศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพรายปีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง. การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 4 , 2551.
- [7] รุติพร เจาะจง นิพนธ์ เกตุจ้อย และวิวัฒน์พงษ์ รักษ์วิเชียร. การลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโอบริตติลคอนหลังการติดตั้งใช้งานในระยะยาว. การประชุมทางวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1, 2551.
- [8] รุติพร เจาะจง นิพนธ์ เกตุจ้อย และวิวัฒน์พงษ์ รักษ์วิเชียร. การลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลังการติดตั้งใช้งานในระยะยาว. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ครั้งที่ 1, 2551.

# การประชุมวิชาการ

เครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5

5<sup>th</sup> Conference on Energy Network of Thailand (E-NETT)

29 เมษายน - 1 พฤษภาคม 2552

มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก

คณะวิทยาศาสตร์ วิทยาลัยพลังงานทดแทน  
และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
โทร. 0-5596-3553 หรือ e-nett5@nu.ac.th  
[www.e-nett.org](http://www.e-nett.org)

## Proceedings

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 5  
The 5<sup>th</sup> Conference on Energy Network of Thailand (E-NETT)



จัดโดย  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
ร่วมกับ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ และวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร



ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก  
วันที่ 29 เมษายน - 1 พฤษภาคม 2552

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า	
AE49	การหาขนาดของถังเก็บสะสมความร้อนและสภาวะที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืน ชนิด Single - effect ที่ทำงานด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จรีรัตน์ กุศลวิริยะวงศ์ และอนันต์ พงศ์ธรกุลพานิช	56
AE50	โปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของถังเก็บสะสมความร้อนชนิดแบ่งชั้นอุณหภูมิ วรรณรัตน์ ชูติบุตร และอนันต์ พงศ์ธรกุลพานิช	57
AE51	The kinetics of forced convective air-drying of STR-20 Rubber Yutthana Tirawanichakul, Jutarut Tasara and Supawan Tirawanichakul	58
AE52	ปัจจัยของสภาวะการอบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะสำหรับการอบแห้งกึ่งแบบแบทช์ Supawan Tirawanichakul, Warangkana Na Phatthalung and Yutthana Tirawanichakul	59
AE53	การศึกษากระบวนการเผาไหม้ของไม้ยางพาราในเตาเผาที่ประกอบอยู่กับหม้อไอน้ำ ปฏิภาณ คิวตารงพงศ์ และศรายุทธ วัลย์วุฒิ	60
AE54	การศึกษาสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลก ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด และนิพนธ์ เกตุจ้อย	61
AE55	การทดสอบคุณภาพกำลังไฟฟ้าเบื้องต้นของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก อำนาจ ฉิมทวี และนิพนธ์ เกตุจ้อย	62
AE56	สมรรถนะเชิงความร้อนตัวรับรังสีดวงอาทิตย์แบบ Heal Pipe รุ่น TRP-69 สรวิศ สอนสารี สุขฤดี สุขใจ และระพีพันธ์ุ สมรรถานันท์	63
AE57	การทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก อำนาจ ฉิมทวี และนิพนธ์ เกตุจ้อย	64
AE58	ระบบเตือนภัยแบบไร้สายพลังงานแสงอาทิตย์ ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด กงฤทธิ์ แม้นศิริ และนิพนธ์ เกตุจ้อย	66
AE59	ระบบควบคุมการสั่งการเพื่อรักษาเสถียรภาพกระแสไฟฟ้าของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก ที่ต่อเชื่อมกับสายส่ง ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ยอดตรง เม่นสิน และนิพนธ์ เกตุจ้อย	67
AE60	การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานโดยใช้แผ่นกันผิวคลื่น จิตกร กนกนัยการ ชินรักษ์ เขียวพงษ์ และพงษ์เจต พรหมวงศ์	68
AE61	พฤติกรรมความร้อนในช่องขนานที่มีกรีบและตัวสร้างการหมุนควงแบบปีก กฤษณพงษ์ คำบุญมา สุตาภัทร แก้ววันเขาเม็ง และพงษ์เจต พรหมวงศ์	69
AE62	การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อแผ่นขนานโดยใช้กรีบหยัก วิษณุ อ่ำไพจิตร จำลอง ปราบแก้ว มนต์ศักดิ์ พิมสาร และพงษ์เจต พรหมวงศ์	70
AE63	การศึกษาสมรรถนะของระบบทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบฮีตไปป์ วิทยา ยงเจริญ และชวรินทร์ มาลาหอม	71
AE 64	Thermal and Electrical Performance of Photovoltaic Thermal using in Hybrid Drying Process Chantana Punlek Sirinuch Chindaraksa Somchai Maneewan and Rattanachai Pairintra	72
<b>EC: Energy Conservations (การอนุรักษ์พลังงาน)</b>		
EC01	การออกแบบโคมไฟฟลูออเรสเซนต์ไฮเบย์ ด้วยเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ ปิยพงศ์ เปรมวานนท์ ฝอยฝน ศรีสวัสดิ์ และอภิชาติ ตีระลากสุวรรณ	73



## การศึกษาสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลก

### Solar Spectrum Investigation in Phitsanulok province

ณัฐภูมิ ขาวสะอาด นินพณ์ เกตุจ้อย\*

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

โทร 0-5596-3188 โทรสาร 0-5596-3188 E-mail: niponk@nu.ac.th, sert@nu.ac.th

Nattawut Khaosaad Nipon Ketjoy\*

School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok, 65000, Thailand

Tel: 0-5596-3188 Fax: 0-5596-3188 E-mail: niponk@nu.ac.th, sert@nu.ac.th

\*Corresponding author

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลก ซึ่งสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิสูงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อรังสีดวงอาทิตย์แผ่มายังโลก สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนครั้งแรกโดยชั้นบรรยากาศของโลก และจะถูกดูดกลืนอีกครั้งเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลกโดยเมฆหมอก ไอน้ำ และก๊าซต่างๆ ก่อนถึงพื้นโลก จึงทำให้สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละพื้นที่มีค่าไม่เท่ากัน อันเนื่องมาจากแต่พื้นที่จะมีภูมิอากาศไม่เหมือนกันจึงทำให้สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกัน ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะทำการศึกษาสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลก เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกในแต่ละฤดูกาลต่างๆ และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ว่ามีผลอย่างไรกับพลังงานไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกัน โดยใช้เครื่องวัดค่าสเปกตรัม (Spectroradiometer) ในการบินที่ข้อมูลของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งที่ตั้งอยู่บริเวณละติจูดที่ 16 องศา 47 ลิปดาเหนือ และลองจิจูดที่ 100 องศา 16 ลิปดาตะวันออก เป็นเวลา 2 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน 2550 จนถึงเดือนธันวาคม 2551 โดยจะทำการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์แบ่งออกเป็นฤดูกาลว่ามีพฤติกรรมเป็นอย่างไร และนำสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาลมาเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ทราบว่าฤดูกาลใดที่มีสเปกตรัมของดวงอาทิตย์เป็นอย่างไร จากผลการทดลองพบว่าในช่วงฤดูฝนสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์จะมีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงมรสุมทำให้ท้องฟ้ามีเมฆหมอกค่อนข้างมาก ทำให้สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ถูกดูดกลืนมากกว่าฤดูกาลอื่นๆ

คำสำคัญ : สเปกตรัม รังสีดวงอาทิตย์

#### Abstract

This paper presents solar spectrum investigation in Phitsanulok province. Which solar spectrum was born from the sun that has high temperature in form the electromagnetic. The radiations come to the world. The specification of solar spectrum was absorbed for the first time by atmosphere and absorbed again, when change atmosphere by the clouds, steam and all gas before arrive at the Earth's surface. The solar spectrum in each the area is valuable rough as the result of but the area has will the weather is opposite make the solar spectrum. SERT has the idea to will do education of solar spectrum investigation and know about the behavior of the solar spectrum investigation in Phitsanulok province during each the season and apply database that use in relation education between the solar spectrum with energy output from solar cell. Because the each solar cell kind has the spectrum respond is different. SERT use the Spectroradiometer record the solar spectrum in the school of renewable energy technology (SERT) ,Naresuan University in Phitsanulok province which the location stays 47 16 latitude degree north areas and try condemn at 100 16 east degrees for 2 year begin since April 2550 until December 2551. Spectrum analysis of solar spectrum are the season there is the behavior and the solar spectrum in each the season compare with know the season that have the spectrum in the sun from the experiment. During rainy season has solar spectrum season will valuable least because of the crisis makes the sky has very the clouds rather make the solar spectrum was absorbed more than other season.

Keyword: Spectrum, Radiation

#### 1. บทนำ

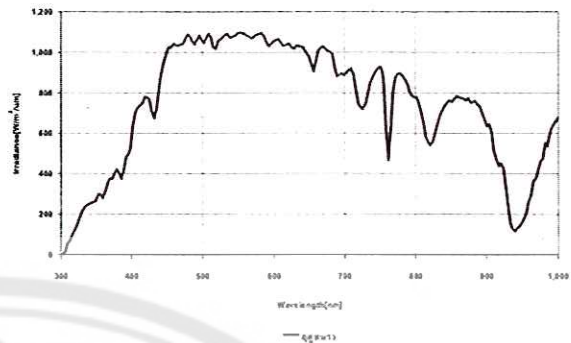
ในปัจจุบันเป็นที่รู้กันว่าปฏิกิริยานบนดวงอาทิตย์ เป็นปฏิกิริยาฟิวชั่น ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของไฮโดรเจนให้เป็นฮีเลียม มีอัตราการเปลี่ยนแปลง ประมาณ 4 ล้านตันวินาที จึงทำให้อุณหภูมิบนผิวของดวงอาทิตย์มีค่าประมาณ 6,000 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการแผ่รังสี ซึ่งรังสีที่แผ่ออกมาจากดวงอาทิตย์นั้น เข้ามายังโลก

ประมาณ 1 ใน 3 ของรังสีทั้งหมด เนื่องจากรังสีของดวงอาทิตย์ที่เข้ามายังโลกจะถูกดูดซับและสะท้อนกลับ โดยชั้นบรรยากาศ โมเลกุลของก๊าซ ฟุนละออง และเมฆหมอกที่อยู่บนพื้นผิวของโลก ซึ่งทำให้รังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามาถึงโลก มีพลังงานและอุณหภูมิที่เหมาะสมในการดำรงชีวิตสำหรับสิ่งมีชีวิต [1] ซึ่งสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิสูงในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีทุกขนาดความยาวคลื่นตั้งแต่ความยาวคลื่นสูงสุดในย่านคลื่นวิทยุจนถึงความยาวคลื่นต่ำสุดในย่านรังสีคอสมิก ตลอดทั้งสเปกตรัม แต่ในบรรดาความยาวคลื่นที่มีในรังสีดวงอาทิตย์ อันได้แก่ ช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible light) ช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared radiation) เมื่อรังสีดวงอาทิตย์แผ่มายังโลก สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนครั้งแรกโดยชั้นบรรยากาศของโลก และจะถูกดูดกลืนอีกครั้งเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลกโดยเมฆหมอก ไอน้ำ และก๊าซต่างๆ ก่อถึงพื้นโลก [2] ด้วยสาเหตุดังกล่าว จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะทำการศึกษาสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลก เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกในช่วงเวลาและฤดูกาลต่างๆ และสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ว่ามีผลอย่างไรกับพลังงานไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์แตกต่างกัน

## 2. วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกจะใช้เครื่องวัดค่าสเปกตรัม (Spectroradiometer) ในการบันทึกข้อมูลของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก ซึ่งที่ตั้งอยู่บริเวณละติจูดที่ 16 องศา 47 ลิปดาเหนือ และลองจิจูดที่ 100 องศา 16 ลิปดาตะวันออก เป็นเวลา 2 ปี เริ่มตั้งแต่เดือนเมษายน 2550 จนถึงเดือนธันวาคม 2551 และจะนำข้อมูลที่บันทึกมาทำการวิเคราะห์สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์แบ่งออกเป็นฤดูกาลว่ามีพฤติกรรมเป็นอย่างไร และนำสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาลมาเปรียบเทียบเพื่อให้ได้ทราบว่าฤดูกาลใดที่มีสเปกตรัมของดวงอาทิตย์เป็นอย่างไร และเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ว่ามีผลอย่างไรกับพลังงานไฟฟ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

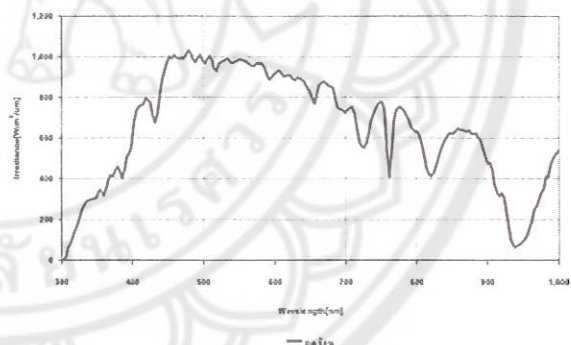
## 3. ผลการศึกษา



รูปที่ 1 แสดงพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกช่วงฤดูหนาว

จากรูปที่ 1 เป็นกราฟแสดงพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกช่วงฤดูหนาว จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ สามารถพิจารณาตามช่วงได้ ดังต่อไปนี้

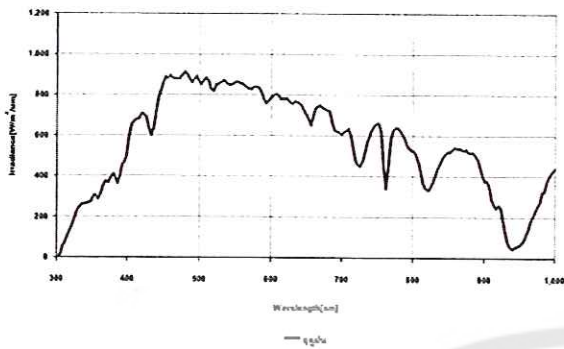
1. ช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) มีความยาวคลื่น 1 - 400 nm มีค่าสูงสุดประมาณ  $531.14 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$
2. ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible light) มีความยาวคลื่น 400 - 700 nm มีค่าสูงสุดประมาณ  $1,094.32 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$
3. ช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared radiation) มีความยาวคลื่น 700 nm - 1 mm มีค่าสูงสุดประมาณ  $927.56 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$



รูปที่ 2 แสดงพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกช่วงฤดูร้อน

จากรูปที่ 2 เป็นกราฟแสดงพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกช่วงฤดูร้อน จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ สามารถพิจารณาตามช่วงได้ ดังต่อไปนี้

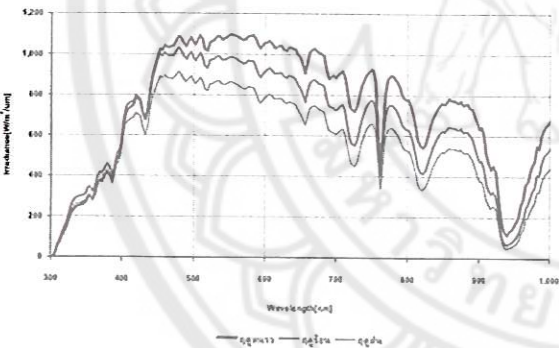
1. ช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) มีความยาวคลื่น 1 - 400 nm มีค่าสูงสุดประมาณ  $559.66 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$
2. ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible light) มีความยาวคลื่น 400 - 700 nm มีค่าสูงสุดประมาณ  $1,031.75 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$
3. ช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared radiation) มีความยาวคลื่น 700 nm - 1 mm มีค่าสูงสุดประมาณ  $777.03 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$



รูปที่ 3 แสดงพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกช่วงฤดูฝน

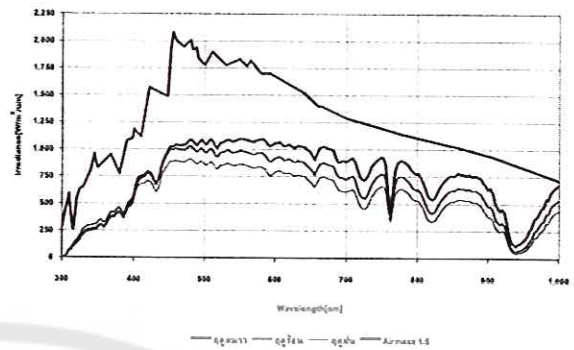
จากรูปที่ 3 เป็นกราฟแสดงพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกช่วงฤดูฝน จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ สามารถพิจารณาตามช่วงได้ ดังต่อไปนี้

1. ช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) มีความยาวคลื่น 1 - 400 nm มีค่าสูงสุดประมาณ  $498.93 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$
2. ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible light) มีความยาวคลื่น 400 - 700 nm มีค่าสูงสุดประมาณ  $913.02 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$
3. ช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared radiation) มีความยาวคลื่น 700 nm - 1 mm มีค่าสูงสุดประมาณ  $638.5 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$



รูปที่ 4 แสดงพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกทั้ง 3 ฤดู

จากรูปที่ 4 เป็นกราฟเปรียบเทียบพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกทั้ง 3 ฤดู จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงฤดูฝน จะมีสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ต่ำที่สุด และในช่วงฤดูหนาว จะมีสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์สูงที่สุด



รูปที่ 5 แสดงพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลกทั้งสามฤดูเทียบกับสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ที่ Airmass เท่ากับ 1.5

จากรูปที่ 5 เป็นกราฟแสดงพฤติกรรมของสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ทั้ง 3 ฤดู เทียบกับสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ที่ Airmass 1.5 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ในการเปรียบเทียบสเปกตรัมบนพื้นโลก จากกราฟจะเห็นได้ว่าสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในจังหวัดพิษณุโลก มีค่าต่ำกว่าสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ค่อนข้างมาก เนื่องจากจังหวัดพิษณุโลกเป็นจังหวัดที่ตั้งในเขตภาคเหนือตอนล่าง มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น มีเมฆหมอกค่อนข้างมาก ส่งผลทำให้สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ค่อนข้างน้อย ซึ่งจากกราฟสามารถพิจารณาสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ ตามช่วงได้ ดังต่อไปนี้

1. ช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet radiation) มีความยาวคลื่น 1 - 400 nm มีค่าสูงสุดประมาณ  $1,190 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$
2. ช่วงแสงที่ตามองเห็น (Visible light) มีความยาวคลื่น 400 - 700 nm มีค่าสูงสุดประมาณ  $1,290 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$
3. ช่วงคลื่นอินฟราเรด (Infrared radiation) มีความยาวคลื่น 700 nm - 1 mm มีค่าสูงสุดประมาณ  $720 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$

#### 4. สรุปผลการศึกษา

สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาลนั้นแตกต่างกัน อันเนื่องมาจากหลายสาเหตุ สามารถสรุปได้ว่าในช่วงฤดูฝนสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์จะมีสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ต่ำที่สุด เนื่องจากเป็นช่วงมรสุมทำให้ท้องฟ้ามีเมฆหมอกค่อนข้างมาก ทำให้สเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ถูกดูดกลืนมากกว่าฤดูกาลอื่นๆ

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ งบประมาณแผ่นดินประจำปี 2551 และปี 2552 และขอขอบพระคุณคณาจารย์ นักวิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำ และข้อมูลสนับสนุนในการศึกษานี้ ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Godfrey Boyle. (1996). the wavelengths of Solar Radiation Renewable Energy (Power for a Sustainable Future). Page 44-45.

[2] สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. (2544). พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (Heat and Electric from Solar Energy. กรุงเทพฯ. หน้า 15 - 17





เลขทะเบียน..... ๒๖

หนังสือยินยอมการเผยแพร่ผลงานทางวิชาการบนเว็บไซต์  
ฐานข้อมูล NU Digital Repository (<http://obj.lib.nu.ac.th/media/>)  
สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร

ตามที่ข้าพเจ้า ผศ.ดร.นิพนธ์ เกตุจ้อย (วิทยาลัยพลังงานทดแทน) ได้ส่งผลงานทางวิชาการ  
รายงานการวิจัย (เรื่อง) รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สมรรถนะกลางแจ้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ  
ซิลิกอนอสัณฐานภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้น ระยะที่ 2

ปีที่พิมพ์ 2553

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานทางวิชาการเป็นลิขสิทธิ์ของข้าพเจ้า ผศ.ดร.นิพนธ์ เกตุจ้อย  
(ผู้วิจัยร่วม) และท่านอื่น ๆ เป็นเจ้าของลิขสิทธิ์ร่วม และเพื่อให้ผลงานทางวิชาการของข้าพเจ้าเป็นประโยชน์  
ต่อการศึกษาและสาธารณชน จึงอนุญาตให้เผยแพร่ผลงาน ดังนี้

อนุญาตให้เผยแพร่

ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ เนื่องจาก.....

ลงชื่อ

( ผศ. ดร. นิพนธ์ เกตุจ้อย )

วันที่

6 พ.ย. ๕๘

หมายเหตุ ลิขสิทธิ์ใดๆ ที่ปรากฏอยู่ในผลงานนี้เป็นความรับผิดชอบของเจ้าของผลงาน ไม่ใช่ของสำนักหอสมุด