

อภินันทนาการ



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน
ภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สภาวะการใช้จริง
Mathematical model development for prediction of photovoltaic module
internal resistant variation under operating condition

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์	
วันลงทะเบียน.....	๗ - มี.ค. ๒๕๕๗
เลขทะเบียน.....	๑.๖๘๑๑๖๘
เลขเรียกหนังสือ.....	๖ ๓๕
	๓๔๒
	๖๔๕๑
	๒๕๕๗

โดย นายนิพนธ์ เกตุจ้อย และคณะ
มีนาคม ๒๕๕๗

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทาน
ภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สภาวะการใช้จริง
Mathematical model development for prediction of photovoltaic module
internal resistant variation under operating condition

คณะผู้วิจัยสังกัด

- | | | |
|----------------|------------------|-----------------------------|
| 1. นายนิพนธ์ | เกตุจ้อย | สังกัด วิทยาลัยพลังงานทดแทน |
| 2. นายฉัตรชัย | ศิริสัมพันธ์วงศ์ | สังกัด วิทยาลัยพลังงานทดแทน |
| 3. นายคงฤทธิ | แมนศิริ | สังกัด วิทยาลัยพลังงานทดแทน |
| 4. นายณัฐวุฒิ | ชาวสะอาด | สังกัด วิทยาลัยพลังงานทดแทน |
| 5. นายมรุตพงศ์ | กอนอยู่ | สังกัด วิทยาลัยพลังงานทดแทน |

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ประจำปีงบประมาณ 2556

ชื่อโครงการ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สภาวะการใช้อย่างจริง

ชื่อผู้วิจัย	นายนิพนธ์ เกตุจ้อย นายฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์ นายคงฤทธิ มั่นศิริ นายณัฐวุฒิ ขาวสะอาด นายมรุตพงศ์ กอนอยู่
หน่วยงานที่สังกัด	วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ถ.พิษณุโลก-นครสวรรค์ อ.เมือง จ.พิษณุโลก 65000 โทรศัพท์/โทรสาร 055-963391
ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก จำนวนเงิน	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) 297,800 บาท เริ่มตั้งแต่ ตุลาคม 2555 – มีนาคม 2557

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการศึกษาการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สภาวะการใช้อย่างจริงซึ่งใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 5 ชนิด ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอสัณฐานซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell; a-Si) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell; p-Si) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมผลานซิลิกอน (Hybrid Crystalline Silicon Solar Cell; HIT) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไมโครซิลิกอน (Amorphous silicon/micro crystalline silicon; $\mu\text{c-Si:H}$) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (Copper Indium Diselenide Solar Cell; CIS) ที่ติดตั้งใช้งานระหว่างปี 2548 - 2556 ภายในสวนพลังงานของวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 การพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงโดยเป็นการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมจากโครงการการศึกษามลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่พบว่าสมการการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในที่ได้จากการวิเคราะห์ เมื่อนำมาคำนวณและเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานภายในที่ได้จากการทดลองจริง มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ซึ่งค่าความต้านทานภายในที่ได้นั้นมีความใกล้เคียงกับค่าความต้านทานภายในจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าสมการที่ได้จากทฤษฎี เนื่องจากมีการวิเคราะห์ข้อมูลจากสภาวะการใช้งานจริงใน

สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย จึงสามารถนำสมการที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าความต้านทานภายในที่เปลี่ยนแปลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริงได้

ส่วนที่ 2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง พบว่าสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในสามารถนำมาทำนายค่าความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนั้นได้ โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ a-Si p-Si HIT μ c-Si:H และ CIS มีค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายค่าเคลื่อนจากค่าความต้านทานจริงร้อยละ 1.11 1.88 0.87 0.97 และ 0.97 ตามลำดับ ค่าความต้านทานขนั้ดที่ได้จากการทำนายค่าเคลื่อนจากค่าความต้านทานจริงร้อยละ 0.07 0.09 0.09 0.05 และ 0.05 ตามลำดับ



Title	Mathematical model development for prediction of photovoltaic module internal resistant variation under operating condition
Researcher	Mr.Nipon Ketjoy Mr.Chatchai Sirisampanwong Mr.Kangrit Mansiri Mr.Nattawut Khaosaad Mr.Maruphong Konyu
Organization	School of Renewable Energy Technology (SERT) Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand Tel/Fax 055-963391
Sponsor	National Research Council of Thailand (NRCT)
Budget	297,800 Bath, October 2012 - March 2014

Abstract

This research presents the study result of Mathematical model development for prediction of photovoltaic (PV) module internal resistant variation under operating condition. 5 PV technologies that are Amorphous Silicon Solar Cell (a-Si), Poly Crystalline Silicon Solar Cell (p-Si), Hybrid Crystalline Silicon Solar Cell (HIT), Amorphous silicon/micro crystalline silicon ($\mu\text{c-Si:H}$) and Copper Indium Diselenide Solar Cell (CIS) are in study scope. The PV systems that using these PV technologies have been installed at School of Renewable Energy Technology (SERT) Naresuan University. The data that collected during 2005-2013 is used in this resuarch. The results of this research can be divided into two sections:

For the first section, the internal resistance changing measurement and analysis technique is developed to investigate the energy production decreasing effect of PV module under operating condition. The measurement and analysis technique is developed beased on "Study on Internal resistant changing effect of photovoltaic module in large scale solar power plant generation". The result of this section, the developed chaning PV internal resistance equation can be calculated the internal resistance value easier with no significant error from basic equation (E_{basic}). The conclusion of this section, the new equations can be applied to measure the PV modules internal resistance value in the actual operating condition.

For the second section, the mathematical model that developed in the first section is used to predict the changing PV internal resistance value of the 5 PV technologies for their life time warranty. The result of this section indicates that the new equation (E_{new}) can be predicted the changing PV internal resistance value for 25 years with low error from from basic equation (E_{basic}). The series resistance of the E_{new} is higher than E_{basic} about 1.11 %, 1.88 %, 0.87 %, 0.97 %, and 0.97 % for a-Si, p-Si, HIT, μ c-Si:H, and CIS respectively. The shunt resistance of the E_{new} is higher than E_{basic} about 0.07 %, 0.09 %, 0.09%, 0.05%, and 0.05% for a-Si, p-Si, HIT, μ c-Si:H, and CIS respectively.



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ งบประมาณแผ่นดินประจำปี งบประมาณ 2551 2552 2554 2555 2556 และ Kaneka Corporation, Japan และขอขอบพระคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่วิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำ และข้อมูล สนับสนุนในการศึกษานี้ ทำให้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้วิจัย
มีนาคม 2557



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	ก
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญรูปประกอบ.....	ณ
รายการสัญลักษณ์.....	ญ
บทที่ 1.....	1
บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2.....	6
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 เซลล์แสงอาทิตย์.....	6
2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	7
2.3 ตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	9
2.4 การลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์[13]	13
2.5 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	15
2.6 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
บทที่ 3.....	22
วิธีการดำเนินการวิจัย.....	22

3.1 ศึกษาพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง มีรายละเอียดดังนี้.....	22
3.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง.....	29
บทที่ 4.....	31
ผลการทดลอง.....	31
4.1 การศึกษาพัฒนาหาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่.....	31
4.2 การเปรียบเทียบการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนั้ดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด.....	42
บทที่ 5.....	49
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	49
บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก ก.....	52
บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	52

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ช่องว่างพลังงานของซิลิกอนกับอุณหภูมิ	10
ตารางที่ 2 สรุปเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
ตารางที่ 3 คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	23
ตารางที่ 4 ข้อมูลที่ต้องทำการประมวลผลหาการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายใน	29
ตารางที่ 5 สรุปการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด.....	38



สารบัญรูปประกอบ

หน้า

รูปที่ 1 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลก	1
รูปที่ 2 สัดส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Crystalline Silicon และ Thin Films (หน่วย MW)	1
รูปที่ 3 แนวโน้มการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	2
รูปที่ 4 แนวโน้มการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ของโลก	2
รูปที่ 5 ลักษณะทั่วไปและการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	7
รูปที่ 6 คุณสมบัติกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	7
รูปที่ 7 IV-Curve กรณีเมื่อค่าความเข้มรังสีอาทิตย์คงที่และอุณหภูมิเซลล์เพิ่มขึ้น	9
รูปที่ 8 วงจรของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	14
รูปที่ 9 วงจรของความต้านทานขนั้ดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	15
รูปที่ 10 แผนผังการตรวจวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	23
รูปที่ 11 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความต้านทานอนุกรม	26
รูปที่ 12 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความต้านทานขนั้ด	27
รูปที่ 13 ขั้นตอนวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความต้านทานภายในกับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด	28
รูปที่ 14 ขั้นตอนการหาอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด ..	29
รูปที่ 15 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	32
รูปที่ 16 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานขนั้ดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	32
รูปที่ 17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si	33
รูปที่ 18 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานขนั้ดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si	34
รูปที่ 19 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT	34
รูปที่ 20 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานขนั้ดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT	35
รูปที่ 21 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$	36
รูปที่ 22 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานขนั้ดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$	36
รูปที่ 23 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS	37
รูปที่ 24 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานขนั้ดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS	37
รูปที่ 25 ค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	43
รูปที่ 26 ค่าความต้านทานขนั้ดที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	43
รูปที่ 27 ค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si	44
รูปที่ 28 ค่าความต้านทานขนั้ดที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si	45
รูปที่ 29 ค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT	45
รูปที่ 30 ค่าความต้านทานขนั้ดที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT	46
รูปที่ 31 ค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$	47

สารบัญรูปประกอบ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 32 ค่าความต้านทานชั้นดัดที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$	47
รูปที่ 33 ค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS	48
รูปที่ 34 ค่าความต้านทานชั้นดัดที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS.....	48



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
η_m	คือ	ประสิทธิภาพสูงสุด (%)
A_m	คือ	พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)
G_t	คือ	ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (W/m^2)
η_e	คือ	ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนคู่อิเล็กตรอน – โฮลให้เป็นกระแสไฟฟ้า
r	คือ	สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ผิวด้านรับแสงของเซลล์
α	คือ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของเซลล์แสงอาทิตย์ (cm^{-1})
l	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)
γ	คือ	ค่าคงที่เฉพาะสารกึ่งตัวนำใดๆ สำหรับซิลิกอน = 7.02×10^{-4} eV/K
β	คือ	ค่าคงที่เฉพาะของสารกึ่งตัวนำใดๆ สำหรับซิลิกอน = 1,108 K
N_c	คือ	ความหนาแน่นประสิทธิผลของอิเล็กตรอนสเตในแถบตัวนำ (cm^{-3})
N_v	คือ	ความหนาแน่นประสิทธิผลของโฮลสเตในแถบวาเลนซ์ (cm^{-3})
D_n	คือ	ค่าคงที่ของการแพร่ของอิเล็กตรอน (cm^2/sec)
D_p	คือ	ค่าคงที่ของการแพร่ของโฮล(cm^2/sec)
L_n	คือ	ระยะแพร่ของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี (cm)
N_D	คือ	ความหนาแน่นของคอนเนอร์(cm^3)

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

N_A	คือ	ความหนาแน่นของแอกเซบเตอร์(cm^3)
A_p	คือ	พื้นที่หน้าตัดของรอยต่อ (m^2)
m_e	คือ	มวลประสิทธิภาพของอิเล็กตรอน (kg)
m_h	คือ	มวลประสิทธิภาพของโฮล(kg)
h	คือ	ค่าคงที่ของพลังค์(J-sec)
P_m (STC)	คือกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน (W)	
T_{cell}	คือ	อุณหภูมิของเซลล์ ($^{\circ}\text{C}$)
$T_{\text{amb}}(t)$	คือ	อุณหภูมิแวดล้อม ณ เวลาที่พิจารณา ($^{\circ}\text{C}$)
T_{max}	คือ	อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดของวัน($^{\circ}\text{C}$)
T_{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 (kWh/m^2)
G_{STC}	คือ	ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ $\text{STC} = 1 \text{ kW/m}^2$
Y_f	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)
E_{PV}	คือ	พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)
P_o	คือ	กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)
E_L	คือ	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงโดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)
E_{BU}	คือ	พลังงานที่ผลิตได้จากระบบพลังงานเสริม ในกรณีนี้คือ 0 (kWh)
L_c	คือ	พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)
L_s	คือ	พลังงานที่สูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)
T_A	คือ	อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}\text{C}$)
PR	คือ	สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์
η_A	คือ	ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)
A_A	คือ	พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

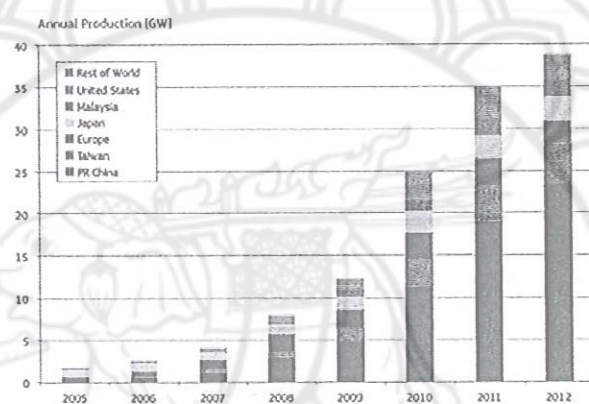
η_{PV}	คือ	ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (%)
$P_{1,000}$	คือ	กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร
P_{irr}	คือ	กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ใดๆ
$I_{1,000}$	คือ	กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร
I_{irr}	คือ	กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ใดๆ
P_{25}	คือ	กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแสง เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
P_T	คือ	กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแสงใดๆ
V_{25}	คือ	แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแสง เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
V_T	คือ	แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแสงใดๆ
I_{25}	คือ	กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแสง เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
I_T	คือ	กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแสงใดๆ
k	คือ	สัมประสิทธิ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีผลกับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (irradiance coefficient)(%/วัตต์)
$T_{coe,V}$	คือ	สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิที่มีผลกับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Temperature coefficient)(%/วัตต์)
$T_{coe,I}$	คือ	สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิที่มีผลกับกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Temperature coefficient)(%/แอมแปร์)

บทที่ 1

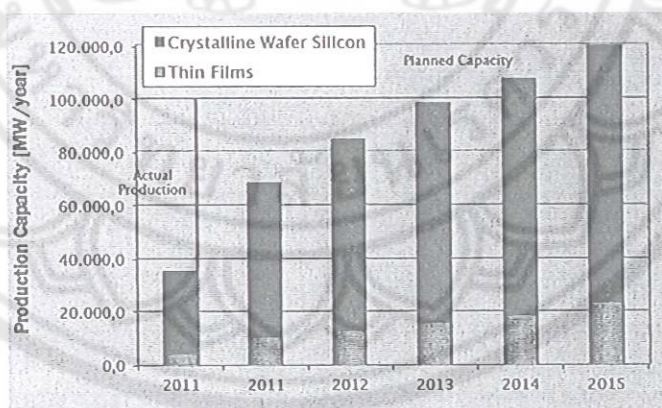
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปัจจุบันการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มเพิ่มอย่างต่อเนื่องโดย ณ สิ้นปี พ.ศ. 2555 ทั่วโลกมีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นกว่า 38.5 GW คิดเป็นร้อยละ 10 เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2554 เป็นผลมาจากการตื่นตัวของประชาคมโลกในเรื่องการนำพลังงานทดแทนมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าแทนการพลังงานฟอสซิล ซึ่งกำลังจะหมดไปและส่งผลต่อการเกิดสภาวะโลกร้อนที่ทวีความรุนแรงขึ้นทุกปี [1]



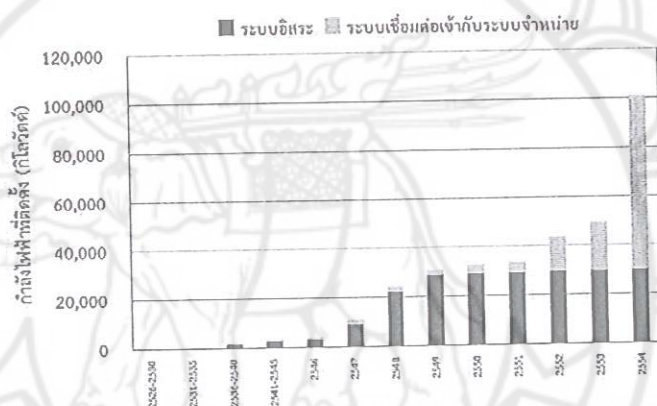
รูปที่ 1 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลก [1]



รูปที่ 2 สัดส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Crystalline Silicon และ Thin Films (หน่วย MW) [1]

ในปัจจุบันแบ่งเซลล์แสงอาทิตย์จากซิลิกอนที่ใช้กันอยู่ออกเป็น 2 กลุ่มได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอน (Crystalline Silicon) และฟิล์มบาง (Thin Films) ซึ่งจากรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่าสัดส่วน

ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้ เริ่มมีสัดส่วนนี้ใกล้เคียงกัน เนื่องจากในปัจจุบันเซลล์กลุ่มฟิล์มบางได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะในเรื่องของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีผลการศึกษา พบว่าฟิล์มบางสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าผลึกซิลิกอน [2-6] ซึ่งในประเทศไทยมีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 กลุ่มมาใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เป็นผลจากแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) หรือ Alternative Energy Development Plan: AEDP (2012-2021) นั้นได้กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ไว้สูงถึง 2,000 MW โดยปัจจุบันมีการกำลังติดตั้งสะสมอยู่ประมาณ 150 MW ดังรูปที่ 3 [7-8] ซึ่งเมื่อพิจารณาจากการติดตั้งดังกล่าวและแนวโน้มของการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แล้วพบว่าเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจและใช้งานมากที่สุดในปัจจุบันคือเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 4 ซึ่งแนวโน้มการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกมีอัตราการติดตั้งใช้งานเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเวลา 5 ปีที่ผ่านมา



จากสถานการณ์ในปัจจุบันของประเทศไทยกลุ่มผู้ลงทุนให้ความสนใจกับอุตสาหกรรมด้านการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนมาก โดยคาดการณ์ว่ามีผู้อยู่ระหว่างดำเนินโครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ประมาณ 500 – 600 MW ดังนั้นจึงยังคงมีขนาดของตลาดเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศเหลืออีกไม่น้อยกว่า 1,200 – 1,300 MW ซึ่งหากพิจารณาถึงเม็ดเงินลงทุนของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ตามเป้าหมายของภาครัฐที่ 2,000 MW แล้วจะมีมูลค่าไม่ต่ำกว่า 120,000 ล้านบาท และหากรวมมูลค่าของอุตสาหกรรมต่อเนื่องของการเดินโรงไฟฟ้า การดูแลและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าซึ่งมีอายุโครงการถึง 25 ปีแล้วจะหมายถึงเงินหมุนเวียนตลอดช่วงของอายุโรงไฟฟ้าอีกไม่น้อยกว่า 2,000 ล้านบาท/ปี ซึ่งเห็นได้ว่าการกำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของกระทรวงพลังงานดังกล่าวนี้สามารถสร้างตลาดและมูลค่าของอุตสาหกรรมด้านการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้อย่างมหาศาล

ซึ่งจากผลงานวิจัยที่ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติได้แก่ โครงการสมรรถนะกลางแจ้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐานภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้น ระยะที่ 1 (สัญญาเลขที่ RE-AR-011/51) งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2551 โครงการสมรรถนะกลางแจ้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐานภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นระยะที่ 2 (สัญญาเลขที่ RE-AR-40/2552) งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2552 ที่ผ่านมาและจากผลการวิจัยโครงการการศึกษาการลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นในระยะยาว (สัญญาเลขที่ R2554C842) กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยนเรศวร ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 และโครงการการศึกษาการลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นในระยะยาว ระยะที่ 2 (สัญญาเลขที่ 2554B066) งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2554 พบว่าความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มลดลงทุกปี ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ ปัจจัยดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงต่อการลงทุนในการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่จากการวิเคราะห์เบื้องต้นพบว่าในอุตสาหกรรมการสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ให้การรับประกันการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า (energy yield) ซึ่งโดยส่วนใหญ่การรับประกันปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าจะผลิตได้ ทำให้เกิดความเสี่ยงต่อผู้รับงานในลักษณะดังกล่าว ดังนั้นวิทยาลัยพลังงานทดแทนจึงมีแนวคิดที่จะทำศึกษาหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริงซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้ในการพัฒนาการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตให้ถูกต้องและแม่นยำยิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการรับประกันซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งกับผู้ลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ และการรับประกันปริมาณพลังงานที่โรงไฟฟ้าจะผลิตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายใน ซึ่งส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การศึกษาในครั้งนี้มุ่งเน้นทำการศึกษาสาเหตุและผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละชนิด โดยจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

1.3.1 การศึกษาพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยทำการศึกษาหาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแวดล้อม อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วนำข้อมูลที่บันทึกมาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ภายในระยะเวลา 9 ปี ตั้งแต่ปี 2548 - 2557 ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความต้านทานภายในและพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างไร ซึ่งจะมุ่งเน้นทำการศึกษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 5 ชนิด ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอสัณฐานซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell; a-Si) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell; p-Si) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมผสานซิลิกอน (Hybrid Crystalline Silicon Solar Cell; HIT) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไมโครซิลิกอน (Microcrystalline Silicon Solar Cells; μ c-Si:H) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด คอปเปอร์อินเดียมซีลีไนด์ (Copper indium selenide; CIS) ซึ่งติดตั้งภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.3.2 ทำการศึกษารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริงในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยนำตัวแปรต่างๆที่ทำจากบันทึกไว้ มาทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เผยแพร่ผลงานวิจัยในวารสาร และงานประชุมสัมมนาเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

1.4.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่าเป็นเช่นไร

1.4.3 ผลลัพธ์ที่ได้ของโครงการจะเป็นประโยชน์ต่อการเลือกใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยในระยะเวลา และเป็นข้อมูลในการสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ รวมถึงเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศ

1.4.4 เพื่อเป็นประโยชน์ในการกำหนดเงื่อนไขการรับประกันซึ่งสอดคล้องกับความเป็นจริงมากที่สุด ก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดทั้งกับผู้ลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ และให้การรับประกันปริมาณพลังงานที่โรงไฟฟ้าจะผลิตได้

1.4.5 เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการตัดสินใจของหน่วยงานภาครัฐในการดำเนินโครงการด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต ลดการสูญเสียงบประมาณ และตอบสนองนโยบายภาครัฐในเรื่องของการพัฒนาการใช้แหล่งพลังงานใหม่จากแสงอาทิตย์ของประเทศ

1.4.6 ตอบสนองนโยบายภาครัฐในเรื่องของการพัฒนาการใช้แหล่งพลังงานใหม่จากแสงอาทิตย์ของประเทศ

หน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้านครหลวง การไฟฟ้าฝ่ายผลิต กระทรวงมหาดไทย กระทรวงกลาโหม กลุ่ม องค์กร หน่วยงาน ภาครัฐ ภาคเอกชน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

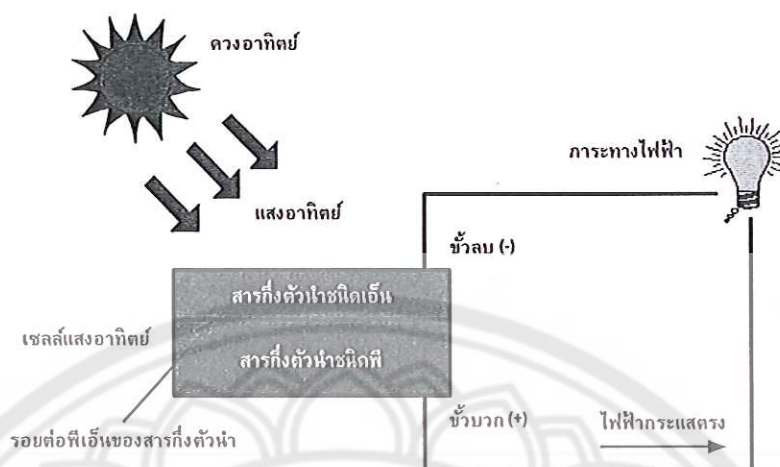
จากการศึกษาโดยวิทยาลัยพลังงานทดแทนภายใต้โครงการ “สมรรถนะกลางแจ้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอสัณฐานซิลิกอนภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้น ระยะที่ 1 สมรรถนะกลางแจ้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอสัณฐานซิลิกอนภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้น ระยะที่ 2 การศึกษาการลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นในระยะยาว ระยะที่ 1 และ 2” พบว่า อัตราการลดลงสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si p-Si HIT และ a-Si:μC เมื่อติดตั้งใช้งานเป็นระยะเวลา 7 ปี ประมาณร้อยละ 0.980.25 0.34 และ 0.38 ต่อปี จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานจะมีการลดลงของสมรรถนะ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาเพื่อทราบถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง และหาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้าได้ โดยไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปประกอบไปด้วยรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งส่วนใหญ่คือซิลิกอนที่มีคุณสมบัติแตกต่างกัน เรียกรอยต่อนี้ว่า รอยต่อพีเอ็น (p-n Junction) ทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดพาหะทางไฟฟ้าขึ้นสองชนิดคือ อิเล็กตรอน (ประจุลบ) และ โฮล (ประจุบวก) สนามไฟฟ้าที่บริเวณรอยต่อพีเอ็นจะแยกอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นให้ไหลไปทางขั้วลบและ แยกโฮลให้ไหลไปทางขั้วบวก มีผลทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง ดังนั้นเมื่อเราต่อขั้วดังกล่าวเข้ากับภาระทางไฟฟ้า (เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง) ก็จะมีการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นภายในวงจร ดังรูปที่ 5

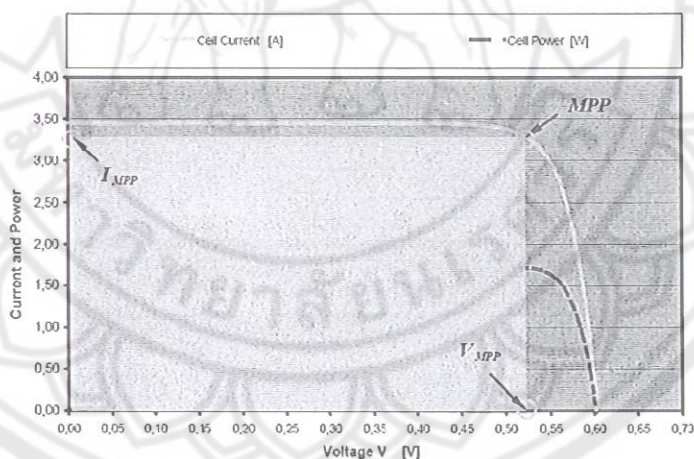
เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะให้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์ ที่สภาวะวงจรเปิดและไม่มีภาระทางไฟฟ้า ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและ ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ (พื้นที่หน้าตัด) และยังขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวอย่างเช่น เซลล์แสงอาทิตย์จากโรงงานขนาดพื้นที่หน้าตัด 160 ตารางเซนติเมตร จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 2 วัตต์ ที่สภาวะความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ลดต่ำลงเหลือประมาณ 400 วัตต์ต่อตารางเมตร เซลล์แสงอาทิตย์นี้ก็จะผลิตไฟฟ้าได้เพียงประมาณ 0.8 วัตต์ [9]



รูปที่ 5 ลักษณะทั่วไปและการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [9]

2.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถอธิบายได้โดยใช้กราฟแสดงคุณสมบัติกระแส-แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-Curve) ลักษณะของ IV-Curve ไม่ว่าจะ เป็นของเซลล์ (cell) โมดูล (module) แอร์เรย์ (array) จะมีลักษณะที่เหมือนกันดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 คุณสมบัติกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [10]

1. ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_m) คือค่ากระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่อยู่กับภาระทางไฟฟ้า
2. ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m) คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่อยู่กับภาระทางไฟฟ้า

3. ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) คือค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เกิดการลัดวงจร
4. ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) คือค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ไม่มีการไหลไฟฟ้า
5. ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m) คือค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า
6. ค่าฟิลล์แฟคเตอร์(F.F) คือค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

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

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีควรมีค่าฟิลล์แฟคเตอร์มากกว่า 0.7 ขึ้นไป เพื่อที่จะให้จุดทำงานมีค่าใกล้เคียงกับจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

7. ประสิทธิภาพสูงสุด (η_m) คือ ค่าอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อพลังงานที่ได้รับของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\eta_m = \frac{P_m}{A_m \times G_t} \quad (2.2)$$

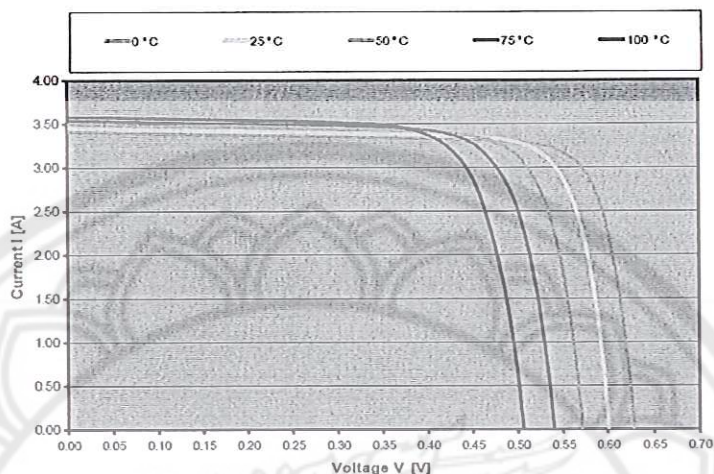
เมื่อ A_m คือ พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)
 G_t คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ (W/m^2)

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

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

สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะมีลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจคือกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อ IV-Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มรังสีดวงอาทิตย์คงที่ กับที่สภาวะอุณหภูมิแตกต่างกันกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนจะตกลงเมื่ออุณหภูมิเซลล์สูงขึ้น ส่วนค่ากระแสนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ค่า

แรงดันไฟฟ้าจะตกลงอย่างมาก ซึ่งโดยปกติกำลังไฟฟ้าจะตกลงไปประมาณ 0.4–0.6 เพอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส[11]



รูปที่ 7 IV-Curve กรณีเมื่อค่าความเข้มรังสีอาทิตย์คงที่และอุณหภูมิเซลล์เพิ่มขึ้น [10]

2.3 ตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลของอุณหภูมิต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

จากที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ผ่านมาถึงผลของอุณหภูมิเซลล์ว่าส่งผลกระทบโดยตรงกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถอธิบายรายละเอียดของผลกระทบดังกล่าว

ผลของอุณหภูมิต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

กระแสไฟฟ้าลัดวงจรสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ

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

เมื่อ η_e คือ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนคู่อิเล็กตรอน - โฮลให้เป็นกระแสไฟฟ้า

r คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ผิวด้านรับแสงของเซลล์

α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของเซลล์แสงอาทิตย์ (cm^{-1})

l 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 ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิใดๆ (eV)

γ คือ ค่าคงที่เฉพาะสารกึ่งตัวนำใดๆ สำหรับซิลิกอน = 7.02×10^{-4} eV/K

β คือ ค่าคงที่เฉพาะของสารกึ่งตัวนำใดๆ สำหรับซิลิกอน = 1,108 K

เมื่ออุณหภูมิของสารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้นช่องว่างพลังงานจะลดลงสำหรับซิลิกอนช่องว่างพลังงานจะลดลงประมาณ 2.3×10^{-4} eV/K ดังนั้นจำนวนโฟตอนที่มีพลังงานมากกว่าช่องว่างพลังงานจะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นผลให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรมากขึ้น

จากตารางที่ 1 แสดงค่าของช่องว่างพลังงานของซิลิกอนที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่องว่างพลังงานของซิลิกอนจะเปลี่ยนไปเล็กน้อยขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25 – 70°C ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรเพิ่มขึ้นเล็กน้อยขณะที่อุณหภูมิเซลล์สูงขึ้น ในทางปฏิบัติอาจจะถือว่าอุณหภูมิไม่มีผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรก็ได้

ตารางที่ 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

ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ

$$V_{oc} = qN_c N_c A_p \left[\frac{1}{N_A} \sqrt{\frac{D_n}{\tau_n}} + \frac{1}{N_D} \sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}} \right] e^{\epsilon_i / kT} \quad (2.5)$$

โดยที่

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

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

$$N_c = 2 \left[\frac{27\pi m_e * kT}{h^2} \right]^{3/2} \quad (2.8)$$

$$N_v = 2 \left[\frac{27\pi m_h * kT}{h^2} \right]^{3/2} \quad (2.9)$$

เมื่อ 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)

L_n คือ ระยะแพร่ของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี (cm)

N_D คือ ความหนาแน่นของคอนเนอร์ (cm^3)

N_A คือ ความหนาแน่นของแอคเซปเตอร์ (cm^3)

A_p คือ พื้นที่หน้าตัดของรอยต่อ (m^2)

m_e คือ มวลประสิทธิภาพของอิเล็กตรอน (kg)

m_h คือ มวลประสิทธิภาพของโฮล (kg)

h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (J-sec)

จำนวนอิเล็กตรอนหรือโฮลในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์เป็นไปตามสมการ

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

จากสมการสามารถเขียน V_{oc} ใหม่ได้ดังนี้

$$V_{oc} = qA_p n_i^2 \left[\frac{D_n}{N_A L_n} + \frac{D_p}{N_D L_p} \right] \quad (2.11)$$

ค่า n_i^2 สำหรับซิลิกอนมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังสมการ

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

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

ผลของอุณหภูมิต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด

กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

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

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

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

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

อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient Temperature) [12]

การพิจารณาอุณหภูมิแวดล้อมในเขตร้อนชื้นจะใช้สมการของ Sinusoidal ambient temperature โดยจะพิจารณาจาก อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุดของวันนั้น

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

เมื่อ:

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

2.4 การลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์[13]

สาเหตุทำให้สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงไป ดังต่อไปนี้

2.4.1 การลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ การสูญเสียกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ซึ่งมีหลายสาเหตุ ได้แก่

2.4.1.1 การสะท้อนแสงที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากผิวที่รับแสงของสารกึ่งตัวนำนั้น โดยทั่วไปมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่สูงมาก ดังนั้นโฟตรอนจำนวนมากจึงถูกสะท้อนกลับ โดยไม่ได้เดินทางเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ วิธีการลดการสะท้อนแสงวิธีหนึ่ง ได้แก่การเคลือบฟิล์มป้องกันการสะท้อนแสง เช่น SiO_2 และ Si_3N_4

2.4.1.2 การสร้างขั้วไฟฟ้าบนผิวด้านรับแสง เช่น การเคลือบขั้ว Al เป็นลายเส้นด้านผิวรับแสง ทำให้เกิดการบังแสง พื้นที่ที่บังแสงมีประมาณ 5-15 % ของพื้นที่ทั้งหมด

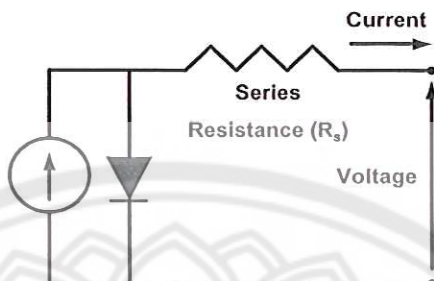
2.4.1.3 โฟตรอนบางตัวไม่ถูกดูดกลืน แต่สามารถเดินทางทะลุสารกึ่งตัวนำออกไปทางด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้เพราะสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงมีค่าไม่มาก วิธีการแก้ไขคือ การใช้ผลึกที่มีความหนาที่เพียงพอ สารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานชนิดไม่ตรงต้องใช้ความหนามากกว่าสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานชนิดตรง

2.4.1.4 มีการสูญเสียเนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮลรวมตัวกันก่อนที่จะออกสู่ภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ การรวมตัวกันเกิดขึ้นมากที่บริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำและในชั้นที่ไม่มีสนามไฟฟ้าภายในปกติพาหะโฟโตที่สามารถเดินทางออกสู่ภายนอกได้ดีได้แก่พาหะโฟโตที่เกิดขึ้นในย่านปลอดพาหะซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าภายใน (built-in potential) ช่วยพัดพาให้พาหะโฟโตไหลด้วยสนามไฟฟ้า

2.4.2 การลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากตัวเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังนี้

2.4.2.1 เกิดจากการสีกกร่อนของรอยต่อหรือเกิดจากการลดลงของแรงยึดเหนี่ยวโครงสร้างเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น ความต้านทานของรอยต่อ p-n ความต้านทานของขั้วไฟฟ้า ความต้านทานที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำและขั้วไฟฟ้า เป็นต้น ค่าความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่

โพลในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ลดลง โดยที่ กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเขียนเป็น สมการหาได้ดังนี้



รูปที่ 8 วงจรของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$P_m = \frac{(V_{mp} - I_{mp} R_s)}{I_{mp}} \quad (2.16)$$

$$= P_{mp} \left(1 - \frac{I_{mp} R_s}{V_{mp}}\right) \quad (2.17)$$

$$= P_{mp} \left(1 - \frac{I_{sc} R_s}{V_{oc}}\right) \quad (2.18)$$

$$R_s = \frac{\Delta V}{I} \quad (2.19)$$

เมื่อ P_m คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า

V_{mp} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า

I_{mp} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า

R_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์

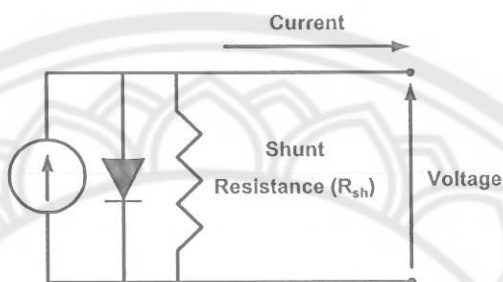
ΔV คือ ค่าความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตได้

I คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

I_{sc} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เกิดการลัดวงจร

V_{oc} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ไม่มีการภาระทางไฟฟ้า

2.4.2.2 เกิดจากการเสื่อมของโลหะผสมที่อยู่ระหว่างรอยต่อพีเอ็น (p-n junction) ทำให้ค่าความต้านทานชั้นลดลง ความต้านทานชั้นเกิดจากการเกิดรั่วของแรงดันไฟฟ้าที่ขอบของเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของผลึก ซึ่งการลดลงของความต้านทานชั้นจะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ไหลในเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงส่งผลให้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ลดลง โดยที่ค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเขียนเป็น สมการได้ดังนี้



รูปที่ 9 วงจรของความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$P_m = P_{mp} \left(I_{mp} - \frac{V_{mp}}{V_{mp} \times R_{sh}} \right) \quad (2.20)$$

$$= P_{mp} \left(1 - \frac{V_{mp}}{I_{mp} \times R_{sh}} \right) \quad (2.21)$$

$$= P_{mp} \left(1 - \frac{V_{oc}}{I_{sc} \times R_{sh}} \right) \quad (2.22)$$

$$R_{sh} = \frac{V}{\Delta I} \quad (2.23)$$

เมื่อ R_{sh} คือ ค่าความต้านทานชั้นของโลหะผสมที่อยู่ระหว่างรอยต่อพีเอ็น

V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

ΔI คือ ค่าความแตกต่างของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

2.5 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

David L. King, et al [2] ได้ทำการศึกษาพัฒนาสมการและประยุกต์ใช้กับการหาสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 12 ปี โดยใช้ตัวแปรต่างๆ เช่น กำลังไฟฟ้าอุณหภูมิ และความเข้มรังสีอาทิตย์ จากการศึกษาพัฒนาพบว่าสมการนี้สามารถวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ

AchitponSaSitharanuwata, et al[3] ได้ทำการศึกษาและทดสอบระบบสถานีผลิตไฟฟ้า กระแสสลับด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10kWp ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวรหลังจาก ติดตั้งใช้งานมาเป็นระยะเวลา 11 เดือน จากการศึกษาพบว่า ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 14,124 kWh และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si p-Si และ HIT มีค่าเท่ากับ 6.26% 10.48% และ 13.78% และสมรรถนะของระบบ เท่ากับ 0.57 - 0.79

KritwiputPhaokeaw, et al [4] ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบ a-Si p-Si และ HIT ภายใต้สภาวะอากาศร้อนขึ้นจากการศึกษาพบว่า a-Si สามารถผลิตพลังงาน ไฟฟ้าได้มากกว่า p-Si และ HIT

ณัฐภูมิ ขาวสะอาด และคณะ[5] ทำการศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ภายใต้ สภาวะการใช้งานจริงโดยทำการศึกษาข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิด คือ ซิลิกอนอสัณฐาน (Amorphous Silicon Solar Cell; a-Si) ผลึกผสมซิลิกอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell; p-Si) และไฮบริดซิลิกอน (Hybrid Solar cell; HIT) ของระบบสถานีผลิตไฟฟ้ากระแสสลับจากเซลล์ แสงอาทิตย์ขนาด 10 กิโลวัตต์ ภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวรในการวิเคราะห์หา พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด สามารถผลิตได้นั้น ใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2548 จนถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2551 เพื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถ ผลิตได้เป็นรายปี ผลการศึกษาพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si p-Si และ HIT สามารถผลิตได้ ในปี 2548 มีค่าเท่ากับ 885739 และ 798kWh/kWp ในปี 2549 มีค่าเท่ากับ 1,8911,676 และ 1,779kWh/kWp ในปี 2550 มีค่าเท่ากับ 1,7611,604 และ 1,703kWh/kWp และในปี 2551 มีค่าเท่ากับ 1,6701,496 และ 1,583kWh/kWp ตามลำดับ

NiponKetjoy, et al [6] ได้ทำการศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้และ อัตราการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si p-Si และ HIT ของระบบสถานีผลิตไฟฟ้า กระแสสลับด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10kWp ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ติดตั้งใช้ งานตั้งแต่ปี 2548 จนถึง 2553 ผลการศึกษาพบว่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si p-Si และ HIT สามารถผลิตได้เท่ากับ 4.86 h/d 4.36 h/d และ 4.60 h/d ตามลำดับ และมีอัตราการลดลงของ สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si เท่ากับ 0.92% HIT เท่ากับ 0.87% และน้อยที่สุด คือ p-Si เท่ากับ 0.83%

Peter Hacke, et al [14] ได้ทำการศึกษาเรื่องการเสื่อมสภาพและพลังงานสูญเสียของแผง เซลล์แสงอาทิตย์ ที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งถูกการกระทำจากแรงดันของระบบ เซลล์แสงอาทิตย์บางส่วน นี้ที่ครบกำหนดจะถูกนำมาตรวจสอบตามมาตรฐาน แต่ไม่เพียงพอสำหรับการประเมินถึงความทนทาน ของแผงเซลล์ได้ในระยะยาวที่จะได้รับผลกระทบจากแรงดันไฟฟ้าสูงๆ จากประสบการณ์ในโรงไฟฟ้าจริงๆ ได้ แรงดันไฟฟ้าสูงๆ จะนำไปสู่การเสื่อมสภาพของแผงเซลล์จากความหลากหลายของกลไก ขอบเขตของ แรงดันต่อการเสื่อมสภาพจะเกี่ยวเนื่องกับ Leakage current หรือ Coulombs ผ่านชั้นผลิตกระแสของ เซลล์ ผ่านไปยังฉนวนและกระจุกลงสู่กราวด์เฟรมของแผงเซลล์ ที่สามารถกำหนดการทดลองได้ อย่างไรก็ดี

ตาม ผลกระทบจากการผลิตจะไม่มีความร้อน วิธีการประมาณการวิธีทดสอบทดสอบและระดับของการกระทำจากแรงดันไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ถึงการทำกับแผงเซลล์และความทนทานต่อแรงดันของระบบที่จะทำให้เกิด PID กับกลไกของระบบ ข้อมูลนี้ได้จากการทดสอบแบบกลางแจ้งที่ได้ทำการทดลองมาแล้ว ซึ่งจะถูกใช้สำหรับประมาณการโดยการเร่งตัวแปรที่ต้องการเพื่อประเมินผลความทนทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อการกระทำจากแรงดันของระบบ จากการเร่งให้เกิด PID สามารถสังเกตได้จากผิวของตัวเซลล์หลังจาก การกระทำของแรงดันไฟฟ้าสูงๆ พบว่าลดการเกิด PID ในการ damp heat ด้วยการจ่ายไฟลบที่ขึ้นผลิตกระแส

FarazEbneali [15] ได้ทำการศึกษาผลกระทบต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากอุณหภูมิและตัวนำที่ผิวหน้าแผงเซลล์ เริ่มจากศึกษาแรงดันไฟฟ้าสูง อุณหภูมิและความชื้น ที่จะส่งผลต่อแผงเซลล์ชนิดผลึกรวม เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบจากอุณหภูมิต่อการกระตุ้นและระดับการเสื่อมสภาพ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสรั่วและพลังงานที่ลดลง เพื่อเปรียบเทียบและการประมาณการ อัตราการลดลงของการเสื่อมสภาพต่อแผงใหม่จากตัวอย่าง Thermal cycling (TC) และ Damp heat (DH) เพื่อเข้าใจชนิดของแผงเซลล์ที่เหมาะสมสำหรับการทดสอบ PID เพื่อหาระดับการกัดกร่อนทางเคมีไฟฟ้าและความต้านทานระหว่างรอยต่อ เพื่อวิเคราะห์การย้อนกลับของกำลังไฟฟ้า จากตัวอย่างหลังจากทดสอบการเสื่อมสภาพ เพื่อประมาณการความต้านทานไฟฟ้าภายใน (R_s) ของตัวอย่างก่อนและหลังทดสอบ PID เพื่อตรวจสอบและยืนยันก่อนศึกษา PID

LelePeng, et al [16] ได้ทำการศึกษาวิธีการใหม่สำหรับการกำหนดคุณลักษณะ I-V และ P-V ของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้การวิเคราะห์ปัญหาที่แน่นอนชัดเจน กราฟ I-V และ P-V ของโมดูลที่มีความสอดคล้องกันจะถูกนำมาคำนวณและสร้างแบบจำลอง เทคนิคใหม่จะถูกนำเสนอโดยใช้ฟังก์ชัน Lambert W และการปรับกราฟสมการพหุนามย่อยเพื่อทำการแยกตัวแปร วิธีการนี้ประสบความสำเร็จเมื่อนำไปใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์และโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์เชิงพาณิชย์ ผลลัพธ์ที่ได้อยู่ในข้อตกลงที่ดีกับผู้ที่เผยแพร่ก่อนหน้านี้ นอกจากนั้นมาตรฐานคุณภาพของวิธีการที่ดีไม่เพียงแต่มีค่าผิดพลาดของกระแสไฟฟ้าที่น้อยแต่ยังมีค่าเบี่ยงเบนของพลังงานน้อย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ณ จุดที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

S. Kaplanis and E. Kaplani. [17] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลังงานและการเสื่อมสภาพของ 3 BP PV modules ชนิด BP 1233 ระยะเวลาการดำเนินการมากกว่า 20 ปี ในการศึกษาและเปรียบเทียบข้อมูลของกำลังไฟฟ้าออก ทั้ง 3 โมดูลของเซลล์แสงอาทิตย์ถูกติดตั้งกลางแจ้ง ในมหาวิทยาลัยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Campus) และดำเนินการได้อย่างราบรื่นในตลอดระยะเวลาดำเนินการ โดยปราศจากการดูแลหรือการบำรุงรักษา ถึงแม้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีสภาพทางกายภาพเปลี่ยนจากการตากแดดตากฝนอย่างต่อเนื่อง การเสื่อมสภาพอายุการใช้งานถูกประมาณการจากดำเนินการทดลอง ค่ากระแส และ แรงดันไฟฟ้าภายใต้สภาวะควบคุม การวิเคราะห์การทดลองนำไปสู่การกำหนดกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่ STC อนุกรมและขนานตัวต้านทานตามลำดับ และค่าฟิวส์ฟลักเตอร์ (FF) สาเหตุของการเสื่อมสภาพเกิดจากความเสียหายบริเวณรอยต่อ ความชื้น และ hotspot เป็นต้น โดยตระหนักในการตรวจสอบจุดกำเนิด

M. Fuentes et al. [18] ได้ทำการศึกษาการทำนายการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง โดยการข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด m-Si และ p-Si ภายใต้ภูมิอากาศแบบเมดิเตอร์เรเนียน จำนวน 12 เดือน และใช้ทฤษฎีพีชคณิต (algebraic methods) ในการสร้างสมการสำหรับทำนายการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้เปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงจากผลการศึกษาพบว่าสมการที่คณะผู้วิจัยสร้างขึ้นเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์ภายใต้การใช้งานจริงมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 5 % ทั้งการทำนายกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

E.E. van Dyk , E.L. Meyer [19] ได้ทำการศึกษาการสีกกร่อนของ Parasitic resistances ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ออกมาลดลง โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับจากความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนั้ต ซึ่งจะนำเทคโนโลยีมาใช้ในการวิเคราะห์และแสดงให้เห็นค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบจากความต้านทานทั้ง 2 ตัวนี้ จากการวิเคราะห์การลดลงของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมของแผงขนาด 130 kWh/m^2 ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าถึง 50% และการลดลงของความต้านทานขนั้ต 29 % ของแผง CuInSe_2 ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าถึง 6 % จากการศึกษาในครั้งนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมและการลดลงของความต้านทานขนั้ตจะทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง

2.6สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น โดยทั่วไปมาจากการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมและการลดลงของความต้านทานขนั้ต ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีสมรรถนะลดลงตามไปด้วย และวิธีการหาความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไป จะใช้วิธีการทดสอบโดยใช้ Flash test แต่วิธีการทดสอบนี้มีข้อจำกัด คือ สามารถทดสอบหาค่าความต้านทานภายในได้เพียงครั้งหนึ่งละแผงเท่านั้น ซึ่งหากเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานในระบบจะไม่สามารถทดสอบหาความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบนั้นได้ เนื่องจากการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาทดสอบเพื่อหาความต้านทานภายในและหาการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น จำเป็นต้องทำการปลดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการทดสอบออกจากระบบเป็นผลทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งหากเป็นกรณีของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ นั้นจะส่งผลทำให้โรงไฟฟ้านั้นไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ และจากเทคนิคการตรวจวัด การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่คณะผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมานั้น คณะผู้วิจัยได้พัฒนาต่อยอดงานวิจัยดังกล่าว เพื่อใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์
แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง



ตารางที่ 2สรุปเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่อผู้แต่ง	ชื่อเรื่อง	ทฤษฎี	โปรแกรม	เครื่องมือ	ตัวแปร	ผลการวิจัย
David L. King, et al[2]	Photovoltaic Array Performance Model	Photovoltaic Array Performance Model	PV-DesignPro	Basic equation model	Performance parameters and meteorological data	สมการที่ใช้ในการออกแบบวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ
AchitponSasitharanuwat,et al[3]	Performance evaluation of a 10 kWp PV power system prototype for isolated building in Thailand	Performance evaluated equations		guideline of standard IEC 61724 และ International Energy Agency Photovoltaic Power System (IEA PVPS) Program task 2	Performance parameters and meteorological data	เปรียบเทียบสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
KritwiputPhaobkaiwet al[4]	Performance of a-Si, p-Si, and HIT PV Technological Comparison under Tropical Wet Climate Condition	Performance evaluated equations and polynomial relationship		IEC 61724	Yr, Ya, Lc, and a _n	ผลกระทบที่เกิดจากความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม มีผลต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าผลจากความชื้นกับความเร็วลม
ปัฐวิณี ขาวสะอาด และคณะ[5]	การศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้รายปีภายใต้สภาวะการใช้งานจริง	Performance evaluated equations		IEC 61724 และ International Energy Agency Photovoltaic Power System (IEA PVPS) Program task 2	Y _r และ Y _a	พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดผลิตได้
NponKetjoy, et al[6]	Performance Evaluation of 10 kWp Photovoltaic Power Generator Under Hot Climatic Condition	Performance evaluated equations		IEC 61724 และ International Energy Agency Photovoltaic Power System (IEA PVPS) Program task 2	Y _r และ Y _a	ประสิทธิภาพ พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดผลิตได้และอัตราการลดลงของสมรรถนะ
Peter Hacke et al. [14]	System Voltage Potential-Induced Degradation Mechanisms in PV Modules and Methods for Test	System Voltage Potential-Induced Degradation Mechanisms in PV Modules and Methods		IEC 61215 and IEC 61646	Voltage stress , Leakage current and meteorological data	ทราบแรงดันต่อการเสื่อมสภาพซึ่งเกี่ยวข้องกับกระแสรั่วระหว่างเซลล์ถึงกระจุกถึงเฟรม

ตารางที่ 2 สรุปเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง	ชื่อเรื่อง	ทฤษฎี	โปรแกรม	เครื่องมือ	ตัวแปร	ผลการวิจัย
FarazEbneali et al. [15]	Influence of Temperature and Surface Conductivity	Potential-Induced Degradation method		IEC61215 standard	Voltage stress, Leakage current, High voltage, Temperature and humidity	ทราบความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสรั่วและพลังงานที่ลดลง
Lele Peng, et al, [16]	Determining the characteristics of solar cells	Newton – Raphson	Matlab– Simulink	Lambert W function and subsection polynomial curve fitting	I_{sc} , V_{mp} , I_{mp} , V_{oc} , R_s , R_{sh} and I_0	สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
S. Kaplanis and E. Kaplani, [17]	Performance Degradation	Swanson,		A linear model of continuous degradation	R_s , R_{sh} and F.F	สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอัตราการลดลงประมาณ 11% เมื่อติดตั้งใช้งานผ่านไป 20 ปี
M. Fuentes, et al. [18]	The behavior of crystalline silicon PV modules prediction	Algebraic and Osterwald's	Lab view and Matlab– Simulink	IEC 60904-1	I_{sc} , V_{mp} , I_{mp} , V_{oc} , P_{max} และ Y_A	การประเมินกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะการใช้งานจริง
E.E. van Dyk and E.L. Meyer. [21]	The effect of parasitic resistances analysis	Staebler – Wronski effect	PVSIM	Two diode model	R_s and R_{sh}	การเสื่อมสภาพของต้านทานภายในส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้า
งานวิจัยนี้	เพื่อพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายใน และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง	ความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนาน	Matlab– Simulink	สมการเชิงเส้น	ความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแผง IV Curve R_s , R_{sh} และ V_m	ได้สมการในการวิเคราะห์หาและทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายใน

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะนำเสนอเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยขั้นตอนการทดลอง วิธีการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ โดยจะทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ศึกษาหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง และศึกษาหาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่มีรายละเอียดการศึกษาดังนี้

3.1 ศึกษาพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง มีรายละเอียดดังนี้

ในการพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและการวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้วิจัยได้มีการสร้างสมการวิเคราะห์หาความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเป็นการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมจากโครงการการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ซึ่งสร้างจากสัมพันธระหว่างความต้านทานภายใน กับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m) และกระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_m) เพื่อสะดวกต่อระบบที่ติดตั้งใช้งานจริง ซึ่งกระบวนการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

3.1.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV modules) 5ชนิด ได้แก่ ชนิด a-Si p-Si HIT μ c-Si:H และ CIS

3.2.1.2 ไพรานอมิเตอร์ (pyranometer) สำหรับวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

3.2.1.3 PVAnalyzer สำหรับวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความเข้มรังสีอาทิตย์ เป็นต้น

3.2.1.4 มัลติมิเตอร์ (Multimeter) สำหรับวิเคราะห์ค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า

3.2.1.4 เทอร์โมคอปเปิล (thermocouple) สำหรับวัดค่าอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

ตารางที่ 3 คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปร	a-Si	p-Si	HIT	μ c-Si:H	CIS
กำลังไฟฟ้าสูงสุด(W)	54	80	180	100	140
ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V)	85	21.3	45.5	71.0	109.0
ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I)	1.14	5.16	5.49	2.25	2.10
ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V)	62.0	17.1	36.5	53.5	77.0
ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (I)	0.87	4.68	4.93	1.87	1.82
จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์	68	45	16	10	10
ขนาด (mm.)	920x920x40	1,200x530x35	1,443x812x35	1,210 x1,008 x40	1,255x977 x35

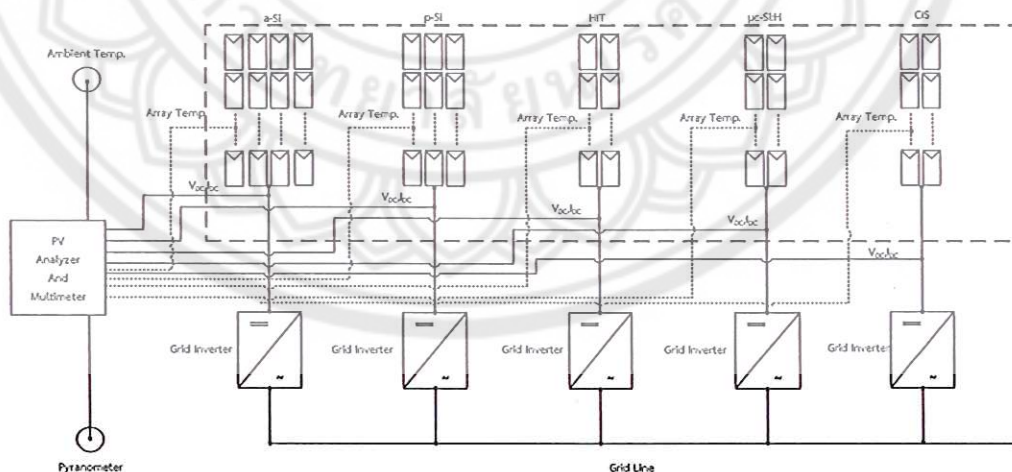
หมายเหตุ:สภาวะมาตรฐาน: Air mass 1.5 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ $1,000 \text{ W/m}^2$, อุณหภูมิเซลล์ 25°C

3.2.2 การเก็บบันทึกข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลในการทำการวิจัย

ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยดำเนินการเก็บข้อมูลการตรวจวัดและบันทึกค่าด้วยการบันทึกจดด้วยมือ โดยแต่ ละการตรวจวัดและวิเคราะห์มีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

- ขั้นตอนการทดลอง

1. วัดค่าและบันทึกความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (G_p) ทุกๆ 1 ชั่วโมง
2. วัดค่าและบันทึกอุณหภูมิแผงเซลล์ (T_m) และอุณหภูมิอากาศแวดล้อม (T_{am}) ทุกๆ 1 ชั่วโมง
3. วัดค่าและบันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้า (I) และแรงดันไฟฟ้า (V) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกๆ 1 ชั่วโมงจะใช้ PV Analyzer พร้อมกับมัลติมิเตอร์ เพื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดของเครื่องทั้งสองเครื่อง
4. ทำการทดลองตั้งแต่ช่วงเวลา 9.00 – 17.00 น. และทำการเก็บข้อมูล 1 ครั้งต่อเดือน



รูปที่ 10 แผนผังการตรวจวัดคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูล

1. นำข้อมูลพื้นฐานที่ปรับค่าเข้าสู่ที่สภาวะมาตรฐาน (STC) อ้างอิงจาก IEC 61829 โดยคัดกรองข้อมูลที่มีค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ตั้งแต่ 700 วัตต์ต่อตารางเมตร ใช้สมการดังนี้

สมการใช้ในการปรับความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

กำลังไฟฟ้าสูงสุด

$$P_{1,000} = \frac{(1,000 \times P_{rr})}{I_{rr}} \quad (3.1)$$

กระแสไฟฟ้าสูงสุด

$$I_{1,000} = \frac{(1,000 \times I_{rr})}{I_{rr}} \quad (3.2)$$

แรงดันไฟฟ้าสูงสุด

$$V_{1,000} = V_r - (V_r \times k) \quad (3.3)$$

เมื่อ k คือ สัมประสิทธิ์ของความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีผลกับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (irradiance coefficient)(%/วัตต์)

$k = 1.000$ ที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

$k = 0.996$ ที่ 900 วัตต์ต่อตารางเมตร

$k = 0.989$ ที่ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร

$k = 0.986$ ที่ 700 วัตต์ต่อตารางเมตร

สมการใช้ในการปรับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

กำลังไฟฟ้าสูงสุด

$$P_{25} = \frac{P_r}{1 - \left(\frac{T_{coe,p}}{100} \times (T_m - 25) \right)} \quad (3.4)$$

แรงดันไฟฟ้าสูงสุด

$$V_{25} = \frac{V_r}{1 - \left(\frac{T_{coe,v}}{100} \times (T_m - 25) \right)} \quad (3.5)$$

กระแสไฟฟ้าสูงสุด

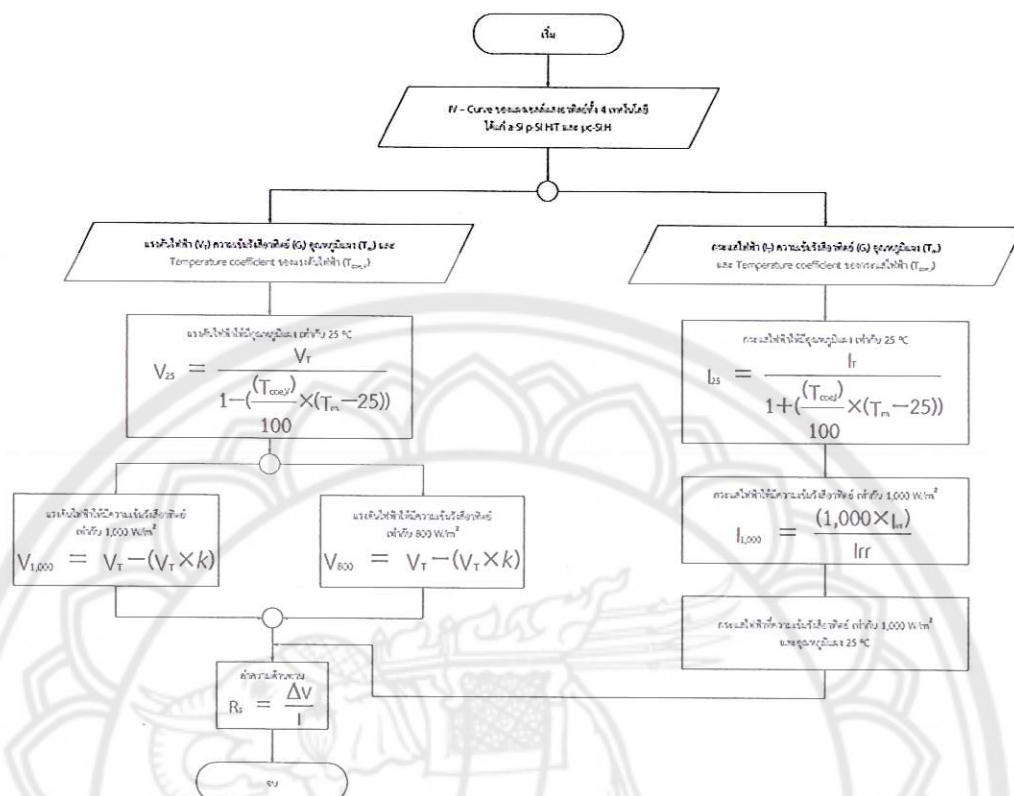
$$I_{25} = \frac{I_r}{1 + \left(\frac{T_{coe,I}}{100} \right) \times (T_m - 25)} \quad (3.6)$$

1.6689978

เมื่อ

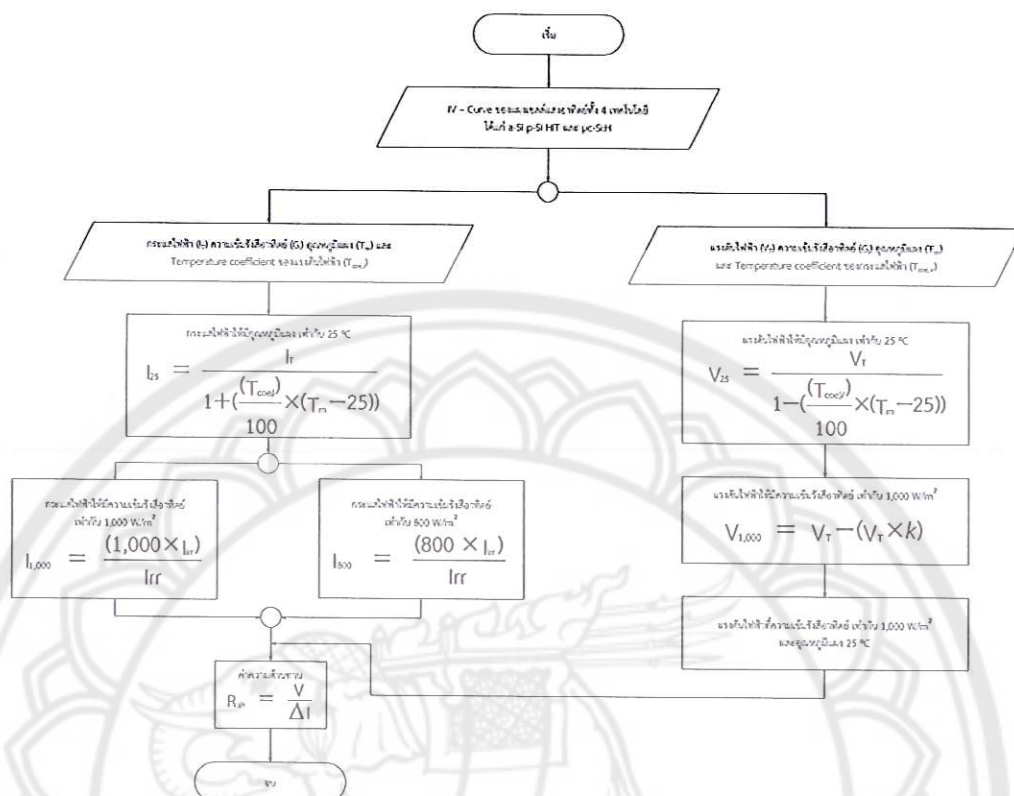
- $P_{1,000}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร
- P_{irr} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ใดๆ
- $I_{1,000}$ คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร
- I_{irr} คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ใดๆ
- P_{25} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผง เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
- P_T คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผงใดๆ
- V_{25} คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผง เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
- V_T คือ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผงใดๆ
- I_{25} คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผง เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส
- I_T คือ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิแผงใดๆ
- $T_{coe,V}$ คือ สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิที่มีผลกับแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Temperature coefficient)(%/โวลต์)
- $T_{coe,I}$ คือ สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิที่มีผลกับกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Temperature coefficient)(%/แอมแปร์)

2. ดำเนินการวิเคราะห์หาความต้านทานอนุกรม โดยการปรับค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 และ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร และปรับอุณหภูมิแผงให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปรับค่ากระแสไฟฟ้าให้มีความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และปรับอุณหภูมิแผงให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 10



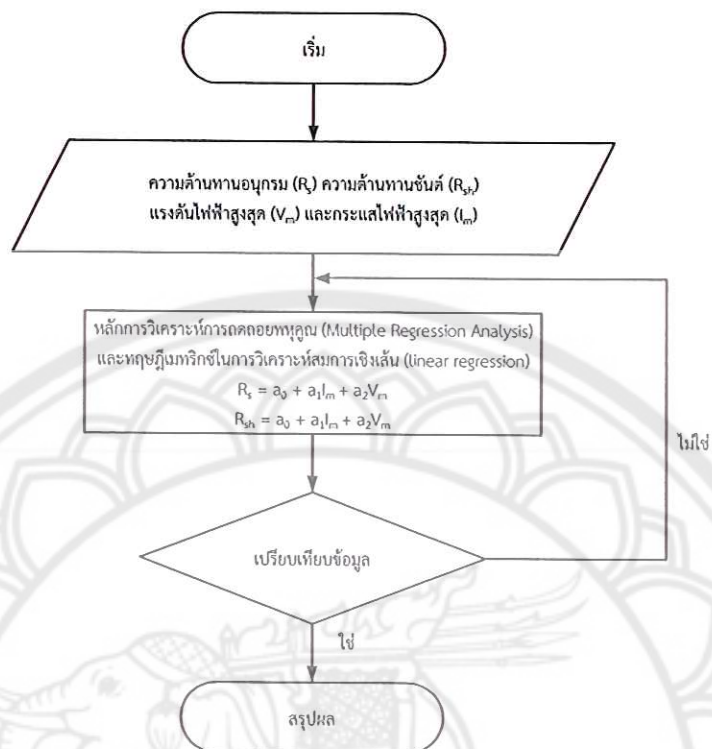
รูปที่ 11 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความต้านทานอนุกรม

3. ดำเนินการวิเคราะห์หาความต้านทานชั้นดี โดยการปรับค่ากระแสไฟฟ้าให้มีความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 และ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร และปรับอุณหภูมิแสงให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นปรับค่าแรงดันไฟฟ้าให้มีความเข้มรังสีอาทิตย์ เท่ากับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และปรับอุณหภูมิแสงให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 12



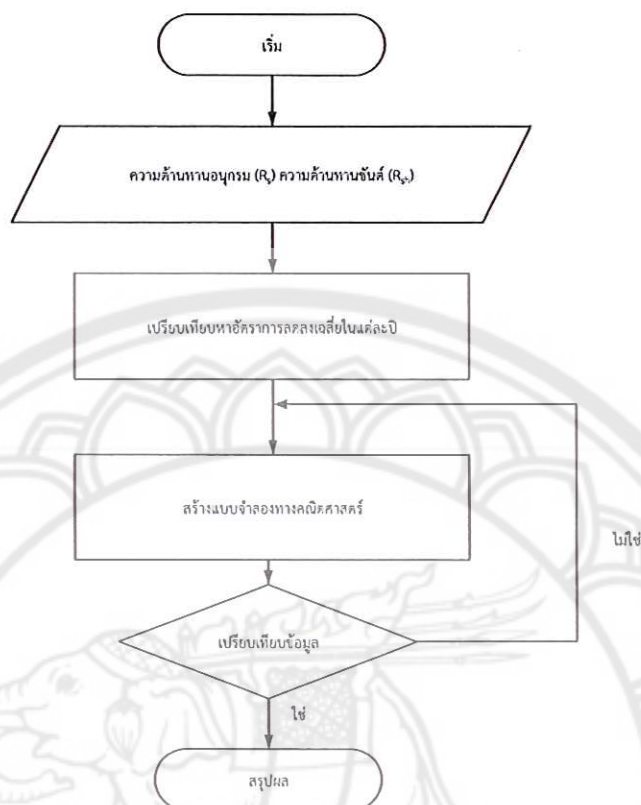
รูปที่ 12 ขั้นตอนการวิเคราะห์หาความต้านทานชั้นดี

4. หลังจากวิเคราะห์หาความต้านทานภายในทั้ง 2 ตัวเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการหาความสัมพันธ์ของความต้านทานภายในกับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดและกระแสไฟฟ้าสูงสุด หลักการสร้างสมการการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) และทฤษฎีเมทริกซ์ในการวิเคราะห์สมการเชิงเส้น (linear regression) เพื่อสร้างสมการที่ใช้ในการคำนวณหาความต้านทานภายในทั้ง 2 ตัว ได้ง่ายขึ้น เนื่องจากงานวิจัยนี้จะเป็นการวิเคราะห์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในระบบจะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการเก็บข้อมูลของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไป การเก็บข้อมูลค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชุด โดยสมการที่สร้างใหม่เป็นการพัฒนาเทคนิคการวิเคราะห์หาความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับระบบและสามารถประยุกต์ใช้ในการหาความต้านทานภายในและการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้ง่ายขึ้นดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 ขั้นตอนวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของความต้านทานภายในกับแรงดันไฟฟ้าสูงสุด
และกระแสไฟฟ้าสูงสุด

5. เมื่อได้สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์หาความต้านทานภายในเรียบร้อยแล้ว
คณะวิจัยจะทำการหาอัตราการการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หลังจากนั้น
เมื่อทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงความต้านทานเรียบร้อยแล้ว จะนำอัตราการเปลี่ยนแปลงนั้นมาสร้าง
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 ขั้นตอนการหาวิธีการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด

ตารางที่ 4 ข้อมูลที่ต้องทำการประมวลผลหาการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายใน

ลำดับที่	ตัวแปร	สัญลักษณ์
1	ความต้านทานอนุกรม	R_s
2	ความต้านทานขั้ว	R_{sh}

3.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสถานะการใช้งานจริง

จากการวิเคราะห์หาความต้านทานภายในและการเปลี่ยนแปลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละชนิดข้างต้น จากสมการที่สร้างใหม่จะเกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสิ้น 3 ตัวแปร ได้แก่ ความต้านทานอนุกรม (R_s) ความต้านทานขั้ว (R_{sh}) แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m) และกระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_m) เนื่องจากเป็นไปตามลักษณะการเก็บข้อมูลของโรงไฟฟ้าโดยทั่วไปจะเป็นการเก็บข้อมูลของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายไฟฟ้าไปยังภาระทางไฟฟ้าที่นำไปใช้งาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นสร้างสมการจากความสัมพันธ์ของตัวแปรดังกล่าว ใช้หลักการสร้างจากการวิเคราะห์การถดถอย

พหุคูณ และทฤษฎีเมทริกซ์ในการวิเคราะห์สมการเชิงเส้น เพื่อสร้างสมการให้อยู่ในรูปแบบดังนี้ " $R_s = a_0 + a_1 I_m + a_2 V_m$ " และ " $R_{sh} = a_0 + a_1 I_m + a_2 V_m$ " นำสมการที่สร้างใหม่นั้นใช้ในการวิเคราะห์ความเปลี่ยนแปลงความต้านทานและอัตราค่าการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อสร้างสมการที่ใช้ในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป



บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้นำเสนอผลการศึกษา โดยจะทำการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนได้แก่ศึกษาหาสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง และศึกษาหาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ มีรายละเอียดดังนี้

4.1 การศึกษาพัฒนาหาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่

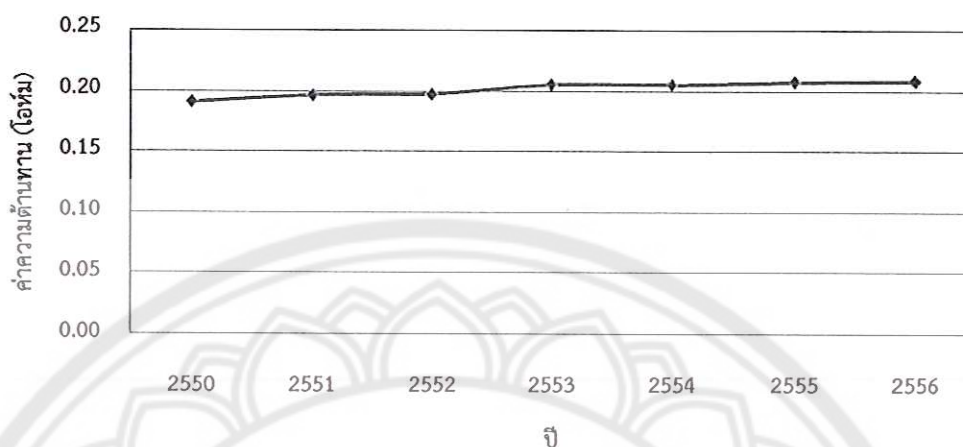
ในส่วนนี้จะมุ่งเน้นทำการศึกษาหาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนั้ตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดที่ติดตั้งใช้งานในระบบ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

4.1.1 การวิเคราะห์หาความต้านทานภายในและผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด มีรายละเอียดดังนี้

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

จากรูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ซึ่งจากกฎของโอห์ม กล่าวไว้ว่า “สารใดที่มีความต้านทานสูงจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อย” ในปี 2550 2551 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีความต้านทานอนุกรมเท่ากับ 0.191 0.196 0.197 0.205 0.205 0.207 และ 0.208 โอห์มตามลำดับ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมคิดเป็นร้อยละ 0.78 ต่อปี แสดงว่าความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลออกมาได้น้อยลง จึงส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย

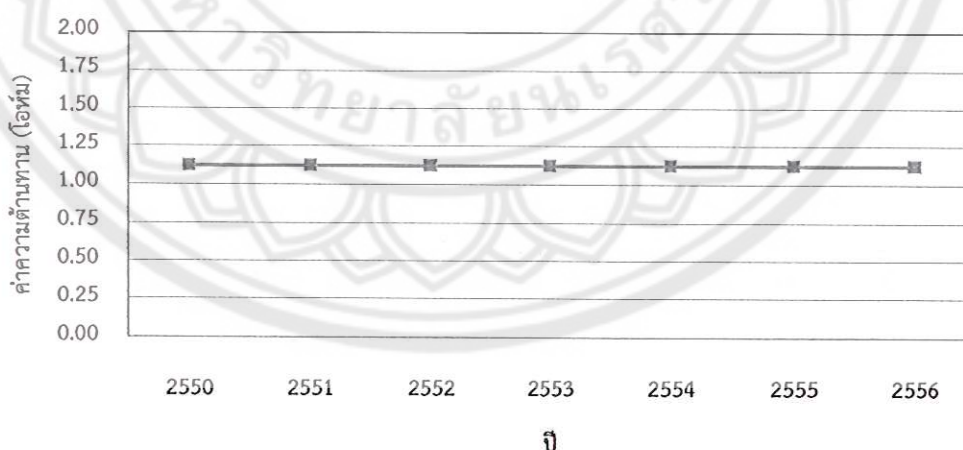
ความต้านทานอนุกรม (R_s) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si



รูปที่ 15 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

จากรูปที่ 16 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ซึ่งจากกฎของโอห์มกล่าวไว้ว่า “สารใดที่มีความต้านทานน้อยจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มาก” ในปี 2550 2551 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีความต้านทานชั้นเท่ากับ 1.126 1.126 1.124 1.124 1.123 1.123 และ 1.122 โอห์มมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชั้น คิดเป็นร้อยละ 0.03 ต่อปี แสดงว่าเมื่อความต้านทานชั้นลดลง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านความต้านทานชั้นได้มากขึ้น จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลง ซึ่งทั้ง 2 กรณีตรงกับกฎของโอห์มที่กล่าวไว้ข้างต้น

ความต้านทานชั้น (R_{sh}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

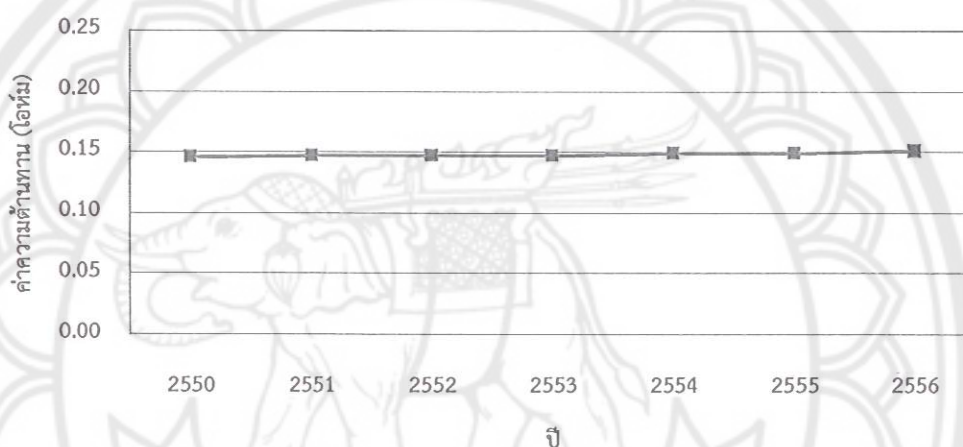


รูปที่ 16 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si

จากรูปที่ 17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si ซึ่งจากกฎของโอห์ม กล่าวไว้ว่า “สารใดที่มีความต้านทานสูงจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อย” ในปี 2550 2551 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si มีความต้านทานอนุกรมเท่ากับ 0.146 0.147 0.147 0.147 0.149 0.149 และ 0.151 โอห์ม ตามลำดับ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมคิดเป็นร้อยละ 0.36 ต่อปี แสดงว่าความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลออกมาได้น้อยลง จึงส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย

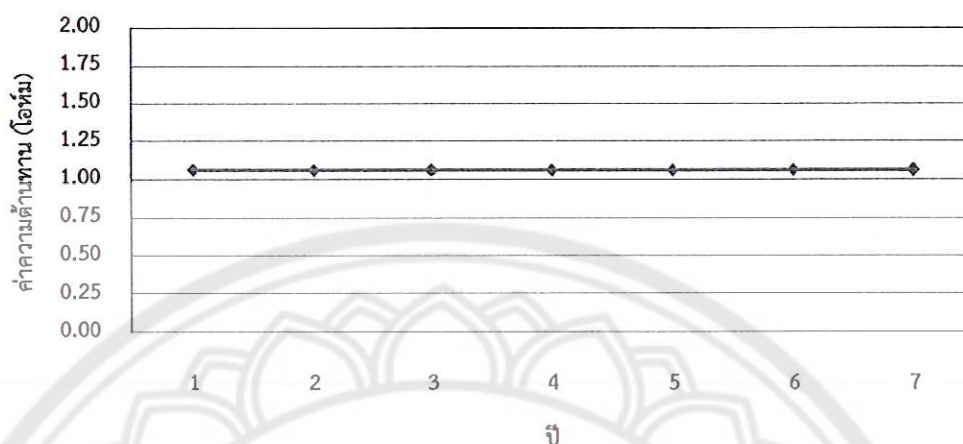
ความต้านทานอนุกรม (R_s) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si



รูปที่ 17 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si

จากรูปที่ 18 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si ซึ่งจากกฎของโอห์มกล่าวไว้ว่า “สารใดที่มีความต้านทานน้อยจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มาก” ในปี 2550 2551 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si มีความต้านทานชั้นเท่ากับ 1.060 1.060 1.060 1.060 1.060 1.060 และ 1.059 โอห์ม มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชั้น คิดเป็นร้อยละ 0.02 ต่อปี แสดงว่าเมื่อความต้านทานชั้นลดลง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านความต้านทานชั้นได้มากขึ้น จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลง

ความต้านทานชั้น (Rsh) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si

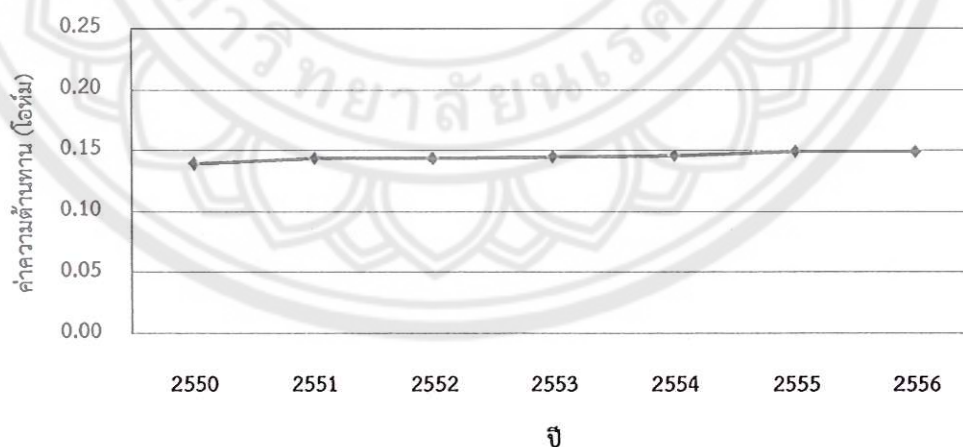


รูปที่ 18 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT

จากรูปที่ 19 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT ในปี 2550 2551 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT มีความต้านทานอนุกรมเท่ากับ 0.139 0.144 0.144 0.145 0.146 0.149 และ 0.149 โอห์ม/ชุดตามลำดับ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมคิดเป็นร้อยละ 0.49 ต่อปี แสดงว่าความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลออกมาได้น้อยลง จึงส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย

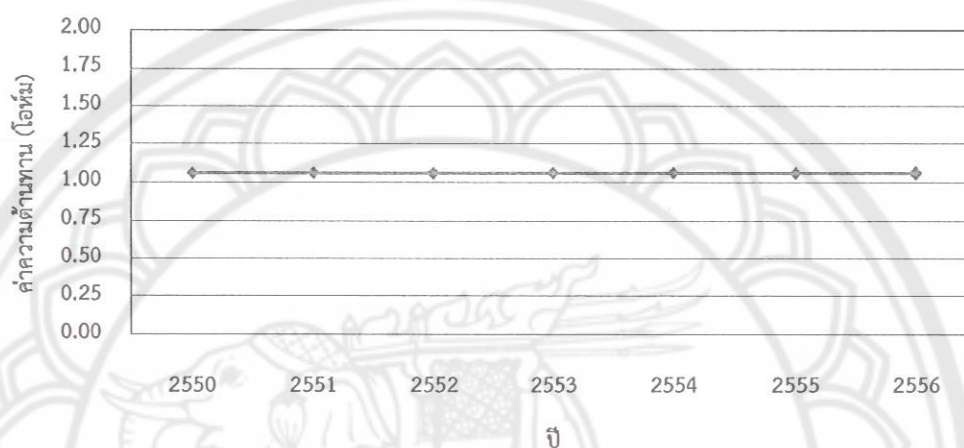
ความต้านทานอนุกรม (Rs) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT



รูปที่ 19 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT

จากรูปที่ 20 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT ในปี 2550 2551 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT มีความต้านทานชั้นเท่ากับ 1.060 1.060 1.060 1.060 1.060 1.060 และ 1.059 โอห์ม มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชั้น คิดเป็นร้อยละ 0.02 ต่อปี แสดงว่าเมื่อความต้านทานชั้นลดลง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านความต้านทานชั้นได้มากขึ้น จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลง

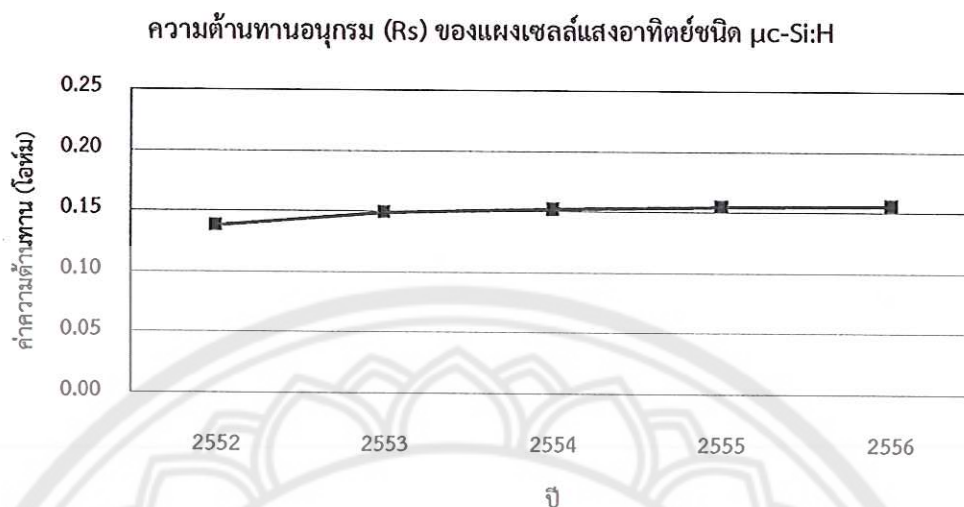
ความต้านทานชั้น (Rsh) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT



รูปที่ 20 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT

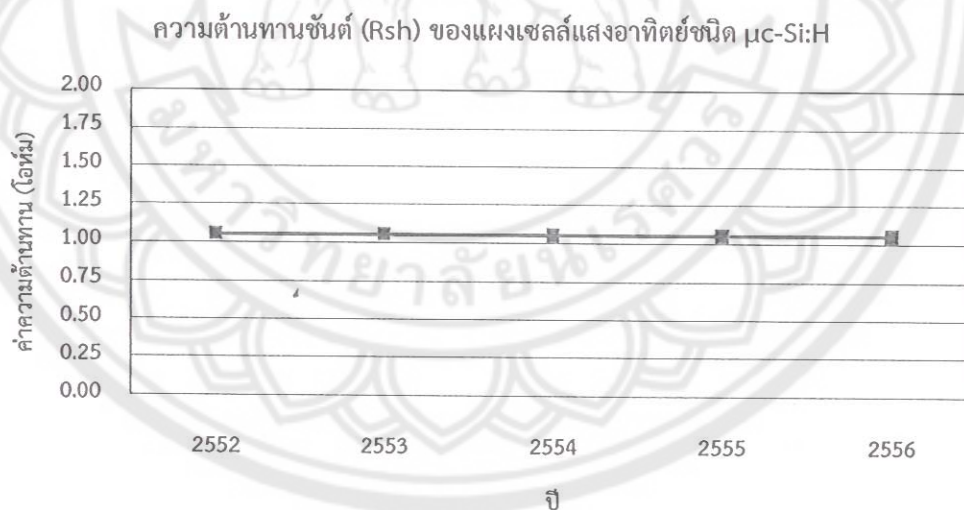
- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$

จากรูปที่ 21 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$ ในปี 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$ มีความต้านทานอนุกรมเท่ากับ 0.138 0.149 0.152 0.155 และ 0.156 โอห์ม/ชุดตามลำดับ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมคิดเป็นร้อยละ 0.91 ต่อปี แสดงว่าความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลออกมาได้น้อยลง จึงส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย



รูปที่ 21 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$

จากรูปที่ 22 การเปลี่ยนแปลงความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$ ในปี 2552 2553 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$ มีความต้านทานชั้น เท่ากับ 1.052 1.052 1.051 1.051 และ 1.050 โอห์ม/ชุดตามลำดับ ตามลำดับมีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชั้น คิดเป็นร้อยละ 0.02 ต่อปี แสดงว่าเมื่อความต้านทานชั้นลดลง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านความต้านทานชั้นได้มากขึ้น จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลง



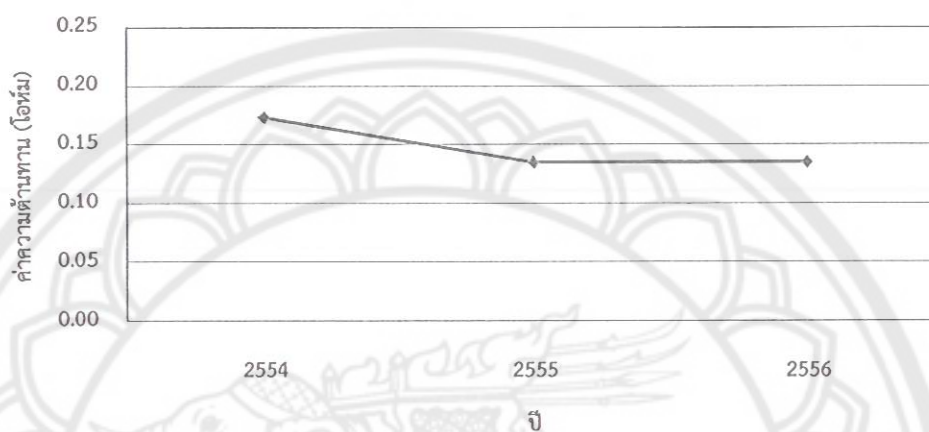
รูปที่ 22 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS

จากรูปที่ 23 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS ซึ่งจากกฎของโอห์ม กล่าวไว้ว่า “สารใดที่มีความต้านทานสูงจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้น้อย” ในปี

2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS มีความต้านทานอนุกรมเท่ากับ 0.173 0.135 และ 0.135 โอห์มตามลำดับ มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมคิดเป็นร้อยละ 0.05 ต่อปี แสดงว่าความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลออกมาได้น้อยลง จึงส่งผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงตามไปด้วย

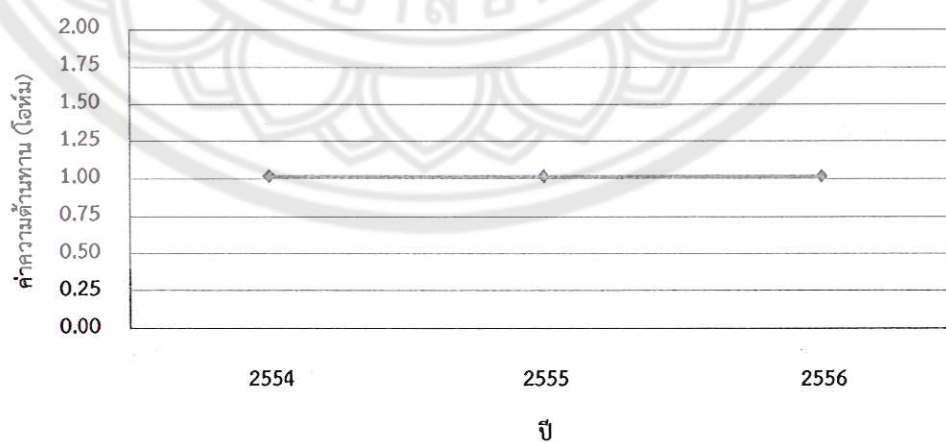
ความต้านทานอนุกรม (R_s) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS



รูปที่ 23 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS

จากรูปที่ 24 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS ซึ่งจากกฎของโอห์มกล่าวไว้ว่า "สารใดที่มีความต้านทานน้อยจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้มาก" ในปี 2554 2555 และ 2556 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS มีความต้านทานชั้น เท่ากับ 1.015 1.014 และ 1.014 โอห์ม มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชั้น คิดเป็นร้อยละ 0.026 ต่อปี แสดงว่าเมื่อความต้านทานชั้นลดลง กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านความต้านทานชั้นได้มากขึ้น จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ลดลง ซึ่งทั้ง 2 กรณีตรงกับกฎของโอห์มที่กล่าวไว้ข้างต้น

ความต้านทานชั้น (R_{sh}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS



รูปที่ 24 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS

จากตารางที่ 5 สรุปการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด ซึ่งจะเห็นว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานทั้ง 2 ชนิด สูงที่สุด เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะต่ำ เพราะมีไฮโดรเจนเป็นส่วนประกอบ จึงทำให้โครงสร้างที่สามารถเสื่อมสภาพได้ง่ายกว่าชนิดอื่นๆ ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT มีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงเช่นกัน เป็นผลมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT มีส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด m-Si กับ a-Si จึงทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si มีอัตราการเปลี่ยนแปลงต่ำที่สุด เนื่องจากโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si มีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างพันธะสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$ และ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS มีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำที่สุด เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$ และ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS ติดตั้งใช้งานเป็นระยะสั้นกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นๆ จึงทำให้การอัตราการต่ำกว่าความเป็นจริง ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้ทราบถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS ต่อไป

ตารางที่ 5 สรุปการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด

ชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	อัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรม (%)	อัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานขนั้ด (%)
a-Si	0.78	0.03
p-Si	0.36	0.01
HIT	0.49	0.02
$\mu\text{c-Si:H}$	0.91	0.02
CIS	0.05	0.02

4.1.2 สมการที่ได้จากใช้หลักการสร้างสมการการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

จากทฤษฎีเมทริกซ์ในการวิเคราะห์สมการเชิงเส้น (linear regression) ซึ่งกระบวนการสร้างสมการ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการสร้างสมการ ได้แก่ ความต้านทานอนุกรม(R_s) ความต้านทานขนั้ด(R_{sh}) กระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_m) และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m) ขั้นตอนในการสร้างมีรายละเอียดดังนี้

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k \quad (4.1)$$

เมื่อ y คือ ตัวแปรตาม
 x คือ ตัวแปรอิสระ
 k คือ จำนวนตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสมการ

และ ในจำนวนตัวแปรตามและตัวแปรอิสระมีค่าเป็นจำนวนมาก สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$y_1 = a_0 + a_1x_{11} + a_2x_{21} + \dots + a_kx_{1k} \quad (4.2)$$

$$y_2 = a_0 + a_1x_{21} + a_2x_{22} + \dots + a_kx_{2k} \quad (4.3)$$

$$y_n = a_0 + a_1x_{n1} + a_2x_{n2} + \dots + a_kx_{nk} \quad (4.4)$$

ซึ่งจากสมการข้างต้น ทำให้เกิดสมการขึ้นเป็นจำนวน n สมการ จึงสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ ได้ดังนี้

$$y = xa \quad (4.5)$$

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} \quad x = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1k} \\ 1 & x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{nk} \end{bmatrix}$$

เมื่อ

$$a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix}$$

จากสมการที่ 4.5 a คือ เวกเตอร์ ซึ่งหาได้จาก

$$\hat{a} = (X'X)^{-1}X'y \quad (4.5)$$

เมื่อนำ $\hat{a}$ ใส่ลงในสมการการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\hat{y} = X\hat{a} \quad (4.6)$$

ในการสร้างสมการให้อยู่ในรูปแบบ " $R_s = a_0 + a_1I_m + a_2V_m$ " และ " $R_{sh} = a_0 + a_1I_m + a_2V_m$ " สามารถใช้ทฤษฎีเมทริกซ์หาค่า a_0 a_1 และ a_2 จากสมการที่ 4.5 ในการสร้างสมการในครั้งนี้จะสร้างสมการจากความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานอนุกรมกับกระแสไฟฟ้าสูงสุด และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด และระหว่างความต้านทานขนั้ดกับกระแสไฟฟ้าสูงสุด และแรงดันไฟฟ้าสูงสุด จากการสร้างสมการความสัมพันธ์สามารถเขียน สมการใหม่ได้ดังนี้

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

ความต้านทานอนุกรม (R_s) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_s = 0.6631 - (0.0027 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{T_{coel}}{100} \times (T_m - 25))}) - (0.0021 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{T_{coelV}}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (4.1)$$

ความต้านทานขนั้ด (R_{sh}) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_{sh} = 1.096 - (0.0037 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{T_{coel}}{100} \times (T_m - 25))}) - (0.000089 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{T_{coelV}}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (4.2)$$

การเปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรมที่คำนวณจากสมการ $R_s(E_{new})$ สูงกว่า $R_s(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 1.11 ค่าความต้านทานขนั้ดที่คำนวณจากสมการ $R_{sh}(E_{new})$ สูงกว่า $R_{sh}(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.07

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si

ความต้านทานอนุกรม (R_s) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_s = 0.2572 - (0.0015 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{T_{coel}}{100} \times (T_m - 25))}) - (0.00137 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{T_{coelV}}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (4.3)$$

ความต้านทานขนั้ด (R_{sh}) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_{sh} = 1.194 - (0.0096 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{T_{coeJ}}{100} \times (T_m - 25))}) - (0.00013 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{T_{coeV}}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (4.4)$$

การเปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรมที่คำนวณจากสมการ $R_s(E_{new})$ สูงกว่า $R_s(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 1.88 ค่าความต้านทานชั้นดัดที่คำนวณจากสมการ $R_{sh}(E_{new})$ สูงกว่า $R_{sh}(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.09

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT

ความต้านทานอนุกรม (R_s) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_s = 0.4145 - (0.0087 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{T_{coeJ}}{100} \times (T_m - 25))}) - (0.00137 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{T_{coeV}}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (4.5)$$

ความต้านทานชั้นดัด (R_{sh}) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_{sh} = 1.048 - (0.0053 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{T_{coeJ}}{100} \times (T_m - 25))}) - (0.00013 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{T_{coeV}}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (4.6)$$

การเปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรมที่คำนวณจากสมการ $R_s(E_{new})$ สูงกว่า $R_s(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.87 ค่าความต้านทานชั้นดัดที่คำนวณจากสมการ $R_{sh}(E_{new})$ สูงกว่า $R_{sh}(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.09

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด μc -Si:H

ความต้านทานอนุกรม (R_s) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_s = 0.4451 - (0.0023 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{T_{coeJ}}{100} \times (T_m - 25))}) - (0.0016 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{T_{coeV}}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (4.7)$$

ความต้านทานชั้นดัด (R_{sh}) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_{sh} = 1.024 - (0.0087 \times (\frac{I_T}{1 + (\frac{T_{coeJ}}{100} \times (T_m - 25))}) - (0.00009 \times (\frac{V_T}{1 - (\frac{T_{coeV}}{100} \times (T_m - 25))})) \quad (4.8)$$

การเปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรมที่คำนวณจากสมการ $R_s(E_{new})$ สูงกว่า $R_s(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.97 และค่าความต้านทานชั้นดัดที่คำนวณจากสมการ $R_{sh}(E_{new})$ สูงกว่า $R_{sh}(E_{basic})$ คิดเป็นร้อยละ 0.05

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS

ความต้านทานอนุกรม (R_s) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_s = 0.7318 - (0.06303 \times \left(\frac{I_T}{1 + \left(\frac{T_{\text{coej}}}{100} \times (T_m - 25) \right)} \right)) - (0.0003351 \times \left(\frac{V_T}{1 - \left(\frac{T_{\text{coej}}}{100} \times (T_m - 25) \right)} \right)) \quad (4.9)$$

ความต้านทานชั้นดี (R_{sh}) สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$R_{sh} = 1.004 - (0.001983 \times \left(\frac{I_T}{1 + \left(\frac{T_{\text{coej}}}{100} \times (T_m - 25) \right)} \right)) - (1.16 \times \left(\frac{V_T}{1 - \left(\frac{T_{\text{coej}}}{100} \times (T_m - 25) \right)} \right)) \quad (4.10)$$

การเปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรมที่คำนวณจากสมการ $R_s(E_{\text{new}})$ สูงกว่า $R_s(E_{\text{basic}})$ คิดเป็นร้อยละ 0.97 และการเปรียบเทียบค่าความต้านทานชั้นดีที่วิเคราะห์จากสมการที่ 4.10 ($R_{sh}(E_{\text{new}})$) กับค่าความต้านทานชั้นดีที่คำนวณจากสมการ $R_{sh}(E_{\text{new}})$ สูงกว่า $R_{sh}(E_{\text{basic}})$ คิดเป็นร้อยละ 0.05

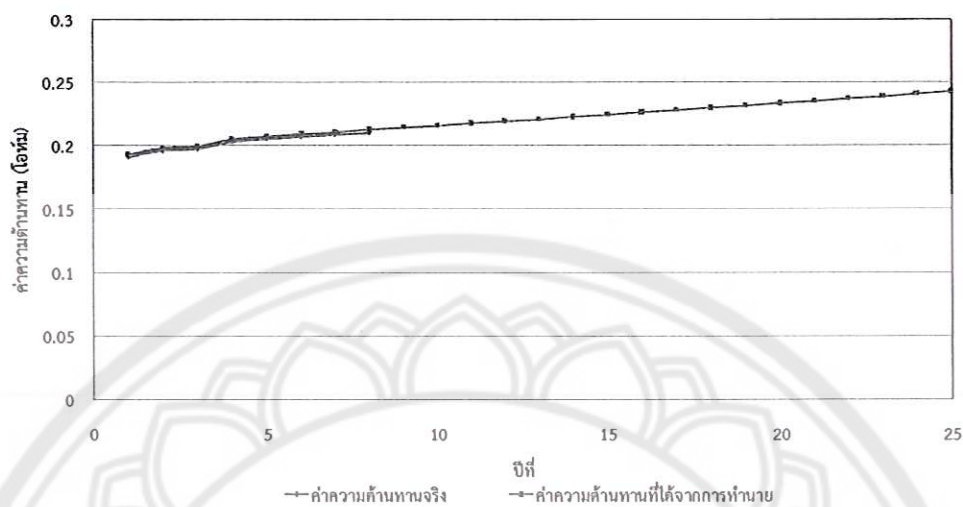
4.2 การเปรียบเทียบการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานอนุกรมและความต้านทานชั้นดีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด มีรายละเอียดดังนี้

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

จากรูปที่ 25 นำสมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานอนุกรมตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{s(a-Si+n)} = R_{s(a-Si)} + (R_{s(a-Si)} \times 0.78\%) \quad (4.11)$$

เปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรม (R_s) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

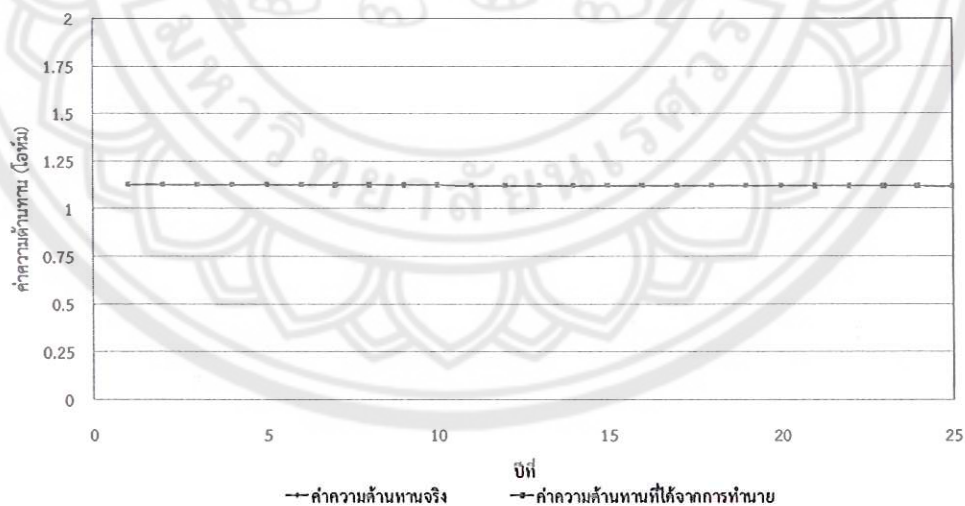


รูปที่ 25 ค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

จากรูปที่ 26 นำสมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานชั้นต่ออายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{sh(a-si)t+1} = R_{sh(a-si)} - [R_{sh(a-si)} \times 0.03\%] \quad (4.12)$$

เปรียบเทียบค่าความต้านทานชั้น (R_{sh}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si



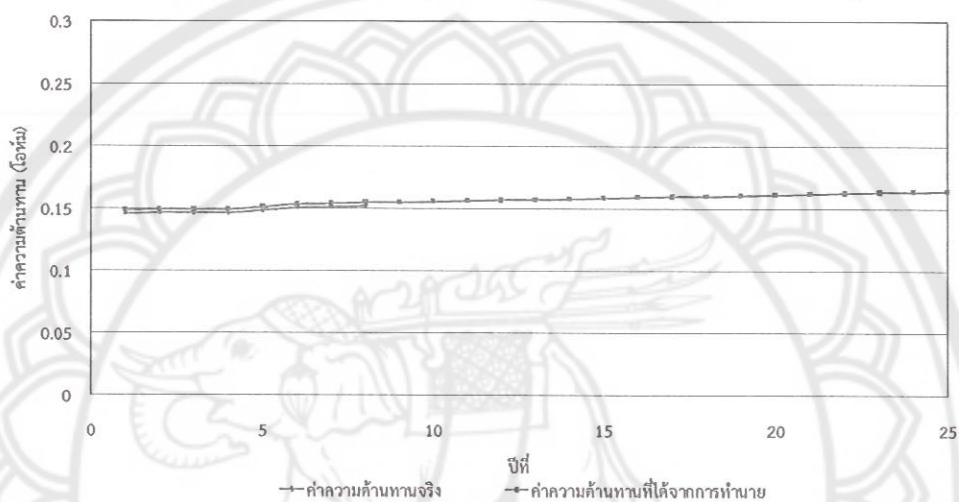
รูปที่ 26 ค่าความต้านทานชั้นที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si

จากรูปที่ 27 นำสมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานอนุกรมตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{sp-Si+a} = R_{sp-Si} + (R_{sp-Si} \times 0.36\%) \quad (4.13)$$

เปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรม (R_s) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si

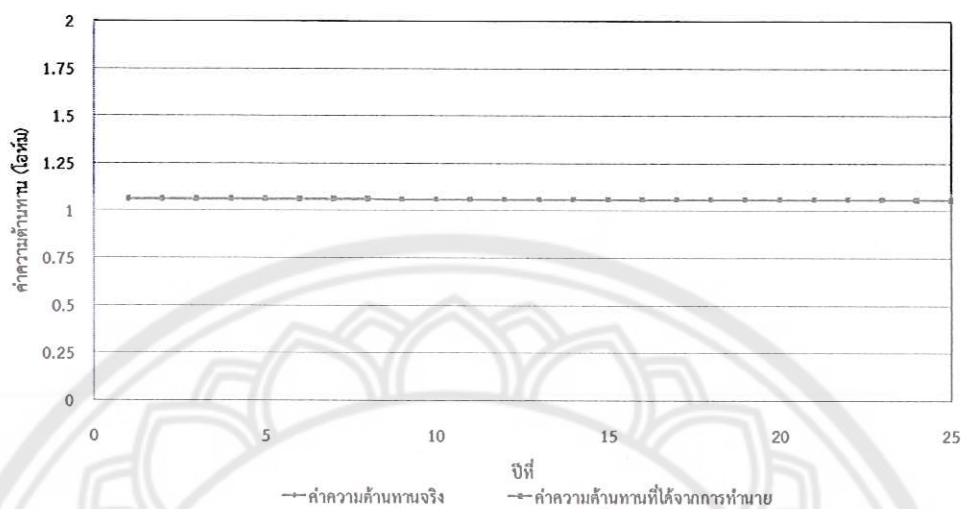


รูปที่ 27 ค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si

จากรูปที่ 28 นำสมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานชั้นต่ออายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{sp-Si+a} = R_{sp-Si} - (R_{sp-Si} \times 0.01\%) \quad (4.14)$$

เปรียบเทียบค่าความต้านทานชั้นดี (Rsh) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si



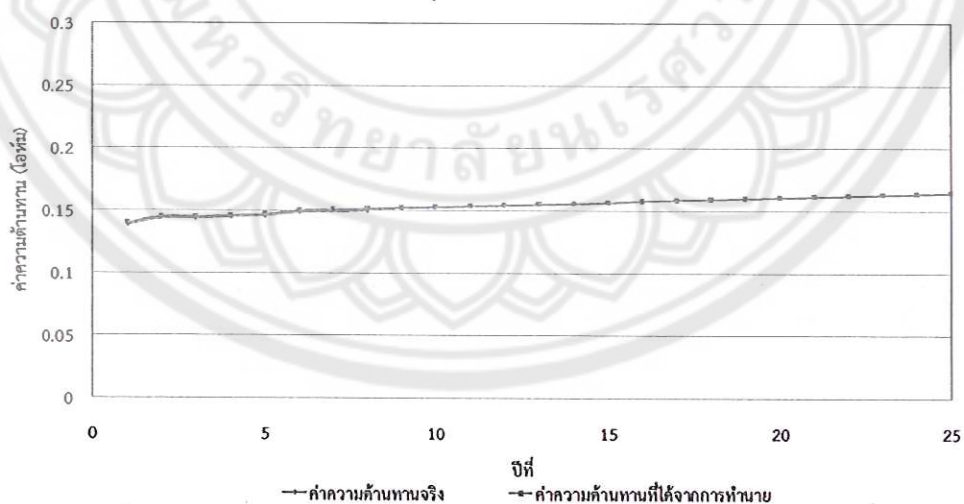
รูปที่ 28 ค่าความต้านทานชั้นดีที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT

จากรูปที่ 29 นำสมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานอนุกรมตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{s\text{ทำนาย}+1} = R_{s\text{จริง}} + (R_{s\text{จริง}} \times 0.49\%) \quad (4.15)$$

เปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรม (Rs) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT

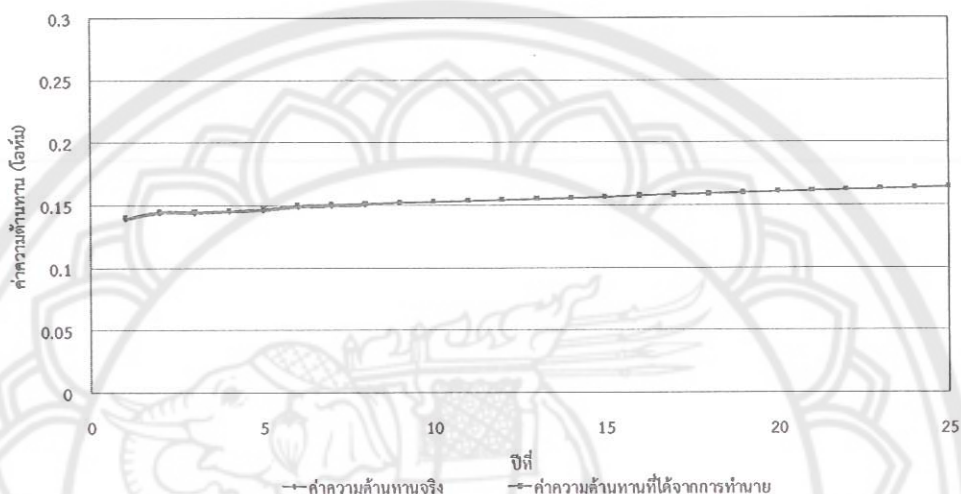


รูปที่ 29 ค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT

จากรูปที่ 30 นำสมการที่ได้จากการคำนวณทำนายค่าความต้านทานชั้นดัดลอยอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานชั้นดัดลอยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{sh(tn+1)} = R_{sh(tn)} - (R_{sh(tn)} \times 0.02\%) \quad (4.16)$$

เปรียบเทียบค่าความต้านทานชั้นดัด (Rsh) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT



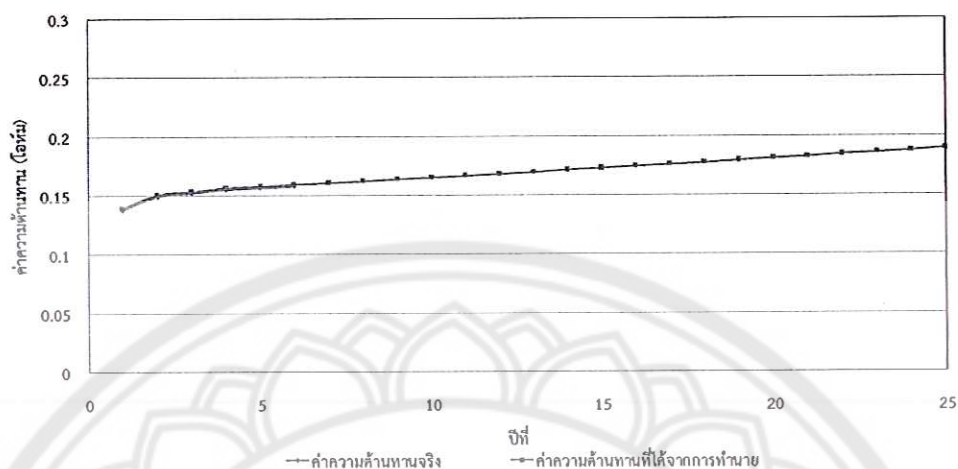
รูปที่ 30 ค่าความต้านทานชั้นดัดที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$

จากรูปที่ 31 นำสมการที่ได้จากการคำนวณทำนายค่าความต้านทานอนุกรมตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{s(\mu\text{c-Si:H},t+1)} = R_{s(\mu\text{c-Si:H})} + (R_{s(\mu\text{c-Si:H})} \times 0.91\%) \quad (4.17)$$

เปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรม (R_s) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$

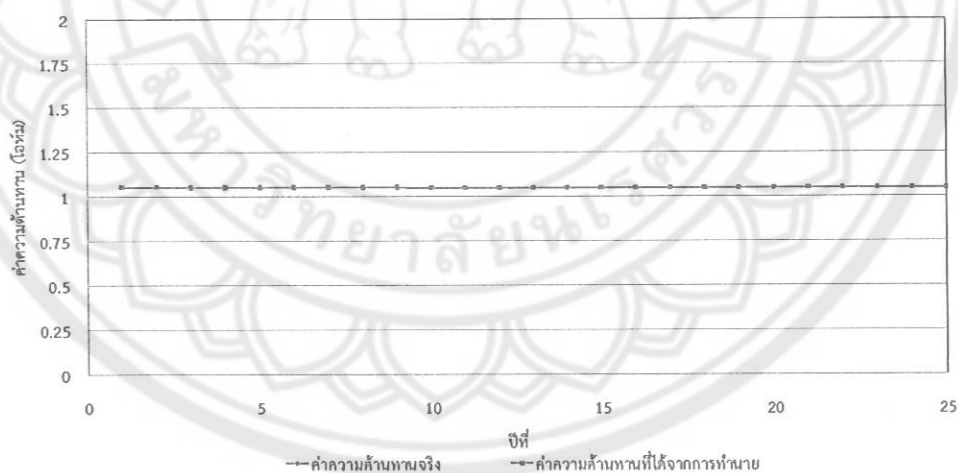


รูปที่ 31 ค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$

จากรูปที่ 32 นำสมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานชั้นต่ออายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{s(\mu\text{c-Si:H})_{n+1}} = R_{s(\mu\text{c-Si:H})} - (R_{s(\mu\text{c-Si:H})} \times 0.02\%) \quad (4.18)$$

เปรียบเทียบค่าความต้านทานชั้น (R_{sh}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$



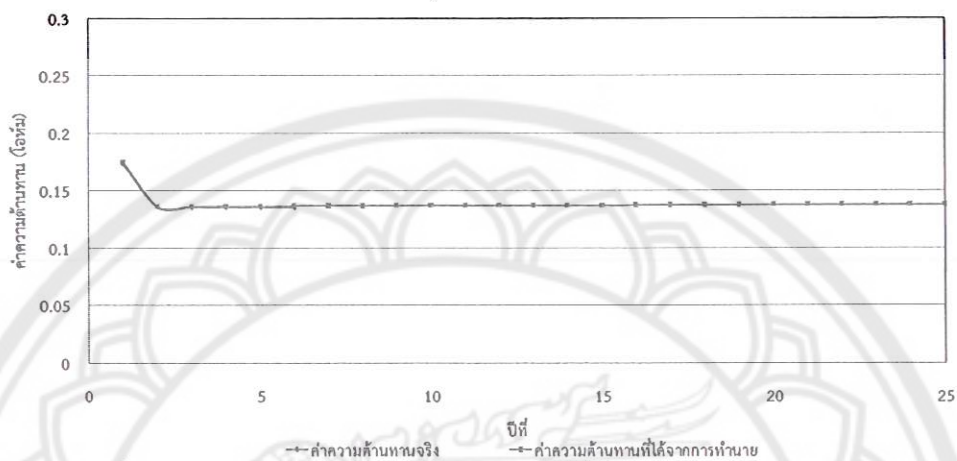
รูปที่ 32 ค่าความต้านทานชั้นที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS

จากรูปที่ 33 นำสมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานอนุกรมตลอดอายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{s(CS)t+1} = R_{s(CS)} + (R_{s(CS)} \times 0.05\%) \quad (4.19)$$

เปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรม (R_s) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS

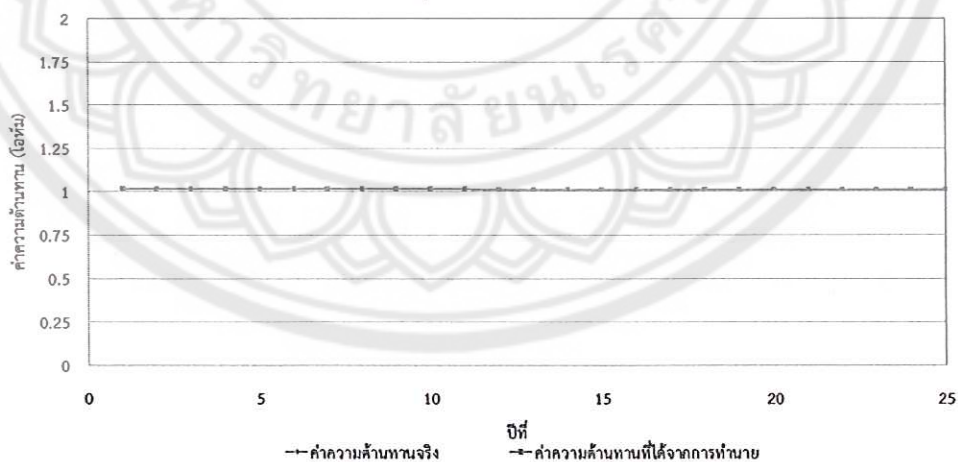


รูปที่ 33 ค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS

จากรูปที่ 34 นำสมการที่ได้จากการคำนวณมาทำนายค่าความต้านทานชั้นต่ออายุของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปรียบเทียบกับค่าความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$R_{sh(CS)t+1} = R_{sh(CS)} - (R_{sh(CS)} \times 0.02\%) \quad (4.20)$$

เปรียบเทียบค่าความต้านทานอนุกรม (R_{sh}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS



รูปที่ 34 ค่าความต้านทานชั้นที่ได้จากการทำนายของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS

บทที่ 5

5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปของงานวิจัยนี้จะทำการแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อ มีรายละเอียดดังนี้

5.1.1 ผลจากการพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในซึ่งส่งผลต่อการลดลงของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงโดยเป็นการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมจากโครงการการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่พบว่าสมการการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในที่ได้จากการวิเคราะห์ เมื่อนำมาคำนวณและเปรียบเทียบกับค่าความต้านทานภายในที่ได้จากการทดลองจริง มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยมาก ซึ่งค่าความต้านทานภายในที่ได้้นั้นมีความใกล้เคียงกับค่าความต้านทานภายในจริงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าสมการที่ได้จากทฤษฎี เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลจากสภาวะการใช้งานจริงในสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย จึงสามารถนำสมการที่ได้มาประยุกต์ใช้ในการคำนวณค่าความต้านทานภายในที่เปลี่ยนแปลงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริงได้

5.1.2 ผลจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะการใช้งานจริง พบว่าสมการที่ได้จากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการทำนายการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในสามารถนำมาทำนายค่าความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนั้นได้ โดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{-Si:H}$ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด CIS มีค่าความต้านทานอนุกรมที่ได้จากการทำนายคลาดเคลื่อนจากค่าความต้านทานจริงร้อยละ 1.11 1.88 0.87 0.97 และ 0.97 ตามลำดับ ค่าความต้านทานขนัต์ที่ได้จากการทำนายคลาดเคลื่อนจากค่าความต้านทานจริงร้อยละ 0.07 0.09 0.09 0.05 และ 0.05 ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการตรวจสอบและซ่อมบำรุงอย่างสม่ำเสมอ เพื่อให้ระบบสามารถได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
2. ควรมีการเก็บบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการพัฒนาเทคนิคการตรวจวัดและวิเคราะห์หาค่าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานภายในของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ต่อไป
3. ควรมีการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากความชื้นส่งผลอย่างไรกับความต้านทานภายในของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

บรรณานุกรม

- [1] ArnulfJäger-Waldau. PV Status Report 2013: Research, Solar Cell Production and Market Implementation of Photovoltaic. EUR 26118 EN-2013
- [2] David L. King, William E. Boyson, Jay A. Kratochvil. 2004. Photovoltaic Array Performance Model. Sandia National Laboratories. SAND2004-3535
- [3] AchitponSaSitharanuwata, WattanapongRakwichian, NiponKetjoy, and SuchatYammen.(2006).Performance evaluation of a 10 kWp PV power system prototype for isolated building in Thailand.Renewable Energy.
- [4] KritwiputPhaokeaw, NiponKetjoy, WattanapongRakwichan and SuchatYammen.(2007). Performance of a-Si, p-Si and HIT PV Technological Comparison under Tropical Wet Climate Condition. International Journal of Renewable Energy (IJRE),p 23-34
- [5] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด, ฐิติพร เจาะจง และนิพนธ์ เกตุจ้อย.การศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้รายปีภายใต้สภาวะการใช้งานจริง. เทคโนโลยีอุตสาหกรรม. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เมษายน 2552 – กันยายน 2552.
- [6] NiponKetjoy, ChatchaiSirisamphanwong and NattawutKhaosaad.(2012). Performance evaluation of 10 kWp photovoltaic power generator under hot climatic condition. สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2556,จาก<http://www.sciencedirect.com/>.
- [7] สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน.สืบค้นเมื่อพฤษภาคม 55.จ ก http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=85%3A-2552-&catid=52&Itemid=68&lang=th.
- [8] Izumi Kaizuka, Latest trends and outlook for the global PV market, Feb 29, 2012, PV EXPO 2012.
- [9] นิพนธ์ เกตุจ้อย. (2547). การบริหารจัดการโครงการบ้านพลังงานแสงอาทิตย์.เอกสารประกอบการฝึกอบรมการบริหารจัดการแบบยั่งยืนสำหรับโครงการบ้านพลังงานแสงอาทิตย์.วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [10] Kassel University.(2003). Photovoltaic Systems Technology SS 2003.Theoretical Description of the Solar Cell. p40.
- [11] นิพนธ์ เกตุจ้อย. (2547). ความปลอดภัยสำหรับระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์.การฝึกอบรมเรื่องการติดตั้งและดูแลรักษาระบบบ้านพลังงานแสงอาทิตย์.วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [12] NiponKetjoy. (2005). Photovoltaic Hybrid System for Rural Electrification in the Mekong Countries.Doctor of Engineering (Dr.-Ing).Kassel University.Germany.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [13] S.R.Wenham, M.A. Green, and M.E. Watt. (1994). Applied photovoltaics. Australia: National Library of Australia.
- [14] Peter Hacke, Kent Terwilliger, Ryan Smith, Stephen Glick, Joel Pankow, Michael Kempe, Sarah Kurtz Ian Bennett, Mario Kloos. (2011). System Voltage Potential-Induced Degradation Mechanisms in PV Modules and Methods for Test. สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2556, จาก www.nrel.gov/docs/fy11osti/50716.pdf
- [15] FarazEbneali . (2012) Potential Induced Degradation of Photovoltaic Modules: Influence of Temperature and Surface Conductivity. สืบค้นเมื่อ 1 สิงหาคม 2556, จาก <http://solaredon.files.wordpress.com/2012/10/asu.pdf>
- [16] Lele Peng, Yize Sun, ZhuoMeng, Yuling Wang, Yang Xu. (2013). A new method for determining the characteristics of solar cells. *Journal of Power Sources* 227, 131-136.
- [17] S. Kaplanis and E. Kaplani. (2011). Energy performance and degradation over 20 years performance of BP c-Si PV modules. *Simulation Modelling Practice and Theory* 19, 1201-1211.
- [18] M. Fuentes, G. Nofuentes, J. Aguilera, D.L. Talavera, M. Castro. (2007). Application and validation of algebraic methods to predict the behaviour of crystalline silicon PV modules in Mediterranean climates. *Solar Energy* 81, 1396-1408.
- [19] 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. (Sciencedirect). สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550, จาก <http://www.sciencedirect.com/>.

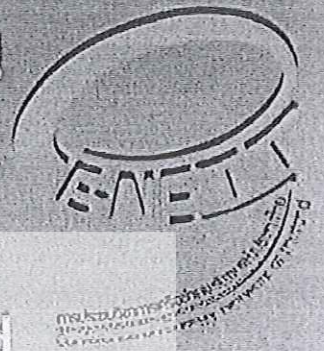


บทความวิชาการ

ฉบับรวมเล่ม

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงาน แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9

9th Conference on Energy Network of Thailand



พลังงานสีเขียวเพื่อโลกที่สดใส
Green Energy Brightens Our World

ณ ชลพฤกษ์ รีสอร์ท อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก
8-10 พฤษภาคม 2556

จัดการประชุมโดย
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



ptt
Group



รหัสอ้างอิงบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
RE025	การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดปัญหา Sintering, Slagging และ Fouling จากการเผาไหม้ ทะลายปาล์มเปล่า (EFB) ในเตาเผาไหม้ตะกรับ	1040
RE026	คุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาไหม้ฟลูอิดซ์เบดแบบหมุนเวียน	1047
RE027	การประเมินศักยภาพพลังงานลมเบื้องต้นสำหรับติดตั้งกังหันลม	1055
RE028	การลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ที่ส่งต่อโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่	1061
RE029	การประเมินผลของเวลา ปริมาณความเข้มข้นสารตั้งต้นและความเข้มข้นของ NaOH ต่อ องค์ประกอบของฟางข้าวโดยใช้วิธีการพื้นที่ผิวตอบสนอง	1066
RE030	การทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สของหัวฟืนไฟวัสดุพูนแบบเม็ดกลมอัดแน่นโดย วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ	1080
RE031	การศึกษาเชิงเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของ LPG และแก๊สชีวภาพสำหรับผลิตไฟฟ้า	1087
RE032	การศึกษาเชิงเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	1092
RE033	จลนพลศาสตร์การอบแห้งกากมะพร้าวด้วยเทคนิคแบบสกรูลำเลียง	1098
RE034	การหาสมรรถนะของเครื่องยนต์อากาศยานที่ดัดแปลงจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน	1103
สาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทางด้านพลังงาน: Others Energy-related Topics (OT)		
รหัสอ้างอิงบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
OT001	การศึกษาการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลผสม	1108
OT002	วงจรเรียงกระแสแบบทบทวนแรงดันที่สวิตช์ด้วยแรงดันศูนย์โดยใช้สัญญาณที่ดับเบิลยูเอ็ม เพื่อการ ประยุกต์ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ชนิด Li-ion	1117
OT003	การหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของ AVR ในระบบจำหน่ายด้วย PSO	1125
OT005	ระบบจำลองการขยายช่วงความเร็วและแรงบิดในมอเตอร์ไฟตรงไร้แปรงถ่านด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink	1131
OT006	การจัดการพลังงานและประเมินรอยเท้าคาร์บอนในโรงงานแช่เยือกแข็งกุ้ง	1137
OT007	การพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพของเตาเผาขยะชุมชน ในมหาวิทยาลัย ราชภัฏวไลยอลงกรณ์	1142
OT008	การติดตามแสงอาทิตย์ด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำ	1149
OT009	การใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชันจากเศษไม้ลำไยเพื่อลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมเซรามิก	1156
OT010	ผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม	1164
OT011	ประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซมลพิษของการเผาไหม้ถ่านไม้ในเตาทุ้มแบบต่างๆ	1172
OT012	Photovoltaic Charge Controller	1178
OT013	การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อตัดสินใจเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากน้ำมันเตาเป็นก๊าซธรรมชาติในระบบ เตาเผา: กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและการกลั่น	1185
OT014	ผลของอัตราการใช้เชื้อเพลิงและอัตราส่วนการไหลต่อความเข้มข้นทางออกด้านบน ด้านล่าง และประสิทธิภาพการแยกของไฮโดรไซโคลขนาด 40 มิลลิเมตร	1193
OT015	การศึกษาและออกแบบโปรแกรมตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ตามหลักการปล่อยสัญญาณอะคูสติคด้วยเทคนิคความแตกต่างของเวลาการมาถึงของสัญญาณ	1199

การลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไมโครซิลิกอนที่ส่งต่อโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่
Performance degradation of amorphous silicon/micro crystalline silicon
(a-Si/ μ C) effect to large scale solar power plant

นิพนธ์ เกตุจ้อย*, ญัฐภูมิ ขาวสะอาด, ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์ และ คงฤทธิ แม่นศิริ

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก 65000

โทรศัพท์ : 0-5596-3182 โทรสาร : 0-5596-3182

*ผู้ติดต่อ: niponk@nu.ac.th

บทคัดย่อ

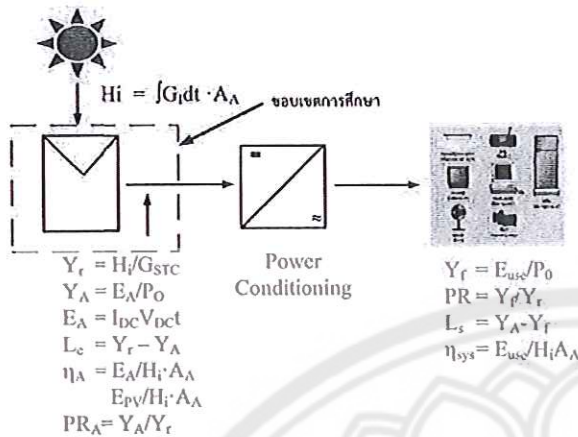
บทความนี้นำเสนอผลศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si: μ C ที่ส่งผลต่อโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยนำข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si: μ C มาทำการวิเคราะห์หาอัตราการลดลงของสมรรถนะ ซึ่งข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์อยู่ในช่วงปี 2552 - 2554 หลังจากนั้นนำผลที่วิเคราะห์มาทำการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังไฟฟ้า 1 MW โดยใช้โปรแกรม PVSYST V 5.21 และวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างการทำนายพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้จริงเปรียบเทียบกับเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต จากการศึกษาพบว่า แนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si: μ C มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.38 ต่อปี และจากการทำนายพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้สภาวะการใช้จริงสูงกว่าสภาวะภายใต้เงื่อนไขการรับประกันคิดเป็นร้อยละ 5.96

คำหลัก: อัตราการลดลง, สมรรถนะ, แผงเซลล์แสงอาทิตย์, ไมโครซิลิกอน, โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่

Abstract

This article presents the performance degradation of amorphous silicon/micro crystalline silicon (a-Si: μ C) effect to large scale solar power plant. The data are used for analysis during 2009 - 2011. After that, the electricity energy prediction from the analysis data is based on the large scale solar power plant. The PVSYST software Vision 5.21 uses for the electricity energy prediction. And the electricity energy prediction compares between actual conditions and manufacturer's warranty. Results of this research are found that. The performance degradation of a-Si: μ C is 0.38 % and the electricity energy prediction of actual conditions is higher than manufacturer's warranty is 5.96 %.

Keywords: Degradation rate, Performance, PV module, Amorphous silicon/micro crystalline silicon, Large scale solar power plant.



รูปที่ 1 การประเมินและวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านเทคนิค

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield; Y_A) หาได้จากสมการ

$$Y_A = \frac{E_A}{P_o} \quad (1)$$

Y_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp)

E_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)

P_o คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield; Y_r) หาได้จากสมการ

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \quad (2)$$

Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kWp)

H_i คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m²)

G_{STC} คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ STC = 1 kW/m²

สมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Performance Ratio; PR_A) หาได้จากสมการ

$$PR_A = \frac{Y_A}{Y_r} \quad (3)$$

การวิเคราะห์อัตราการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก ศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:μC ตั้งแต่ปี 2552 - 2554 แต่ในการวิเคราะห์สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่นำสมรรถนะของปี 2552 เนื่องจากยังอยู่ในช่วงยังไม่เสถียร (stabilize) และใช้ช่วงเวลาตั้งแต่ 07.00-17.00 น. และส่วนที่สอง ทำการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าผลิตได้ โดยใช้โปรแกรม PVSTST V 5.21 และเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงกับตามเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิตว่าเป็นอย่างไร ซึ่งการรับประกันการลดลงของกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงอายุการใช้งาน 20 - 25 ปี เท่ากับ 20 % ของกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาอายุของโรงไฟฟ้า เท่ากับ 20 ปี

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปร		a-Si:μC
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max})	[W]	100
ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc})	[V]	71
ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc})	[A]	2.25
ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{mp})	[V]	53.5
ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{mp})	[A]	1.87
จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์	[แผง]	12
การรับประกันกำลังไฟฟ้า 20 ปี	[%]	80
ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	[mm]	1,210 × 1,008 × 40

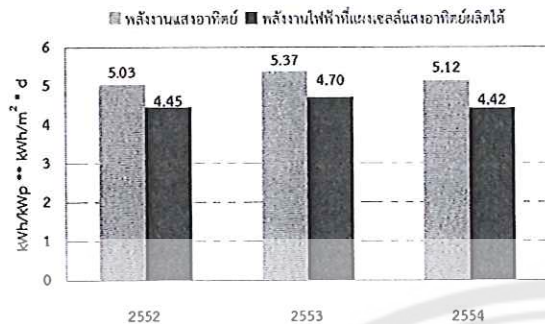
หมายเหตุ:

สภาวะมาตรฐาน: Air mass 1.5, ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1,000 W/m², อุณหภูมิเซลล์ 25 °C.

3. ผลการศึกษา

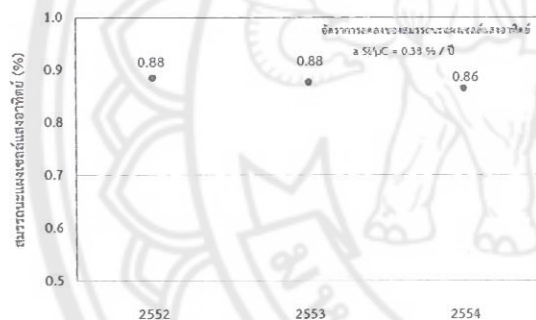
3.1 การลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:μC พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้โดยเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 4.58 kWh/kWp · d ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เฉลี่ยรายวัน

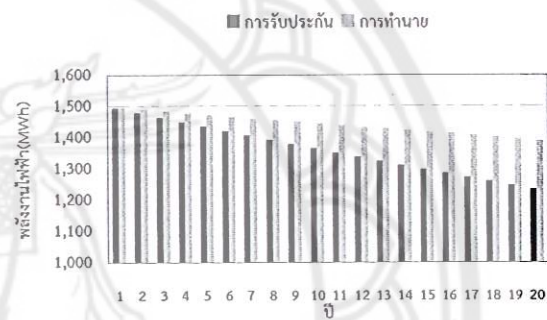
จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอัตราการลดลงของแนวโน้มของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.38 ต่อปี



รูปที่ 3 สมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4 เป็นการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าผลิตได้ในแต่ละปีตลอดอายุของโรงไฟฟ้า พบว่าตามเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดอายุของโรงไฟฟ้าเท่ากับ 27,206,524 MWh และพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง เท่ากับ 28,827,463 MWh ความแตกต่างระหว่างการคำนวณพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงกับตามเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต คิดเป็นร้อยละ 5.96 จากผลดังกล่าวจะเห็นได้จากการคำนวณพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าตามเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต แต่อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองการลดลงของสมรรถนะไม่ได้มาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ในโรงไฟฟ้ามีอุปกรณ์ประกอบต่างๆ เช่น เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และหม้อแปลง เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในตัวเอง ประกอบกับข้อมูลและอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้น้อย ดังนั้นผลทำนายที่ได้นั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงเล็กน้อย



รูปที่ 4 พลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน

4. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:pC พบว่า พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้โดยเฉลี่ยรายปี มีค่าเท่ากับ 4.58 kWh/kwp • d และอัตราการลดลงของแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.38 ต่อปี และส่งผลทำให้เกิดเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการคำนวณพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงกับตามเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต คิดเป็นร้อยละ 5.96

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2551 2552 2554 2555 และ 2556 และ Kaneka

Corporation, Japan และขอขอบพระคุณคณาจารย์
นักวิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่ได้ให้ความ
ช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำ และข้อมูลสนับสนุนใน
การศึกษานี้ ทำให้การศึกษาค้นคว้าสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนา
พลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, [บทความ
ออนไลน์]. สืบค้นได้จาก<http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/upload/nov50/mar52/REDP_present.pdf>. พฤษภาคม 2554.
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวง
พลังงาน, นโยบายการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจาก
พลังงานหมุนเวียน, 2555.
- [3] 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)*, 33-43.
- [4] Kritwiput Phaokeaw, Nipon Ketjoy,
Wattanapong Rakwichian and Suchart
Yammen, (2007), Performance of a-Si, p-Si
and HIT PV Technological Comparison
under Tropical Wet Climate Condition,
*International Journal of Renewable Energy
(IIRE)*, 23-34.
- [5] 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.
- [6] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด, จิตติพร เจาะจง และนิพนธ์
เกตุจ้อย, การศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์
แสงอาทิตย์ผลิตได้รายปีภายใต้สภาวะการใช้งาน
จริง, เทคโนโลยีอุตสาหกรรม. วารสารวิชาการ
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ
รำไพวงศ์, ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เมษายน 2552 -
กันยายน 2552, หน้า 44 - 49
- [7] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด, คงฤทธิ มั่นศิริ และนิพนธ์
เกตุจ้อย, การลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์
แสงอาทิตย์ในโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่, *การประชุม
เครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 4*, มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคล, จังหวัดหนองคาย, หน้า 369
- 372, เมษายน 2555.
- [8] International Energy Agency, Operational
performance, reliability and Promotion of
photovoltaic systems, Report IEA-PVPS T2-
03, 2002.
- [9] International Standard - Photovoltaic system
performance monitoring - Guidelines for
measurement, data exchange and analysis
(IEC - 61724), Edition 1.0, 1998-04.

1. บทนำ

ประเทศไทยได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเป็นร้อยละ 20 ภายในปี พ.ศ. 2565 โดยในส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าไว้ที่ 500 MW โดยการส่งเสริมให้เอกชนเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าในรูปแบบของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (SPP) และขนาดเล็กมาก (VSPP) นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) เพื่อจูงใจให้เอกชนสนใจมาลงทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น [1] และจากรัฐบาลได้มีนโยบายและแผนพัฒนา 15 ปี ส่งผลให้ผู้สนใจสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการตอบรับซื้อสัญญาไฟฟ้ามียุทธศาสตร์พลังงานไฟฟ้าเสนอขาย เท่ากับ 1,012 MW และเริ่มดำเนินการจำหน่ายไฟฟ้าเข้าระบบจำหน่ายแล้ว (COD) เท่ากับ 264 MW [2] ในปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลากหลายมากขึ้น ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (a-Si:μC) เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทคโนโลยีใหม่ เกิดจากการผสมผสานระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอสัณฐานซิลิกอน (Amorphous silicon) กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Micro silicon) จัดอยู่ในกลุ่มของชนิดฟิล์มบาง จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า กลุ่มฟิล์มบางสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่ากลุ่มผลึกซิลิกอน [3-6] แต่อัตราการลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่สำคัญเช่นกัน เนื่องจากกลุ่มฟิล์มบางจะอัตราการลดลงของสมรรถนะสูงกว่ากลุ่มผลึกซิลิกอน [7] ซึ่งยังไม่มีการศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:μC ที่ติดตั้งใช้งานจริง ดังนั้นวิทยาลัยพลังงานทดแทนจึงมีแนวคิดที่จะทำศึกษาเพื่อหาทราบถึงแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่ามีแนวโน้มการลดลงเป็นอย่างไร และส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าอย่างไร ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ของงานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบ

โรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ต่อไป รวมถึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการเลือกพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศ

2. วิธีการศึกษา

2.1 การศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:μC

ในหัวข้อนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก การศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ (Y_A) และสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PR_A) ภายในระยะเวลา 3 ปี ตั้งแต่ปี 2552 - 2554 ว่ามีแนวโน้มการลดลงเป็นอย่างไร หลังจากนั้นส่วนที่สอง การทำนายพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาด 1 MW เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำนายพลังงานภายใต้สภาวะการใช้งานจริงกับเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต

2.2 เทคนิคการประเมินสมรรถนะเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์สมรรถนะทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของงานวิจัยนี้ อ้างอิงจาก International Energy Agency Photovoltaic Power Systems TASK 2 - Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems (IEA PVPS Task 2) [8] และ International Standard - Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis (IEC - 61724) [9] ซึ่งได้กำหนดให้มีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

บทความวิชาการ

ฉบับรวมเล่ม

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงาน แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9

9th Conference on Energy Network of Thailand



พลังงานสีเขียวเพื่อโลกที่สดใส Green Energy Brightens Our World

ณ ชลพฤกษ์ รีสอร์ท อำเภอบ้านนา จังหวัดนครนายก
8-10 พฤษภาคม 2556

จัดการประชุมโดย
คณะกรรมการศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร



ptt
Group



บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

รหัสอ้างอิงบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
RE025	การวิเคราะห์สาเหตุการเกิดปัญหา Sintering, Slagging และ Fouling จากการเผาไหม้ ทะลายปาล์มเปล่า (EFB) ในเตาเผาไหม้ตะกรับ	1040
RE026	คุณลักษณะการเผาไหม้เชื้อเพลิงชีวมวลในเตาเผาไหม้ฟลูอิดเบดแบบหมุนเวียน	1047
RE027	การประเมินศักยภาพพลังงานลมเบื้องต้นสำหรับติดตั้งกังหันลม	1055
RE028	การลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ที่ส่งต่อโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่	1061
RE029	การประเมินผลของเวลา ปริมาณความเข้มข้นสารตั้งต้นและความเข้มข้นของ NaOH ต่อ องค์ประกอบของฟางข้าวโดยใช้วิธีการพื้นที่ผิวตอบสนอง	1066
RE030	การทำนายอุณหภูมิการเผาไหม้เชื้อเพลิงแก๊สของหัวฟืนไฟวัสดุพูนแบบเม็ดกลมอัดแน่นโดย วิธีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ	1080
RE031	การศึกษาเชิงเปรียบเทียบปริมาณการใช้เชื้อเพลิงของ LPG และแก๊สชีวภาพสำหรับผลิตไฟฟ้า	1087
RE032	การศึกษาเชิงเปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์	1092
RE033	จลนพลศาสตร์การอบแห้งกากมะพร้าวด้วยเทคนิคแบบสกรูลำเลียง	1098
RE034	การหาสมรรถนะของเครื่องยนต์อากาศยานที่ดัดแปลงจากเครื่องยนต์สันดาปภายใน	1103

สาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องทางด้านพลังงาน: Others Energy-related Topics (OT)

รหัสอ้างอิงบทความ	ชื่อบทความ	หน้า
OT001	การศึกษาการใช้งานที่อุณหภูมิต่ำของน้ำมันปาล์มไบโอดีเซลผสม	1108
OT002	วงจรเรียงกระแสแบบทบทวนแรงดันที่สวิตช์ด้วยแรงดันศูนย์โดยใช้สัญญาณที่ดับเบิยูเอ็ม เพื่อการ ประยุกต์ใช้ในการประจุแบตเตอรี่ชนิด Li-ion	1117
OT003	การหาตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสมของ AVR ในระบบจำหน่ายด้วย PSO	1125
OT005	ระบบจำลองการขยายช่วงความเร็วและแรงบิดในมอเตอร์ไฟตรงไร้แปรงถ่านด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink	1131
OT006	การจัดการพลังงานและประเมินรอยเท้าคาร์บอนในโรงงานแช่เยือกแข็งกุ้ง	1137
OT007	การพัฒนาและศึกษาประสิทธิภาพของเตาเผาขยะชุมชน ในมหาวิทยาลัย ราชภัฏวไลยอลงกรณ์	1142
OT008	การติดตามแสงอาทิตย์ด้วยการปรับสมดุลระดับน้ำ	1149
OT009	การใช้ระบบแก๊สซิฟิเคชันจากเศษไม้ลำไยเพื่อลดต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรมเซรามิก	1156
OT010	ผลกระทบของการผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์และสิ่งแวดล้อม	1164
OT011	ประสิทธิภาพและการปล่อยก๊าซมลพิษของการเผาไหม้ถ่านไม้ในเตาหุงต้มแบบต่างๆ	1172
OT012	Photovoltaic Charge Controller	1178
OT013	การวิเคราะห์ทางการเงินเพื่อตัดสินใจเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากน้ำมันเตาเป็นก๊าซธรรมชาติในระบบ เตาเผา: กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและการกลั่น	1185
OT014	ผลของอัตราการใช้และอัตราส่วนการไหลต่อความเข้มข้นทางออกด้านบน ด้านล่าง และประสิทธิภาพการแยกของไฮโดรไซโคลขนาด 40 มิลลิเมตร	1193
OT015	การศึกษาและออกแบบโปรแกรมตรวจจับการเกิดดิสชาร์จบางส่วนในหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง ตามหลักการปล่อยสัญญาณอะคูสติกด้วยเทคนิคความแตกต่างของเวลาการมาถึงของสัญญาณ	1199

การลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ที่ส่งต่อโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่
Performance degradation of amorphous silicon/micro crystalline silicon
(a-Si/ μ C) effect to large scale solar power plant

นิพนธ์ เกตุจ้อย*, อนุรักษ์ ขาวสะอาด, ฉัตรชัย ศิริสัมพันธ์วงศ์ และ คงฤทธิ์ แม้นศิริ

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ พิษณุโลก 65000

โทรศัพท์ : 0-5596-3182 โทรสาร : 0-5596-3182

*ผู้ติดต่อ: niponk@nu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si: μ C ที่ส่งผลต่อโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยนำข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si: μ C มาทำการวิเคราะห์หาอัตราการลดลงของสมรรถนะ ซึ่งข้อมูลที่น่าวิเคราะห์อยู่ในช่วงปี 2552 - 2554 หลังจากนั้นนำผลที่วิเคราะห์มาทำการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังไฟฟ้า 1 MW โดยใช้โปรแกรม PVSYST V 5.21 และวิเคราะห์หาความแตกต่างระหว่างการทำนายพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้จริงเปรียบเทียบกับเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต จากการศึกษาพบว่า แนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si: μ C มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.38 ต่อปี และจากการทำนายพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้สภาวะการใช้จริงสูงกว่าสภาวะภายใต้เงื่อนไขการรับประกันคิดเป็นร้อยละ 5.96

คำหลัก: อัตราการลดลง, สมรรถนะ, แผงเซลล์แสงอาทิตย์, โมโนคริสตัลไลน์, โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่

Abstract

This article presents the performance degradation of amorphous silicon/micro crystalline silicon (a-Si: μ C) effect to large scale solar power plant. The data are used for analysis during 2009 - 2011. After that, the electricity energy prediction from the analysis data is based on the large scale solar power plant. The PVSYST software Vision 5.21 uses for the electricity energy prediction. And the electricity energy prediction compares between actual conditions and manufacturer's warranty. Results of this research are found that. The performance degradation of a-Si: μ C is 0.38 % and the electricity energy prediction of actual conditions is higher than manufacturer's warranty is 5.96 %.

Keywords: Degradation rate, Performance, PV module, Amorphous silicon/micro crystalline silicon, Large scale solar power plant.

1. บทนำ

ประเทศไทยได้กำหนดยุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเป็นร้อยละ 20 ภายในปี พ.ศ. 2565 โดยในส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์กำหนดเป้าหมายการผลิตไฟฟ้าไว้ที่ 500 MW โดยการส่งเสริมให้เอกชนเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าในรูปแบบของผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (SPP) และขนาดเล็กมาก (VSPP) นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (Adder) เพื่อจูงใจให้เอกชนสนใจมาลงทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพิ่มมากขึ้น [1] และจากรัฐบาลได้มีนโยบายและแผนพัฒนา 15 ปี ส่งผลให้ผู้สนใจสร้างโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการตอบรับซื้อสัญญาไฟฟ้ามียุทธศาสตร์พลังงานไฟฟ้าเสนอขาย เท่ากับ 1,012 MW และเริ่มดำเนินการจำหน่ายไฟฟ้าเข้าระบบจำหน่ายแล้ว (COD) เท่ากับ 264 MW [2] ในปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลากหลายมากขึ้น ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (a-Si:μC) เป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์เทคโนโลยีใหม่ เกิดจากการผสมผสานระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอสัณฐานซิลิกอน (Amorphous silicon) กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Micro silicon) จัดอยู่ในกลุ่มของชนิดฟิล์มบาง จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า กลุ่มฟิล์มบางสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่ากลุ่มผลึกซิลิกอน [3-6] แต่อัตราการลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งสำคัญเช่นกัน เนื่องจากกลุ่มฟิล์มบางจะอัตราการลดลงของสมรรถนะสูงกว่ากลุ่มผลึกซิลิกอน [7] ซึ่งยังไม่มีการศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:μC ที่ติดตั้งใช้งานจริง ดังนั้นวิทยาลัยพลังงานทดแทนจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่ามีแนวโน้มการลดลงเป็นอย่างไร และส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าอย่างไร ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ของงานวิจัยนี้จะเป็นข้อมูลสำคัญในการออกแบบ

โรงไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ต่อไป รวมถึงเป็นทางเลือกอีกทางหนึ่งในการเลือกพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้ในประเทศ

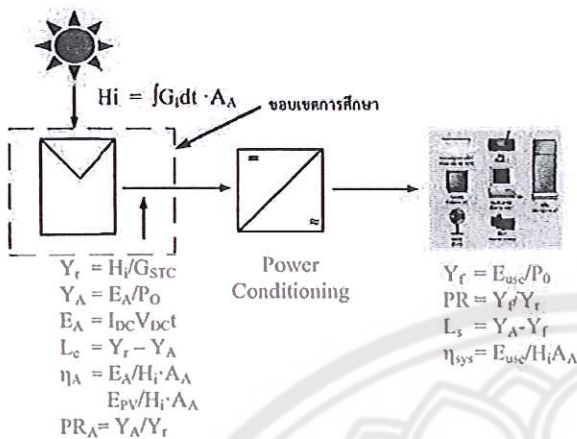
2. วิธีการศึกษา

2.1 การศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:μC

ในหัวข้อนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก การศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ (Y_A) และสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PR_A) ภายในระยะเวลา 3 ปี ตั้งแต่ปี 2552 - 2554 ว่ามีแนวโน้มการลดลงเป็นอย่างไร หลังจากนั้นส่วนที่สอง การทำนายพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตในลักษณะของโรงไฟฟ้าขนาด 1 MW เพื่อเปรียบเทียบระหว่างการทำนายพลังงานภายใต้สภาวะการใช้งานจริงกับเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต

2.2 เทคนิคการประเมินสมรรถนะเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์สมรรถนะทางเทคนิคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของงานวิจัยนี้ อ้างอิงจาก International Energy Agency Photovoltaic Power Systems TASK 2 - Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems (IEA PVPS Task 2) [8] และ International Standard - Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis (IEC - 61724) [9] ซึ่งได้กำหนดให้มีการวิเคราะห์ที่ตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 การประเมินและวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านเทคนิค

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield; Y_A) หาได้จากสมการ

$$Y_A = \frac{E_A}{P_o} \quad (1)$$

Y_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp)

E_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)

P_o คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield; Y_r) หาได้จากสมการ

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \quad (2)$$

Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kWp)

H_i คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m²)

G_{STC} คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ STC = 1 kW/m²

สมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Performance Ratio; PR_A) หาได้จากสมการ

$$PR_A = \frac{Y_A}{Y_r} \quad (3)$$

การวิเคราะห์อัตราการผลิตของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนแรก ศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:μC ตั้งแต่ปี 2552 - 2554 แต่ในการวิเคราะห์สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่นำสมรรถนะของปี 2552 เนื่องจากยังอยู่ในช่วงยังไม่เสถียร (stabilize) และใช้ช่วงเวลาตั้งแต่ 07.00-17.00 น. และส่วนที่สอง ทำการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าผลิตได้ โดยใช้โปรแกรม PVSTST V 5.21 และเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงกับตามเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิตว่าเป็นอย่างไร ซึ่งการรับประกันการลดลงของกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงอายุการใช้งาน 20 - 25 ปี เท่ากับ 20 % ของกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นศึกษาอายุของโรงไฟฟ้า เท่ากับ 20 ปี

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปร	a-Si:μC
กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max})	[W]
ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc})	[V]
ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc})	[A]
ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_{mp})	[V]
ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_{mp})	[A]
จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์	[แผ่น]
การรับประกันกับกำลังไฟฟ้า 20 ปี	[%]
ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์	[mm]

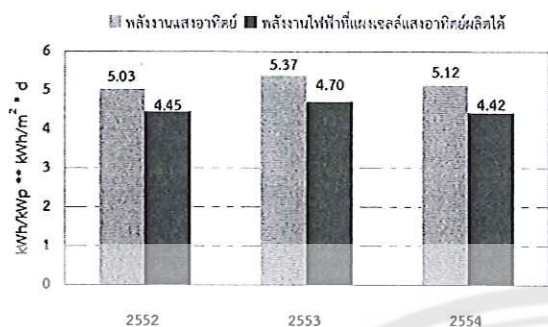
หมายเหตุ:

สภาวะมาตรฐาน: Air mass 1.5, ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1,000 W/m², อุณหภูมิเซลล์ 25 °C.

3. ผลการศึกษา

3.1 การลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:μC พบว่าพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้โดยเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 4.58 kWh/kWp · d ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เฉลี่ยรายวัน

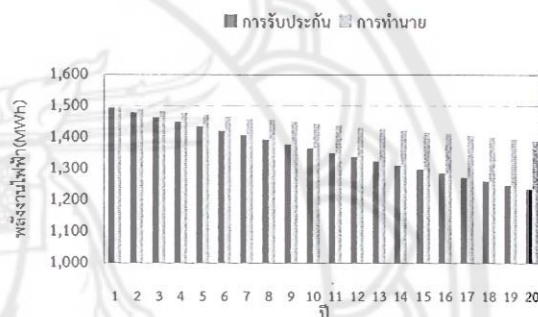
จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าอัตราการลดลงของแนวโน้มของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.38 ต่อปี



รูปที่ 3 สมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 4 เป็นการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าผลิตได้ในแต่ละปีตลอดอายุของโรงไฟฟ้า พบว่าตามเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตลอดอายุของโรงไฟฟ้าเท่ากับ 27,206,524 MWh และพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง เท่ากับ 28,827,463 MWh ความแตกต่างระหว่างการทำนายพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงกับตามเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต คิดเป็นร้อยละ 5.96 จากผลดังกล่าวจะเห็นได้จากการทำนายพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงกว่าตามเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต แต่อย่างไรก็ตามผลจากการทดลองการลดลงของสมรรถนะไม่ได้มาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว ในโรงไฟฟ้ามีอุปกรณ์ประกอบต่างๆ เช่น เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และหม้อแปลง เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในตัวเอง ประกอบกับข้อมูลและอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ยังน้อย ดังนั้นผลทำนายที่ได้นั้นอาจมีความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงเล็กน้อย



รูปที่ 4 พลังงานไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าผลิตได้ตลอดอายุการใช้งาน

4. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si:μC พบว่า พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้โดยเฉลี่ยรายปี มีค่าเท่ากับ 4.58 kWh/kWp · d และอัตราการลดลงของแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.38 ต่อปี และส่งผลทำให้เกิดเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการทำนายพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการใช้งานจริงกับตามเงื่อนไขการรับประกันแผงเซลล์จากผู้ผลิต คิดเป็นร้อยละ 5.96

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2551 2552 2554 2555 และ 2556 และ Kaneka

Corporation, Japan และขอขอบพระคุณคณาจารย์ นักวิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำ และข้อมูลสนับสนุนในการศึกษานี้ ทำให้การศึกษาค้นคว้าสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, [บทความออนไลน์]. สืบค้นได้จาก<http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/upload/nov50/mar52/REDP_present.pdf>. พฤษภาคม 2554.
- [2] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, นโยบายการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน, 2555.
- [3] 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 (IJRE)*, 33-43.
- [4] Kritwiput Phaokeaw, Nipon Ketjoy, Wattanapong Rakwichian and Suchart Yammen, (2007), Performance of a-Si, p-Si and HIT PV Technological Comparison under Tropical Wet Climate Condition, *International Journal of Renewable Energy (IJRE)*, 23-34.
- [5] 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 (IJRE)*, p 35-52.
- [6] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด, วิฑิตพร เจาะจง และนิพนธ์ เกตุจ้อย, การศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้รายปีภายใต้สภาวะการใช้งานจริง, เทคโนโลยีอุตสาหกรรม. วารสารวิชาการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำปาง, ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เมษายน 2552 - กันยายน 2552, หน้า 44 - 49
- [7] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด, คงฤทธิ์ แม้นศิริ และนิพนธ์ เกตุจ้อย, การลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่, *การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 4*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, จังหวัดหนองคาย, หน้า 369 - 372, เมษายน 2555.
- [8] International Energy Agency, Operational performance, reliability and Promotion of photovoltaic systems, Report IEA-PVPS T2-03, 2002.
- [9] International Standard - Photovoltaic system performance monitoring - Guidelines for measurement, data exchange and analysis (IEC - 61724), Edition 1.0, 1998-04.