



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า	วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา	ภาควิชา
เรื่อง	การศึกษาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนภายใต้อิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ในประเทศไทย
	Performance of Polycrystalline Silicon and Amorphous Silicon Solar Cells based on the Influence of Irradiance and Module Temperature in Thailand
นามผู้วิจัย	นายกิติภพ ทองเปาว์
ได้พิจารณาเห็นชอบโดย	
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม, Ph.D.)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(อาจารย์พิสุทธิ ทรัพย์ศักดิ์, Ph.D.)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	(อาจารย์กอบศักดิ์ ศรีประภา, D.Eng.)
หัวหน้าภาควิชา	(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงค์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบาง
อะมอร์ฟัสซิลิกอนภายใต้อิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ในประเทศไทย

Performance of Polycrystalline Silicon and Amorphous Silicon Solar Cells based on
the Influence of Irradiance and Module Temperature in Thailand

โดย

นายกิติภพ ทองเปาว์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติภพ ทองเปาว์ 2553: การศึกษาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนภายใต้อิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ในประเทศไทย ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม, Ph.D. 71 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอการเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าภายนอกอาคารและหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ของสมการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน (poly c-Si) และฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si) ภายใต้อิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิของแผงเซลล์ในประเทศไทย พบว่าสมรรถนะการผลิตไฟฟ้า (Performance ratio: PR) ของ a-Si แนวโน้มในช่วงฤดูร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูฝน โดยจากการศึกษาระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2549 ถึง กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 ค่า PR ของ a-Si มีค่าเฉลี่ยสูงกว่าค่าที่สภาวะมาตรฐาน (STC) และค่า PR ของ poly c-Si ทั้งนี้ในช่วงฤดูหนาวค่า PR ของ a-Si มีค่าลดลงโดยมีค่าลดลงต่ำสุดประมาณ 7% เมื่อเทียบกับค่า PR สูงสุดในช่วงฤดูฝน นอกจากนี้ค่า PR ของ a-Si ในช่วงฤดูร้อนและฤดูฝนของปี พ.ศ.2550 ลดลง ประมาณ 0.5% จากช่วงเดียวกันในปี พ.ศ.2549 และลดลงประมาณ 2% ในช่วงฤดูหนาวของปี พ.ศ.2552 เทียบกับปี พ.ศ.2551 ในขณะที่ค่า PR ของ poly c-Si แปรผกผันกับอุณหภูมิแผงเซลล์ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเข้มแสง นอกจากนี้แฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ของสมการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่นำเสนอมีความเหมาะสมกับข้อมูลภายนอกอาคาร และให้ความคลาดเคลื่อน RMSE ในการคำนวณน้อยกว่า 1 ในลักษณะภูมิอากาศเดียวกัน

Kitiphop Thongpao 2010: Performance of Polycrystalline Silicon and Amorphous Silicon Solar Cells based on the Influence of Irradiance and Module Temperature in Thailand. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Patamaporn Sripadungtham, Ph.D. 71 pages.

This study aimed to focus on analyzing outdoor performance and the coefficient factor of maximum power based on the effect of module temperature and irradiance for polycrystalline silicon (poly c-Si) solar cell and amorphous silicon (a-Si) solar cell measured in Thailand. The result of this study revealed that the performance ratio (PR) of a-Si solar cell increased during summer and reached the highest value in rainy season. Data from January 2006 to February 2009 indicated that the average PR of a-Si solar cell showed higher values than both PR values at standard test condition (STC) and PR of poly c-Si solar cell. However, during winter, PR value of a-Si solar cell gradually decreased. The difference between the highest PR value, occurred in rainy season, and the lowest PR value, occurred in winter, was 7%. In addition, during summer and rainy period from 2006 to 2007, the PR value of a-Si solar cell degraded approximately 0.5% whereas it declined 2% from 2008 to 2009 in the winter. Specifically, data had also indicated that PR value of poly c-Si was inversely proportional to the module temperature where the higher temperature gave low PR value and vice versa. The mathematical model for maximum power was derived with the RMSE error less than one for the same climate.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมาภรณ์ ศรีผดุงธรรม อาจารย์ที่
ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย ให้คำปรึกษา แนะนำ และ
ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง ขอกราบขอบพระคุณ ดร.พิสุทธิ์ รพีศักดิ์, ดร.กอบศักดิ์ ศรีประภา
และกรรมการทุกท่านที่ช่วยเหลือตรวจสอบพร้อมแนะนำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไป
ด้วยดี

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ของข้าพเจ้าที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจ
มาโดยตลอด ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและ
มอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ในอนาคต ขอกราบขอบพระคุณ คุณเอกชาติ
หัตถา ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำในงานวิจัย และหากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการ
ใด ข้าพเจ้ายินดีรับข้อเสนอแนะ และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

กิติภพ ทองเปาว์
เมษายน 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	35
ผล	35
วิจารณ์	54
สรุปและข้อเสนอแนะ	56
สรุป	56
ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	59
ภาคผนวก	62
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	71

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอน	42
2	การเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน	42
3	ความคลาดเคลื่อนของการคำนวณจากสมการที่นำเสนอ	53

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเปรียบเทียบปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่พื้นโลกได้รับตามพื้นที่ต่างๆ	5
2	มุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	6
3	ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลต่างๆ	6
4	ค่า AM ที่แปรผันตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์	7
5	โครงสร้างของซิลิกอนที่มีการเจือสารเป็น N-doped และ P-doped	9
6	การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	10
7	โครงสร้างทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์	11
8	คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภท	12
9	กราฟแสดงกระแส-แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	13
10	ผลของความเข้มแสงอาทิตย์ต่อแรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	15
11	ผลของอุณหภูมิแผงเซลล์ต่อแรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	15
12	ผลของจำนวนเซลล์ที่ต่อแบบอนุกรมต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	16
13	อิทธิพลของขนาดพื้นที่แผงเซลล์ต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์	17
14	อิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อคุณลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ a) อิทธิพลของความเข้มแสง และ b) อิทธิพลของอุณหภูมิแผงเซลล์	20
15	แผนภาพระบบเครื่องมี้อัด	24
16	การติดตั้งระบบที่หน้าอาคาร Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2549 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2550	25
17	การติดตั้งระบบที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2552	25
18	การติดตั้งตู้ควบคุมภายในอาคารที่ประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับใช้ควบคุมการวัดและบันทึกผลสั่งการด้วยคอมพิวเตอร์	26
19	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $((P_{max}) / P_{max_0}) - 1$ กับ $T - T_0$	29
20	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{max} \cdot (Irr_0 / Irr)$ กับ $P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$	30

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(I_{rr} / I_{rr_0})$ กับ $\left[\frac{c}{P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1$	32
22	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Voc และ %Isc กับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน เมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์คงที่เท่ากับ 50 °C	36
23	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Voc กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน เมื่อความเข้มแสงคงที่เท่ากับ 800 W/m ²	37
24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Isc กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน เมื่อความเข้มแสงคงที่เท่ากับ 800 W/m ²	37
25	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Voc และ %Isc กับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอน เมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์คงที่เท่ากับ 50 °C	38
26	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Voc กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอน เมื่อความเข้มแสงคงที่เท่ากับ 800 W/m ²	38
27	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Isc กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอน เมื่อความเข้มแสงคงที่เท่ากับ 800 W/m ²	39
28	สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si และชนิด a-Si และอุณหภูมิแผงเซลล์ถ่วงน้ำหนัก (T _{WA} , °C) ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2549 – เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2552	40
29	สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si และ a-Si เทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์	41
30	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์	41
31	ความสัมพันธ์ระหว่าง ((Pmax) / Pmax ₀)-1 และ T - T ₀ สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ γ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน	45
32	ความสัมพันธ์ระหว่าง ((Pmax) / Pmax ₀)-1 และ T - T ₀ สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ γ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอน	45
33	ความสัมพันธ์ระหว่าง P max·(Irr ₀ / Irr) และ P max ₀ ·(1 + $\gamma(T - T_0)$) สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\delta(T)$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน	47

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
34 ความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{\max} \cdot (Irr_0 / Irr)$ และ $P_{\max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$ สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\delta(T)$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอน	47
35 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(Irr / Irr_0)$ และ $\left[\frac{c}{P_{\max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1$ สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\delta(T)$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน	49
36 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(Irr / Irr_0)$ และ $\left[\frac{c}{P_{\max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1$ สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\delta(T)$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอน	49
37 %Pmax ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนจากการคำนวณโดยสมการที่นำเสนอเทียบกับค่าวัดจริง ปี พ.ศ.2550 (ที่ NECTEC)	51
38 %Pmax ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนจากการคำนวณโดยสมการที่นำเสนอเทียบกับค่าวัดจริง ปี พ.ศ.2551 – กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 (ที่ PTEC)	51
39 %Pmax ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอนจากการคำนวณโดยสมการที่นำเสนอเทียบกับค่าวัดจริง ปี พ.ศ.2550 (ที่ NECTEC)	52
40 %Pmax ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอนจากการคำนวณโดยสมการที่นำเสนอเทียบกับค่าวัดจริง ปี พ.ศ.2551 – กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 (ที่ PTEC)	52

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

I_{sc}	=	Short Circuit Current
V_{oc}	=	Open Circuit Voltage
J_{sc}	=	Short Circuit Current Density
I_{max}	=	Current at the Maximum Power Point
V_{max}	=	Voltage at the Maximum Power Point
P_{max}	=	Maximum Power
STC	=	Standard Test Condition
AM	=	Air Mass
I_{rr}	=	Irradiance
T	=	Module Temperature
α	=	I_{sc} Correction Coefficient for Temperature
β	=	V_{oc} Correction Coefficient for Temperature
γ	=	P_{max} Correction Coefficient for Temperature
$\delta(T)$	=	P_{max} Correction Coefficient for Solar Radiation Flux
T_{WA}	=	Weighted Temperature of PV Module

การศึกษาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบาง
อะมอร์ฟัสซิลิกอนภายใต้อิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์
ในประเทศไทย

Performance of Polycrystalline Silicon and Amorphous Silicon Solar Cells based
on the Influence of Irradiance and Module Temperature in Thailand

คำนำ

ปัจจุบันการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell) กำลังเป็นที่แพร่หลาย เนื่องจากความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีและการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลายมากยิ่งขึ้นทำให้ต้นทุนการผลิตลดต่ำลง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิดซึ่งความแตกต่างเกิดจากเทคโนโลยีการผลิต วัสดุที่ใช้ทำและโครงสร้างแผง เป็นผลให้จำเป็นต้องมีมาตรฐานสำหรับเป็นตัวกำหนดและชี้วัดเพื่อให้ผู้ใช้งานหรือผู้บริโภคได้ทราบถึงคุณลักษณะ คุณภาพ ราคา รูปแบบการใช้งานให้สอดคล้องและตรงกับความต้องการมากที่สุดภายใต้งบประมาณอันเหมาะสม ดังนั้นการทราบถึงคุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันจะเป็นดัชนีชี้วัดให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างเหมาะสม

อย่างไรก็ตามคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แสดงจากบริษัทผู้ผลิต ซึ่งถูกวัดภายใต้สภาวะมาตรฐาน (standard test condition: STC) ที่ค่าความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิแผงเซลล์ที่ 25 องศาเซลเซียส และค่ามวลอากาศ (air mass) ที่ 1.5 มีความแตกต่างจากสภาวะการใช้งานภายนอกอาคาร (outdoor) ในประเทศไทย เนื่องจากเป็นสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นที่มีปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงตลอดทั้งปีและมีความชื้นประกอบกัน นอกจากนี้ อุณหภูมิที่สูงในตอนกลางวัน ทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์มีค่าสูงถึง 60 – 70 องศาเซลเซียส (เอกชาติ, 2552) ทั้งนี้ยังรวมถึงการเสื่อมคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (degradation) และการสึกกร่อนของแผงเซลล์ (module corrosion) (Akhmad, 1997) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าภายนอกอาคาร (outdoor performance) ของเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะยาว (long term period) มีความแตกต่างจากค่าที่แสดงตามสภาวะมาตรฐาน STC ดังนั้นการทราบถึงสมรรถนะการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ภายนอกอาคารในระยะยาวจึงมีความสำคัญและให้ความน่าเชื่อถือต่อการ

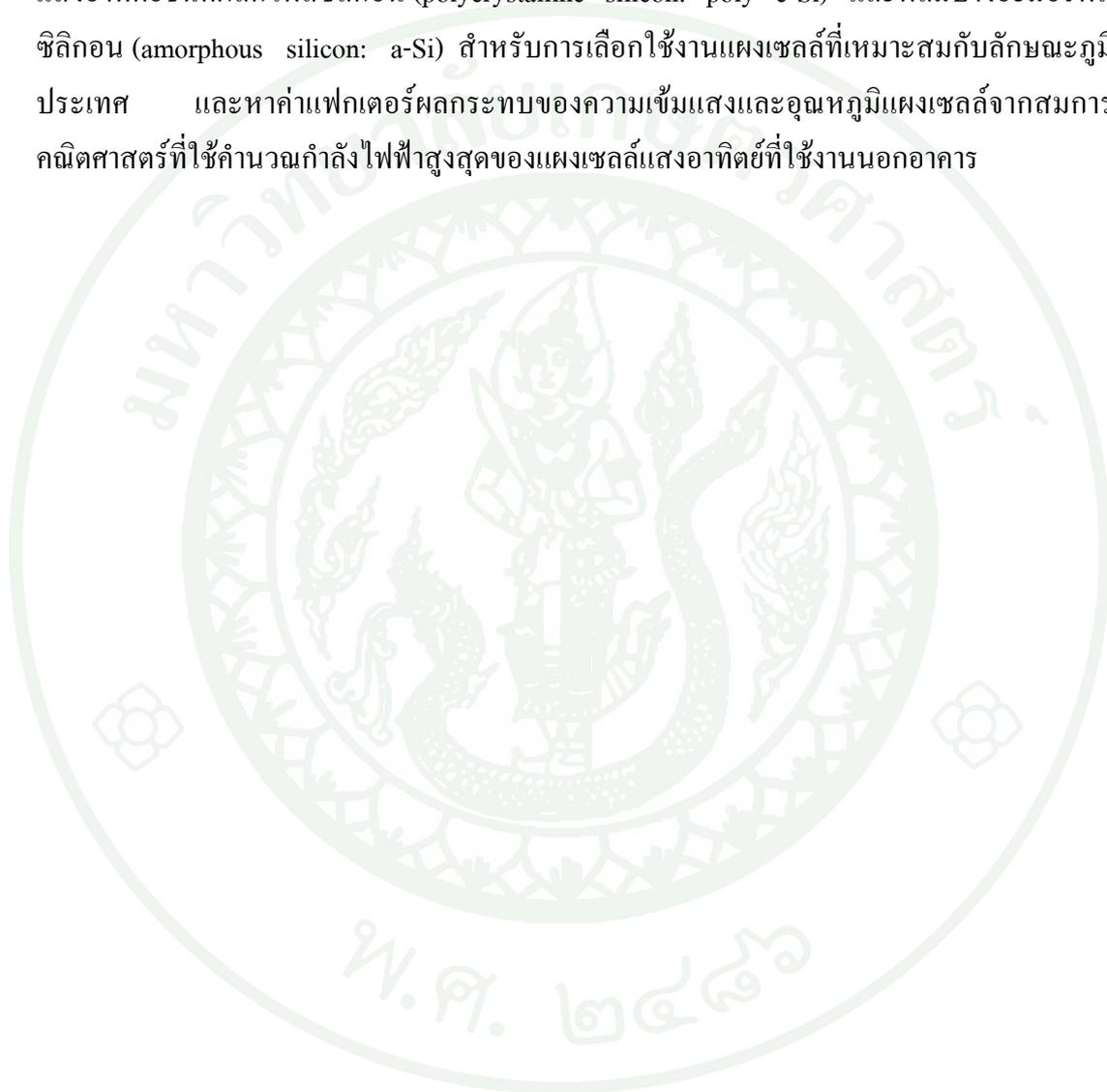
เลือกใช้งานและการปรับปรุงคุณภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศจริงมากกว่าการทราบเพียงค่าที่กำกับไว้ภายใต้สภาวะมาตรฐาน STC

การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะนอกอาคารก็มีความสำคัญเช่นกันในการเลือกใช้งานแผงเซลล์ที่เหมาะสมกับสถานที่ตั้งและการประยุกต์ใช้งาน จากการศึกษาสมการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุด (maximum power: P_{max}) ของการใช้งานแผงเซลล์ภายนอกอาคารที่เสนอโดยสถาบัน National Renewable Energy Laboratory (NREL) พบปัญหาการหาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์ (α) ที่อธิบายโดย Marion (Marion, 2002) ซึ่งไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) กับอุณหภูมิแผงเซลล์จากการทดสอบสมรรถนะนอกอาคารของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายชนิดในประเทศไทย (เอกชาติ, 2552) นอกจากนี้การหาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) เทียบกับความเข้มแสงที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิแผงเซลล์ $\delta(T)$ ที่อธิบายโดย Marion (Marion, 2002) มีความซับซ้อน ซึ่งต้องหาค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดกับความเข้มแสงเป็นจำนวนมากในแต่ละค่าอุณหภูมิคงที่ สำหรับการหาความสัมพันธ์เปรียบเทียบกับอุณหภูมิกครั้งหนึ่ง

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาถึงสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน (polycrystalline silicon: poly c-Si) และฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (amorphous silicon: a-Si) ตามอิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ภายใต้การใช้งานนอกอาคารในประเทศไทยสำหรับการเลือกใช้งานแผงเซลล์ที่เหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศ และหาค่าแฟกเตอร์ผลกระทบของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์จากสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานนอกอาคารในประเทศไทย

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ตามอิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ภายใต้การใช้งานนอกรอาคารในประเทศไทยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน (polycrystalline silicon: poly c-Si) และฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (amorphous silicon: a-Si) สำหรับการเลือกใช้งานแผงเซลล์ที่เหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศ และหาค่าแฟกเตอร์ผลกระทบของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์จากสมการคณิตศาสตร์ที่ใช้คำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานนอกรอาคาร



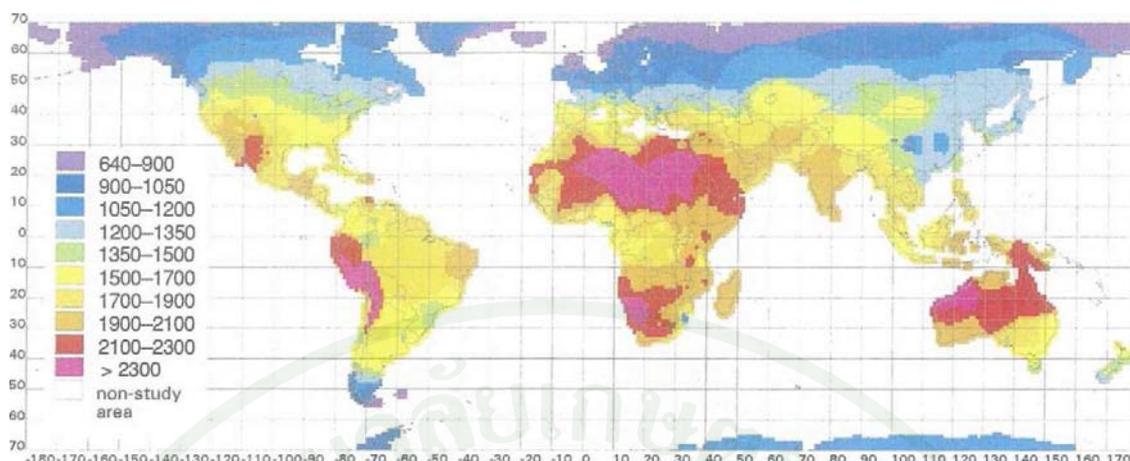
การตรวจเอกสาร

การวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติของแผงเซลล์เป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งก่อนการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปติดตั้งใช้งานจริง ปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการวัดประสิทธิภาพมีอยู่หลายประการตั้งแต่พลังงานแสงอาทิตย์ คุณสมบัติทางแสงอาทิตย์ ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์และคุณสมบัติในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยปรากฏการณ์ Photovoltaic และความแตกต่างของชนิดและโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นการกล่าวถึงปัจจัยและองค์ประกอบต่างๆ นี้จะทำให้เห็นภาพรวมของที่มาของการวัดและวิเคราะห์คุณสมบัติการวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งการวัดโดยสถานะ STC และการวัดในพื้นที่ติดตั้งจริง

พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่สะอาดและมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับพลังงานอื่นๆ เช่น พลังงานจากถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซ ยูเรเนียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่กระทบบนพื้นโลกมีปริมาณมากกว่า 10,000 เท่าเมื่อเทียบกับพลังงานที่โลกต้องการ ดังนั้นเพียง 0.01 % ของพลังงานทั้งหมดจากดวงอาทิตย์จะมีเพียงพอสำหรับการใช้พลังงานในโลก (เอกชาติ, 2552)

แสงอาทิตย์ที่ส่องลงมายังโลกจะมีความเข้มแสงอาทิตย์แปรผันตามกับระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์มายังโลกซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 1,325 – 1,412 วัตต์ต่อตารางเมตรโดยเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในแต่ละรอบปี ซึ่งค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงอาทิตย์จะอยู่ที่ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร ค่าดังกล่าวนี้เป็นค่าที่วัดนอกชั้นบรรยากาศของโลก ซึ่งถ้าแสงเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศเข้าสู่พื้นโลก ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ดังกล่าวนี้จะลดลงเป็นลำดับ พื้นที่ที่ได้รับปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์สูงจะอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรเป็นส่วนใหญ่ตามแสดงในภาพที่ 1 ในบางพื้นที่ความเข้มแสงสูงถึง 2,300 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี และค่านี้จะลดลงตามเส้นละติจูดที่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรทั้งทิศเหนือและทิศใต้ อย่างเช่น ประเทศในแถบทวีปยุโรปตอนล่างจะได้รับความเข้มแสง 1,700 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี และยิ่งถ้าเป็นประเทศเยอรมันซึ่งอยู่ตอนบนจะได้รับความเข้มแสงลดลงเหลือเพียง 1,040 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อปี (German Solar Energy Society, 2008)



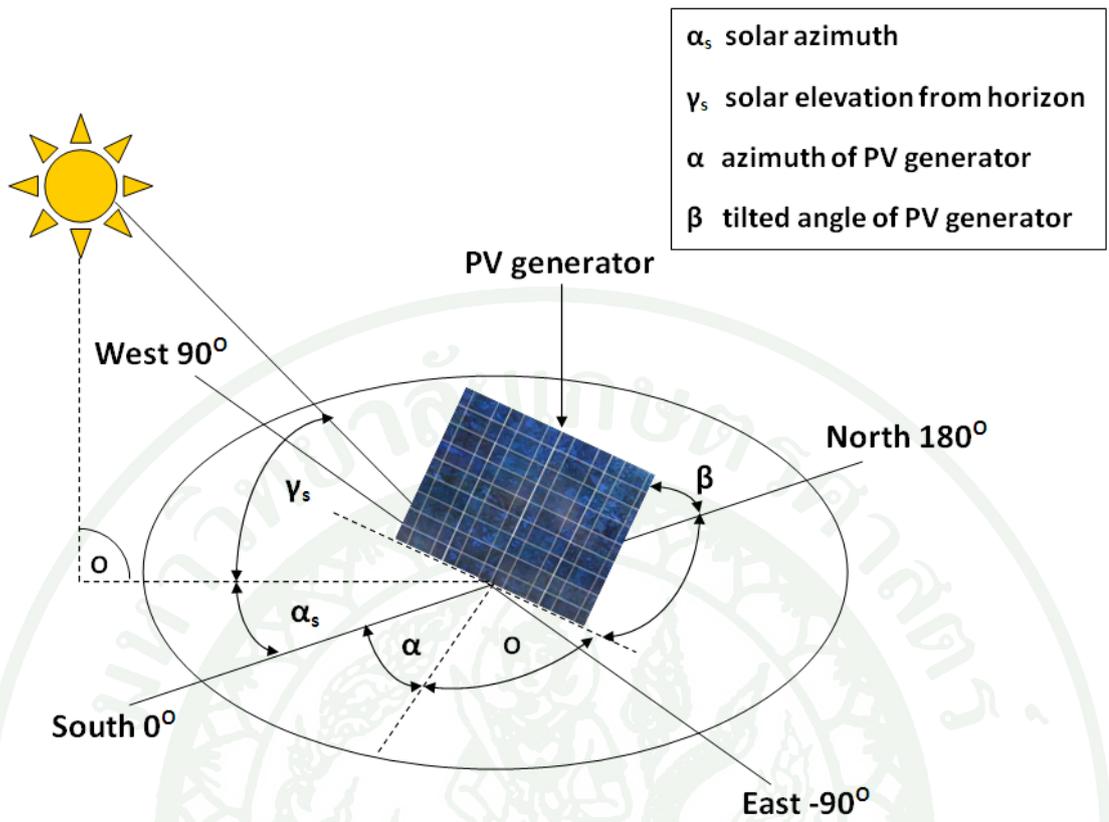
ภาพที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ที่พื้นโลกได้รับตามพื้นที่ต่างๆ

ที่มา: German Solar Energy Society (2008)

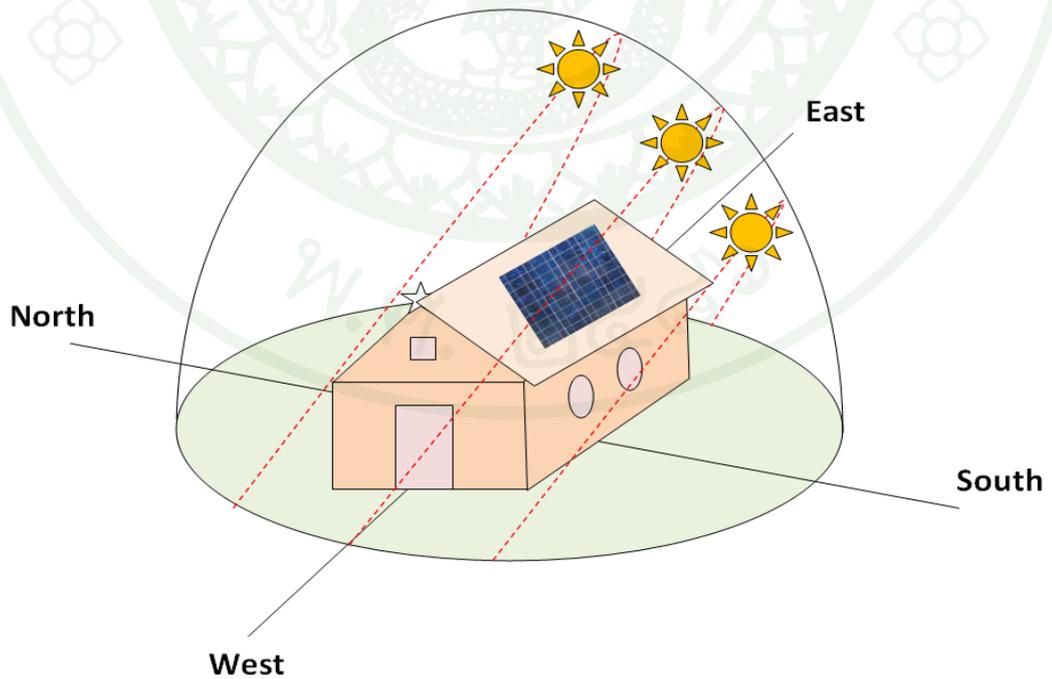
นอกจากนี้แสงจากดวงอาทิตย์ยังแบ่งเป็น 2 องค์ประกอบที่สำคัญ ซึ่งประกอบด้วย แสงตรง (Direct radiation) และแสงกระจาย (Diffuse radiation) ที่มากระทบต่อพื้นโลก (Sick and Erge, 1996) ซึ่งจะมีบทบาทสำคัญต่อการใช้งานเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากเทคโนโลยีและโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่างชนิดกันจะมีการตอบสนองต่อแสงทั้ง 2 องค์ประกอบที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างเซลล์ วัสดุที่ใช้ในการสร้างเซลล์ และการติดตั้งแผงเซลล์จะมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าอีกด้วย

มวลอากาศ

ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์และมุมของลำแสงที่กระทบสู่พื้นโลกหรือมุมที่ลำแสงกระทำกับแนวระดับ ในขณะที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ในช่วงเช้าถึงช่วงเย็นในแต่ละฤดูกาลจะมีค่าความเข้มแสงแตกต่างกัน โดยภาพที่ 2 แสดงการเรียกชื่อมุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งประกอบด้วย มุมอะซิมุทของดวงอาทิตย์ (α_s) มุมยกสูงจากแนวระดับ (γ_s) มุมอะซิมุทของแผงเซลล์ (α) และมุมเอียงของแผงเซลล์ (β)



ภาพที่ 2 มุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

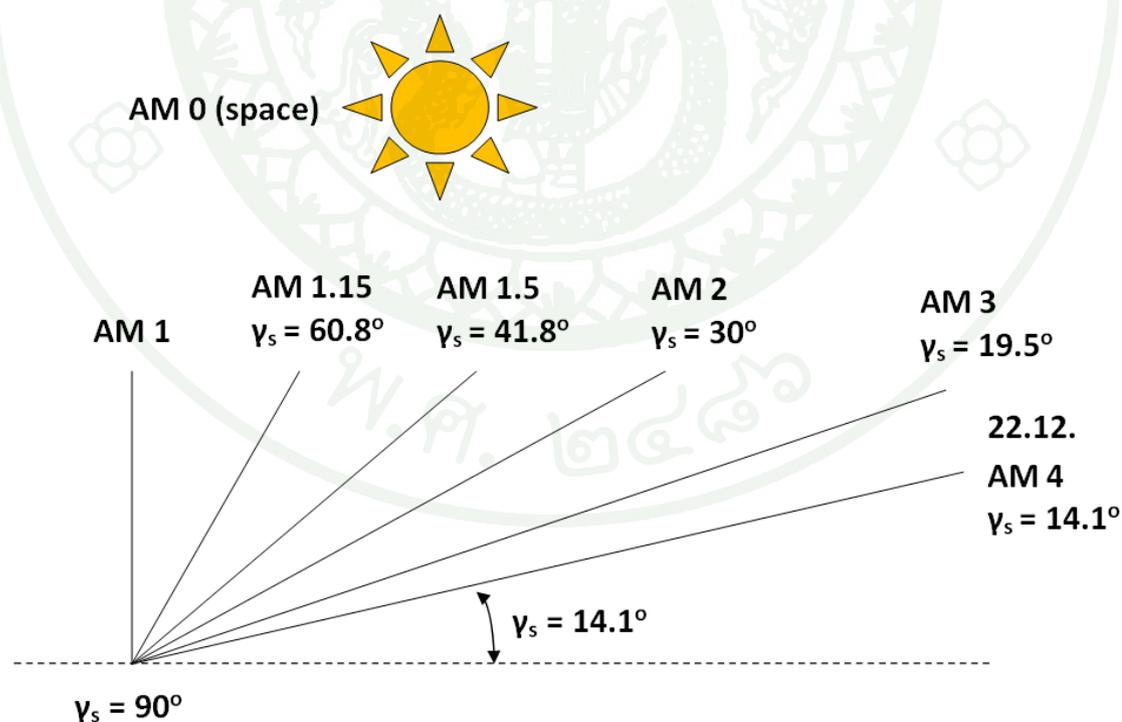


ภาพที่ 3 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลต่างๆ

ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ส่องแสงมายังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งปีมีการเปลี่ยนแปลงตามการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ ดังภาพที่ 3 ซึ่งทำให้ในแต่ละฤดูกาลเซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับปริมาณความเข้มของแสงแดดไม่เท่ากัน โดยในตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์มีแนวรังสีแสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลกเป็นตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้โลกมากที่สุดและได้รับความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุด แต่ถ้าตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่ต่ำลงไปตามแนวเส้นขอบฟ้าจะทำให้มีระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์และพื้นโลกมากยิ่งขึ้นเป็นผลให้ความเข้มแสงอาทิตย์มีปริมาณลดลง เพราะลำแสงอาทิตย์จะต้องผ่านชั้นบรรยากาศซึ่งถูกดูดซับและกระเจิงทำให้ความเข้มแสงที่ตกกระทบมายังพื้นโลกมีค่าลดลง (เอกชาติ, 2552)

ค่ามวลอากาศ (Air mass: AM) เป็นค่าที่แสดงถึงเส้นทางที่ลำแสงอาทิตย์เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศตกรกระทบยังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะมีผลต่อความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์ โดยมีค่าสัมพันธ์กับตำแหน่งเชิงมุมของดวงอาทิตย์ตามสมการที่ 1

$$AM = \frac{1}{\sin(\gamma_s)} \quad (1)$$



ภาพที่ 4 ค่า AM ที่แปรผันตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ค่า AM แปรผันตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ทำมุมกับพื้น โลกดังแสดงในภาพที่ 4 ดังนั้นประเทศที่อยู่ในแนวเส้นศูนย์สูตรค่า AM มีแนวโน้มใกล้เคียง 1 ในขณะที่ประเทศที่อยู่ในแนวละติจูดที่ห่างออกไปทั้งทิศเหนือและใต้เทียบกับเส้นศูนย์สูตร จะได้รับความเข้มแสงลดลงตามค่า AM ที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่นประเทศในเขตละติจูดสูงจะมีค่า AM สูงถึง 3-4 สำหรับค่า AM ภายนอกบรรยากาศของโลกมีค่าเท่ากับ 0 ค่า AM จะเพิ่มขึ้นตามเส้นทางที่แสงอาทิตย์เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้น โลก ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ความเข้มแสงอาทิตย์ลดลงเกิดขึ้นจากองค์ประกอบต่างๆ เช่น การสะท้อนกลับของแสงอาทิตย์ที่ชั้นบรรยากาศ แสงถูกดูดซับด้วยโมเลกุลอากาศ น้ำ และก๊าซต่างๆ การกระจายของแสงเนื่องจากฝุ่นและความสกปรกในอากาศ

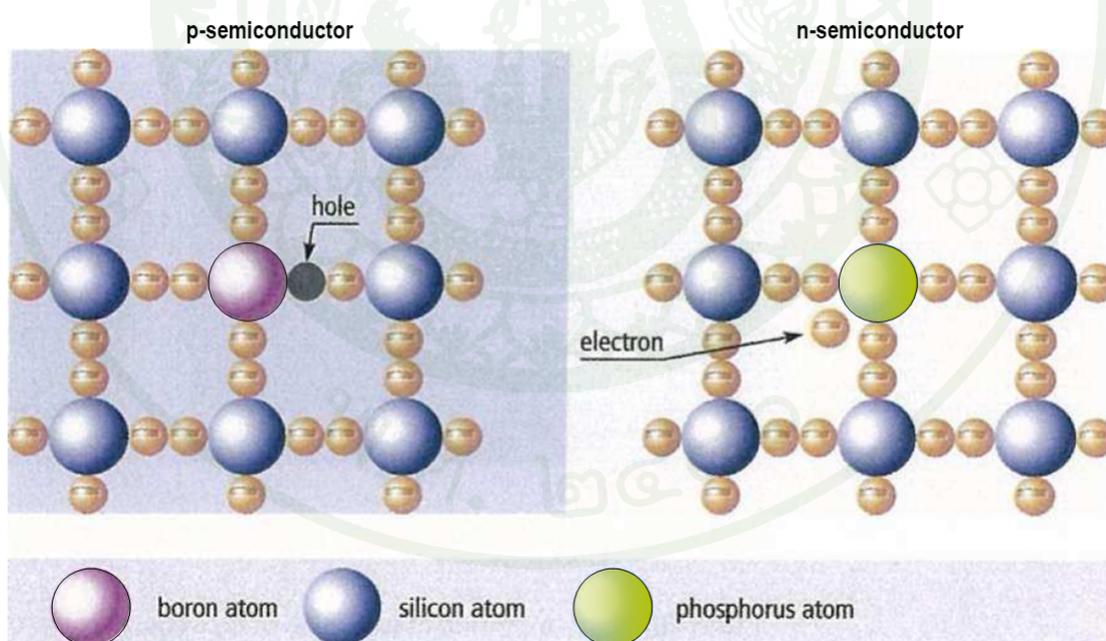
หลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ผลิตจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน (silicon) แกลเลียมอาร์เซไนด์ (gallium arsenide) และแคดเมียมเทลลูไรด์ (cadmium telluride) เป็นต้น (Boyle, 1998) เซลล์แสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงโดยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก (photovoltaic effect) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำในขณะที่ยังมีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์มีพลังงานมากกว่าช่องว่างพลังงาน (energy gap) ของผลึกเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้นเมื่อนำภาระทางไฟฟ้ามาต่อให้ครบวงจร อิเล็กตรอนอิสระบริเวณรอยต่อจะเกิดการเคลื่อนที่เป็นกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรได้

เซลล์แสงอาทิตย์ประดิษฐ์ขึ้นจากสารกึ่งตัวนำที่มีความบริสุทธิ์สูงซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ธาตุซิลิกอนเป็นหลักเนื่องจากเป็นธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดในโลกเป็นอันดับสองรองจากออกซิเจนในอากาศ (German Solar Energy Society, 2008) แต่ข้อจำกัดและอุปสรรคของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันก็คือการประยุกต์ใช้ซิลิกอนในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจำเป็นต้องใช้ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งเป็นเรื่องยากที่จะสกัดได้จากธรรมชาติ ดังนั้นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่มีราคาแพง ก็คือกระบวนการทำสารกึ่งตัวนำที่มีความบริสุทธิ์ อย่างไรก็ตามปัจจุบันได้มีการเสนอโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ในหลายรูปแบบ รวมถึงการเสนอการปรับปรุงโครงสร้างเกี่ยวกับเนื้อสารที่นำมาใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในแบบต่างๆ เพื่อเป็นการลดต้นทุนของกระบวนการผลิตให้ต่ำที่สุดตามเทคโนโลยีการผลิตนั้น

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์อาศัยปรากฏการณ์จากคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำที่มีการเจือสารอื่นเข้าไปในองค์ประกอบหลักของเนื้อสารซึ่งคือธาตุซิลิกอน โดยที่ธาตุซิลิกอนมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน (valence electron) อยู่ 4 ตัวต่อธาตุซิลิกอน 1 ตัว และเมื่อมีการเจือธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัวเข้าไปในธาตุซิลิกอนจะเกิดการผสมกันจนเกิดภาวะที่มีอิเล็กตรอนเกิน เช่น ธาตุในหมู่ 5 ของตารางธาตุซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ธาตุฟอสฟอรัส แต่ถ้าหากมีการเจือธาตุที่มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว เช่นธาตุในหมู่ 3 ของตารางธาตุซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ธาตุโบรอนจะเกิดภาวะที่มีอิเล็กตรอนขาด (Yates, 2003)

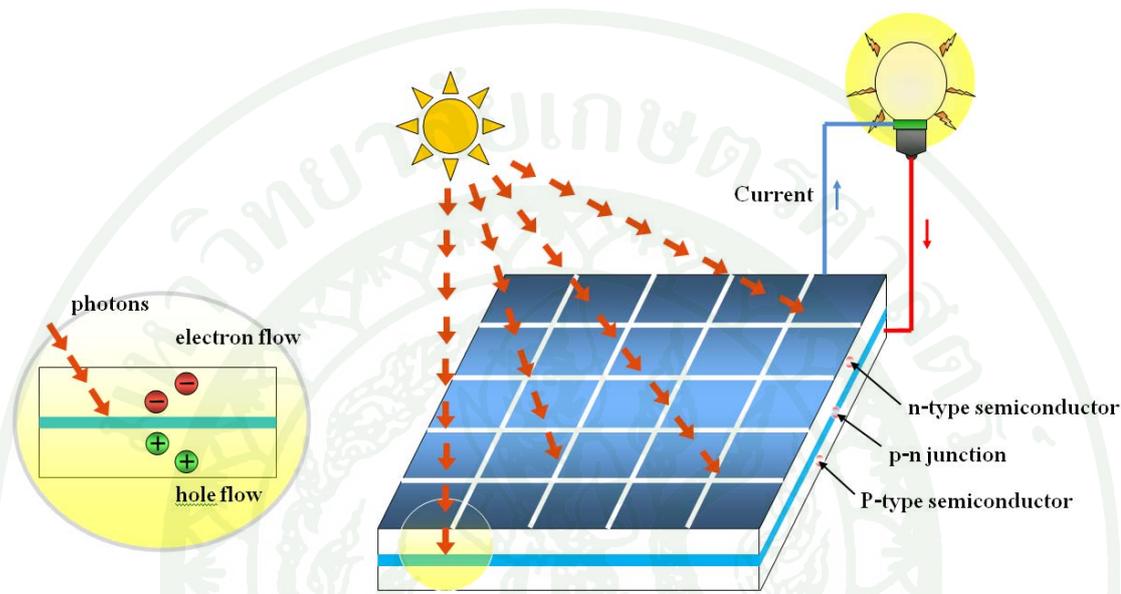
ซิลิกอนที่มีการเจือธาตุหมู่ 3 เข้าไปจะทำให้เกิดภาวะการขาดอิเล็กตรอนซึ่งจะเรียกว่า P-doped ส่วนซิลิกอนที่มีการเจือธาตุหมู่ 5 เข้าไปทำให้เกิดภาวะที่มีอิเล็กตรอนเกินซึ่งจะเรียกว่า N-doped ดังแสดงในภาพที่ 5 ซึ่งแสดงภาวะของการขาดอิเล็กตรอน (ภาพด้านซ้าย) ของโครงสร้างซิลิกอนที่มีการเจือธาตุโบรอนเข้าไปทำให้เกิดโฮลของพันธะของซิลิกอน ซึ่งมีศักย์ทางไฟฟ้าเป็นบวก (Positive) และภาพด้านขวาแสดงภาวะของอิเล็กตรอนเกินเมื่อมีการเจือธาตุฟอสฟอรัสเข้าไปทำให้มีอิเล็กตรอนเกินซึ่งจะเกิดศักย์ทางไฟฟ้าเป็นลบ (Negative) ขึ้นภายในโครงสร้าง



ภาพที่ 5 โครงสร้างของซิลิกอนที่มีการเจือสารเป็น N-doped และ P-doped

ที่มา: German Solar Energy Society (2008)

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์จะมี N-doped และ P-doped ต่อเข้าด้วยกันโดยมีรอยต่อ P-N Junction เกิดขึ้นระหว่างกลาง เมื่อมีแสงอาทิตย์มาตกกระทบกับเซลล์แสงอาทิตย์จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์ Photovoltaic ขึ้น มีแรงดันไฟฟ้าเกิดขึ้นภายในโครงสร้างเนื่องจากการสะสมประจุไฟฟ้าในทั้งสองด้านของรอยต่อ P-N เซลล์แสงอาทิตย์จึงสามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังแสดงในภาพที่ 6

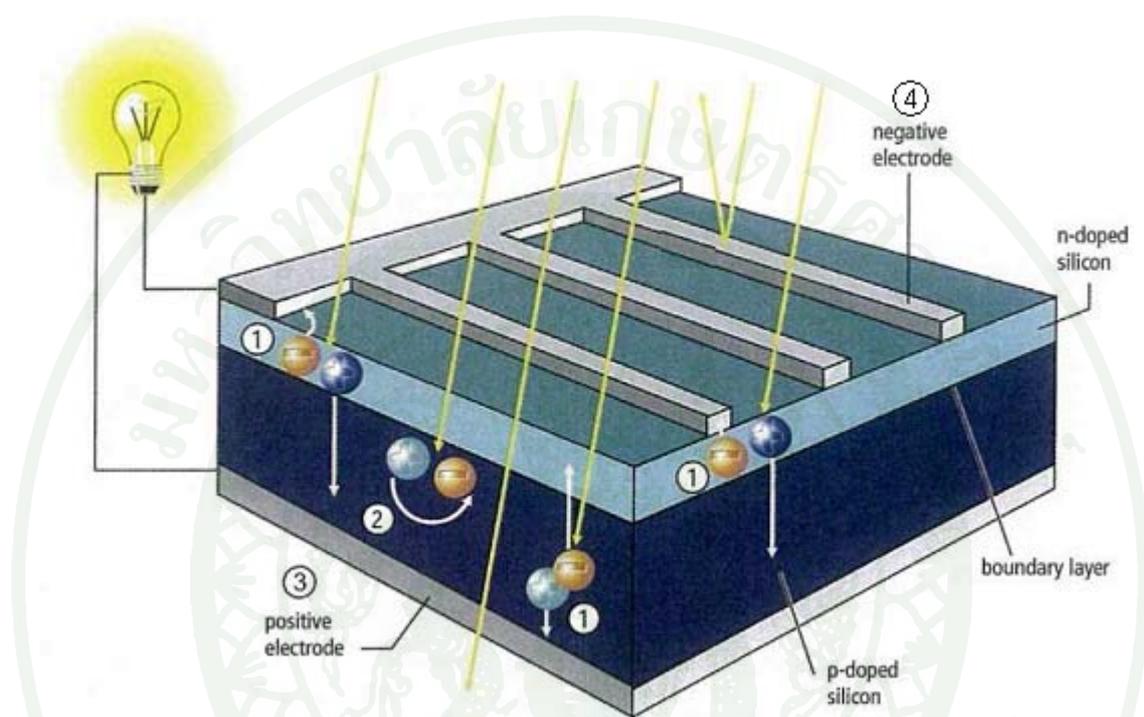


ภาพที่ 6 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

อย่างไรก็ตาม การออกแบบโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีการออกแบบโครงสร้างให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ตามความต้องการ และจะต้องมีการรวบรวมประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีแสงอาทิตย์มาตกกระทบเซลล์เพื่อที่จะนำกระแสไฟฟ้าที่ได้ไปใช้งานต่อไป ภาพที่ 7 เป็นโครงสร้างทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มี P-N Junction เป็นโครงสร้างหลักภายในและมีขั้วไฟฟ้า (Electrode) อยู่ที่ด้านหน้าของเซลล์ซึ่งจะทำหน้าที่ในการรับประจุไฟฟ้าอิสระที่เกิดขึ้นและรวมประจুদ্ধักถ่วงเป็นกระแสไฟฟ้าเพื่อที่จะนำไปใช้งานกับภาระทางไฟฟ้า (Load) ต่อไป

เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์ โดยอะตอมที่ถูกกระตุ้นจากแสงอาทิตย์จะผลิตอิเล็กตรอนคู่โคเดเดี่ยว (electron-hole pair) ซึ่งสนามไฟฟ้าภายในของเซลล์แสงอาทิตย์จะบังคับให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้า ดังภาพที่ 7 อิเล็กตรอนและโฮลในตำแหน่งหมายเลข 1 จะถูกสนามไฟฟ้าภายในบังคับให้เคลื่อนที่ไปยังขั้วไฟฟ้าลบหมายเลข 4 และขั้วไฟฟ้าบวกหมายเลข 3 ตามลำดับ พายุที่เกิดขึ้นนี้อาจเกิดบริเวณปลอดพายุหรือใกล้บริเวณปลอดพายุซึ่งอิทธิพลของสนามไฟฟ้ามีผลเพียงพอให้เกิดการพัดพาของพายุไป

สะสมที่ขั้วไฟฟ้าจนเกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นและทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ นอกจากนี้หมายเลข 2 แสดงถึงประจุไฟฟ้าอิสระระหว่างอิเล็กตรอนและโฮลอาจจะมีการรวมตัวกัน (recombination) เกิดขึ้นได้ ทั้งนี้แสงอาทิตย์ที่ส่งถึงเซลล์แสงอาทิตย์อาจมีการสะท้อนกลับหรือส่งผ่านทะลุเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย ดังรูป



ภาพที่ 7 โครงสร้างทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: German Solar Energy Society (2008)

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของสารประกอบทางเคมีและจะพบมากในทรายและแร่ควอทซ์ แต่ในปัจจุบันจากการต้องการการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนมากทำให้มีการวิจัยและพัฒนาโดยใช้วัสดุชนิดอื่นๆ เพื่อนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ รวมทั้งได้มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น โดยชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์เฉพาะที่นิยมใช้งานในเชิงพาณิชย์และทำมาจากธาตุซิลิกอนจากการจำแนกตามโครงสร้างของผลึกแบ่งได้เป็น 3 ชนิดหลัก คือ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีทิศทางารเรียงตัวของโครงสร้างผลึกซิลิกอนทุกตำแหน่งของเนื้อสารในวัสดุเหมือนกัน มีประสิทธิภาพสูง ประมาณ 15 % ข้อดีคือตอบสนองแสงในช่วงความถี่กว้างและให้ประสิทธิภาพผลิตไฟฟ้าสูง แต่ข้อเสียคือราคาแพง (Yates, 2003)

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยผลึกซิลิกอนหลาย ๆ ผลึก แต่ละผลึกเรียกว่า เกรน (grain) ซึ่งมีทิศทางารจัดเรียงตัวต่างกันมาอยู่ด้วยกัน โดยมีแนวรอยต่อระหว่างเกรน เรียกว่า ขอบเกรน (grain boundary) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิกอนแข็งและบางมาก มีประสิทธิภาพสูง ประมาณ 12 % ข้อดีและข้อเสียเหมือนกับแบบที่ 1 แต่ราคาถูกกว่า (Yates, 2003)

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell) คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีทิศทางารเรียงตัวของโครงสร้างผลึกซิลิกอนไม่เป็นระเบียบ มีประสิทธิภาพประมาณ 5 % ข้อดีคือสัดส่วนของเอาท์พุททางไฟฟ้าต่ออินพุททางแสงมากกว่าทั้งสองแบบข้างต้น และปัจจุบันมีราคาถูก แต่ข้อเสียคือตอบสนองแสงในช่วงความถี่ที่แคบกว่าสองแบบข้างต้น (Yates, 2003)



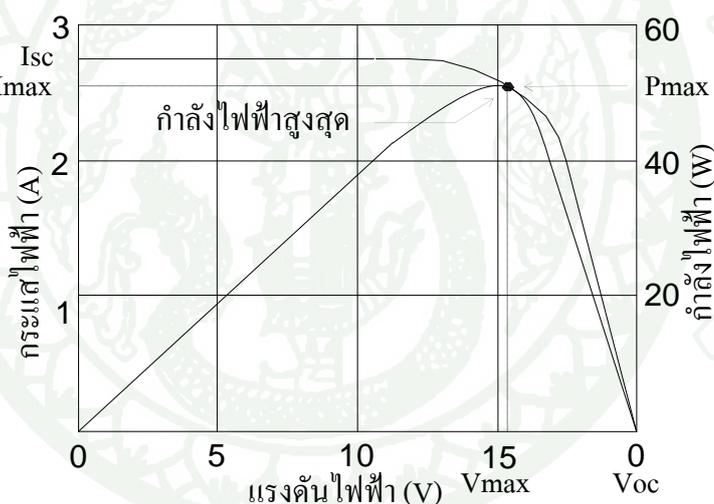
ภาพที่ 8 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภท

ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2545)

คุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์แต่ละประเภทที่มีใช้งานในปัจจุบันมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกัน ดังแสดงในภาพที่ 8 ที่ความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิเดียวกัน เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวจะผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางอะมอร์ฟิซซิลิกอน แต่แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวจะน้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางอะมอร์ฟิซซิลิกอน (ศุภลักษณ์, 2548)

การคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะอ้างอิงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ในรูปของคุณสมบัติทางกระแส-แรงดัน (I-V curve) แสดงดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 กราฟแสดงกระแส-แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2545)

การกำหนดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องกำหนดที่สภาวะมาตรฐาน (standard test condition: STC) คือ ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร ดัชนีมวลอากาศ (air mass) 1.5 และที่อุณหภูมิของเซลล์ 25 องศาเซลเซียส ส่วนขนาดของแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำที่นำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิกอนมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์ต่อเซลล์ (Green, 1998)

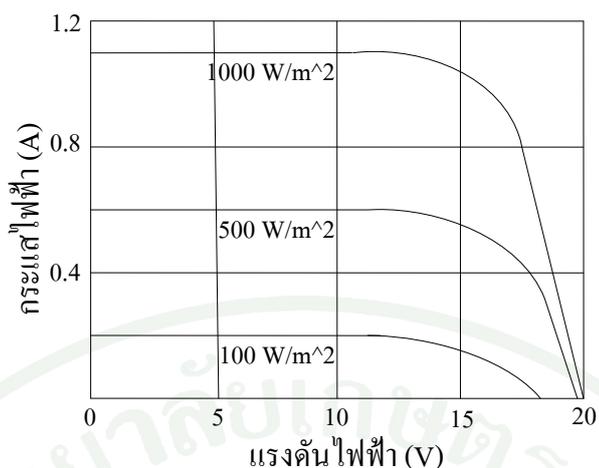
อย่างไรก็ตาม Parretta (1998) กล่าวว่าเอกสารข้อมูล (datasheet) ที่ระบุคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถทำนายประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้การใช้งานจริงได้ดีนัก เนื่องจากเป็นค่าภายใต้การทดลองควบคุมของสภาวะมาตรฐาน STC ซึ่งแตกต่างจากสภาวะการใช้งานจริง โดยค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการใช้งานจริงอาจมีค่าต่ำกว่าค่าจากสภาวะมาตรฐาน STC ถึงประมาณ 20% ในระบบที่ติดตั้งบริเวณใจกลางของทวีปยุโรป เนื่องจากมีค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิที่แตกต่างจากสภาวะมาตรฐาน STC

เอกชาติ (2552) กล่าวถึง สภาวะภูมิอากาศในประเทศไทยเป็นสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นที่มีปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูงตลอดทั้งปีและมีความชื้นประกอบกัน และนอกจากนี้สภาพอากาศร้อนที่เกิดขึ้นในตอนกลางวันซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง ทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์ในการใช้งานจริงมีค่าสูงถึงประมาณ 60 – 70 องศาเซลเซียสเมื่อเทียบกับ STC ที่มีอุณหภูมิของแผงเซลล์เพียง 25 องศาเซลเซียส การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ ที่ใช้ในประเทศไทยย่อมมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับการเลือกใช้แผงเซลล์ที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานและภูมิประเทศ อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการใช้งานเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศได้อีกทางหนึ่ง

การวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่าจะต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนี้

1. ความเข้มแสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำงานจะต้องมีแสงตกกระทบให้อิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำได้รับพลังงานสูงเพียงพอที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนและโฮลอิสระ ดังนั้นถ้าหากแสงที่ตกกระทบสารกึ่งตัวนำมีค่าความเข้มสูงมากหรือปริมาณความหนาแน่นของโฟตอนสูง จะทำให้เกิดคู่พาหะอิเล็กตรอนอิสระกับโฮลเป็นจำนวนมาก ผลที่ได้ก็จะทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าเนื่องจากแสงตกกระทบมีค่าสูงขึ้นด้วยดังแสดงในภาพที่ 10

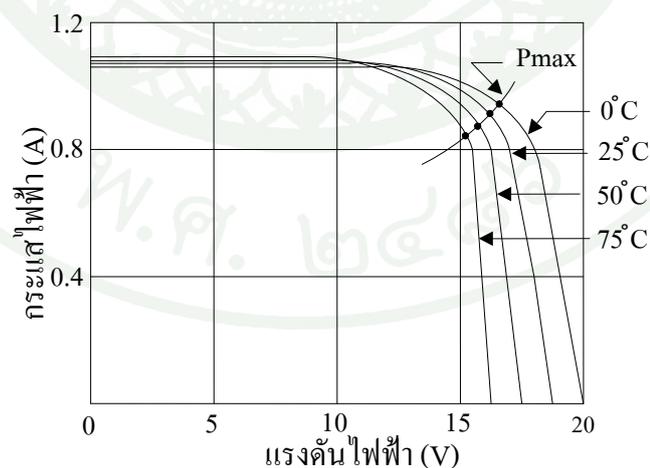


ภาพที่ 10 ผลของความเข้มแสงอาทิตย์ต่อแรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2545)

2. อุณหภูมิเซลล์

ในการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจริง เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องได้รับความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไปจะทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนไปด้วยดังภาพที่ 11



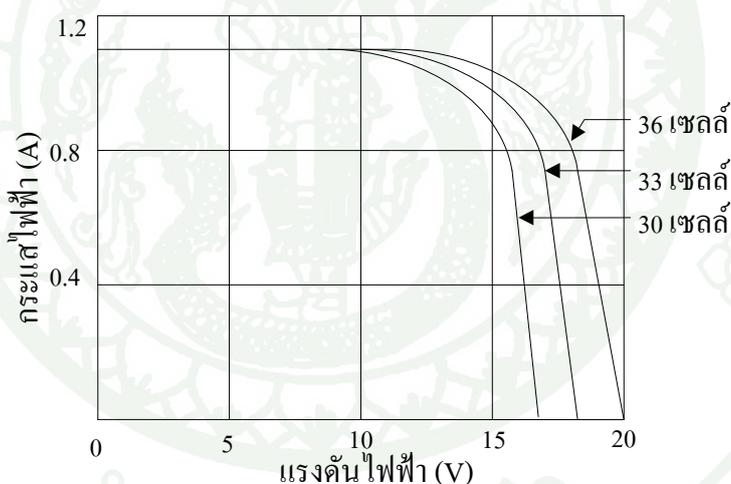
ภาพที่ 11 ผลของอุณหภูมิแผงเซลล์ต่อแรงดันและกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: ศุภลักษณ์ (2548)

จากภาพที่ 11 ขณะที่อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น กระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 0.07 % เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา ขณะที่แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะมีค่าลดลงประมาณ 0.4 % เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศา (IEA, 2002) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรน้อยมาก จากผลของการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

3. จำนวนเซลล์

โดยปกติเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้นจากซิลิกอนจะมีแรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์ต่อเซลล์ ในการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจะประกอบเข้าเป็นแผงโดยนำเซลล์มาต่อกันในลักษณะอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดให้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเซลล์น้อยมาก ดังแสดงในภาพที่ 12



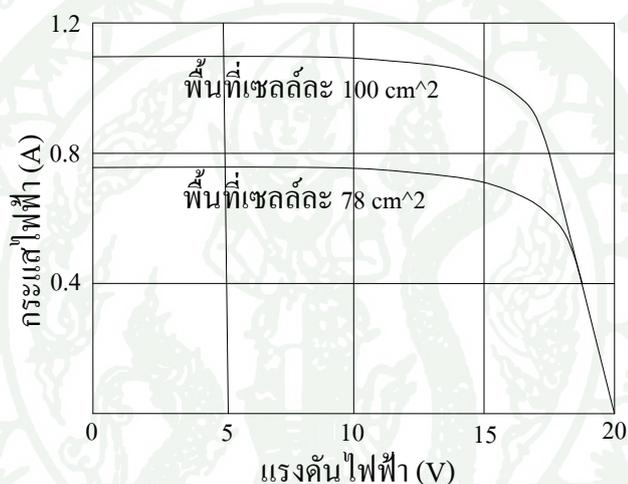
ภาพที่ 12 ผลของจำนวนเซลล์ที่ต่อแบบอนุกรมต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: ศุภลักษณ์ (2548)

จากภาพที่ 12 ถ้ามีการต่อภาระทางไฟฟ้าเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำนวนเซลล์มากกว่าจะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้สูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีจำนวนเซลล์น้อยกว่า การประยุกต์ใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงมีการต่อแผงทั้งแบบขนานและแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการจ่ายให้ภาระทางไฟฟ้า

4. พื้นที่เซลล์

กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นอกจากขึ้นอยู่กับความเข้มแสงอาทิตย์แล้ว ยังขึ้นอยู่กับพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแสงตกกระทบอีกด้วย การผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเชิงพาณิชย์จะมีลักษณะต่างกันเป็นรูปสี่เหลี่ยม แปดเหลี่ยม และมีขนาดต่างกัน ในภาพที่ 13 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ในการรับแสงมากกว่าจะมีกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมากกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่รับแสงน้อยกว่า ส่วนค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรมีค่าเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (Boyle, 1998)



ภาพที่ 13 อิทธิพลของขนาดพื้นที่แผงเซลล์ต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: ศุภลักษณ์ (2548)

พารามิเตอร์ที่ได้กล่าวมาข้างต้นจะมีผลต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานจะต้องพิจารณาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ ซึ่งสามารถนำไปคาดคะเนค่าเอาท์พุทได้ และนำไปพิจารณาลักษณะการต่อแผงเพื่อที่สามารถจ่ายภาระทางไฟฟ้าได้ตามต้องการ

5. แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open Circuit Voltage: V_{oc})

ค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกเปิดวงจร เมื่อรอยต่อระหว่างซิลิกอนชนิดพีกับซิลิกอนชนิดเอ็นได้รับแสง กระแสไฟฟ้าในวงจรในขณะนั้นไม่มีการไหลหรือมีค่าเท่ากับศูนย์

6. กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current: I_{sc})

ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกต่อแบบลัดวงจรและมีแรงดันตกคร่อมวงจรเป็นศูนย์ ซึ่งกระแสไฟฟ้าลัดวงจร คือกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

7. กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power: P_{max})

ค่าผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายโดยให้ค่าที่ผลคูณมีค่าสูงสุด สามารถวัดได้ขณะที่ต่อภาระทางไฟฟ้าที่มีค่าเหมาะสมค่าหนึ่ง สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนจะมีกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.7 โวลต์ต่อเซลล์ (Green, 1998) สมการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดแสดงดังสมการที่ 2

$$P_{max} = I_{max} \times V_{max} \quad (2)$$

เมื่อ P_{max} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

I_{max} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

V_{max} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

8. ค่าฟิลแฟกเตอร์ (Fill Factor: FF)

ค่าที่ใช้กำหนดคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอัตราส่วนระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้จริงเทียบกับผลคูณของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด สำหรับการทดสอบที่สภาวะมาตรฐานค่าฟิลแฟกเตอร์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6 - 0.8 (Green,

1998) ซึ่งความต้านทานที่อยู่ภายในเซลล์จะมีผลต่อการลดลงของค่าฟิลแฟคเตอร์ สมการคำนวณค่าฟิลแฟคเตอร์แสดงดังสมการที่ 3

$$FF = \frac{I_{max} \times V_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (3)$$

เมื่อ FF คือ ค่าฟิลแฟคเตอร์
 I_{sc} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร
 V_{oc} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

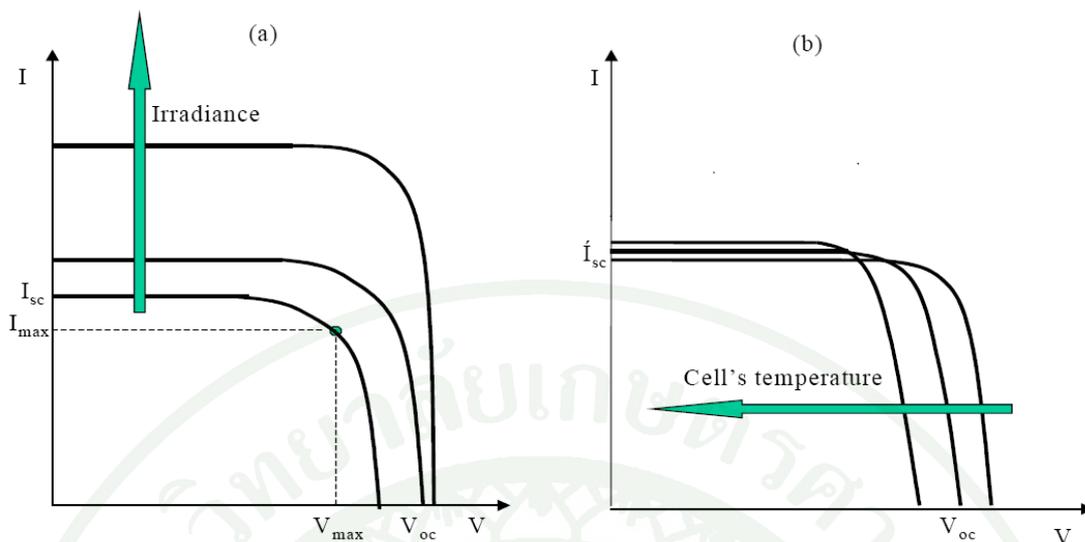
9. ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงาน (η)

ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เทียบกับพลังงานความเข้มแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ มีสมการคำนวณดังสมการที่ 4

$$\eta = V_{oc} \times J_{sc} \times FF \quad (4)$$

เมื่อ η คือ ค่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานของแผงเซลล์
 J_{sc} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรต่อพื้นที่ (A/m^2)

นอกจากนี้ Hansen (2000) กล่าวถึงอิทธิพลของความเข้มแสง (Irradiance: I_{rr}) และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (cell temperature: T) มีผลต่อคุณลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงในภาพที่ 14 (Hansen, 2000) ภาพที่ 14(a) แสดงให้เห็นถึงแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) เพิ่มขึ้นโดยมีความสัมพันธ์แบบลอการิทึมกับความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) เพิ่มขึ้นโดยมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น ภาพที่ 14(b) แสดงความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) ที่ลดลงเมื่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น และกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น โดยมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ซึ่งผลกระทบของอุณหภูมิที่สูงขึ้นนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง



ภาพที่ 14 อิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อคุณลักษณะสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ a) อิทธิพลของความเข้มแสง และ b) อิทธิพลของอุณหภูมิแผงเซลล์

ที่มา: Hansen (2000)

การศึกษาประสิทธิภาพโดยใช้สมการคณิตศาสตร์

การทำนายประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) โดยสมการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สัมพันธ์กับความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ ที่นำเสนอโดย Osterwald แสดงดังสมการที่ 5 (Fuentes. 2007)

$$P_{max} = \left(\frac{Irr}{Irr_0} \right) \cdot P_{max_0} \cdot [1 + \gamma(T - T_0)] \tag{5}$$

- เมื่อ P_{max_0} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ STC (W)
- Irr คือ ความเข้มแสงที่วัดได้จริง (W/m^2)
- Irr_0 คือ ความเข้มแสงที่ STC (W/m^2)
- γ คือ สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์

T คือ อุณหภูมิแผงเซลล์ ($^{\circ}\text{C}$)
 T_0 คือ อุณหภูมิแผงเซลล์ที่ STC ($^{\circ}\text{C}$)

อย่างไรก็ตามสถาบัน National Renewable Energy Laboratory (NREL) ได้พัฒนาสมการของ Osterwald ให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้นซึ่งปัจจุบันใช้กันอย่างแพร่หลายเพื่อคำนวณค่าทางไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับความเข้มแสงและอุณหภูมิเซลล์ เป็นดังสมการที่ 6-7 (Skoplaki, 2008)

$$I_{sc} = \left(\frac{I_{rr}}{I_{rr_0}} \right) \cdot I_{sc_0} \cdot [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (6)$$

เมื่อ α คือ แฟกเตอร์สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์

$$V_{oc} = V_{oc_0} \cdot [1 + \beta(T - T_0)] \cdot \left[1 + \delta(T) \ln \left(\frac{I_{rr}}{I_{rr_0}} \right) \right] \quad (7)$$

เมื่อ β คือ แฟกเตอร์สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์

$\delta(T)$ คือ แฟกเตอร์สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเทียบกับความเข้มแสงที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิแผงเซลล์

เนื่องจาก
$$P_{max} = FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc} \quad (8)$$

และ
$$FF = \frac{P_{max}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (9)$$

ถ้าสมมติว่า ค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าคงที่ เท่ากับ FF_0

จะได้
$$P_{max} = P_{max_0} \cdot \left(\frac{I_{sc}}{I_{sc_0}} \right) \cdot \left(\frac{V_{oc}}{V_{oc_0}} \right) \quad (10)$$

ดังนั้นจากสมการที่ 6 และสมการที่ 7 จะได้

$$Isc_0 = \frac{Isc}{\left(\frac{Irr}{Irr_0}\right) \cdot [1 + \alpha(T - T_0)]} \quad (11)$$

$$Voc_0 = \frac{Voc}{[1 + \beta(T - T_0)] \cdot \left[1 + \delta(T) \ln\left(\frac{Irr}{Irr_0}\right)\right]} \quad (12)$$

แทนค่าสมการที่ 11 และ 12 ลงในสมการที่ 10 จะได้

$$P_{max} = P_{max_0} \cdot \left(\frac{Irr}{Irr_0}\right) \cdot [1 + \alpha(T - T_0)] \cdot [1 + \beta(T - T_0)] \cdot \left[1 + \delta(T) \ln\left(\frac{Irr}{Irr_0}\right)\right] \quad (13)$$

สมการที่ (9) ของ NREL โดยการประมาณค่าของ Anderson จะได้ (Anderson, 1996)

$$P_{max} = P_{max_0} \cdot \left(\frac{Irr}{Irr_0}\right) \cdot [1 + \gamma(T - T_0)] \cdot \left[1 + \delta(T) \ln\left(\frac{Irr}{Irr_0}\right)\right] \quad (14)$$

เมื่อ γ คือ แฟกเตอร์สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าสูงสุดเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์

$\delta(T)$ คือ แฟกเตอร์สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าสูงสุดเทียบกับความเข้มแสงที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิแผงเซลล์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก โพลีซิลิกอน
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน
2. เครื่องมือวัด
เครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์ (IV checker)
เครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer)
เทอร์โมคัปเปิลสำหรับวัดอุณหภูมิ
3. คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง
4. ซอฟต์แวร์
Microsoft Office Access
TableCurve 2D

วิธีการ

งานวิจัยนี้ดำเนินการเก็บข้อมูลโดยสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ โดยแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน คือค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าและค่าทางอุณหภูมิจากการวัด เก็บข้อมูลทุก 10 นาที และแยกเก็บข้อมูลเป็น 2 สถานที่ โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เดียวกันทดสอบเพื่อทำการเปรียบเทียบ ประกอบด้วย

1. บริเวณหน้า Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ เริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550
2. ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552

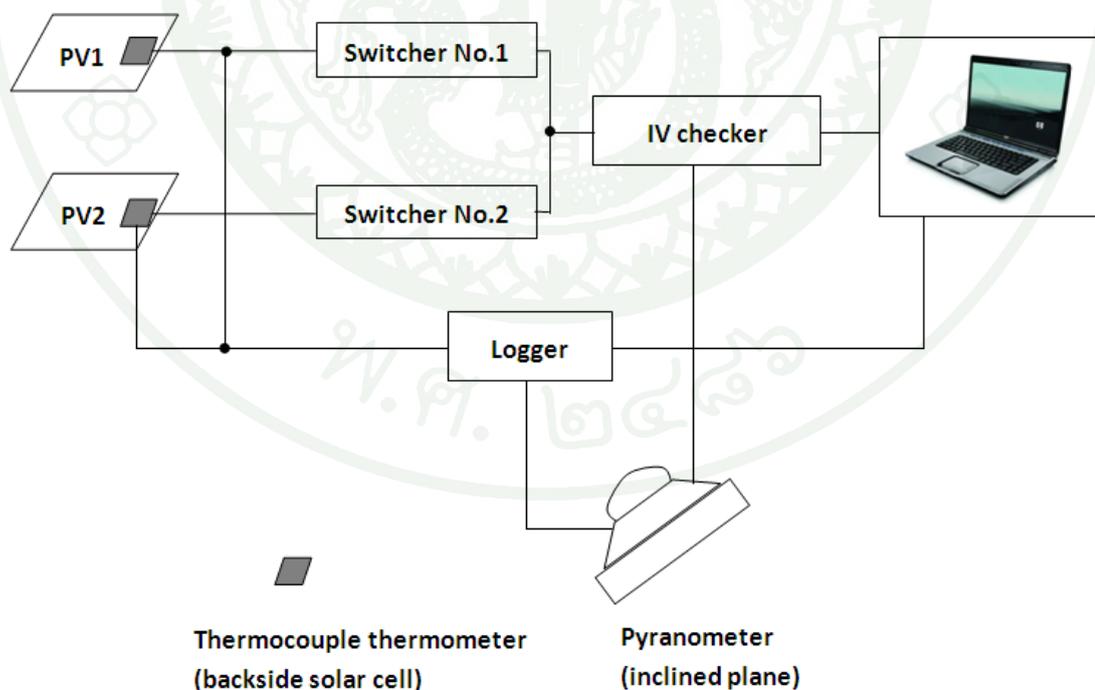
ลักษณะของการเก็บข้อมูล

ลักษณะของการเก็บข้อมูลจากเครื่องมือวัดทั้ง 2 ส่วนมีดังนี้

1. การวัดค่าอุตุนิยมวิทยา (meteorology data) ทำการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ โดยเครื่อง MS-802-E และค่าอุณหภูมิแผงเซลล์โดยเทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งหลังแผงเซลล์เพื่อวัดค่าอุณหภูมิแผง

2. การวัดสมรรถนะแผงเซลล์ (IV Curve Module) ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรมีเปิด (open circuit voltage: V_{oc}), แรงดันไฟฟ้าที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (voltage at the maximum power point: V_{max}), ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (short circuit current: I_{sc}), กระแสไฟฟ้าที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (current at the maximum power point: I_{max}), ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (maximum power: P_{max}) และค่าฟิลแฟคเตอร์ (fill factor: FF) โดยเครื่อง MP-160

กระบวนการวัดของระบบสามารถแสดงเป็นแผนภาพการทำงานของระบบดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 แผนภาพระบบเครื่องมือวัด

การติดตั้งระบบที่หน้าอาคาร Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2549 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2550 และที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 แสดงดังภาพที่ 16 และ 17 ตามลำดับ



ภาพที่ 16 การติดตั้งระบบที่หน้าอาคาร Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2549 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2550



ภาพที่ 17 การติดตั้งระบบที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2552

ลักษณะของข้อมูลที่เก็บได้ถูกบันทึกโดยใช้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมและบันทึกข้อมูลลงฮาร์ดดิสก์ โดยข้อมูลจากทั้ง 2 ส่วน คือ ข้อมูลการวัดค่าอุณหภูมิและข้อมูลการวัดสมรรถนะแผงเซลล์ ถูกบันทึกแยกจากกัน แต่ใช้ช่วงเวลาในการบันทึกเชื่อมโยงข้อมูลเข้าด้วยกัน ดังภาพที่ 18 เป็นรูปของตู้ควบคุมการวัดและบันทึกผลที่ติดตั้งอยู่ในอาคาร



ภาพที่ 18 การติดตั้งตู้ควบคุมภายในอาคารที่ประกอบด้วยอุปกรณ์สำหรับใช้ควบคุมการวัดและบันทึกผลส่งการด้วยคอมพิวเตอร์

การวิเคราะห์ผล

แผงเซลล์แต่ละชนิดที่วัดโดยเครื่องตรวจวัด IV (IV Checker) มีความแตกต่างกันตามคุณสมบัติ ชนิดของแผงเซลล์ และประสิทธิภาพของแผงเซลล์ ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผงเซลล์ต่างชนิดกันได้ จำเป็นจะต้องปรับค่าคุณสมบัติต่างๆ ของแผงเซลล์ให้มีสัดส่วนบนมาตรฐานการเปรียบเทียบเดียวกัน โดยการนำค่า V_{oc} , I_{sc} และ P_{max} มาพิจารณาเป็นเปอร์เซ็นต์คุณสมบัติทางไฟฟ้าเทียบกับค่ามาตรฐาน STC ตามสมการที่ 15-17

$$\%V_{oc} = \frac{V_{oc, measured}}{V_{oc, stc}} * 100 \quad (15)$$

$$\%I_{sc} = \frac{I_{sc, measured}}{I_{sc, stc}} * 100 \quad (16)$$

$$\%P_{max} = \frac{P_{max, measured}}{P_{max, stc}} * 100 \quad (17)$$

เมื่อ $V_{oc, measured}$	คือ ค่า V_{oc} ที่วัดภายใต้การใช้งานนอกอาคาร (volt)
$V_{oc, stc}$	คือ ค่า V_{oc} ที่วัดภายใต้สภาวะมาตรฐาน STC (volt)
$I_{sc, measured}$	คือ ค่า I_{sc} ที่วัดภายใต้การใช้งานนอกอาคาร (ampere)
$I_{sc, stc}$	คือ ค่า I_{sc} ที่วัดภายใต้สภาวะมาตรฐาน STC (ampere)
$P_{max, measured}$	คือ ค่า P_{max} ที่วัดภายใต้การใช้งานนอกอาคาร (watt)
$P_{max, stc}$	คือ ค่า P_{max} ที่วัดภายใต้สภาวะมาตรฐาน STC (watt)

ซึ่งการวิจัยนี้แสดงค่าสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้งานภายนอกอาคาร โดยใช้สัดส่วนประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์ (performance ratio: PR) ดังสมการที่ (18) (Otani, 2008)

$$PR = \left(\frac{P_{max, measured}}{P_{max, stc}} \right) / \left(\frac{I_{rr, measured}}{I_{rr, stc}} \right) \quad (18)$$

เมื่อ $Irr, measured$ คือ ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (incident irradiance) (W/m^2)

Irr, stc คือ ค่าความเข้มแสงที่ใช้ในสภาวะมาตรฐาน STC มีค่าเท่ากับ $1,000 W/m^2$

การแสดงผลค่า PR เฉลี่ยรายเดือนตลอดทั้งปี โดยพิจารณาเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์ที่เป็นฟังก์ชันของความเข้มแสง อุณหภูมิแผงเซลล์เฉลี่ยตามช่วงเวลาที่นำมาพิจารณาต้องทำการถ่วงน้ำหนักกับค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์ อุณหภูมิแผงเซลล์เฉลี่ยตามช่วงเวลาที่ถ่วงน้ำหนักกับค่าความเข้มแสง (weighted temperature of PV module: T_{WA}) แสดงดังสมการที่ 19 (Otani, 2008)

$$T_{WA} = \frac{\sum_{i=1}^N Irr_i \cdot T}{\sum_{i=1}^N Irr_i} \quad (19)$$

เมื่อ Irr_i คือ ค่าความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (incident irradiance) (W/m^2)

T คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}C$)

การหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ของสมการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

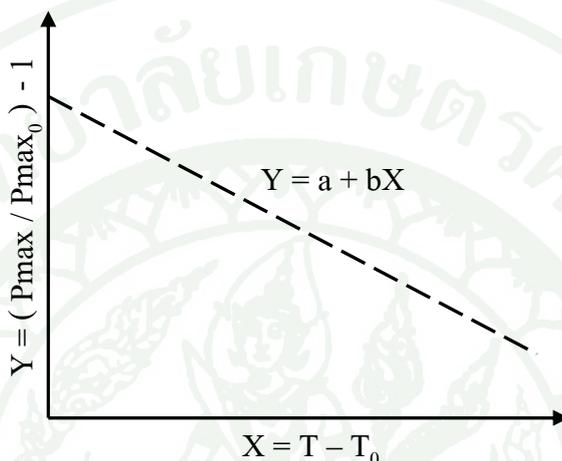
การศึกษาประสิทธิภาพโดยใช้สมการคณิตศาสตร์คำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็นฟังก์ชันของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ จำเป็นจะต้องทราบค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ของสมการที่มีค่าถูกต้องเพื่อการทำนายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีความแม่นยำ ซึ่งการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์สำหรับสภาวะการใช้งานจริงนั้น จะต้องหาจากการทำ Curve fitting ผลการทดลองที่สภาวะการใช้งานจริงภายนอกอาคาร

ดังนั้นจากสมการที่ 14 ค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ γ ของสมการสามารถหาได้โดยกำหนด

$$พจน์ \ln\left(\frac{Irr}{Irr_0}\right) = 0$$

$$\gamma = \frac{(P_{\max} / P_{\max_0}) - 1}{T - T_0} \quad (20)$$

กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $((P_{\max} / P_{\max_0}) - 1)$ เทียบกับ $T - T_0$ แสดงดังภาพที่ 19 (Radziemska, 2003)



ภาพที่ 19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $[(P_{\max} / P_{\max_0}) - 1]$ กับ $(T - T_0)$

จากความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง $((P_{\max} / P_{\max_0}) - 1)$ กับ $T - T_0$ ดังภาพที่ 19 สามารถประมาณค่าความสัมพันธ์ได้โดยสมการ

$$Y = a + bX \quad (21)$$

$$\gamma = \frac{Y}{X} = \frac{(P_{\max} / P_{\max_0}) - 1}{T - T_0} \quad (22)$$

$$\gamma \approx \frac{a + b(T - T_0)}{(T - T_0)} \quad (23)$$

$$\gamma \approx \frac{a}{T_{\text{avg}} @ Irr_0 - 25} + b \quad (24)$$

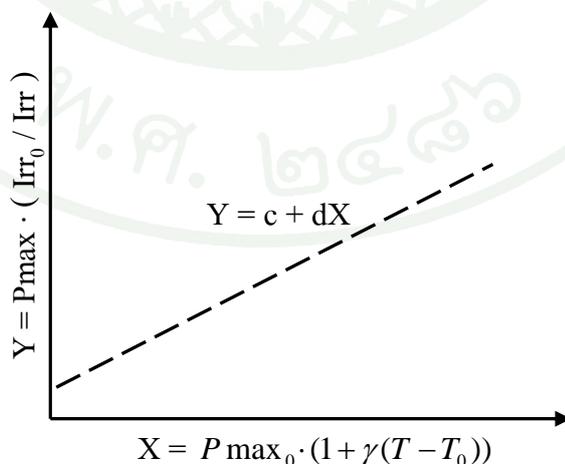
- เมื่อ a คือ จุดตัดแกนตั้ง
- b คือ ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $(P_{max} / P_{max_0}) - 1$ และแกน $T - T_0$

$T_{avg@Irr_0}$ คือ ค่าอุณหภูมิแผงเซลล์เฉลี่ยที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 ภายใต้การใช้นานนออากาศ

การหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเทียบกับความเข้มแสงที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิแผงเซลล์ ค่า $\delta(T)$ ของสมการที่ 14 สามารถหาได้จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของพจน์ย่อยในสมการ $\delta(T)$ จากการแก้สมการที่ 14 ซึ่งได้ค่าเท่ากับสมการที่ 25

$$\delta(T) = \frac{\left[\frac{P_{max} \cdot (Irr_0 / Irr)}{P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} \right] - 1}{\ln(Irr / Irr_0)} \tag{25}$$

เนื่องจากการหาค่า $\delta(T)$ โดยสมการที่ 25 หาได้จากค่าผลการทดลองซึ่งไม่สามารถพิจารณาค่าความสัมพันธ์ระหว่างเศษและส่วนของสมการได้โดยตรง ดังนั้นจึงพิจารณาความสัมพันธ์ของพจน์ย่อยในสมการที่ 25 คือพจน์ $\left[\frac{P_{max} \cdot (Irr_0 / Irr)}{P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} \right]$ โดยทำการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{max} \cdot (Irr_0 / Irr)$ และ $P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$ ดังภาพที่ 20 เพื่อประมาณค่ากลับลงในสมการที่ 25



ภาพที่ 20 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{max} \cdot (Irr_0 / Irr)$ กับ $P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$

จากภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่าง $P \max \cdot (Irr_0 / Irr)$ กับ $P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$ มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น ซึ่งสามารถประมาณค่าความสัมพันธ์ได้โดยสมการ

$$Y = c + dX \quad (26)$$

$$\left[\frac{P \max \cdot (Irr_0 / Irr)}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} \right] = \frac{Y}{X} \quad (27)$$

$$\left[\frac{P \max \cdot (Irr_0 / Irr)}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} \right] \approx \frac{c + d \cdot P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} \quad (28)$$

เมื่อ c คือ จุดตัดแกนตั้ง

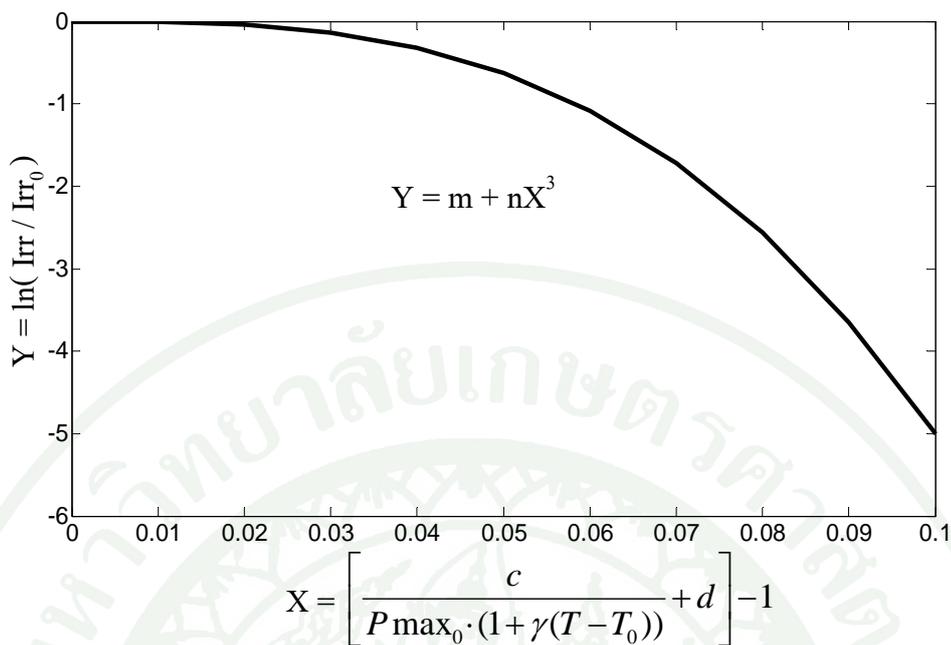
d คือ ความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $P \max \cdot (Irr_0 / Irr)$ และแกน $P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$

แทนค่าสมการที่ 28 ลงในสมการที่ 25 จะได้

$$\delta(T) = \frac{\left[\frac{c}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1}{\ln(Irr / Irr_0)} \quad (29)$$

จากสมการที่ 29 สามารถหาค่า $\delta(T)$ ได้จากความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(Irr / Irr_0)$ เทียบ

กับ $\left[\frac{c}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1$ ซึ่งมีผลความสัมพันธ์แสดงดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(Irr / Irr_0)$ กับ $\left[\frac{c}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1$

ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(Irr / Irr_0)$ กับ $\left[\frac{c}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1$ ดังแสดง
ในภาพที่ 21 มีความสัมพันธ์เป็นสมการกำลังสาม ซึ่งสามารถประมาณค่าความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Y = m + nX^3 \quad (30)$$

$$X = \sqrt[3]{\frac{Y - m}{n}} \quad (31)$$

$$\frac{\left[\frac{c}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1}{\ln(Irr / Irr_0)} = \frac{X}{Y} \quad (32)$$

$$\frac{\left[\frac{c}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1}{\ln(Irr / Irr_0)} \approx \frac{\sqrt[3]{\frac{Y - m}{n}}}{Y} \quad (33)$$

$$\frac{\left[\frac{c}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1}{\ln(Irr / Irr_0)} \approx \frac{\sqrt[3]{\frac{\ln(Irr / Irr_0) - m}{n}}}{\ln(Irr / Irr_0)} \quad (34)$$

จะได้

$$\delta(T) \approx \frac{\sqrt[3]{\frac{\ln(Irr / Irr_0) - m}{n}}}{\ln(Irr / Irr_0)} \quad (35)$$

เมื่อ m คือ จุดตัดแกนตั้ง

n คือ สัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์สมการกำลังสามระหว่างแกนตั้ง $\ln(Irr / Irr_0)$

และแกนนอน $\left[\left[\frac{c}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1 \right]$

การวิเคราะห์ความถูกต้องของค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การวิเคราะห์ความถูกต้องของค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ของสมการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดจากค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ที่คำนวณจากผลการทดสอบจริง โดยอาศัยสมการที่ 20 – 35 และเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้จริง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ.2549 บริเวณหน้า Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์หาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ของสมการ เพื่อคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในปี พ.ศ.2550 บริเวณหน้า Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ และปี พ.ศ.2551 – พ.ศ.2552 ที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) เปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จริง และหาค่าความคลาดเคลื่อนของการคำนวณเป็น RMSE (root mean square error)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_{Ti} - P_{oi})^2}{N}} \quad (36)$$

เมื่อ P_{Ti} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากการคำนวณโดยสมการคำนวณค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ที่นำเสนอ

P_{oi} คือ ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้จริงจากสภาวะนอกอาคาร ณ เวลาใด ๆ

- N คือ จำนวนข้อมูลกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้เปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนกัน
i คือ จำนวนเต็มใดๆ



ผลและวิจารณ์

ผล

ผลการดำเนินงานในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ 1) การวัดและเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนจากผลการศึกษาทั้งสองสถานที่ คือ ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2549 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2550 ที่บริเวณหน้า Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย และระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 ที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) และ 2) การศึกษาและหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ของสมการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็นฟังก์ชันของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนที่ใช้ในงานในประเทศไทย

ผลการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์

ผลการทดลองในส่วนที่ 1 จะวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดซึ่งประกอบด้วย

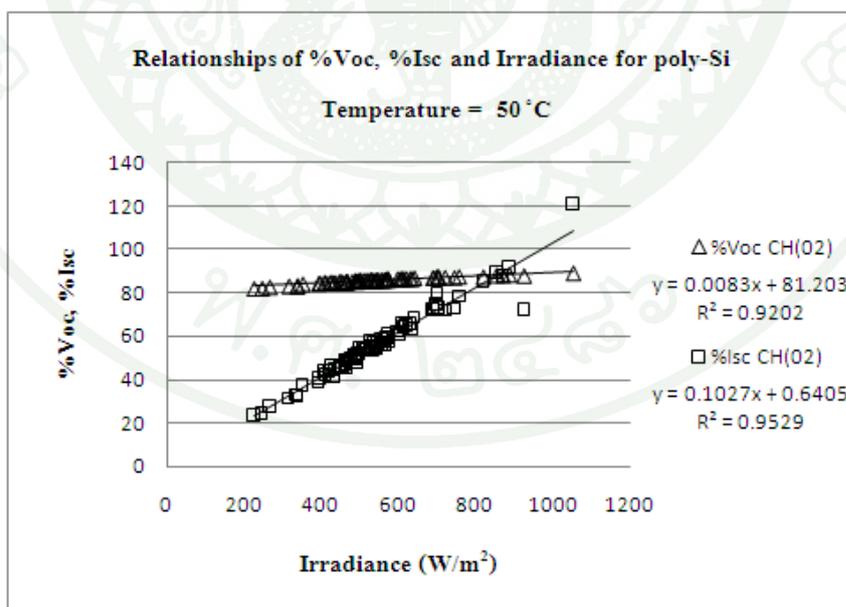
- 1) ค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (IV Curve)
- 2) ค่าการวัดด้านอุณหภูมิ

อิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ต่อปริมาณทางไฟฟ้า

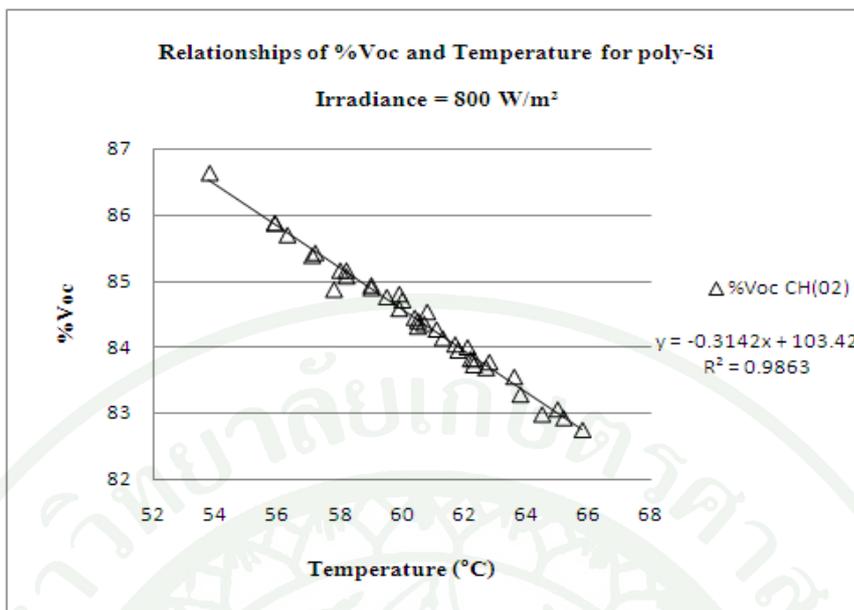
การวิเคราะห์ข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดได้จากการใช้งานจริงภายนอกอาคาร โดยใช้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc}) และค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) จำเป็นจะต้องนำค่าที่วัดได้เหล่านั้นมาทำการปรับเทียบคุณสมบัติด้วยค่าในมาตรฐานเดียวกัน งานวิจัยนี้เลือกใช้ค่ามาตรฐานที่ระบุในป้ายบอกคุณสมบัติแผงเซลล์ (Nameplate) ที่ติดบริเวณหลังแผงเซลล์โดยบริษัทผู้ผลิตมาเป็นเกณฑ์มาตรฐานปรับเทียบ ซึ่งเป็นค่าที่ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน STC และใช้ในการอ้างอิงคุณสมบัติของแผงเซลล์ในเชิงพาณิชย์ เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบคุณสมบัติของแผงเซลล์ต่างชนิดกันบนฐานการเปรียบเทียบเดียวกันได้ โดยนำค่าที่วัด

ได้จริงจากการใช้งานนอกอาคารมาหาค่าที่วัดภายใต้สภาวะมาตรฐาน STC และทำการปรับเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังสมการที่ 15-17

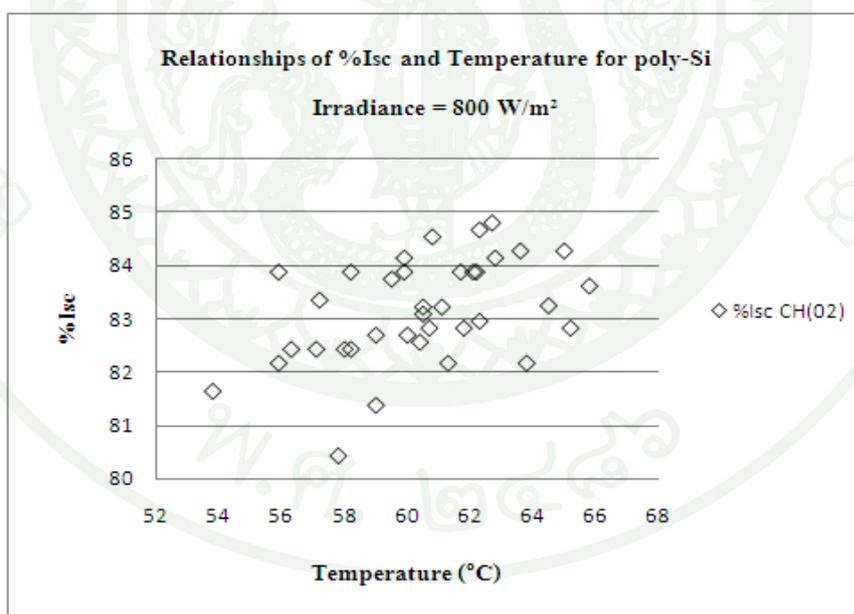
โดยค่า V_{oc} และ I_{sc} ที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ (Irradiance) และค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์ (Module Temperature) ดังนั้นการศึกษاثิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ต่อค่า V_{oc} และ I_{sc} ของแผงเซลล์แต่ละชนิดบนฐานเดียวกัน จึงทำการศึกษาความสัมพันธ์ของ % V_{oc} และ % I_{sc} กับค่าความเข้มแสง และความสัมพันธ์ของ % V_{oc} และ % I_{sc} กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ ซึ่งกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง % V_{oc} และ % I_{sc} กับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ และค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ กรณีทดสอบประสิทธิภาพภายนอกอาคารตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2549 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2550 ที่บริเวณหน้า Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ แสดงในภาพที่ 22 – 27 ทั้งนี้ภาพที่ 22 – 24 เป็นความสัมพันธ์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน และภาพที่ 25 – 27 เป็นความสัมพันธ์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน ซึ่งภาพที่ 22 และ 25 คือความสัมพันธ์ของ % V_{oc} และ % I_{sc} กับค่าความเข้มแสง เมื่อกำหนดให้อุณหภูมิแผงเซลล์คงที่เท่ากับ 50°C และภาพที่ 23, 24, 26 และ 27 คือความสัมพันธ์ของ % V_{oc} และ % I_{sc} กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ เมื่อกำหนดให้ความเข้มแสงคงที่เท่ากับ 800 W/m^2



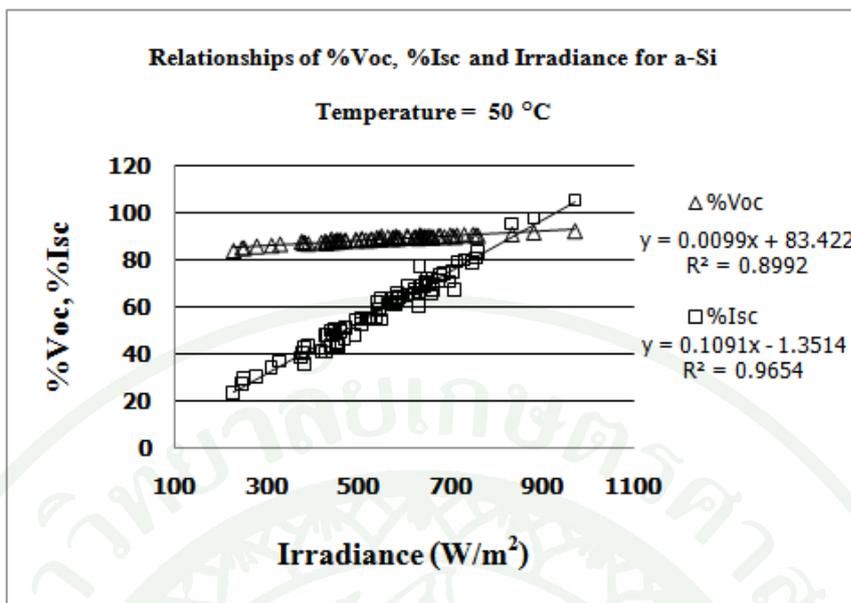
ภาพที่ 22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า % V_{oc} และ % I_{sc} กับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน เมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์คงที่เท่ากับ 50°C



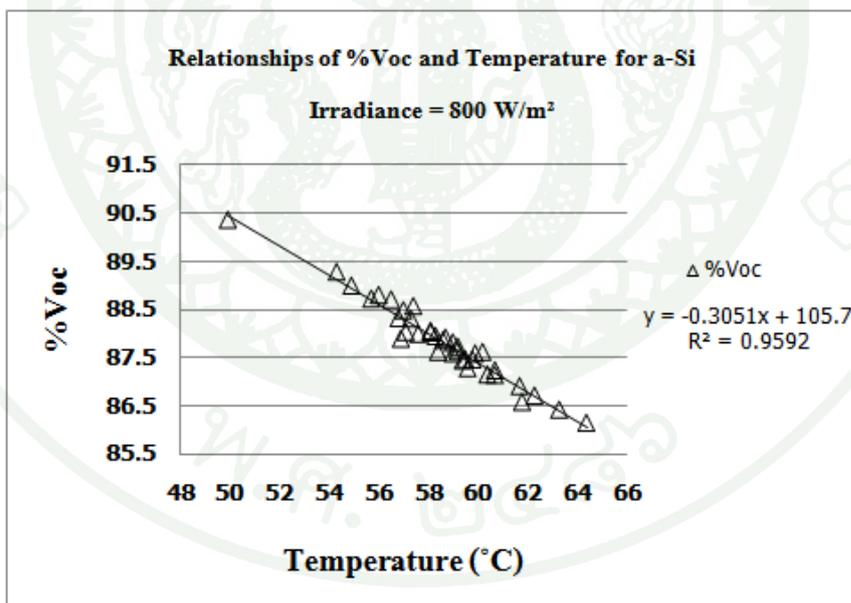
ภาพที่ 23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Voc กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ชนิดผลึก โพลีซิลิกอน เมื่อความเข้มแสงคงที่เท่ากับ 800 W/m²



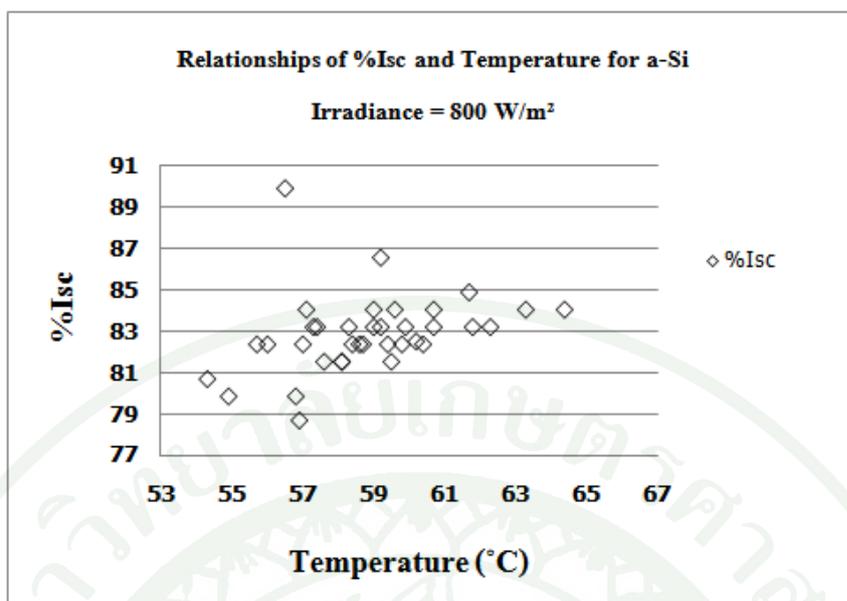
ภาพที่ 24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Isc กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ชนิดผลึก โพลีซิลิกอน เมื่อความเข้มแสงคงที่เท่ากับ 800 W/m²



ภาพที่ 25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Voc และ %Isc กับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอน เมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์คงที่เท่ากับ 50 °C



ภาพที่ 26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Voc กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอน เมื่อความเข้มแสงคงที่เท่ากับ 800 W/m²



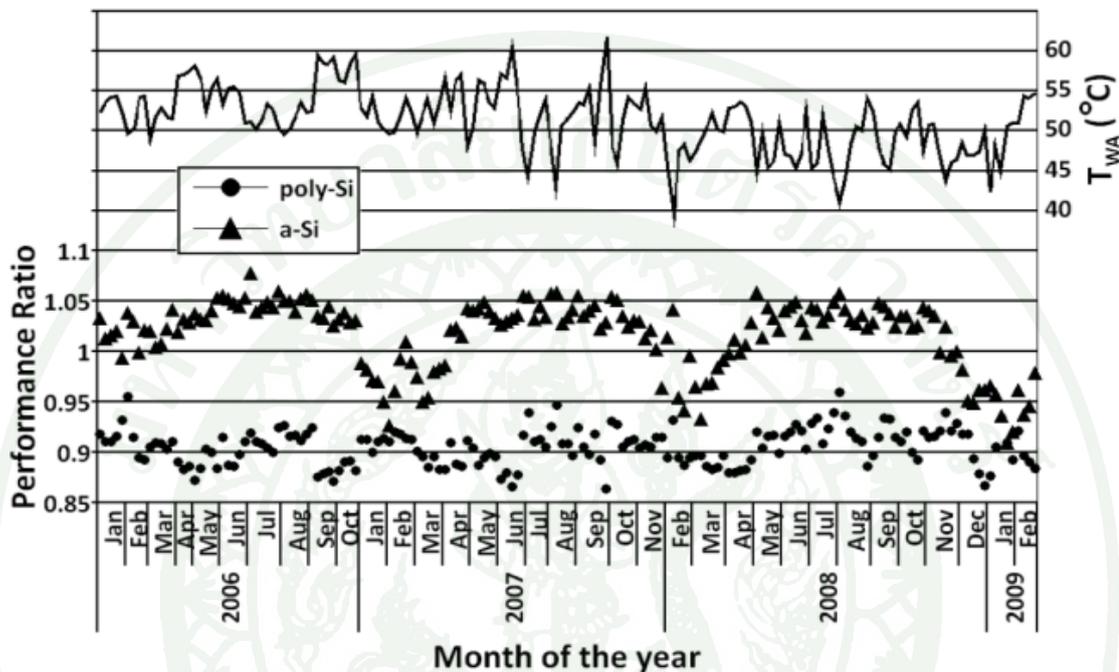
ภาพที่ 27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า %Isc กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน เมื่อความเข้มแสงคงที่เท่ากับ 800 W/m²

จากภาพที่ 22 - 27 พบว่าทั้งกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนมีความสัมพันธ์ตรงกัน กล่าวคือความสัมพันธ์ของค่า %Voc และ %Isc กับค่าความเข้มแสงภายใต้การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์นอกอาคารมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น และความสัมพันธ์ของค่า %Voc และ %Isc กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์นั้น มีเพียงค่า %Voc ที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ โดยค่า Isc แปรผันตามความเข้มแสง และค่า Voc เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า Voc ลดลงแบบแปรผกผันกับอุณหภูมิ แต่ค่า Isc เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Skoplaki, 2008) โดยการศึกษาภายนอกอาคารนี้ไม่สามารถระบุได้ว่ามี Isc มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับอุณหภูมิ

สมรรถนะนอกอาคารของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน (poly c-Si) และฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si) ภายใต้การใช้งานนอกอาคารตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2550 ที่บริเวณหน้า Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย และเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2551 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 ที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) พิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือนของสัดส่วนประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของ

แผงเซลล์ (performance ratio: PR) หรือสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลาระหว่าง 8.30 น. ถึง 16.00 น. ของทุกวัน แสดงดังภาพที่ 28 ซึ่งไม่ได้แสดงข้อมูลในเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2549 และธันวาคม พ.ศ.2549

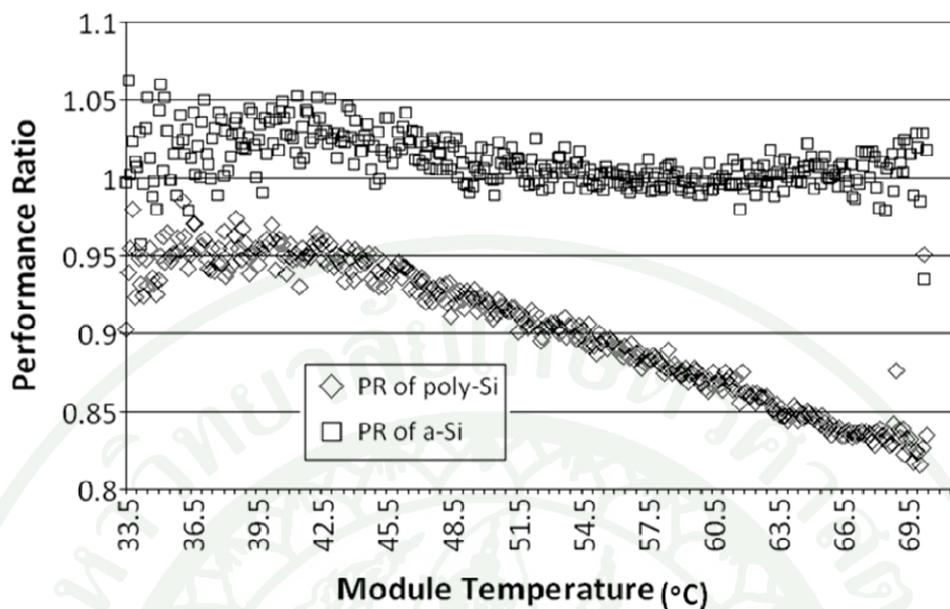


ภาพที่ 28 สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si และชนิด a-Si และอุณหภูมิแผงเซลล์ ถ่วงน้ำหนัก (T_{WA} , °C) ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2549 – เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2552

สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si และ a-Si เปรียบเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์ที่เป็นฟังก์ชันของความเข้มแสงแสดงดังภาพที่ 29 และความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงกับอุณหภูมิแผงเซลล์แสดงดังภาพที่ 30

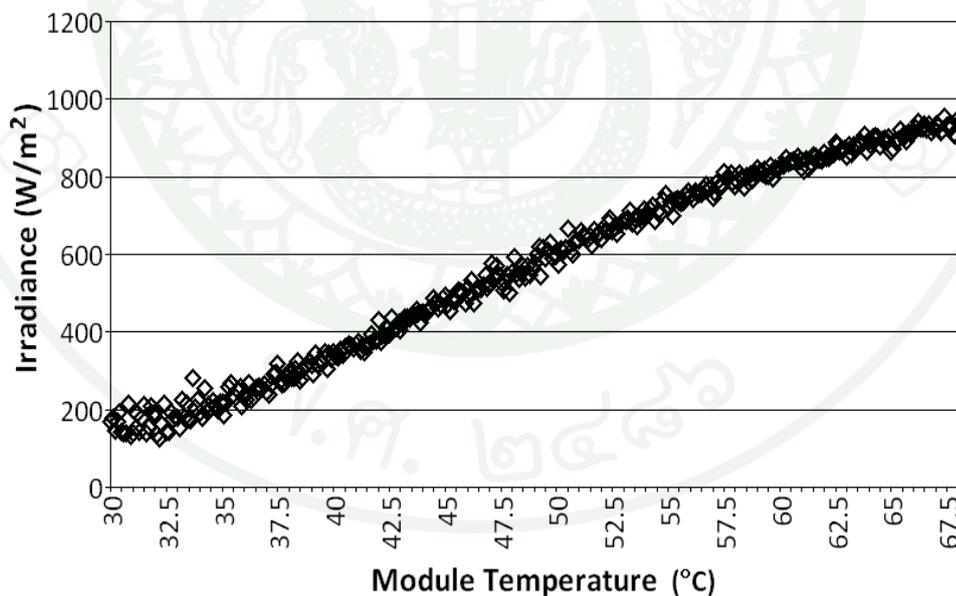
นอกจากนี้ผลการทดสอบสมรรถนะนอกอาคารของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การเสื่อมคุณภาพการใช้งานในกรณีของ a-Si และ poly c-Si แสดงดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2 ตามลำดับ

Relationships of Performance Ratio and Module Temperature



ภาพที่ 29 สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si และ a-Si เทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์

Relationships of Irradiance and Module Temperature



ภาพที่ 30 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง
อะมอร์ฟัสซิลิกอน

ช่วงเวลา	ค่า PR	% ความแตกต่างของค่า PR
มกราคม – มีนาคม 2549	1.02	} ลดลง 4%
มกราคม – มีนาคม 2550	0.97	
มิถุนายน – กันยายน 2549	1.04	} ลดลง 0.5%
มิถุนายน – กันยายน 2550	1.03	
กุมภาพันธ์ 2551	0.97	} ลดลง 2%
กุมภาพันธ์ 2552	0.95	

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลี
ซิลิกอน

ช่วงเวลา	ค่า PR	% ความแตกต่างของค่า PR
มกราคม – มีนาคม 2549	0.91	} ลดลง 1.1%
มกราคม – มีนาคม 2550	0.90	
มิถุนายน – กันยายน 2549	0.90	} ลดลง 0%
มิถุนายน – กันยายน 2550	0.90	
กุมภาพันธ์ 2551	0.90	} ลดลง 0%
กุมภาพันธ์ 2552	0.90	

จากภาพที่ 28 และตารางที่ 1 สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีลักษณะไม่เปลี่ยนแปลงมากนักจากเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พ.ศ.2549 มีค่า PR โดยเฉลี่ย 1.02 โดยในช่วงฤดูร้อนของประเทศไทยสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของ a-Si เพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดในช่วงฤดูฝนระหว่างเดือนมิถุนายนถึงเดือนกันยายน โดยมีค่า PR เฉลี่ย 1.04 ทั้งนี้ในช่วงฤดูหนาวสมรรถนะการผลิตไฟฟ้ามีค่าลดลง (ในช่วงเดือนตุลาคมถึงเดือนมีนาคม) โดยมีค่า PR ลดลงต่ำสุดประมาณ 0.97 หรือ 7.0% เมื่อเทียบกับในช่วงฤดูฝน และหลังจากที่ได้รับแสงอาทิตย์ผ่านไป 1 ปี (พ.ศ.2549 – พ.ศ.2550) สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของ a-Si ลดลงเฉลี่ย 4% เทียบจากช่วงเดือนเดียวกันในช่วงฤดูหนาวหรือในช่วง 3 เดือนแรกของการเริ่มต้นใช้งาน นอกจากนี้สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของ a-Si ลดลงเฉลี่ย 0.5% ในช่วงฤดูร้อนถึงฤดูฝนของปี พ.ศ.2550 เทียบกับช่วงเดียวกัน

ในปี พ.ศ.2549 และเมื่อย้ายสถานที่ติดตั้งแผงเซลล์ไปศึกษาในสถานที่ใหม่ พบว่าสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าก็ลดลงเช่นกัน โดยพิจารณาจากอุณหภูมิเดือนกุมภาพันธ์ ในปี พ.ศ.2552 ค่า PR ลดลงเฉลี่ย 2% เทียบกับช่วงเดียวกันในปี พ.ศ.2551 แม้ว่าในช่วงปี พ.ศ.2551 - พ.ศ.2552 อุณหภูมิแผงเซลล์โดยเฉลี่ยต่ำกว่าปี พ.ศ.2549 - พ.ศ.2550 แต่จากภาพที่ 28 และภาพที่ 29 ไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์ว่ามีผลต่อค่า PR ของแผงเซลล์ชนิด a-Si ได้จากผลการศึกษาครั้งนี้ อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษาทั้งสองสถานที่ที่จะเห็นได้ว่า a-Si ให้ค่า PR เป็นลักษณะเฉพาะคือมีค่าสูงในช่วงระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนพฤศจิกายน แต่มีค่าลดต่ำลงในช่วงระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม

กรณีของ poly c-Si มีความแตกต่างไปจากกรณีของ a-Si ค่า PR ของ poly c-Si แปรผกผันกับอุณหภูมิแผงเซลล์ ดังในภาพที่ 28 และภาพที่ 29 สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิแผงเซลล์ นอกจากนี้จากตารางที่ 2 อาจประมาณได้ว่าไม่มีการเสื่อมคุณภาพของแผงเซลล์ แม้ได้อยู่ภายใต้รังสีแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 3 ปี โดยค่า PR ตลอดทั้งปีมีค่าเฉลี่ย 0.90

แม้ว่า a-Si จะมีแนวโน้มเสื่อมคุณภาพลง แต่จากการศึกษาพบว่าสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของ a-Si โดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าที่สภาวะมาตรฐาน STC และสูงกว่าสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของ poly c-Si โดยจากผลการศึกษาในปี พ.ศ.2549 (มกราคม – ตุลาคม) a-Si มีค่า PR เฉลี่ย 103.1% เมื่อเทียบกับค่าที่ STC และลดลงในปี พ.ศ.2550 (มกราคม – ตุลาคม) ที่มีค่า PR เฉลี่ย 100.9% เมื่อเทียบกับค่าที่ STC ซึ่งจะเห็นว่ามีความสูงกว่ากรณีของ poly c-Si ที่มีค่า PR เฉลี่ย 90% ในช่วงเวลาเดียวกันทั้งสองปี นอกจากนี้ในปี พ.ศ.2551 (กุมภาพันธ์ – ธันวาคม) ซึ่งได้เปลี่ยนสถานที่ติดตั้งแผงค่า PR เฉลี่ยของ a-Si มีค่า 100.9% ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าที่สภาวะมาตรฐาน STC และค่า PR ของ poly c-Si ที่มีค่าเฉลี่ย 90%

จากการศึกษาผลของความเข้มแสงต่ออุณหภูมิแผงเซลล์พบว่าสัมพันธ์กันแบบเชิงเส้น ดังภาพที่ 30 ดังนั้นอุณหภูมิแผงเซลล์ที่สูงขึ้นของภาพที่ 28 จึงเกิดจากความเข้มแสงที่เพิ่มขึ้น การใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภายนอกอาคารจึงได้รับผลกระทบของอุณหภูมิแผงเซลล์ที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสง ซึ่งในการศึกษาภายนอกอาคารผลกระทบทั้งความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์จึงส่งผลต่อสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของ a-Si และ poly c-Si ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ผลการศึกษาแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์สมการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์ที่ใช้งานนอกอาคาร

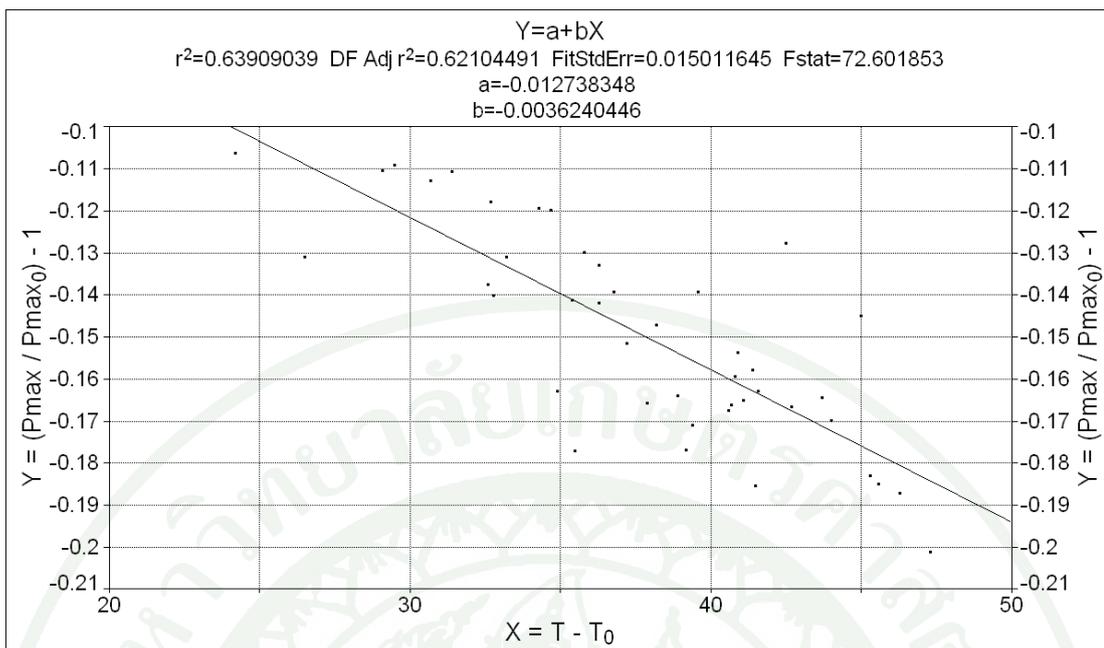
ผลการทดลองในส่วนที่ 2 การศึกษาค่าแฟกเตอร์ผลกระทบของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนที่ใช้งานในประเทศไทย ในที่นี้จะพิจารณาแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $(\gamma, \delta(T))$ ที่เป็นตัวกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pmax) ของสมการที่ 14 โดยหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์จากข้อมูลปี พ.ศ.2549 บริเวณหน้า Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย เพื่อใช้คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในปี พ.ศ.2550 บริเวณหน้า Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย และใช้คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในปี พ.ศ.2551 – พ.ศ.2552 ที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) เปรียบเทียบกับค่าจริง ทั้งนี้อาศัยการหาค่าสัมประสิทธิ์ $(\gamma, \delta(T))$ ที่เสนอแสดงในสมการที่ 20 - 35

1. แฟกเตอร์สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าสูงสุดเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์ (γ)

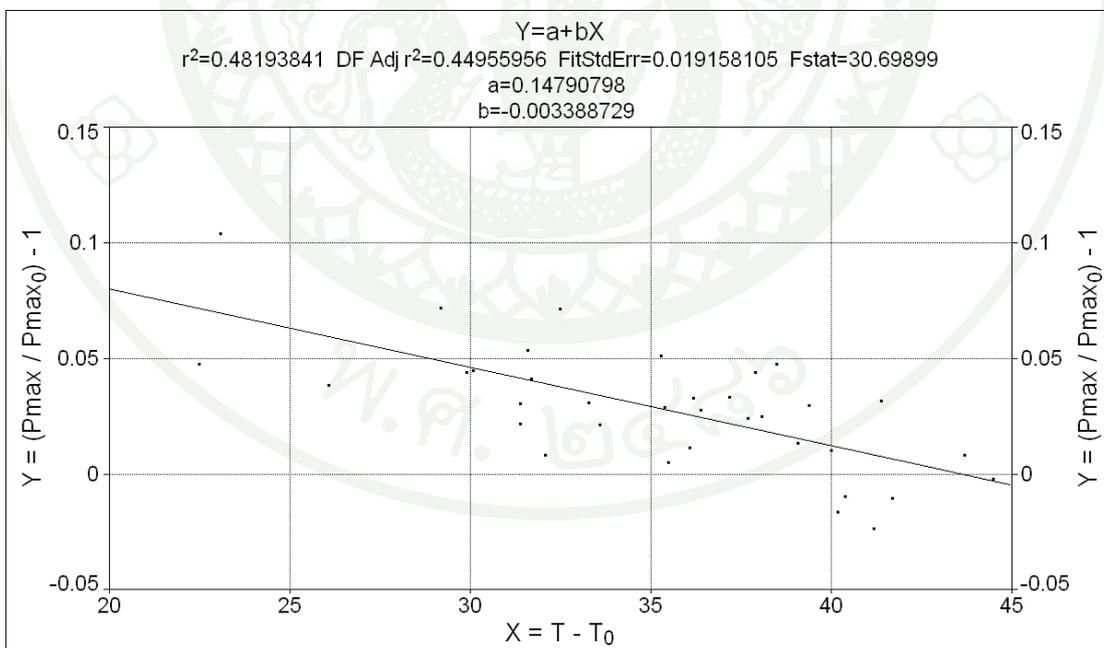
แฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ γ ของสมการที่ 14 หาได้เมื่อกำหนดพจน์ $\ln\left(\frac{Irr}{Irr_0}\right) = 0$ โดยมีความสัมพันธ์คือ

$$\gamma = \frac{(P_{max}/P_{max_0}) - 1}{T - T_0}$$

สมการประมาณค่าความสัมพันธ์ของข้อมูลจริงดังสมการที่ 21 – 24 ทำให้สามารถหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ γ ได้จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง $((P_{max}) / P_{max_0}) - 1$ และ $T - T_0$ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่าง $((P_{max}) / P_{max_0}) - 1$ และ $T - T_0$ จากข้อมูลวัดจริงนอกอาคารเพื่อใช้หาค่า γ ของสมการกำลังไฟฟ้าสูงสุดกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนแสดงดังภาพที่ 31 และสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนแสดงดังภาพที่ 32



ภาพที่ 31 ความสัมพันธ์ระหว่าง $(P_{max}) / P_{max_0} - 1$ และ $T - T_0$ สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ γ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน



ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ระหว่าง $(P_{max}) / P_{max_0} - 1$ และ $T - T_0$ สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ γ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน

ค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ γ ของสมการที่ 14 โดยการประมาณค่าจากสมการที่ 24 ของผลการทดสอบภายใต้สภาวะจริงนอกอาคาร เป็นดังนี้

$$\gamma \approx \frac{a}{T_{ave} @ Irr_0 - 25} + b$$

ค่า γ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน จากภาพที่ 31 เป็นดังนี้

$$\gamma_{poly-Si} \approx \frac{(-0.01274)}{62.7318 - 25} + (0.00362)$$

$$\gamma_{poly-Si} \approx -0.004 \quad (37)$$

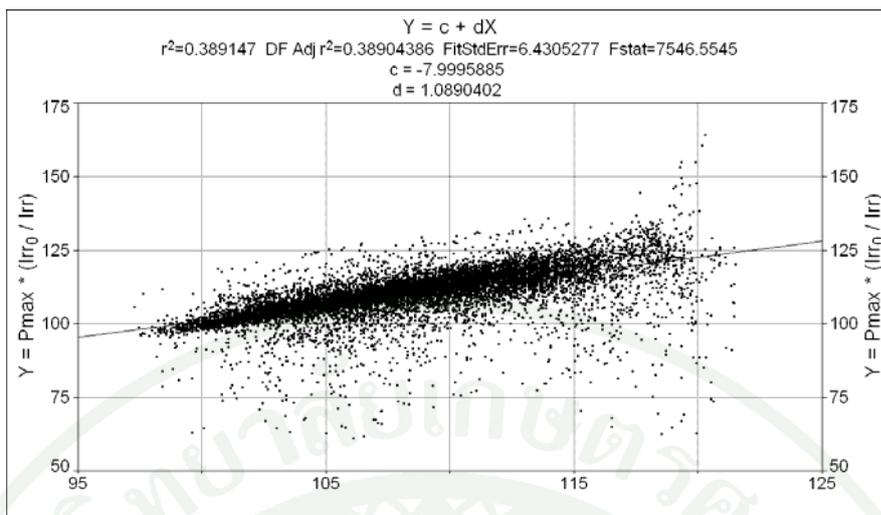
ค่า γ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน จากภาพที่ 32 เป็นดังนี้

$$\gamma_{a-Si} \approx \frac{(0.14790798)}{60.42051257 - 25} + (-0.00339)$$

$$\gamma_{a-Si} \approx -0.000787 \quad (38)$$

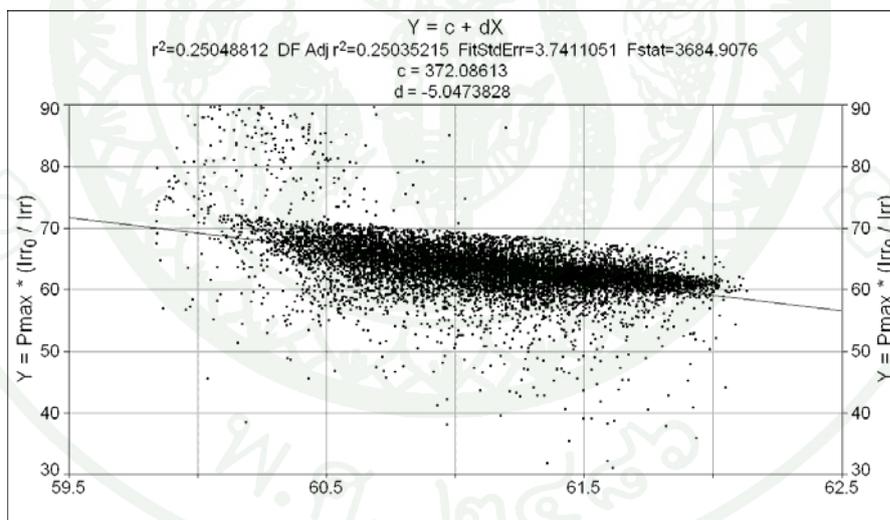
2. แฟกเตอร์สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าสูงสุดเทียบกับความเข้มแสงที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิแผงเซลล์ ($\delta(T)$)

การหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\delta(T)$ ของสมการที่ 14 หาได้เมื่อแก้สมการที่ 14 ซึ่งจะได้ดังสมการที่ 25 จากนั้นหาความสัมพันธ์ของพจน์ย่อย คือ พจน์ $\left[\frac{P_{max} \cdot (Irr_0 / Irr)}{P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} \right]$ ในสมการ ซึ่งก็คือความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{max} \cdot (Irr_0 / Irr)$ และ $P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$ จากข้อมูลวัดจริงนอกอาคาร เพื่อประมาณค่าความสัมพันธ์กลับลงในสมการที่ 25 โดยผลการหาความสัมพันธ์ระหว่างแกนตั้ง $P_{max} \cdot (Irr_0 / Irr)$ และแกนนอน $P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$ เพื่อใช้หาค่า $\delta(T)$ ของสมการกำลังไฟฟ้าสูงสุดกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนแสดงดังภาพที่ 33 และสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนแสดงดังภาพที่ 34



$$X = P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$$

ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{max} \cdot (Irr_0 / Irr)$ และ $P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$ สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\delta(T)$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน



$$X = P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$$

ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{max} \cdot (Irr_0 / Irr)$ และ $P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))$ สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\delta(T)$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน

ค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\delta(T)$ ของสมการที่ 14 โดยการประมาณค่าจากสมการที่ 28 ของผลการทดสอบภายใต้สภาวะจริงนอกอาคาร เป็นดังนี้

$$\left[\frac{P \max \cdot (Irr_0 / Irr)}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} \right] \approx \frac{c + d \cdot P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))}$$

ค่า $\left[\frac{P \max \cdot (Irr_0 / Irr)}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} \right]$ ของแสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน จากภาพที่ 33 เป็นดังนี้

$$\left[\frac{P \max \cdot (Irr_0 / Irr)}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} \right]_{poly-Si} \approx \frac{(-7.9995885)}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + (1.0890402) \quad (39)$$

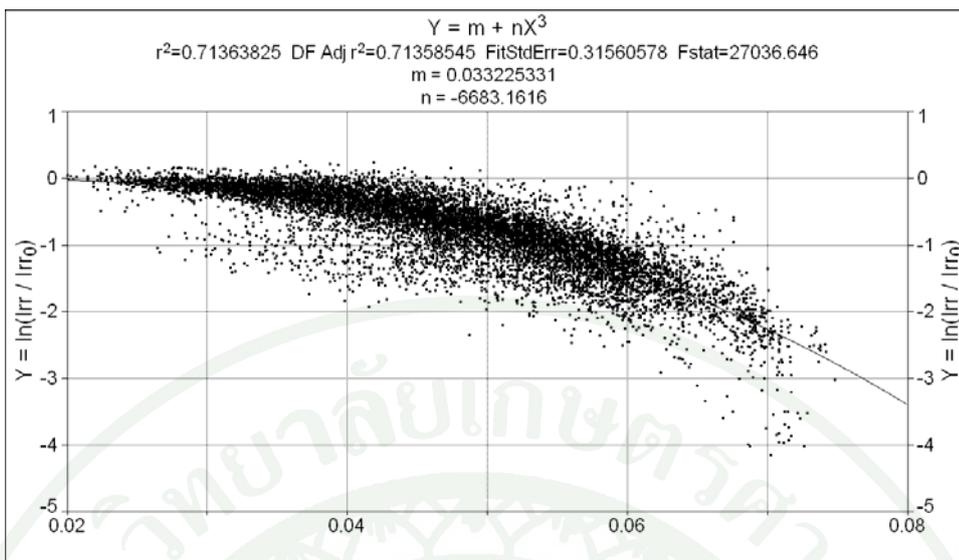
$$\delta(T)_{poly-Si} = \frac{\left[\frac{(-7.9995885)}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + (1.0890402) \right] - 1}{\ln(Irr / Irr_0)} \quad (40)$$

ค่า $\left[\frac{P \max \cdot (Irr_0 / Irr)}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} \right]$ ของแสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน จากภาพที่ 34 เป็นดังนี้

$$\left[\frac{P \max \cdot (Irr_0 / Irr)}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} \right]_{a-Si} \approx \frac{(372.08613)}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + (-5.0473828) \quad (41)$$

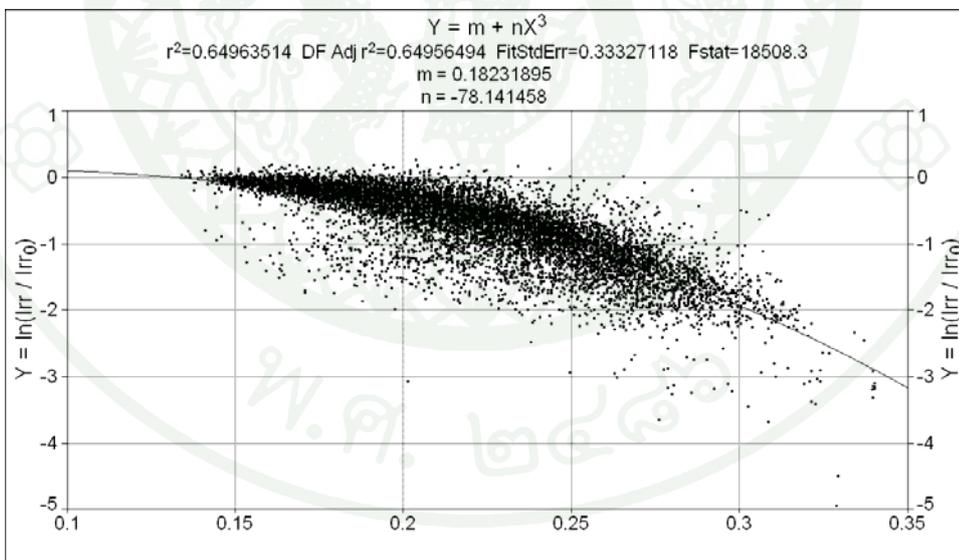
$$\delta(T)_{a-Si} = \frac{\left[\frac{(372.08613)}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + (-5.0473828) \right] - 1}{\ln(Irr / Irr_0)} \quad (42)$$

จากสมการที่ 29 สามารถหาค่า $\delta(T)$ ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแกนตั้ง $\ln(Irr / Irr_0)$ เทียบกับแกนนอน $\left[\frac{c}{P \max_0 \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1$ ของข้อมูลวัดจริงภายนอกอาคาร ซึ่งความสัมพันธ์ในกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนแสดงดังภาพที่ 35 และกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนแสดงดังภาพที่ 36



$$X = \left[\frac{c}{P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1$$

ภาพที่ 35 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(Irr / Irr_0)$ และ $\left[\frac{c}{P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1$ สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\delta(T)$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน



$$X = \left[\frac{c}{P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1$$

ภาพที่ 36 ความสัมพันธ์ระหว่าง $\ln(Irr / Irr_0)$ และ $\left[\frac{c}{P_{max_0} \cdot (1 + \gamma(T - T_0))} + d \right] - 1$ สำหรับการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\delta(T)$ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน

ค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ $\delta(T)$ ของสมการที่ 14 โดยการประมาณค่าจากสมการที่ 35 ของผลการทดสอบภายใต้สภาวะจริงนอกอาคาร เป็นดังนี้

$$\delta(T) \approx \frac{\sqrt[3]{\frac{\ln(Irr / Irr_0) - m}{n}}}{\ln(Irr / Irr_0)}$$

ค่า $\delta(T)$ ของแสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน จากภาพที่ 35 เป็นดังนี้

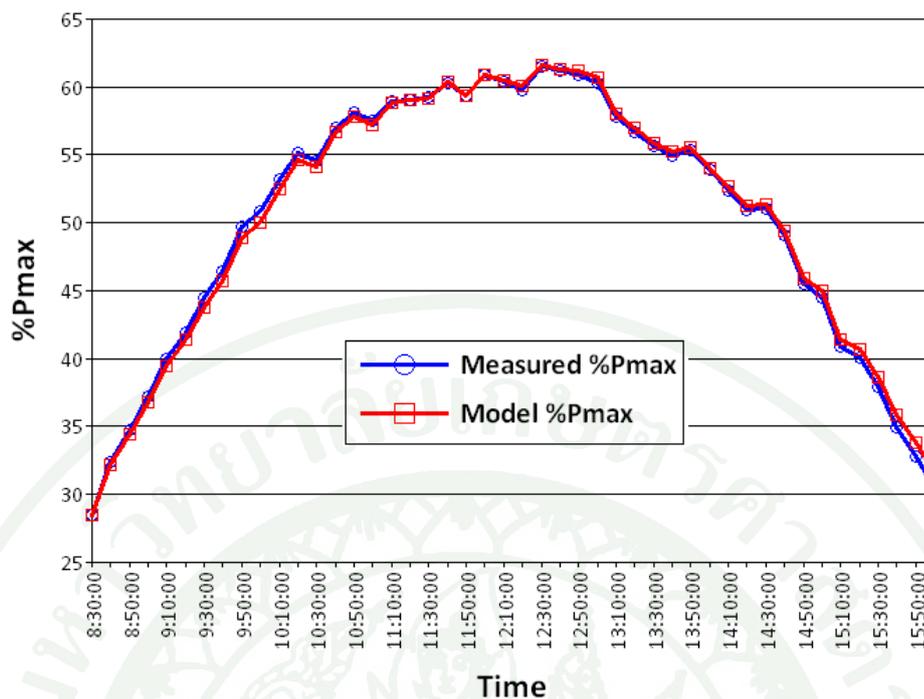
$$\delta(T)_{poly-Si} \approx \frac{\sqrt[3]{\frac{\ln(Irr / Irr_0) - (0.12819361)}{(-245857.59)}}}{\ln(Irr / Irr_0)} \quad (43)$$

ค่า $\delta(T)$ ของแสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน จากภาพที่ 36 เป็นดังนี้

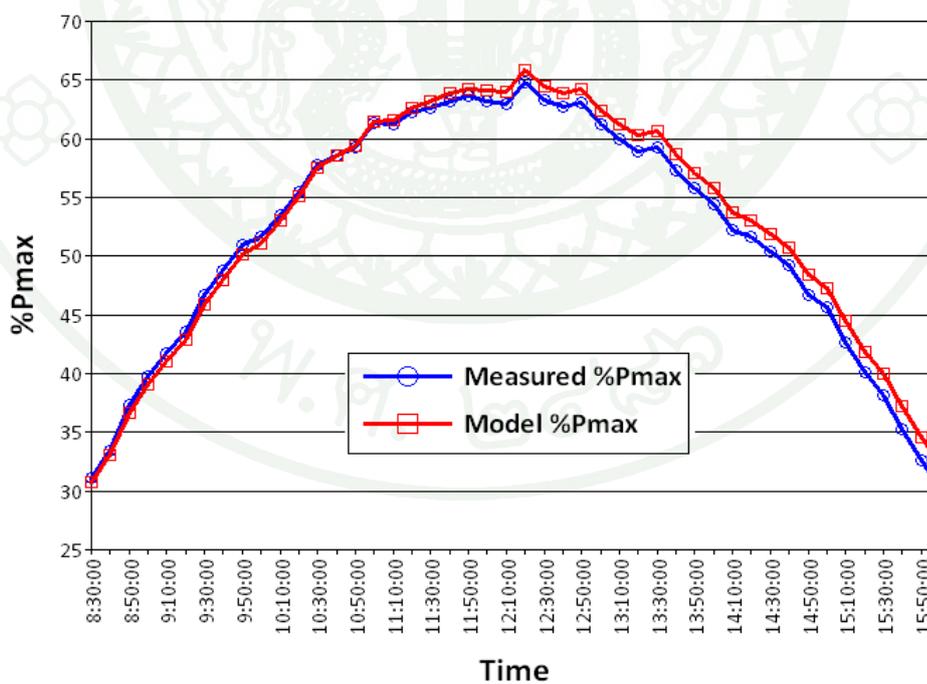
$$\delta(T)_{a-Si} \approx \frac{\sqrt[3]{\frac{\ln(Irr / Irr_0) - (0.10054934)}{(-76.025323)}}}{\ln(Irr / Irr_0)} \quad (44)$$

การทดสอบความถูกต้องของค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์จากการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุด

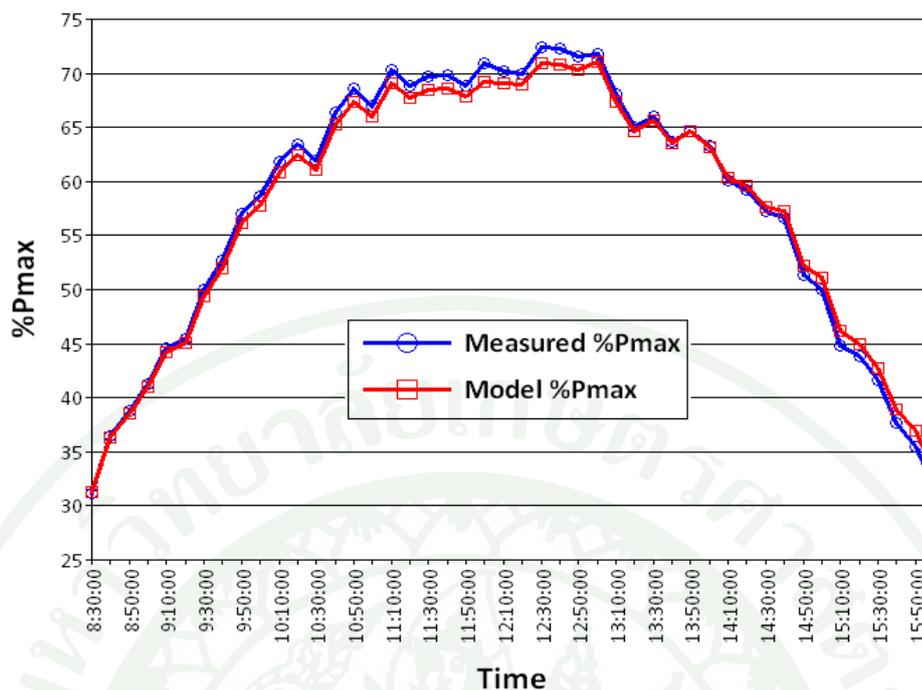
การทดสอบความถูกต้องของค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์จากการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดของสมการที่ 14 โดยการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ตามสมการที่ 20 - 35 จากข้อมูลปี พ.ศ.2549 ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์ตามสมการที่ 37 - 44 เพื่อคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบในปี พ.ศ.2550 บริเวณหน้า Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย (สถานที่เดิม) และปี พ.ศ.2551 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 ที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (เปลี่ยนสถานที่) เทียบกับผลการทดลองจริง แสดงดังภาพที่ 37 - 40 และแสดงค่าความคลาดเคลื่อน ดังตารางที่ 3 โดยภาพที่ 37 และ 38 แสดงการเปรียบเทียบ %Pmax ของแผงเซลล์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนจากการคำนวณโดยสมการที่นำเสนอเทียบกับค่าวัดจริงในปี พ.ศ.2550 ที่ NECTEC และปี พ.ศ.2551 - กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 ที่ PTEC ตามลำดับ สำหรับภาพที่ 39 และ 40 แสดงการเปรียบเทียบ %Pmax ของแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน



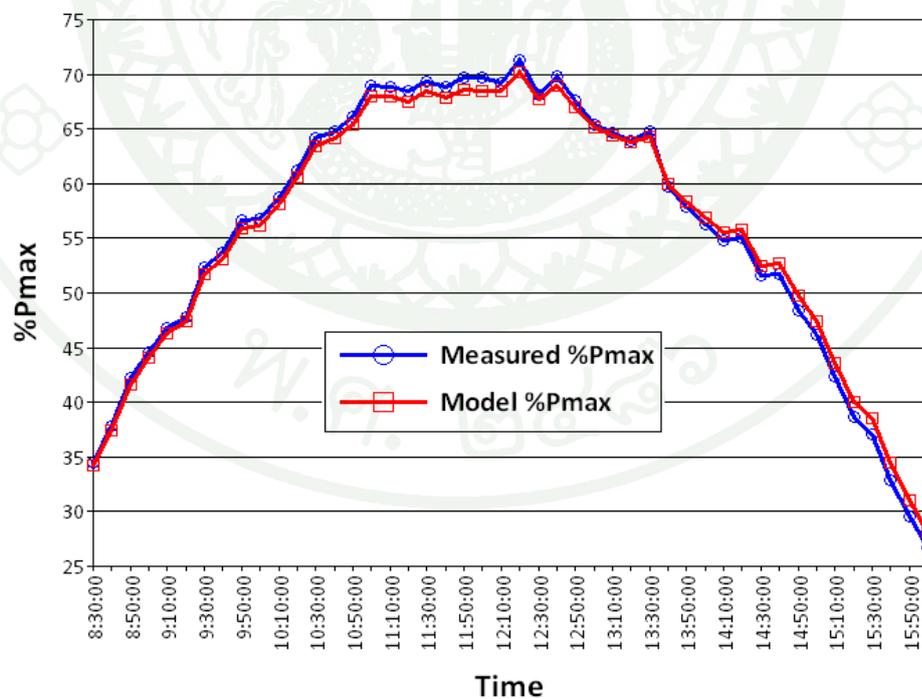
ภาพที่ 37 %Pmax ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนจากการคำนวณ โดยสมการที่นำเสนอเทียบกับค่าวัดจริง ปี พ.ศ.2550 (ที่ NECTEC)



ภาพที่ 38 %Pmax ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนจากการคำนวณ โดยสมการที่นำเสนอเทียบกับค่าวัดจริง ปี พ.ศ.2551 – กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 (ที่ PTEC)



ภาพที่ 39 %Pmax ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอนจากการคำนวณ โดยสมการที่นำเสนอเทียบกับค่าวัดจริง ปี พ.ศ.2550 (ที่ NECTEC)



ภาพที่ 40 %Pmax ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอนจากการคำนวณ โดยสมการที่นำเสนอเทียบกับค่าวัดจริง ปี พ.ศ.2551 – กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 (ที่ PTEC)

ตารางที่ 3 ความคลาดเคลื่อนของการคำนวณจากสมการที่นำเสนอ

ชนิดแผงเซลล์	RMSE ของการคำนวณโดยสมการที่นำเสนอ	
	พ.ศ.2550 ที่ NECTEC	พ.ศ.2551 – กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 ที่ PTEC
poly c-Si	0.47	1.16
a-Si	0.97	0.88

จากรูปที่ 37 - 40 และตารางที่ 3 การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ของสมการที่นำเสนอให้ความแม่นยำในกรณีของ poly c-Si ที่ใช้ข้อมูลสถานที่เดียวกันหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการเพื่อคำนวณค่าในปีถัดไป โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE (root mean square error) จากการศึกษาี้ประมาณ 0.47 เทียบกับค่าที่วัดจริง แต่เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์เดียวกันคำนวณค่า %Pmax ในสถานที่ใหม่มีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น โดยมีค่า RMSE ประมาณ 1.16 สำหรับกรณี a-Si การคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด พบว่ามีความคลาดเคลื่อน RMSE ในสถานที่เดียวกัน (ปี พ.ศ. 2550) ประมาณ 0.97 เมื่อเปลี่ยนสถานที่ (ปี พ.ศ.2551 - กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552) มีความคลาดเคลื่อน RMSE ประมาณ 0.88 ซึ่งมีค่าลดลง

วิจารณ์

ผลการศึกษาสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนไม่สามารถระบุความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์ว่ามีผลต่อค่า PR ของแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนได้อย่างชัดเจนจากผลการศึกษารั้งนี้ อย่างไรก็ตามพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนให้ค่า PR เป็นลักษณะเฉพาะคือ มีค่าสูงในช่วงระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนพฤศจิกายน แต่มีค่าลดต่ำลงในช่วงระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคมจากผลการศึกษาทั้งสองสถานที่ ซึ่งปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพแบบ PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนเปลี่ยนแปลงมากจากการศึกษานี้จึงนอกเหนือจากความเข้มแสงและอุณหภูมิ เช่น ผลของสเปกตรัมแสง (spectrum) (Otani, 2008) ทั้งนี้กรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนมีความแตกต่างไปจากกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน ค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนแปรผกผันกับอุณหภูมิแผงเซลล์ นอกจากนี้ประมาณได้ว่าไม่มีการเสื่อมคุณภาพของแผงเซลล์ แม้ได้อยู่ภายใต้รังสีแสงอาทิตย์เป็นระยะเวลา 3 ปี โดยค่า PR ตลอดทั้งปีมีค่าประมาณ 0.90

แม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนจะมีแนวโน้มเสื่อมคุณภาพลง แต่จากการศึกษาพบว่าสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนโดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าที่สภาวะมาตรฐาน STC และสูงกว่าสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน ทั้งนี้เพราะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์สูง แต่ในขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนเมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์สูงจะมีอัตราผลิตไฟฟ้าลดลง (Akhmad, 1997)

ความสัมพันธ์ของค่า V_{oc} และ I_{sc} กับค่าความเข้มแสงภายใต้การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์นอกอาคารมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น และความสัมพันธ์ของค่า V_{oc} และ I_{sc} กับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์นั้น มีเพียงค่า V_{oc} ที่มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นกับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์จากการศึกษานี้ โดยค่า I_{sc} แปรผันตามความเข้มแสง และค่า V_{oc} เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่า V_{oc} ลดลงแบบแปรผกผันกับอุณหภูมิ แต่ค่า I_{sc} เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น การศึกษาภายนอกอาคารนี้ไม่สามารถสรุปได้ว่า I_{sc} มีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นกับอุณหภูมิแผงเซลล์ ดังนั้นการหาสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลดลงจริงเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์ (α) เพื่อการคำนวณค่ากระแสไฟฟ้าจริงเปิดที่นำเสนอโดยสถาบัน National Renewable Energy Laboratory (NREL) จึงไม่เหมาะสมในการนำมาคำนวณค่า V_{oc} และ P_{max} จากการใช้งาน

แผงเซลล์ภายใต้สภาวะนอกอาคารในประเทศไทยของทั้งเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอนและผลึกโพลีซิลิกอนจากการศึกษา

การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยสมการการหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ที่นำเสนอให้ความแม่นยำในกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนที่ใช้ข้อมูลสถานที่ในเดียวกันหาค่าสัมประสิทธิ์เพื่อการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดในปีถัดไป โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE จากการศึกษาปีประมาณ 0.47 เทียบกับค่าที่วัดจริง แต่เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์นี้คำนวณค่า %Pmax ในสถานที่ใหม่ (PTEC) มีความคลาดเคลื่อนมากขึ้น โดยมีค่า RMSE ประมาณ 1.16 ซึ่งทั้งนี้เพราะความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิแผงเซลล์มีอิทธิพลต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนอย่างมาก โดยสถานที่ใหม่ที่ติดตั้งในปี พ.ศ.2551 – กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552 ณ PTEC อาจมีสภาวะอากาศแตกต่างจากสถานที่เดิม เช่น มีลมแรงส่งผลให้อุณหภูมิแผงเซลล์เฉลี่ยต่ำกว่าสถานที่เดิม

สำหรับกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอน การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุด พบว่ามีความคลาดเคลื่อน RMSE ในสถานที่เดียวกัน ณ NECTEC (ปี พ.ศ.2550) ประมาณ 0.97 เมื่อเปลี่ยนสถานที่เป็น PTEC (ปี พ.ศ.2551 – กุมภาพันธ์ พ.ศ.2552) มีความคลาดเคลื่อน RMSE ประมาณ 0.88 ซึ่งมีค่าลดลงแตกต่างจากกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟิซิลิกอนมีลักษณะเฉพาะซึ่งขึ้นอยู่กับสเปกตรัมแสงมากกว่าอุณหภูมิแผงเซลล์ (นิรันดร์, 2553) ซึ่งที่อาจมีค่าใกล้เคียงกันตามตำแหน่งที่ติดตั้งของทั้งสองสถานที่ จึงทำให้ความคลาดเคลื่อน RMSE เฉลี่ยในการคำนวณน้อยกว่า 1 ทั้งสองสถานที่ ทั้งนี้ในกรณีของ poly c-Si เมื่อต้องการสร้างสมการทำนายกำลังไฟฟ้าสูงสุดให้มีความแม่นยำ ณ บริเวณใด ๆ จำเป็นจะต้องนำผลของลักษณะภูมิอากาศที่สถาน ณ นั้น หาสัมประสิทธิ์ของสมการ

นอกจากนี้การทำนายกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ของสมการที่นำเสนอช่วยลดปัญหาการหาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดเทียบกับความเข้มแสงที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิแผงเซลล์ $\delta(T)$ ที่เสนอโดยสถาบัน NREL ที่ต้องหาค่าความชันของกราฟเป็นจำนวนมาก และลดปัญหาหาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์ α ซึ่งการทดลองภายนอกอาคารนี้ไม่เหมาะสมในการนำมาใช้หาความสัมพันธ์เพื่อการคำนวณปริมาณทางไฟฟ้า

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนจากผลการศึกษาสองสถานที่ คือ ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2549 ถึงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2550 ที่บริเวณหน้า Pilot Plant NECTEC อุทยานวิทยาศาสตร์ และระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 ที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) และหาค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ของสมการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็นฟังก์ชันของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ที่ผู้วิจัยประยุกต์และออกแบบเพื่อใช้คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนที่ใช้งานในประเทศไทย ซึ่งผลการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน พบว่าสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนมีลักษณะเฉพาะ คือ มีค่าสูงในช่วงระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนพฤศจิกายน แต่มีค่าลดต่ำลงในช่วงระหว่างเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม ซึ่งไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ของค่า PR จากการพิจารณาตามช่วงเวลาเทียบกับค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ได้ โดยค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนอาจได้รับผลกระทบจากตัวแปรอื่นที่นอกเหนือจากความเข้มแสงและอุณหภูมิ เช่น สเปกตรัมของแสง จากการศึกษาเป็นระยะเวลา 3 ปี ค่า PR เฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนมีค่าสูงกว่าทั้งค่าที่สภาวะมาตรฐาน STC และค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน และมีแนวโน้มเสื่อมคุณภาพลงเมื่อใช้งานเป็นเวลานาน ทั้งนี้กรณีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน ค่า PR แปรผกผันกับอุณหภูมิแผงเซลล์ ซึ่งประมาณได้ว่าไม่มีการเสื่อมคุณภาพของแผงเซลล์ในระยะเวลา 3 ปี นอกจากนี้แผงเซลล์ทั้งสองชนิดมีพฤติกรรมเหมือนกัน คือ ค่า Isc และ Voc แปรผันตามความเข้มแสง และค่า Voc แปรผกผันกับอุณหภูมิแผงเซลล์ แต่ค่า Isc เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์สูงขึ้น โดยไม่สามารถระบุความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นได้อย่างชัดเจน

การคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยสมการการคำนวณค่าแฟกเตอร์สัมประสิทธิ์ที่นำเสนอมีความเหมาะสมกับข้อมูลการใช้งานภายนอกอาคาร ลดปัญหาการหาค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์ (α) ที่นำเสนอโดยสถาบัน NREL ซึ่งไม่สามารถหาค่าได้จากการศึกษานี้ และมีความสะดวกมากกว่าเนื่องจากลดจำนวนการหาค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Voc กับความเข้มแสงของวิธีการที่เสนอโดยสถาบัน

NREL นอกจากนี้ยังให้ความแม่นยำในการคำนวณ โดยเฉพาะเมื่อใช้คำนวณข้อมูลที่มีสภาวะภูมิอากาศและภูมิประเทศตรงกัน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อน RMSE ในการคำนวณสถานที่เดียวกันน้อยกว่า 1 แต่เมื่อเปลี่ยนสถานที่คำนวณในกรณีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้นเพราะลักษณะภูมิอากาศแตกต่างกัน ทั้งนี้กรณีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีความคลาดเคลื่อน RMSE น้อยกว่า 1 แม้มีการเปลี่ยนสถานที่ติดตั้งแผงเซลล์ในตำแหน่งละติจูดใกล้เคียงกัน ซึ่งการเพิ่มประสิทธิภาพในการคำนวณกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนให้มีความแม่นยำจำเป็นจะต้องหาสัมประสิทธิ์ของสมการที่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศของสถานที่นั้น



ข้อเสนอแนะ

ในการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และการสร้างสมการคำนวณปริมาณทางไฟฟ้าให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น ควรศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างครบถ้วน เช่น ความเข้มแสง อุณหภูมิแผงเซลล์ อุณหภูมิอากาศบริเวณที่ติดตั้งแผงเซลล์ สเปกตรัมของแสง ความชื้นของอากาศ และความเร็วลมที่พัดผ่านแผงเซลล์ เป็นต้น นอกจากนี้ ควรทดสอบในสถานที่ที่มีความแตกต่างทางด้านภูมิอากาศและภูมิประเทศมากยิ่งขึ้น เพื่อให้ทราบถึงผลการศึกษาที่สามารถอธิบายได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้นซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการปรับปรุงการแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งการด้าน โครงสร้างและการติดตั้ง รวมถึงการคำนวณค่าทางไฟฟ้าให้มีความแม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

นิรันทนันท์ พูลธนะนันท์. 2553. การศึกษาผลของสเปกตรัมแสงต่อสมรรถภาพของเซลล์
แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2545. ข้อเสนอโครงการระบบผลิตไฟฟ้าด้วย
พลังงานทดแทนแบบผสมผสาน สำหรับหมู่บ้านชนบท (กรณี หมู่บ้านเกาะจิก). บางขุน
เทียน.

ศุภลักษณ์ สติรชีวิน. 2548. การพัฒนาโมเดลทางเทคนิคสำหรับระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าด้วย
พลังงานทดแทนแบบผสมผสาน กรณีเกาะจิก. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

เอกชาติ หัตถา. (2552) โครงการศึกษามาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์ในเขตร้อนชื้น ระยะที่ 3. สถาบัน
พัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีแห่งชาติ.

Akhmad, K., A. Kitamura, F. Yamamoto, H. Okamoto, H. Takkakura and Y. Hamakawa. (1997).
Outdoor performance of amorphous silicon and polycrystalline silicon PV modules.
Solar Energy Materials and Solar Cells 46 (1997) 209-218

Anderson, A.J. 1996. **Photovoltaic Translation Equations: A New Approach**. National
Renewable Energy Laboratory. NREL/TP-411-20279

Boyle, G. 1998. **Renewable energy power for sustainable future**. 2nd ed. BPC Wheatons
Ltd., United Kingdom.

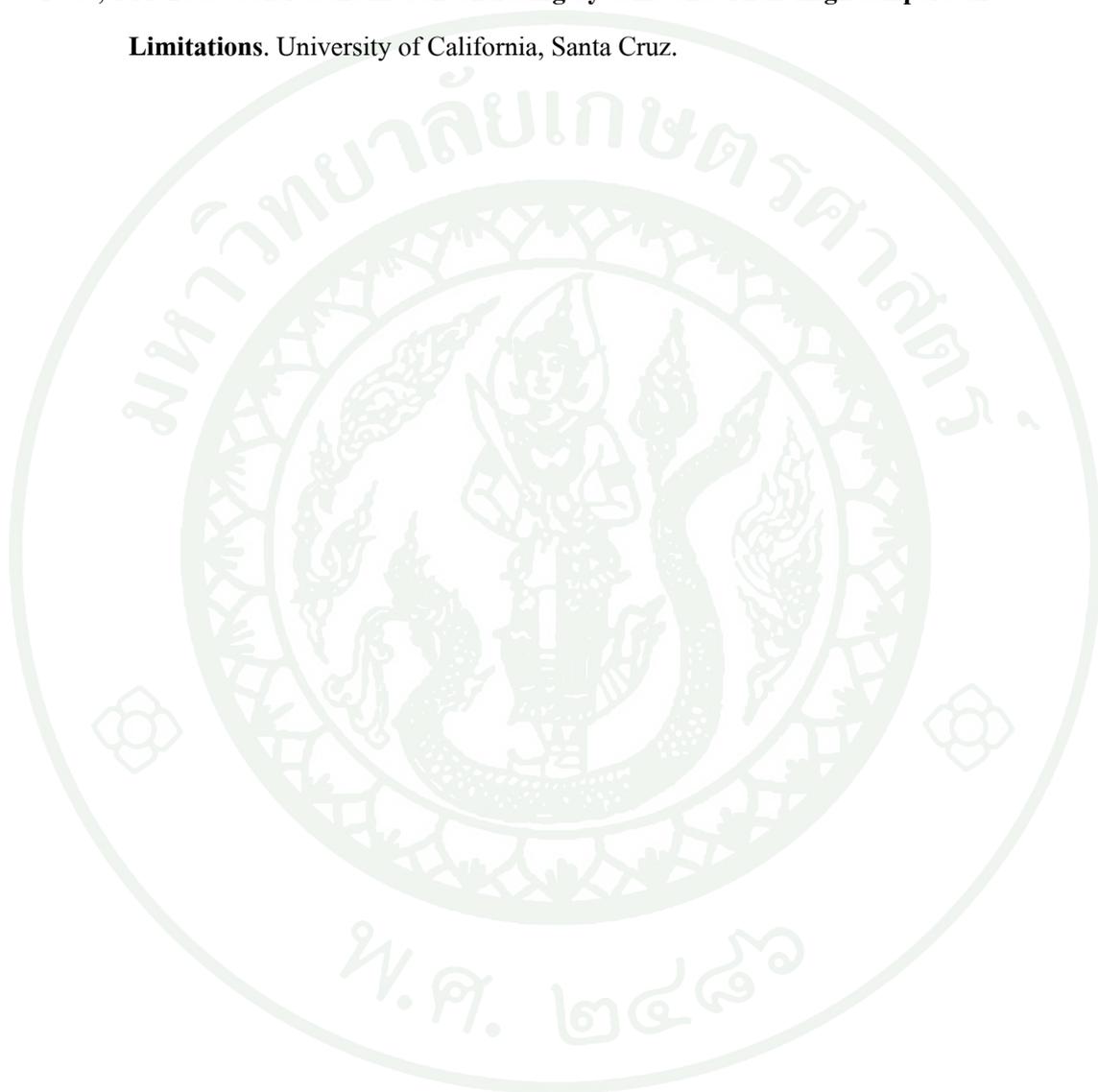
Green, M.A. 2000. **Power to the People**. University of New South Wales Press Ltd. Australia.

Green, M.A. 1998. **Solar Cells Operating Principles, Technology and System Applications**.
PLT Print Solution, Inc.

- German Solar Energy Society. 2008. **Planning and Installing Photovoltaic system**. 2nd ed. Earthscan. UK.
- Hansen, A.D. 2000. **Model for a Stand-Alone PV System**. Riso National Laboratory, Roskilde. Riso-R-1219(EN0 / SEC-R-12
- Hove, T. 2000. A method for predicting long-term average performance of photovoltaic systems. **Renewable Energy** 21 (2000) 207-229.
- IEA International Energy Agency. 2002. **Trend in Photovoltaic Applications in selected IEA Countries between 1992-2001**. UK.
- Marion, B. 2002. A Method for modeling the current-voltage curve of a PV module for outdoor conditions. **Progress in Photovoltaics: Research and applications**. Prog. Photovolt: Res. Appl. 2002; 10:205-214 (DOI: 10.1002/pip.403)
- Otani, K., Y. Hishikawa, P. Sichanugrist, P. Supanich and E. Hattha. (2008). Energy Rating of Various PV Module Technologies. Based on Outdoor Measurements in Low Latitude Region, Thailand. **Proceeding of RE South Korea** (2008).
- Parretta, A. 1998. Effects of irradiation conditions on the outdoor performance of photovoltaic modules. **Optics Communications** 153(1998): 153-163
- Radziemska, E. 2003. The effect of temperature on the power drop in crystalline silicon solar cells. **Renewable Energy** 28 (2003) 1-12.
- Sick, F. and T. Erge. 1996. The Solar Resource. **Photovoltaics in Buildings**. James & James (Science Publishers) Ltd. London.

Skoplaki, E., A.G. Boudouvis and J.A. Palyvos. 2008. A simple correlation for the operating temperature of photovoltaic modules of arbitrary mounting. **Solar Energy Materials & Solar Cells** 92 (2008) 1393-1402.

Yates, T.A. 2003. **Solar Cells in Concentrating Systems and Their High temperature Limitations**. University of California, Santa Cruz.





สมรรถนะนอกอาคารของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบาง
อะมอร์ฟัสซิลิกอนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์เฉลี่ยรายเดือนที่ทำการถ่วงน้ำหนักกับค่าความ
เข้มแสง (T_{WA})

ปี	เดือน	อุณหภูมิแผงเซลล์	
		เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (T_{WA})	ค่า PR เซลล์ชนิดโพลี ซิลิกอน เซลล์ชนิด อะมอร์ฟัสซิลิกอน
2549	มกราคม	53.49955428	0.915768755
	กุมภาพันธ์	52.41450777	0.909429003
	มีนาคม	51.74983606	0.907462703
	เมษายน	57.16538452	0.886388417
	พฤษภาคม	56.43706564	0.884004458
	มิถุนายน	54.66856704	0.893516943
	กรกฎาคม	51.79807362	0.907218715
	สิงหาคม	51.67274402	0.916366288
	กันยายน	58.63333333	0.879375995
	ตุลาคม	58.30411441	0.886155833
2550	มกราคม	52.33442764	0.909315127
	กุมภาพันธ์	51.33241591	0.915084531
	มีนาคม	52.32991987	0.890885145
	เมษายน	55.58566548	0.89109524
	พฤษภาคม	53.85859226	0.895801336
	มิถุนายน	54.91795186	0.885051152
	กรกฎาคม	49.94200001	0.917713249
	สิงหาคม	50.17589746	0.912453675
	กันยายน	54.06245287	0.900467776
	ตุลาคม	51.59163637	0.913821466
พฤศจิกายน	52.1520263	0.90992919	

สมรรถนะนอกอาคารของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบาง
อะมอร์ฟัสซิลิกอนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิแผงเซลล์เฉลี่ยรายเดือนที่ทำการถ่วงน้ำหนักกับค่าความ
เข้มแสง (T_{WA}) (ต่อ)

ปี	เดือน	อุณหภูมิแผงเซลล์		ค่า PR	
		เฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (T_{WA})	เซลล์ชนิดโพลี ซิลิกอน	เซลล์ชนิด อะมอร์ฟัสซิลิกอน	
2551	กุมภาพันธ์	46.64753525	0.895589653	0.969391019	
	มีนาคม	50.34001712	0.888482512	0.965345087	
	เมษายน	52.94943926	0.882523712	1.006473218	
	พฤษภาคม	48.00264704	0.909418968	1.029109983	
	มิถุนายน	47.12515336	0.919777272	1.039065965	
	กรกฎาคม	46.89087636	0.927486808	1.040186016	
	สิงหาคม	48.61883264	0.918952214	1.033572718	
	กันยายน	48.30413224	0.918376773	1.036708672	
	ตุลาคม	50.9295567	0.907811221	1.031417669	
	พฤศจิกายน	46.71064813	0.924446798	1.012656713	
2552	ธันวาคม	47.80700094	0.896392414	0.961339541	
	มกราคม	48.08233218	0.906537416	0.934460325	
	กุมภาพันธ์	53.78813058	0.895707098	0.955698872	

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของสมการที่ 9 (Marion, 2002)

การหาค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ทำได้ดังนี้ (Marion, 2002)

ค่า α หาโดยนำค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔI_{sc} เทียบกับ ΔT มาหารด้วย I_{sc_0}

$$\alpha = \frac{\Delta I_{sc}}{I_{sc_0} \cdot \Delta T}$$

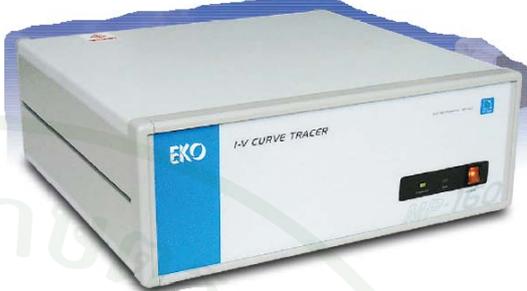
ค่า β หาโดยนำค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔV_{oc} เทียบกับ ΔT มาหารด้วย V_{oc_0}

$$\beta = \frac{\Delta V_{oc}}{V_{oc_0} \cdot \Delta T}$$

ค่า $\delta(T)$ หาได้โดยนำค่าความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ΔV_{oc} กับ $\Delta \ln\left(\frac{I_{rr}}{I_{rr_0}}\right)$ หารด้วย V_{oc_0} ที่ค่าอุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง และคำนวณค่าความชันนี้หลายจำนวนจากการกำหนดค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกัน มาหาความสัมพันธ์เทียบกับ ΔT อีกครั้ง

$$\delta(T) = \text{ความสัมพันธ์ระหว่าง } \Delta \left[\frac{\Delta V_{oc}}{V_{oc_0} \cdot \Delta \ln\left(\frac{I_{rr}}{I_{rr_0}}\right)} \right]_{T_i} \text{ เทียบกับ } \Delta T$$

อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์

รายการอุปกรณ์	ลักษณะการใช้งาน	รูป
1. MP-160, an I-V curve tracer to measure PV modules	ใช้สำหรับวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ร่วมกับเครื่อง MI-520 เพื่อรวบรวมค่าที่ได้จากเครื่อง MI-520	
2. MI-520, 12ch PV module switcher (3 เครื่อง)	ใช้สำหรับวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ร่วมกับเครื่อง MP-160 เพื่อสำหรับการวัดแผงเซลล์จำนวนมาก	
3. MS-700-C, เครื่องวัดการแผ่รังสีของสเปกตรัมที่มองเห็นด้วยตาเปล่า	ใช้สำหรับวัดการแผ่รังสีสเปกตรัมจากแสงอาทิตย์	

4. MS-802-E,
whole sky solar
insolation meter

ใช้สำหรับการวัดค่า
ความเข้มแสงอาทิตย์



5. MT-062-30,
เครื่องวัดอุณหภูมิ
และความชื้นใน
ชั้นบรรยากาศ

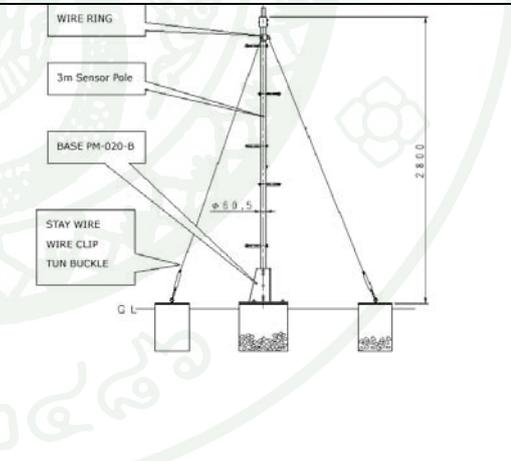
ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิ
และความชื้นที่ไม่
กระทบต่อการแผ่รังสี
ของดวงอาทิตย์ มีค่า
ความต่างศักย์เป็นเอาพุท
ของเครื่องมือ

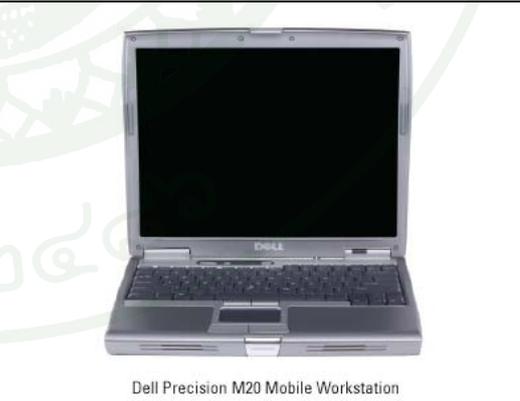


6. USA-1,
เครื่องวัดความเร็ว
ลมใบพัดอัลตรา
โซนิคสามมิติ

ใช้สำหรับวัดความเร็ว
ลมและทิศทางลม โดยใช้
วัสดุเซมิคอนดักเตอร์
เป็นตัวรับสัญญาณ
สามารถประเมินค่า
ความเร็วลมเป็น 3 มิติได้



<p>7. โครงเหล็ก, (W1000×D1000× H1000)</p>	<p>ใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ ในการวัดความเข้ม แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใน แนวระดับและแนวเอียง และติดตั้งอุปกรณ์วัด ความชื้นและอุณหภูมิ ระหว่างการเก็บบันทึก ข้อมูล</p>	
<p>8. PO-070, ฐาน สำหรับเครื่องวัด การแผ่รังสี</p>	<p>ใช้เป็นฐานยึดสำหรับ ติดตั้งเครื่องมือวัดความ เข้มแสงอาทิตย์</p>	
<p>9. PM-020, เสา สำหรับใบพัดของ เครื่องวัดความเร็ว ลม (3 เมตร)</p>	<p>ใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ใน การวัดความเร็วลม โดยมี แทนสำหรับวางเสาตรง กลางแล้วมีการยึดด้วย สมอบกทั้ง 3 จุดทำมุม กัน 120 องศาเพื่อความ แข็งแรงขณะวัดค่า ความเร็วลม</p>	
<p>10. CADAC21 9201A, data logger</p>	<p>ใช้สำหรับรับสัญญาณ จากอุปกรณ์วัดแสงเซลล์ แสงอาทิตย์และแปลง สัญญาณที่ได้โดยทำการ บันทึกค่าเก็บไว้</p>	 <p style="text-align: center;">Front view Back view</p>

<p>11. CADAC21- 10ch adapter</p>	<p>ใช้สำหรับสแกน สัญญาณที่ได้จากเครื่อง Data Logger ซึ่งมี ช่องสัญญาณอยู่ 10 ช่อง</p>	
<p>12. CADAC21- 20ch adapter</p>	<p>ใช้สำหรับสแกน สัญญาณที่ได้จากเครื่อง Data Logger ซึ่งมี ช่องสัญญาณอยู่ 20 ช่อง</p>	
<p>13. เครื่องสำรอง ไฟ SUA1000JB, 1KVA</p>	<p>ใช้สำหรับสำรองไฟ ขณะที่ทำการวัดค่า ข้อมูลต่างๆ เมื่อเกิดการ ดับของกระแสไฟฟ้า</p>	
<p>14. คอมพิวเตอร์ Dell Precision M20 (2 เครื่อง)</p>	<p>ใช้สำหรับควบคุมและ ประมวลผลจากเครื่อง Data logger</p>	 <p style="text-align: center;">Dell Precision M20 Mobile Workstation</p>
<p>15. สายเคเบิลนำ สัญญาณต่างๆ</p>	<p>ใช้สำหรับเป็นสายนำ สัญญาณจากเครื่องมือ วัดต่างๆ ไปยังอุปกรณ์ ประมวลผลและอุปกรณ์ บันทึก</p>	

16. สายล่อฟ้า ใช้เป็นอุปกรณ์ในการ
รองรับการเกิดไฟฟ้าเกิน
วงจรขณะที่มีการ
ดำเนินการวัดสัญญาณ
ในกรณีที่มีการเกิดฝน
ฟ้าคะนอง



17. ตู้เก็บอุปกรณ์ ใช้สำหรับรองรับและ
ควบคุมต่างๆ เก็บอุปกรณ์หลักต่างๆ ที่
ใช้ในการวัดสัญญาณ



ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นายกิตติภพ ทองเปาว์
เกิดวันที่	5 พฤศจิกายน 2525
สถานที่เกิด	มหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	ได้รับการตีพิมพ์ผลงานเรื่อง “การศึกษาประสิทธิภาพภายนอกอาคารของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและชนิดผลึกอะมอร์ฟิซิลิกอนตามผลกระทบของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์” ในงานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 8, หน้า. 40, 19 มีนาคม 2553. เรื่อง “การศึกษาสมรรถนะนอกอาคารและสมการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีซิลิกอนและอะมอร์ฟิซิลิกอนภายใต้อิทธิพลของความเข้มแสงและอุณหภูมิแผงเซลล์ในประเทศไทย” ในงานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 8, หน้า. 44, 19 มีนาคม 2553. และเรื่อง “Outdoor performance of polycrystalline and amorphous silicon solar cells based on the influence of irradiance and module temperature in Thailand” Proceeding of 7 th ECTI-CON 19 – 21 May 2010. P. 74-77.
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2552)