



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบาง
อะมอร์ฟัสซิลิกอนที่ติดตั้งในประเทศไทยด้วยการใช้โปรแกรมจำลอง

Performance Analysis of Polycrystalline Silicon and Thin Film Amorphous Silicon Solar
Cells Installed in Thailand by Using Simulation Software

نامผู้วิจัย นายอนุชา โทวัน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อมรรัตน์ ลิ้มมณี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, M.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน
ที่ติดตั้งในประเทศไทยด้วยการใช้โปรแกรมจำลอง

Performance Analysis of Polycrystalline Silicon and Thin Film Amorphous Silicon Solar Cells
Installed in Thailand by Using Simulation Software

โดย

นายอนุชา โปวัน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนุชา โปวัน 2554: การวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน และฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนที่ติดตั้งในประเทศไทยด้วยการใช้โปรแกรมจำลอง
ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฐมาภรณ์ ศรีผดุงธรรม, Ph.D. 79 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ และโปรแกรมจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนที่ติดตั้งภายใต้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์โดยยึดตาม IEC 61724 Standard พบว่าเมื่อพิจารณาค่าทางไฟฟ้าพบว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2551 เวลา 7:00 – 17:00 น. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนมีค่าพลังงานสุทธิ ($E_{A,T}$) เฉลี่ย 11.23 กิโลวัตต์ต่อวัน ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (Y_A) เฉลี่ย 4.36 ชั่วโมงต่อวัน และอัตราส่วนทางประสิทธิภาพ (PR) เฉลี่ยร้อยละ 92.54 และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนมีค่าพลังงานสุทธิเฉลี่ย 4.22 กิโลวัตต์ต่อวัน ค่าความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ย 4.65 ชั่วโมงต่อวัน และอัตราส่วนทางประสิทธิภาพเฉลี่ยร้อยละ 105

ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม PVSYST 5.31 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริงจาก PTEC โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 4.22 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนมีค่ากำลังไฟฟ้าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 17.54 และเมื่อทำการปรับ Correction factor โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนทางประสิทธิภาพ พบว่ามีค่ากำลังไฟฟ้าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยลดลงเหลือร้อยละ 10.60

Anucha Phowan 2011: Performance Analysis of Polycrystalline Silicon and Thin Film Amorphous Silicon Solar Cells Installed in Thailand by Using Simulation Software. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Patamaporn Sripadungtham, Ph.D. 79 pages.

This paper presented performance analysis of solar cells from experiment data and from PVSYST 5.31 simulation software of polycrystalline silicon and thin film amorphous silicon solar cells under Thailand meteorological conditions.

The results indicated that performance result based on IEC 61724 standards (Photovoltaic System Performance Monitoring-Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis) found in 2008 from 7:00 a.m. – 5 p.m. the average net energy from array ($E_{A,\tau}$) was 11.23 kWh/day. The array yield (Y_A) was 4.36 h/d and the performance ratio (PR) was 92.54% for poly-Si solar cells. And the average net energy from array was 4.22 kWh/day. The array yield was 4.65 h/d and the performance ratio was 105% for a-Si solar cells.

When compared the simulated and measured values of the electrical power, the percentage error were 4.22% and 17.54% for polycrystalline silicon and thin film amorphous silicon solar cells, respectively. As for the thin film amorphous silicon solar cells, the correction factor was applied and the error value was reduced to 10.60%.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และดร.อมรรัตน์ ลิ้มมณี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่ให้คำปรึกษา แนะนำข้อคิดเห็น ตลอดจนให้ความช่วยเหลือต่างๆ รวมทั้งสละเวลาในการตรวจ แก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณคุณเอกชาติ หัตถา จากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (สวทช), คุณสุภลักษณ์ สติรชีวิน ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และญาติพี่น้องทุกท่าน ที่คอยสนับสนุนและให้ความช่วยเหลือ รวมทั้งเป็นกำลังใจในการศึกษามาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

อนุชา โปวัน
พฤษภาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	41
ผล	41
วิจารณ์	59
สรุปและข้อเสนอแนะ	60
สรุป	60
ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	62
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก อุปกรณ์ต่างที่ติดตั้งที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและ อิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) สำหรับวัดข้อมูลทางอุณหภูมิวิทยา, ค่าทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และสเปกตรัมแสง	67
ภาคผนวก ข วิธีการใช้งานโปรแกรม PVSYST 5.31	72
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย	21
2 โครงการด้านพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526-2553	22
3 ตัวแปรจากการตรวจวัดตามมาตรฐาน IEC 61724	24
4 เปรียบเทียบฟังก์ชันการใช้งานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	28
5 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน IEC 61724	52
ตารางผนวกที่	
ก1 อุปกรณ์ต่างๆที่ติดตั้งที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) สำหรับวัดข้อมูลทางอุณหภูมิตามวิธี, ค่าทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และสเปกตรัมแสง	68

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การกระจายแสงของดวงอาทิตย์แบบต่างๆ	4
2 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลต่างๆ	5
3 มุมต่างๆที่ใช้บอกตำแหน่งพิกัดท้องฟ้า	6
4 ค่า AM ที่แปรผันตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์	7
5 เปรียบเทียบสเปกตรัมของแสงระหว่างค่า AM 0 และ AM 1.5	8
6 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยสารซิลิกอน	9
7 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	10
8 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ	11
9 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์	12
10 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแสไฟฟ้า (I-V Curve) ที่ความเข้มแสง 1000, 800, 600, 400 และ 200 W/m ²	13
11 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกำลังไฟฟ้า (P-V Curve) ที่ความเข้มแสง 1000, 800, 600, 400 และ 200 W/m ²	14
12 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแสไฟฟ้า (I-V Curve) ที่อุณหภูมิ 10°C, 25°C, 40°C, 55°C และ 75°C	15
13 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแสไฟฟ้า (I-V Curve) เซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ	16
14 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแสไฟฟ้า (I-V Curve) เซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากผลของ R_s และ R_{sh}	16
15 รูปแสดงการหาค่าของ Fill Factor (FF)	18
16 ความเข้มแสง และศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศ	20
17 แสดงแบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่ใช้ในงานวิจัยที่ประเทศอังกฤษ	27
18 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่ใช้ในงานวิจัยที่ FDTC	28
19 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย	31
20 ตำแหน่งการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลบริเวณด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์	31

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ตู้ควบคุมภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมในการวัดและบันทึกผลด้วยคอมพิวเตอร์	32
22	องค์ประกอบ 3 ส่วนที่ใช้ในระบบการวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์	33
23	ตัวอย่างข้อมูลทางอุณหภูมิตามเวลา	34
24	การวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์	35
25	ส่วนของการวัดสเปกตรัมของแสงอาทิตย์	35
26	ข้อมูลจากสถาบัน SOLARTEC ฐานข้อมูล 2 ส่วนคือ อุณหภูมิอากาศและข้อมูล IV	36
27	ข้อมูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si และ a-Si ที่กรองข้อมูลเรียบร้อยแล้ว	37
28	การกรองและการเฉลี่ยข้อมูลสเปกตรัมด้วยฟังก์ชัน Query Wizard	37
29	การเลือก summary ข้อมูล IV แบบ Avg	38
30	การเลือก summary ข้อมูล IV ให้เป็นแบบรายวัน	38
31	ค่าเฉลี่ย Query ข้อมูล IV แบบรายวัน	39
32	ข้อมูลที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยโปรแกรม PVSYST 5.31	39
33	ข้อมูลที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยโปรแกรม PVSYST 5.31 หลังจัดชุดข้อมูลแล้ว	40
34	การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Global irradiance ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si	41
35	อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Global irradiance ที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si เมื่อกำหนดค่า Cell temperature ที่ $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$	42
36	การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Global irradiance ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	43
37	อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Global irradiance ที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si เมื่อกำหนดค่า Cell temperature ที่ $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$	43
38	การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Ambient temperature ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si	44
39	การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Ambient temperature ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	44

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
40	การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Cell temperature ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si	45
41	อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Cell temperature ที่มีต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si เมื่อกำหนดค่า Global irradiance ที่ $800 \pm 50 \text{ W/m}^2$	46
42	การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Cell temperature ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	46
43	อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Cell temperature ที่มีต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si เมื่อกำหนดค่า Global irradiance ที่ $800 \pm 50 \text{ W/m}^2$	47
44	ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ในช่วงฤดูร้อน	48
45	ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ในช่วงฤดูฝน	48
46	ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ในช่วงฤดูหนาว	49
47	ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ในช่วงฤดูร้อน	49
48	ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ในช่วงฤดูฝน	50
49	ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ในช่วงฤดูหนาว	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PR กับค่า APE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si	51
51	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PR กับค่า APE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	52
52	เปรียบเทียบ Global irradiance จากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si	53
53	เปรียบเทียบ Global irradiance จากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	54
54	เปรียบเทียบ Ambient temperature จากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si	55
55	เปรียบเทียบ Ambient temperature จากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	55
56	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับโปรแกรม PVSYST 5.31 ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si	56
57	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับโปรแกรม PVSYST 5.31 ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	57
58	เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากข้อมูลวัดภายนอกอาคาร, โปรแกรม PVSYST 5.31 และจากโปรแกรม PVSYST 5.31 หลังปรับ Correction factor ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si	58
ภาพผนวกที่		
ข1	หน้าต่างเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม	73
ข2	การเลือกรูปแบบระบบที่ต้องการวิเคราะห์	73
ข3	องค์ประกอบต่างๆของระบบ	74
ข4	ป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับพิกัดที่ทำการติดตั้ง และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	74

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข5 ป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง และระบุค่ามุมของ เซลล์แสงอาทิตย์ที่กระทำกับระนาบของพื้นโลก	75
ข6 ป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับการบังคับของเงาที่อาจเกิดขึ้นในระบบ	76
ข7 ป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการติดตั้ง	76
ข8 หน้าต่างแสดงการพร้อมในการเริ่มวิเคราะห์ของโปรแกรม	77
ข9 หน้าต่าง Information ที่แจ้งเตือนหลัง โปรแกรมทำการวิเคราะห์เสร็จสิ้น	77
ข10 หน้าต่างแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบ	78

การวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนและฟิล์มบาง
อะมอร์ฟัสซิลิกอนที่ติดตั้งในประเทศไทยด้วยการใช้โปรแกรมจำลอง

Performance Analysis of Polycrystalline Silicon and Thin Film Amorphous
Silicon Solar Cells Installed in Thailand by Using Simulation Software

คำนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้าโดยผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cells or PV) และการประยุกต์ใช้ด้านความร้อน (Thermal) ปัจจุบันการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์กำลังเป็นที่แพร่หลายเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้นทุนการผลิตที่ลดลงและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น (Hasimah, 2002) สำหรับในประเทศไทย การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ให้มากยิ่งขึ้นนั้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งภายใต้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย

ในปัจจุบันประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงจากประสิทธิภาพที่ได้จากการทดสอบในศูนย์ทดสอบมาตรฐาน โดยในการทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะทดสอบตามมาตรฐานสากล Standard test condition (STC) มีรายละเอียดคือ ความเข้มแสง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิแผงเซลล์ 25 องศาเซลเซียสและ Air mass (AM) ที่ 1.5 แต่ในการใช้งานจริงเมื่อติดตั้งภายนอกอาคารปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลกับประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่หลายปัจจัย ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงกว่าที่ STC

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษาโปรแกรมจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งภายใต้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เพื่อหาข้อมูลที่มีประโยชน์ในการเลือกใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ให้เหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการสนับสนุนการใช้โปรแกรมจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยอีกด้วย

วัตถุประสงค์

เนื่องจากปัญหาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งภายนอกอาคารเทียบกับประสิทธิภาพที่สภาวะ STC ต่างกันมาก ดังนั้นจึงมีความคิดที่จะทำการศึกษาสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์และศึกษาโปรแกรมจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อติดตั้งภายใต้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

1. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly Crystalline Silicon Solar Cell (Poly-Si) และ Amorphous Silicon Solar Cell (a-Si) ที่ติดตั้งภายใต้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย
2. เพื่อศึกษาและใช้งานโปรแกรม PVSYST 5.31 ในการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si และ a-Si เพื่อติดตั้งภายใต้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย
3. เพื่อเป็นแนวทางในการใช้โปรแกรมจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

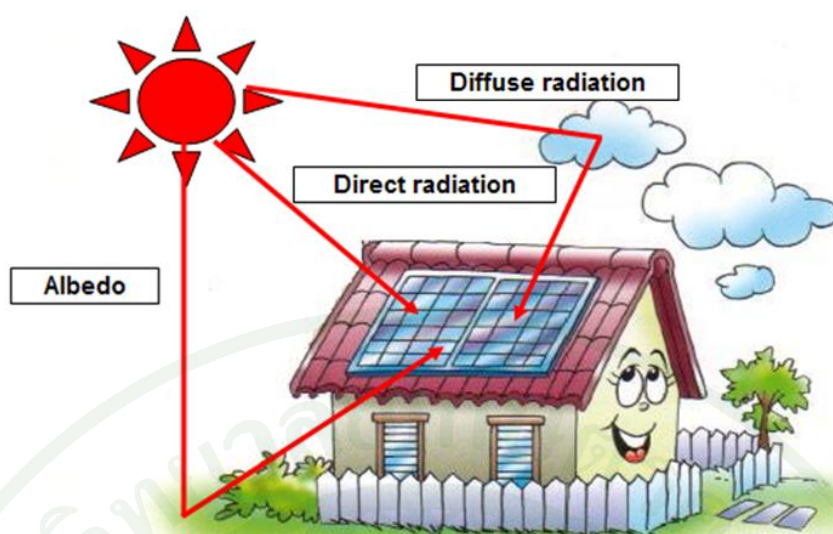
การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและแนวความคิด

1. พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานของดวงอาทิตย์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาฟิวชั่น (Fusion reaction) ระหว่างไฮโดรเจนและฮีเลียม พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่มายังผิวโลกนอกชั้นบรรยากาศมีค่าเป็น $1,367 \text{ kW/m}^2$ ซึ่งเรียกว่า Solar constant อีกทั้งยังเป็นพลังงานที่สะอาดและมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับพลังงานหมุนเวียนอื่นๆ (นิรันดร์, 2552)

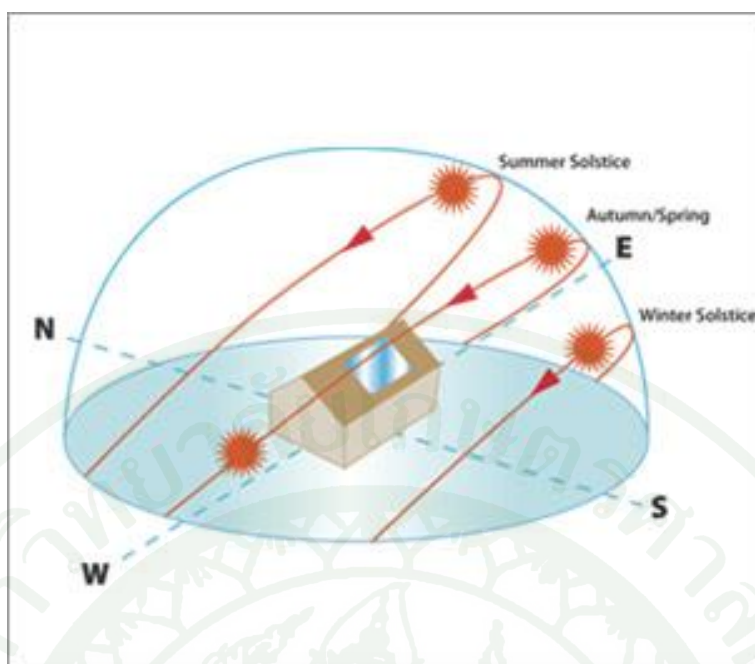
ความเข้มของแสงอาทิตย์จะแปรผันตามระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์มายังโลก ที่ผิวพื้นที่ที่ได้รับความเข้มแสงสูงจะอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรเป็นส่วนใหญ่ ในบางพื้นที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรได้รับความเข้มแสงสูงถึง $2,300 \text{ kWh/m}^2$ ต่อปี และค่านี้จะลดลงตามเส้นละติจูดที่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรทั้งทิศเหนือและทิศใต้ อย่างเช่น ประเทศในแถบยุโรปตอนล่างจะได้รับความเข้มแสง $1,700 \text{ kWh/m}^2$ ต่อปี และยิ่งถ้าเป็นประเทศในแถบทวีปยุโรปตอนบนจะได้รับความเข้มแสงลดลงเหลือเพียง $1,040 \text{ kWh/m}^2$ ต่อปี (German Solar Energy Society, 2008) ความเข้มแสงอาทิตย์สามารถส่งมายังเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 3 ทางด้วยกันคือ 1. เซลล์แสงอาทิตย์รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์เรียกว่า Beam radiation หรือ Direct normal radiation 2. เซลล์แสงอาทิตย์รับแสงโดยผ่านการกระจายจาก ใต้น้ำ เมฆ หรือหมอก เรียกว่า Diffuse radiation และ 3. เซลล์แสงอาทิตย์รับแสงที่เกิดจากการสะท้อนจากผิวโลกเรียกว่า Albedo ซึ่งแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิดนี้เรียกรวมกันเป็น Global radiation ตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การกระจายแสงของดวงอาทิตย์แบบต่างๆ

1.1 ฤดูกาล, มุมและมวลอากาศ

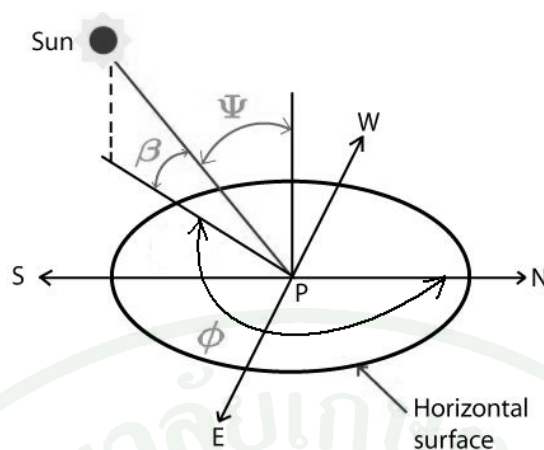
โลกหมุนรอบตัวเองโดยมีแกนที่มุม 23.5° ด้วยความเร็ว 1,000 ไมล์ต่อชั่วโมง ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหมุนรอบตัวเองเรียกว่า Solar day เมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์จะทำให้เกิดฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากระยะทางและมุมของโลกกับดวงอาทิตย์ ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลต่างๆ ที่จะส่องแสงมายังแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะทำให้ในแต่ละฤดูกาลตลอดทั้งปี เซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับปริมาณความเข้มของแสงแดดไม่เท่ากัน นอกจากนี้ในตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่ตั้งฉากกับพื้นโลกซึ่งเป็นตำแหน่งที่ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้โลกมากที่สุดและได้รับความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุด แต่ถ้าตำแหน่งของดวงอาทิตย์อยู่ในตำแหน่งที่ต่ำลงไปตามแนวเส้นขอบฟ้าจะทำให้มีระยะทางระหว่างดวงอาทิตย์และพื้นโลกมากยิ่งขึ้นเป็นผลให้ความเข้มแสงอาทิตย์มีปริมาณลดลง ฤดูใบไม้ผลิและใบไม้ร่วงจะมีกลางวันเท่ากับกลางคืนเป็น 12 ชั่วโมง ในช่วงฤดูร้อนดวงอาทิตย์จะอยู่สูงขึ้นไปกว่าฤดูกาลอื่น มีช่วงเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน และในฤดูหนาวดวงอาทิตย์จะอยู่ต่ำกว่าฤดูกาลอื่น มีช่วงเวลากลางคืนมากกว่ากลางวัน ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลต่างๆ

ที่มา: Sunsense Incorporated (2009)

มุมที่ใช้บอกตำแหน่งพิกัดมีด้วยกัน 3 ชนิดคือ 1) มุมอะซิมุท (Azimuth angle, θ) เป็นมุมที่ใช้บอกตำแหน่งของพิกัดบนท้องฟ้า เช่น บอกตำแหน่งของดาวเพื่อกำหนดทิศทางของดาว หรือบอกตำแหน่งของดาวเทียมวงโคจรค้างฟ้าเพื่อกำหนดตำแหน่งดาวเทียม การกำหนดมุมอะซิมุท จะมีค่าเริ่มต้นที่ 0 องศาเหนือ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามเข็มนาฬิกา จนมีค่า 90 องศาที่ทิศตะวันออก 180 องศาที่ทิศใต้ และ 270 องศาที่ทิศตะวันตก 2) มุมอัลติจูด (Altitude angle, β) คือมุมระหว่างแนวเส้นแสงอาทิตย์เมื่อวัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์เทียบกับแนวระนาบศูนย์สูตร เป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ 3) มุมเดคลิเนชัน (Declination angle) มีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง 23.45° และ -23.45° และมุมเซนิต (Zenith angle, ψ) เป็นมุมระหว่างจุดยอดของท้องฟ้าที่อยู่เหนือและตรงกับศีรษะกับแสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 3



The solar altitude β , zenith angle Ψ , and azimuth angle ϕ .

ภาพที่ 3 มุมต่างๆที่ใช้บอกตำแหน่งพิกัดท้องฟ้า

ที่มา: นิธินันท์ (2552)

ค่ามวลอากาศ (Air mass) จะเป็นค่าที่แสดงถึงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งความสูงของดวงอาทิตย์ตามสมการที่ 1 (นิธินันท์, 2552)

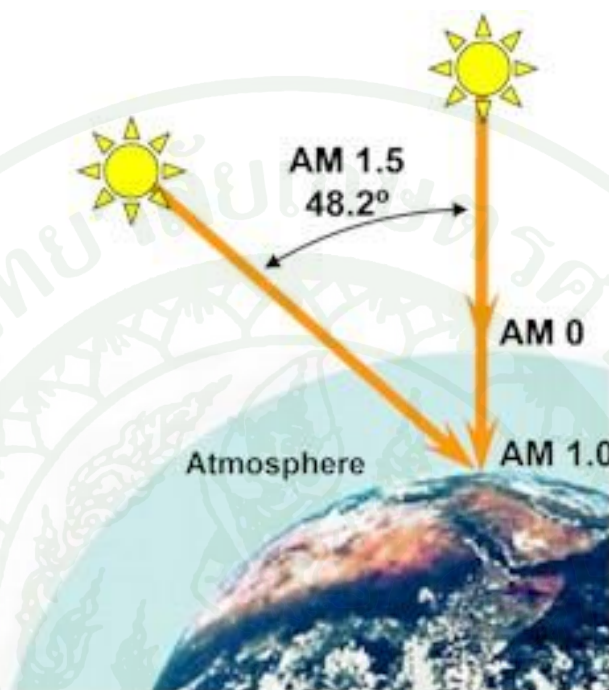
$$AM = 1/\cos(\Psi) \quad (1)$$

เมื่อ Ψ คือ มุมเซนิต

ค่า AM ที่จะแปรตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ทำมุมกับพื้นโลก ซึ่งจากค่า AM จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงภายนอกบรรยากาศของโลกมีค่าเท่ากับ 0 และค่า AM จะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่แสงอาทิตย์เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นโลก ประเทศที่อยู่ในแนวเส้นศูนย์สูตรจะมีแนวโน้มของค่า AM ใกล้เคียง 1 แต่จะแตกต่างกันในประเทศที่อยู่ในแนวละติจูดที่สูงขึ้นทั้งทิศเหนือและใต้เทียบกับเส้นศูนย์สูตร จะได้รับความเข้มแสงลดลงตามค่า AM ที่เพิ่มขึ้น อย่างเช่นในประเทศแถบอเมริกาเหนือจะมีค่า AM สูงถึง 3-4

ภาพที่ 4 แสดงถึงค่า AM ในตำแหน่งของดวงอาทิตย์ต่างๆ โดยเมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศมีค่า AM เป็น 0 และค่าความเข้มแสงเป็น $1,367 \text{ W/m}^2$ เรียกว่าค่าโซลาร์คอนสแตนต์ เมื่อ

แสงผ่านเข้ามายังชั้นบรรยากาศทำมุมตั้งฉากกับศีรษะจะมีค่า AM เป็น 1.0 ถ้าทำมุม 48.2 และ 60.1 องศา จะมีค่า AM เป็น 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ โดยค่า AM 1.5 จะมีค่าความเข้มแสงเป็น 1,000 W/m^2 (IEC 60904-3, 2008)

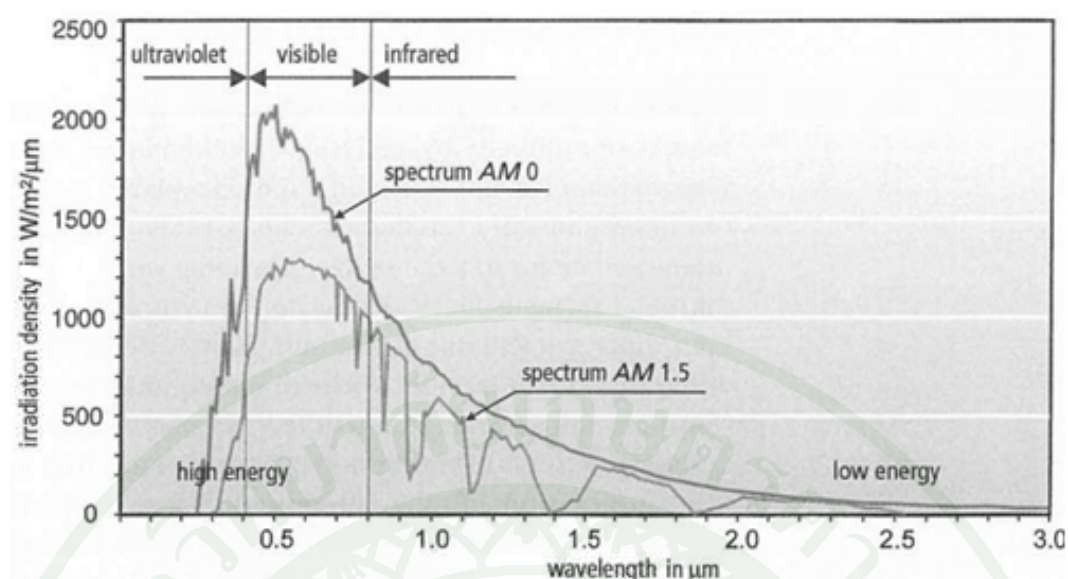


ภาพที่ 4 ค่า AM ที่แปรผันตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ที่มา: EYE Lighting International of North America Incorporated (n.d.)

1.2 สเปกตรัมแสง

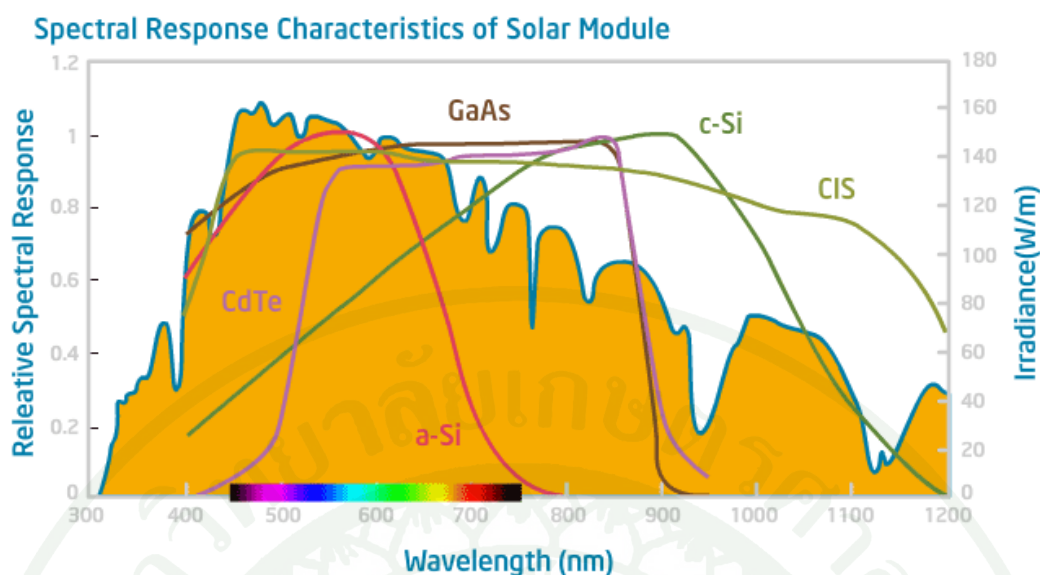
สเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่ค่า AM 0 ซึ่งเป็นค่าที่วัดภายนอกชั้นบรรยากาศโลก และค่า AM 1.5 จะเทียบเท่ากับตำแหน่งละติจูดที่ 41.8 องศาเหนือหรือใต้ โดยสเปกตรัมแสงแต่ละความยาวคลื่นก็จะมีพลังงานที่แตกต่างกันออกไป ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่ค่า AM 0 และ AM1.5 (นิรันดร์, 2552)



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบสเปกตรัมของแสงระหว่างค่า AM 0 และ AM 1.5

ที่มา: นิธินันท์ (2552)

โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงที่แตกต่างกันตามชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งช่วงของการตอบสนองนั้นแตกต่างกันไปตามวัสดุที่ใช้ในการทำเซลล์แสงอาทิตย์ (Field, 1997) ตามภาพที่ 6 เมื่อพิจารณาถึงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด c-Si และแบบ a-Si จะเห็นได้ว่าการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด c-Si มีช่วงตอบสนองที่กว้างกว่า a-Si



ภาพที่ 6 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยสารซิลิกอน

ที่มา: AU Optronics Corporation (2011)

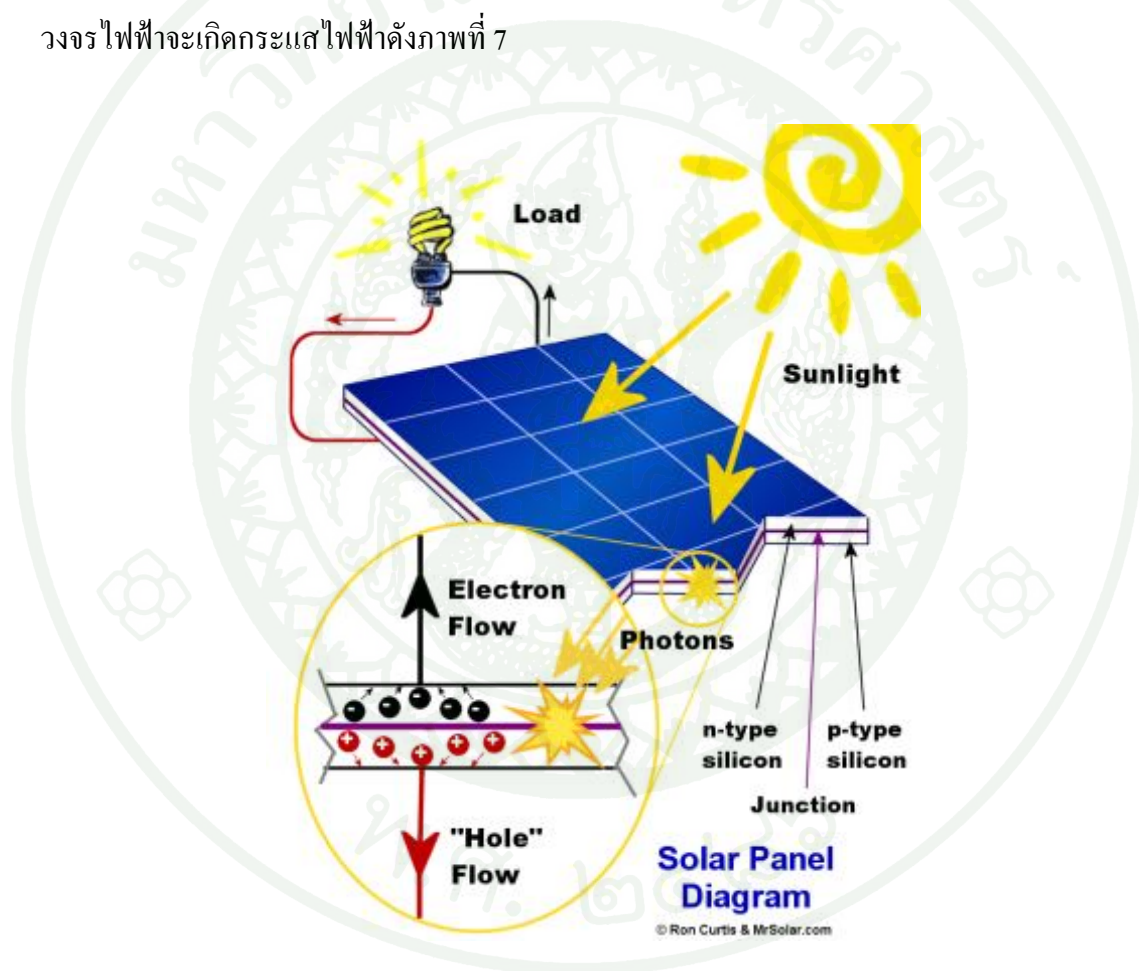
2. หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ Solar Cell หรือ Photovoltaic (PV) มีชื่อเรียกกันไปหลายอย่าง คำว่า Photovoltaic แยกออกเป็น Photo หมายถึงแสง และ Volt หมายถึง แรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้ว หมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุ ที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง (คุสิต, 2535) แนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 โดยเอ็ดมันด์ เบกเควรีล (Edmund Becquerel) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส แต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้นมา จนกระทั่งใน ปี ค.ศ. 1954 จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์เป็นครั้งแรก โดยกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ที่ห้องปฏิบัติการเบลล์ (Bell Laboratory) ในประเทศสหรัฐอเมริกา และได้มีการพัฒนาต่อมาจนถึงปัจจุบัน

เซลล์แสงอาทิตย์ประดิษฐ์ขึ้นจากสารกึ่งตัวนำที่มีความบริสุทธิ์สูง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ธาตุซิลิกอนเป็นหลัก เนื่องจากเป็นธาตุที่มีปริมาณมากที่สุดในโลกเป็นอันดับสองรองจากออกซิเจนในอากาศ แต่ข้อจำกัดและอุปสรรคของการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันก็คือ การประยุกต์ใช้ซิลิกอนในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจำเป็นต้องใช้ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์ และยากในการสกัดจากธรรมชาติ ดังนั้นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่มีราคาแพง

เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวที่จะต้องใช้สารที่มีความบริสุทธิ์สูง แต่ในปัจจุบันได้มีความพยายามในการเสนอโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ในหลากหลายรูปแบบอีกทั้งชนิดของสารที่นำมาใช้ เพื่อเป็นการลดต้นทุนของกระบวนการผลิตให้ต่ำที่สุดตามเทคโนโลยีการผลิตนั้นๆ (ศุภลักษณ์, 2548)

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดขึ้นเมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้นคือ อิเล็กตรอนและโฮลตามลำดับ โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าง่ายภาพที่ 7



ภาพที่ 7 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: Green energy Green home Incorporated (2011)

2.1 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 8 ตัวอย่างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ

ที่มา: คุณิต (2535)

2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือที่รู้จักกันในชื่อ Monocrystalline Silicon Solar Cell และชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิกอนแข็งและบางมากเป็นเนื้อเดียวกัน มีประสิทธิภาพในการไฟฟ้าสูงประมาณ 15% แต่มีข้อเสียราคาแพงมาก (Yates, 2003)

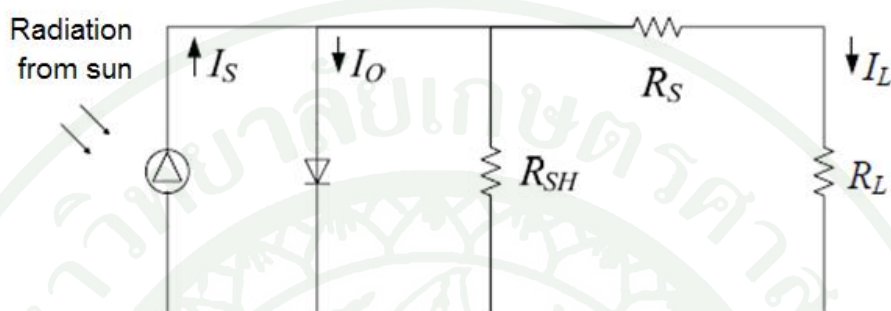
2.1.2 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอนชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นแผ่นซิลิกอนหลายๆผลึกรวมกัน มีประสิทธิภาพในการไฟฟ้าสูงประมาณ 12% และมีราคาแพง (Yates, 2003)

2.1.3 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ลักษณะเป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน (0.0005 มม.) นานักเบามาก ประสิทธิภาพเพียง 5 – 10 % และมีราคาถูกมากเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่น (Yates, 2003)

นอกจากนี้ยังมีการประยุกต์ใช้ธาตุชนิดต่างๆ เพื่อนำมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ อาทิ Copper Indium Diselenide (CIS) Cadmium Telluride (CdTe) อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง Heterojunction with Intrinsic Thin layer (HIT) หรือที่เรียกว่า

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไฮบริดที่พยายามรวมข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเข้ากับชนิดฟิล์มบาง ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพเซลล์โดยรวมสูงขึ้นอีกด้วย

2.2 วงจรสมมูล (Equivalent circuit) ของเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 9 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: Wenham (2007)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์กระแสการระ (I_L) ของเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ เมื่อค่าความต้านทานอนุกรม (R_s) เท่ากับ ศูนย์และค่าความต้านทานขนาน (R_{SH}) เท่ากับ อนันต์ ดังสมการที่ 2

$$I_L = I_s - I_o [\exp (qV/nkT) - 1] \quad (2)$$

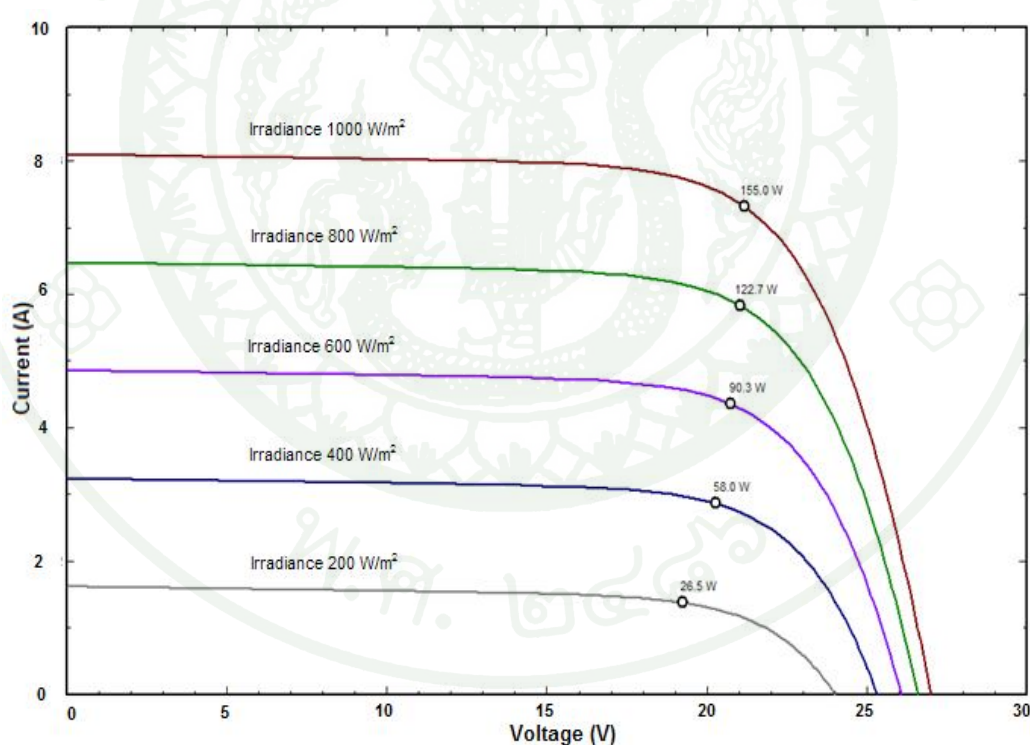
เมื่อ	I _s	คือ กระแสที่กำเนิดจากแสงอาทิตย์ (A)
	I _o	คือ กระแสอิ่มตัวขณะไม่มีแสงอาทิตย์ (A)
	q	คือ ค่าประจุของอิเล็กตรอน (1.602 x 10 ⁻¹⁹ J/V)
	V	คือ แรงดันใช้งาน (V)
	k	คือ ค่าคงที่โบลท์มานต์ (1.381x 10 ⁻²³ J/K)
	n	คือ ค่าตัวประกอบ มีค่าระหว่าง 1 ถึง 2
	T	คือ อุณหภูมิ (K)

2.3 ผลกระทบของความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ขึ้นกับปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ ในกรณีที่ความเข้มของแสงต่ำ ส่งผลให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้ต่ำไปด้วย ซึ่งอาจเกิดจากการบดบังของเมฆ และชั้นบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลกตามฤดูกาล ทำให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ไม่คงตลอดเวลา (Wenham, 2007) ความเข้มของแสงอาทิตย์แปรตามเปอร์เซ็นต์ I_s มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังสมการที่ 3

$$I_L = I_s - I_o [\exp ((V + I_L R_s) / (nkT/q)) - 1] - [(V + I_L R_s) / R_{sh}] \quad (3)$$

โดยเมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ลงในสมการที่ 3 จะได้ความสัมพันธ์แรงดันกับกระแสแสดงดังภาพที่ 10

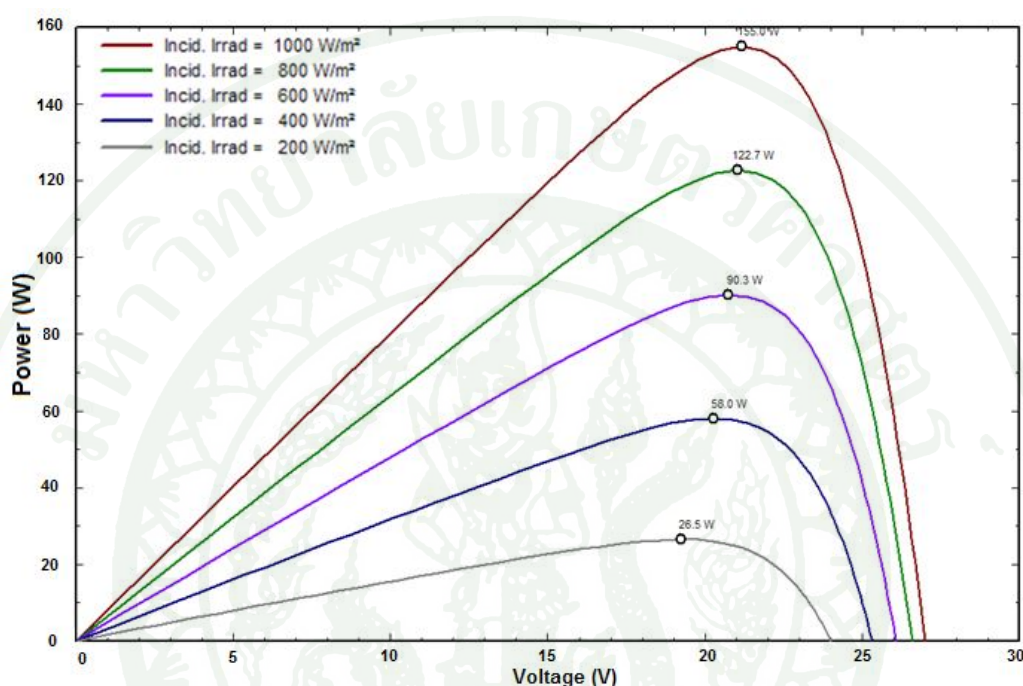


ภาพที่ 10 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแสไฟฟ้า (I-V Curve) ที่ความเข้มแสง 1000, 800, 600, 400 และ 200 W/m² ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si

กำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (P) มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังสมการที่ 4

$$P = VI_L \quad (4)$$

เมื่อแทนค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ความสัมพันธ์กำลังไฟฟ้ากับแรงดัน จากผลของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกำลังไฟฟ้า (P-V Curve) ที่ความเข้มแสง 1000, 800, 600, 400 และ 200 W/m^2

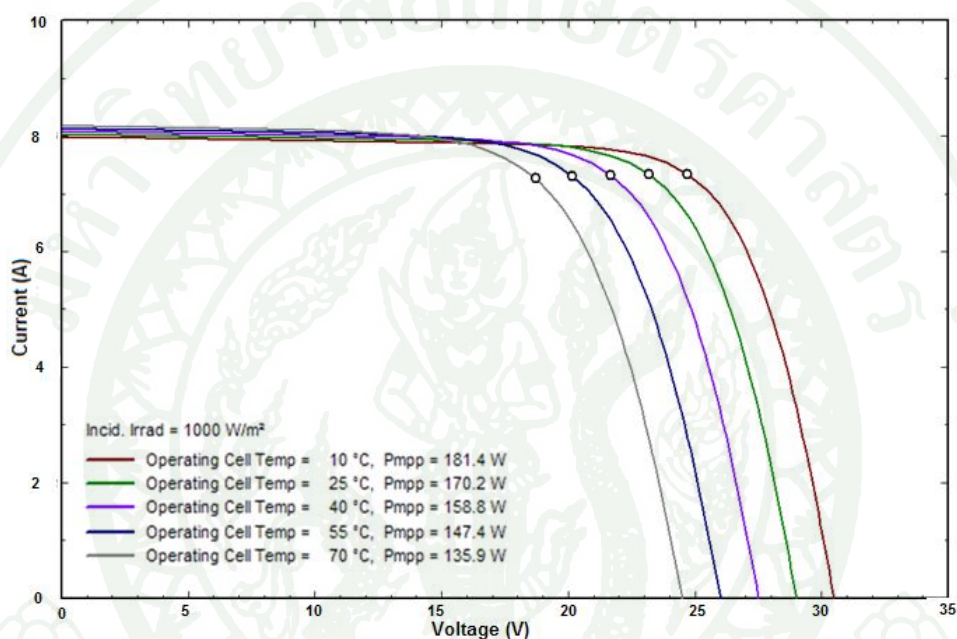
2.4 ผลกระทบของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์กับความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ฉายแสงบนพื้นโลกมีความสัมพันธ์กัน โดยเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์มากขึ้นทำให้อุณหภูมิของเซลล์เพิ่มสูงขึ้นด้วย และในทางตรงกันข้ามความเข้มแสงอาทิตย์น้อยลงทำให้อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงด้วย นอกจากนี้ ความเร็วลมยังส่งผลกับการระบายความร้อนของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเมื่อความเร็วลมมาก การระบายความร้อนของตัวเซลล์แสงอาทิตย์จะดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิของตัวเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง (Wenham, 2007) ผลกระทบของอุณหภูมิต่อเซลล์แสงอาทิตย์มีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังสมการ 5 และ 6 (พูนศักดิ์, 2549)

$$(1/I_s) \times (dI_s/dT) \approx +0.0006 / ^\circ\text{C} \quad (5)$$

$$(1/V_{oc}) \times (dV_{oc}/dT) \approx -0.003 / ^\circ\text{C} \quad (6)$$

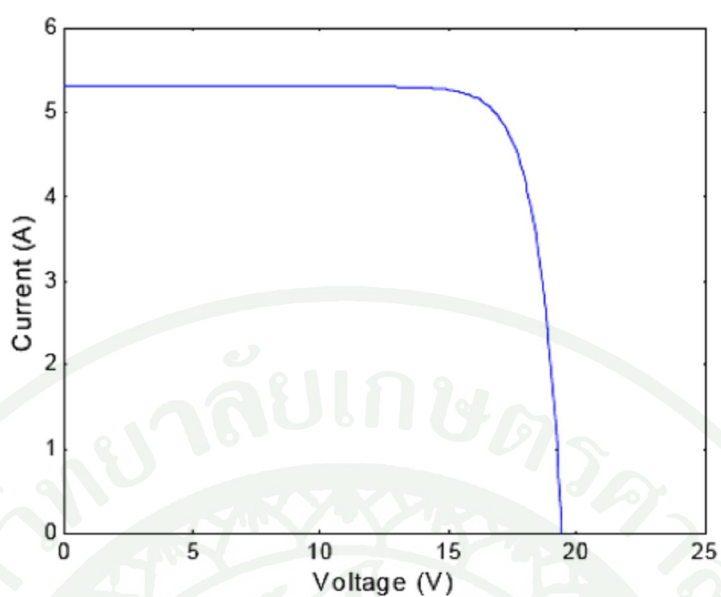
เมื่อแทนพารามิเตอร์ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ความสัมพันธ์กระแสกับแรงดัน จากผลของอุณหภูมิ แสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแสไฟฟ้า (I-V Curve) ที่อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ 10°C, 25°C, 40°C, 55°C และ 75°C

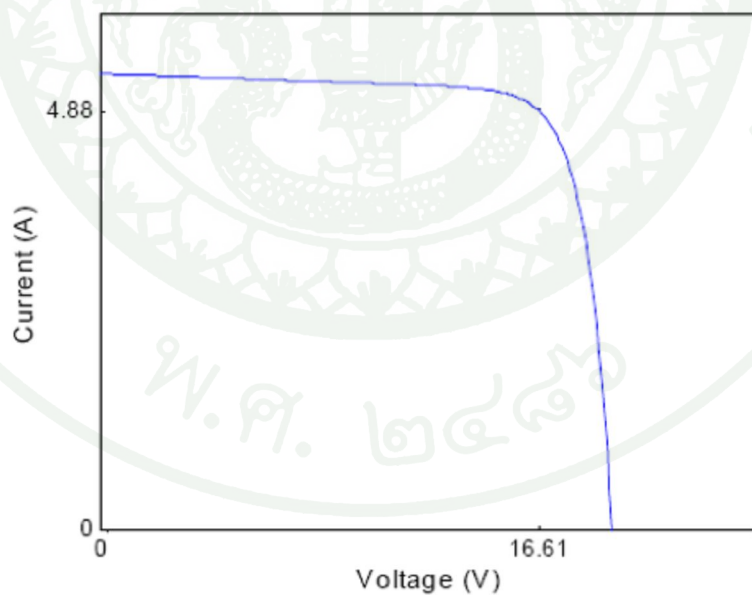
2.5 ผลกระทบของความต้านทานที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีความต้านทาน R_s และ R_{sh} ดังภาพที่ 13 ค่าความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้คุณสมบัติของกระแส และแรงดันเปลี่ยนแปลงไป จากอุดมคติ ในทางปฏิบัติค่าความต้านทาน R_s ไม่เท่ากับศูนย์ และ R_{sh} ไม่เท่ากับอนันต์ (Wenham, 2007) และจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถแสดงดังภาพที่ 14 ผลของค่า R_s และ R_{sh} ทำให้ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงในความเป็นจริงมีค่าต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ



ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแสไฟฟ้า (I-V Curve) เซลล์แสงอาทิตย์ในอุดมคติ

ที่มา: พยุงศักดิ์ (2549)



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ของแรงดัน และกระแสไฟฟ้า (I-V Curve) เซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากผลของ R_s และ R_{sh}

ที่มา: พยุงศักดิ์ (2549)

3. ตัวแปรที่ใช้แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญต่างๆที่สามารถอ่านได้จาก IV Curve มีดังนี้

3.1 แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (Open Circuit Voltage, V_{oc})

ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกเปิดวงจร เมื่อรอยต่อระหว่างซิลิกอนชนิดพีกับซิลิกอนชนิดเอ็นได้รับแสง กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรในขณะนั้นเป็นศูนย์

3.2 กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Short Circuit Current, I_{sc})

ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกลัดวงจร เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลจากเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านไปยังวงจรภายนอก สถานะนี้กระแสไฟฟ้ามีค่าสูงสุด

3.3 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power, P_m)

ค่าผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมา ณ ค่าที่ทำให้เกิดผลคูณมีค่าสูงสุด สามารถวัดได้ขณะที่ต่อภาระทางไฟฟ้าที่มีค่าเหมาะสมค่าหนึ่ง และเมื่อพิจารณาในส่วนของกราฟ IV Curve ค่า P_m คือ พื้นที่สี่เหลี่ยมภายใต้ IV Curve ที่มีค่ามากที่สุด มีสมการคำนวณดังสมการที่ 7

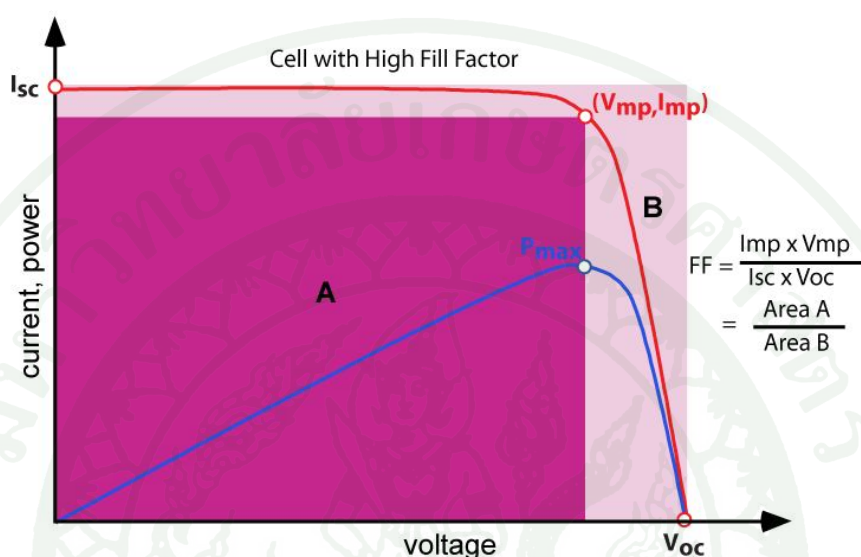
$$P_m = V_{mp} \times I_{mp} \quad (7)$$

3.4 Fill Factor (FF)

Fill Factor (FF) เป็นตัวแปรที่ใช้อธิบายถึงคุณสมบัติของการประสิทธิภาพของเซลล์แต่ละชนิด โดยหาจากอัตราส่วนของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าของกราฟที่ลากจาก I_{mp} กับ V_{mp} ต่อพื้นที่ของกราฟที่ลากจาก I_{sc} กับ V_{oc} ตามแสดงในภาพที่ 15 โดยทั่วไปค่า FF สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนจะอยู่ประมาณ 0.75 – 0.85 แต่ถ้าเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางจะ

อยู่ประมาณ 0.5 - 0.7 (นิรันดร์, 2552) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเซลล์แต่ละชนิดนั้นๆ ประกอบกัน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 8

$$P_m = (I_{mp} \times V_{mp}) / (I_{sc} \times V_{oc}) \quad (8)$$



ภาพที่ 15 รูปแสดงการหาค่าของ Fill Factor (FF)

ที่มา: PV Education (2010)

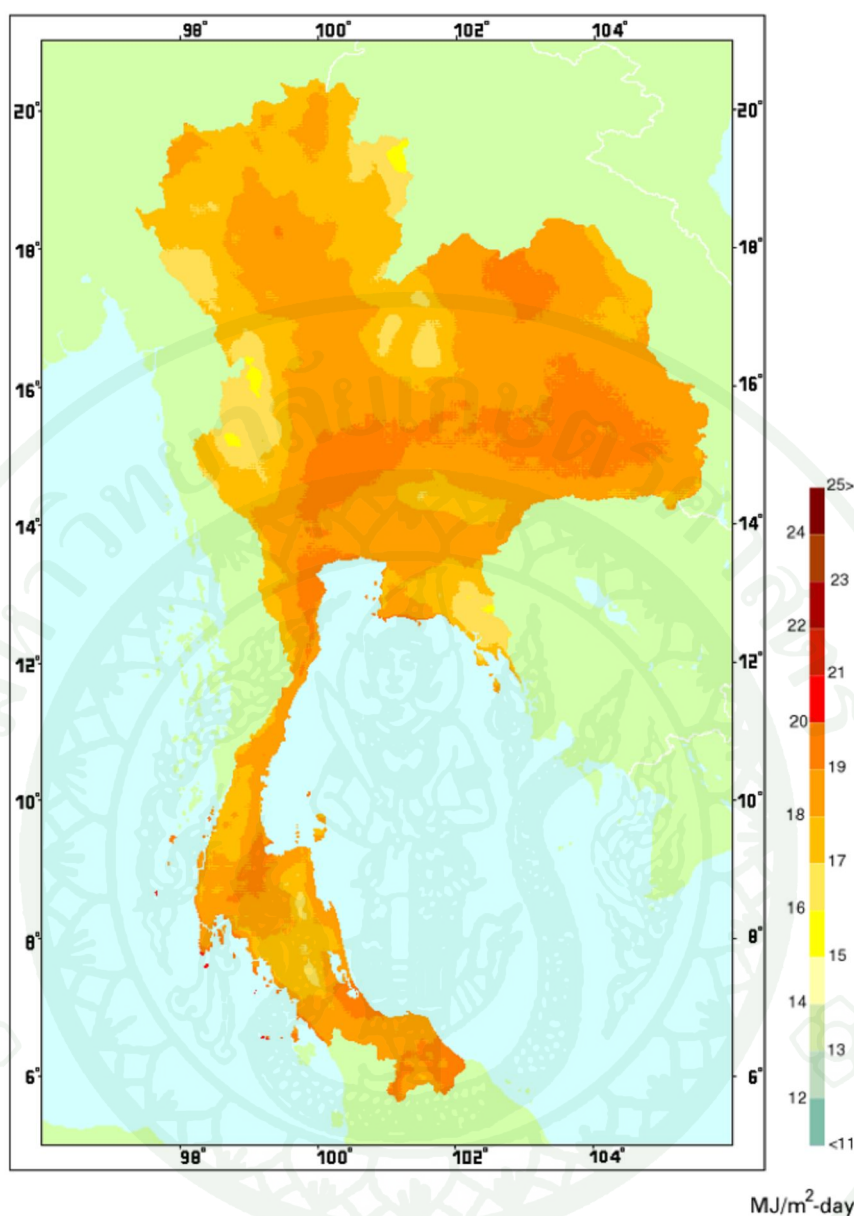
4. การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ประเทศไทยได้เริ่มมีการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อปี พ.ศ.2519 โดยหน่วยงาน กระทรวงสาธารณสุข และมูลนิธิแพथ้อาสาฯ มีจำนวนประมาณ 300 แผง แต่ละแผงมีขนาด 15/30 วัตต์ และนับเป็นครั้งแรกที่ได้มีนโยบายและแผน ระดับชาติด้านเซลล์แสงอาทิตย์ บรรจุลงใน แผนพัฒนาฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2520-2524) การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ติดตั้งใช้งานอย่างจริงจัง ในปลายปีของแผนพัฒนาฯ ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2530-2534) โดยมี กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กรม โยธาธิการการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่เป็นหน่วยงานหลัก ใน การนำเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้งานในด้านแสงสว่าง ระบบโทรคมนาคม และ เครื่องสูบน้ำ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

สำหรับประเทศไทยตามแผนอนุรักษ์พลังงาน ระยะที่ 3 พ.ศ. 2548 - 2554 ของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน (สนพ.) มีสาระสำคัญคือ ควบคุมสัดส่วนความต้องการใช้พลังงานต่อรายได้ประชาชาติ (GDP) ให้ลดจาก 1.4 : 1 เหลือ 1 : 1 และในปี 2554 จะพัฒนาพลังงานทดแทนให้สัดส่วนการใช้เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 8 ซึ่งต้องมีการพัฒนา และส่งเสริมเพื่อก่อให้เกิดการใช้พลังงานทดแทนมากขึ้น ซึ่งการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีความเหมาะสมที่ควรจะมีการศึกษา และพัฒนาการใช้งานให้สอดคล้องตามแผนอนุรักษ์พลังงานของสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน ผลที่ได้จะทำให้เกิดการศึกษาในเรื่องของการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น รวมไปถึงการผลิตบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญด้านการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ โดยความเข้มแสงและศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศไทย แสดงดังภาพที่

16





ภาพที่ 16 ความเข้มแสงและศักยภาพเชิงพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศ

ที่มา: สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
(2553)

ข้อมูลของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานในประเทศไทย พ.ศ. 2548 มีหน่วยงานต่างๆ ได้ติดตั้งเซลล์ขึ้นสาธิตใช้งานในลักษณะต่างๆ รวมกันแล้วประมาณ 23,721.792 กิโลวัตต์ ดังแสดงในตารางที่ 1 ลักษณะการใช้งานจะแตกต่างกันโดยมีการติดตั้งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้ติดตั้งไปถึง 18,147.990 กิโลวัตต์ คิดเป็นร้อยละ 76.5 ของการติดตั้งทั้งหมดใน

ประเทศ ทำให้สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงไป โดยการติดตั้งใช้งานโดยมาก จะเป็นการติดตั้งใช้งานในพื้นที่ที่ห่างไกล เช่น สถานีเดิมประจวบเตอรี ระบบสื่อสาร หรือสถานีทวนสัญญาณขององค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย ระบบสูบน้ำด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบไฟฟ้าหมู่บ้านที่ห่างไกล และสัดส่วนที่เหลือจะติดตั้งในโรงเรียนประถมศึกษา สาธารณสุข และไฟสัญญาณไฟกระพริบ นอกจากนั้น การไฟฟ้าผลิต (กฟผ.) ยังมีงานสาธิตการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ผสมผสานร่วมกับพลังงานรูปแบบอื่น เช่น พลังงานน้ำ พลังงานลม และใช้ร่วมกับเครื่องยนต์ดีเซล เซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีราคาแพง เนื่องจากในด้านการผลิตมีลักษณะเป็นบริษัทนำเข้าเฉพาะแผ่นเซลล์ แล้วนำมาต่ออนุกรมหรือขนานเข้าด้วยกัน ประกอบขึ้นเป็นแผง นอกจากนั้นก็เป็นการนำเข้าเซลล์แสงอาทิตย์สำเร็จรูปมาจากนายอีกจำนวนหนึ่งด้วย (สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

ตารางที่ 1 การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

หน่วยงานที่ใช้	ปริมาณที่ใช้ (kW)
1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน	2,487.616
2. กรมโยธาธิการ (เดิม)	543.637
3. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	18,147.990
4. การไฟฟ้าแห่งผลิตแห่งประเทศไทย	797.164
5. การไฟฟ้านครหลวง	463.050
6. ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัย นเรศวร	12.913
7. ศูนย์การศึกษาทางไกลไทยคม	16.800
8. กรมการขนส่งทางน้ำและพาณิชยนาวี	4.160
9. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	56.100
10. สำนักงานวิจัยและพัฒนากระทรวงกลาโหม	3.700
11. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช)	1.640
12. สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	42.000
13. องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย	1,142.022
14. สถาบันวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	2.700
15. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ	0.300

ตารางที่ 1 (ต่อ)

หน่วยงานที่ใช้	ปริมาณที่ใช้ (kW)
รวม	23,721.792

ที่มา: พยุงศักดิ์ (2549)

สำหรับโครงการด้านพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526-2553 จำนวนทั้งสิ้น 1,501 แห่ง ขนาดกำลังการผลิต 3,510.491 กิโลวัตต์ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 โครงการด้านพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดำเนินการติดตั้งในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526-2553

ระบบ	แห่ง	กิโลวัตต์
ระบบประจุแบตเตอรี่สำหรับหมู่บ้านชนบท	353	1025.5
ระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับโรงเรียนชนบท, โรงเรียนชนบทเพื่อขยายการผลิต	237	1026.5
ระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับศูนย์การเรียนรู้ชุมชน	167	250.5
ระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดน	38	100.75
ระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับฐานปฏิบัติการทางทหารและตำรวจตระเวนชายแดน	415	93.375
ระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับสถานีนอนมัย	83	166
ระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับเขตพื้นที่ป่าสงวนแห่งชาติและอุทยานแห่งชาติ	45	135
ระบบผลิตไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า	15	202.2
ระบบผลิตไฟฟ้าในพื้นที่โครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ	77	326.666
ระบบสูบน้ำสำหรับหมู่บ้านชนบท	65	130
ระบบสูบน้ำสำหรับสถานีนอนมัย	1	4
ระบบ Mini Grid	5	50
รวม	1,501	3,510,491

ที่มา: สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553)

สำหรับการใช้งานด้านพลังงานแสงอาทิตย์ของ ประเทศไทยนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526-2553 พบว่า มีหน่วยงานทั้งในส่วนของภาครัฐ สถาบันการศึกษาและเอกชน ได้ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงระบบการสื่อสารด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนถึง 40,568.833 กิโลวัตต์ (สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

5. การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตาม IEC 61724 Standard

การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบตาม IEC 61724 Standard (IEC, 1998) เป็นมาตรฐานที่อธิบายถึงวิธีการตรวจวัดและวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จุดมุ่งหมายหลักของการวิเคราะห์สมรรถนะก็คือ การเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบที่สนใจกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อื่นที่มีรายงานการติดตั้งและทดสอบ เพื่อพิจารณาว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวมีสมรรถนะอยู่ในระดับใด ดังนั้นเนื้อหาส่วนใหญ่ของมาตรฐานนี้จึงเป็นการเสนอแนะวิธีการในการตรวจวัดตัวแปรที่แสดงถึงลักษณะเฉพาะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านพลังงานเช่น ค่าความเข้มแสงของดวงอาทิตย์ในแนวราบ กำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการประจุระบบแบตเตอรี่ พลังงานไฟฟ้าที่เข้าและออกจากระบบ ฯลฯ เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะโดยรวมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับการติดตั้งเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ทั้งระบบแบบอิสระ (Stand-Alone) และแบบเชื่อมต่อสายส่ง (Grid-Connected) โดยสามารถแบ่งหัวข้อที่สำคัญได้เป็น 2 ส่วนหลักคือ ตัวแปรจากการตรวจวัด และตัวแปรจากการคำนวณ

ใน IEC 61724 Standard ได้กำหนดตัวแปรที่จะต้องทำการตรวจวัดขึ้นมา 6 กลุ่มหลัก ประกอบด้วย ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) ตัวแปรที่เกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic array) ตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบเก็บสะสมพลังงาน (Energy storage) ตัวแปรที่เกี่ยวกับการะทางไฟฟ้า (Load) ตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า (Utility Grid) และตัวแปรที่เกี่ยวกับระบบผลิตพลังงานสำรอง (Back-up sources) ในงานวิจัยนี้ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของ ตัวแปรทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) ตัวแปรที่เกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic array) ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวแปรจากการตรวจวัดตามมาตรฐาน IEC 61724

Parameter	Symbol	Unit
Meteorology		
Total irradiance, in the plane of array	G_I	W/m^2
Ambient air temperature in a radiation shield	T_{am}	$^{\circ}C$
Wind speed	S_w	$m.s^{-1}$
Photovoltaic array		
Output voltage	V_A	V
Output current	I_A	A
Output power	P_A	kW
Module temperature	T_m	$^{\circ}C$
Tracker tilt angle	ϕ_T	Degrees
Tracker azimuth angle	ϕ_A	Degrees

ที่มา: IEC 61724 (1998)

ในส่วนของตัวแปรจากการคำนวณเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับหลักสมมูลพลังงาน และสมรรถนะของระบบ ซึ่งเกิดจากการนำตัวแปรที่ได้จากการตรวจวัดจริงในขั้นต้นมาทำการคำนวณตามวิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยในการคำนวณพลังงานไฟฟ้าในระบบจะอ้างอิงจากสมการที่ 9 เป็นหลัก

$$E_{i,\tau} = \tau_r \times \sum_{\tau} P_i \quad (9)$$

เมื่อ	$E_{i,\tau}$	คือ พลังงานไฟฟ้า (kWh)
	P_i	คือ กำลังไฟฟ้า (kW)
	$\sum_{\tau}$	คือ ผลรวมทั้งหมดตลอดระยะเวลาการเก็บข้อมูล (Hours)
	τ_r	คือ ระยะเวลาในการสุ่มตรวจข้อมูล (Hours)

ความสามารถในการผลิตพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Array yield) คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวัน ต่อ พิกัดกำลังไฟฟ้าในการติดตั้งของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10

$$Y_A = E_{a,d} \times P_o = \tau_r \times (\sum_{day} P_A) / P_o \quad (10)$$

เมื่อ	$E_{a,d}$	คือ พลังงานไฟฟ้าสุทธิ (kWh/day)
	P_o	คือ กำลังไฟฟ้าที่สภาวะมาตรฐาน (kW)
	P_A	คือ กำลังไฟฟ้าที่ขออก (kW)
	$\sum_{day}$	คือ ผลรวมทั้งหมดตลอดวัน (Hours)

การวิเคราะห์สมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ค่า Performance ratio (PR) เป็นค่าบ่งชี้ถึงสมรรถภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยไม่คิดผลจากความเข้มแสง ได้จากการนำพลังงานขาออกหารด้วยพลังงานภายใต้ STC (Topic, 2006)

$$Y_r = H \times G \quad (11)$$

$$Y_m = E \times P_{STC} \quad (12)$$

$$PR = Y_m \times Y_r \quad (13)$$

เมื่อ	Y_r	คือ Yield อังอิง
	H	คือ ค่าความเข้มแสงที่วัดได้
	G	คือ ความเข้มแสงอังอิงมีค่าเป็น $1,000 \text{ W/m}^2$
	Y_m	คือ Yield ของโมดูล
	E	คือ กำลังขาออก (Watt)
	P_{STC}	คือ กำลังที่วัดได้ที่สภาพ STC

ค่าพลังงานโฟตอนเฉลี่ย (Average photon energy, APE) เป็นดัชนีที่ใช้บอกการกระจายของสเปกตรัมแสง (Otani, 2008)

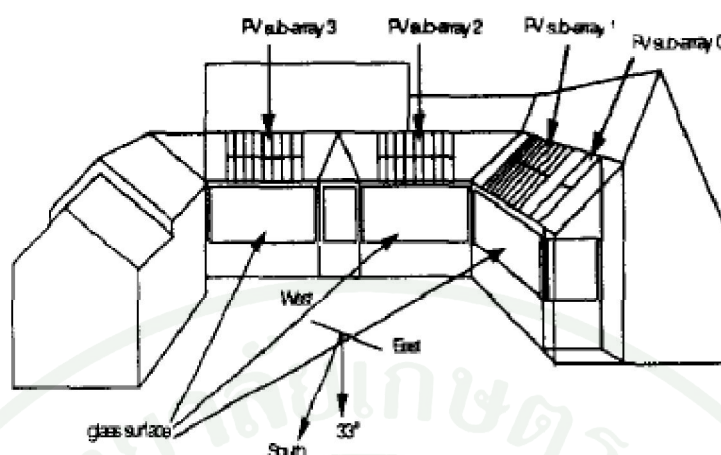
$$APE = h.c.q / \lambda_{WA} \quad (14)$$

เมื่อ	h	คือ Plank's constant มีค่าเท่ากับ 6.626×10^{-34} J.s)
	c	คือ ความเร็วแสง มีค่าเท่ากับ 3×10^8 m/s
	q	คือ อิเล็กตรอนิกส์ชาร์จ มีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} Coulomb
	λ_{WA}	คือ ค่าถ่วงน้ำหนักความยาวคลื่นแสง

6. การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้โปรแกรม PVSYST 5.31 และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากวิธีการของการคำนวณโดยปกติแล้ว ยังมีวิธีที่สามารถอำนวยความสะดวกในการออกแบบคือการใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมช่วยในการออกแบบซึ่งในปัจจุบันก็มีหลากหลายโปรแกรมให้เลือกใช้ เช่น PVSYST, ASHLING 5.0, INSEL 4.8, PVS, SOME 3.1 และ TRANSYS 14.2 เป็นต้น (Shaari, 1998)

คอมพิวเตอร์โปรแกรม PVSYST ก็เป็นโปรแกรมหนึ่งซึ่งได้รับความนิยมอย่างมากในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีฟังก์ชันการใช้งานที่เพียบพร้อมเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง (Spanos, 2003) ในปี 1998 มีการศึกษาการใช้โปรแกรมจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในการวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์กับส่วนประกอบของอาคาร (Building integrated Photovoltaic: BiPV) โดยติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณหลังคาของอาคาร พื้นที่ที่ทำการติดตั้งคือเขตชนบทของประเทศไทย และพื้นที่ที่ใช้โปรแกรมในการจำลองสภาพภูมิอากาศในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคือประเทศมาเลเซีย ขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการติดตั้งมีขนาด 2.75 kWp ทำมุม 25 องศา กับแนวระนาบ (Shaari, 1998) รายละเอียดการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่ใช้ในงานวิจัยที่ประเทศอังกฤษ

ที่มา: Shaari (1998)

ในปี 2002 Hasimah และคณะมีการวิจัยเพื่อประเมินสมรรถนะเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทย โดยใช้โปรแกรมจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ PVSYST ในการคาดคะเนปริมาณเอาต์พุตที่ได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อทำการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยด้วยระบบ Grid-connected ค่าอินพุตการจำลองโปรแกรมคือ ค่าทางอุตุนิยมวิทยา และข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆคือ Mono-crystalline, Polycrystalline, Amorphous silicon และ Cadmium telluride พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ให้ค่าพลังงานไฟฟ้าและใช้เงินลงทุนมากที่สุด ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ให้ค่าพลังงานไฟฟ้าและใช้เงินลงทุนต่ำที่สุด (Hasimah, 2002)

ในปี 2006 Jong Hun So และคณะมีการศึกษาวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพภูมิอากาศของประเทศไทยที่ Field Demonstration Test Center (FDTC) ที่ต่อด้วยระบบ Grid-connected ขนาด 3 kW ชุดเซลล์แสงอาทิตย์ทำการกำหนดมุมกับแนวระนาบที่ 18 องศาโดยใช้ทำการวิเคราะห์ทั้ง Component perspective เช่น เซลล์แสงอาทิตย์, ส่วนประมวลผล (CPU) และ Global perspective เช่น ประสิทธิภาพของระบบ, พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบ การวิเคราะห์ทำได้โดยนำค่าเอาต์พุตที่ได้จากการวัดเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาพภูมิอากาศจริง เทียบกับค่าเอาต์พุตที่ได้จากการใช้โปรแกรมจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ PVSYST พบว่ามีค่าเอาต์พุตแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 18 (Jong Hun So, 2006)



ภาพที่ 18 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่ใช้ในงานวิจัยที่ FDTC

ที่มา: Jong Hun So (2006)

การเลือกใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์นั้นควรที่จะพิจารณาฟังก์ชันการใช้งานของโปรแกรมที่ใช้ให้มีฟังก์ชันครอบคลุมในทุกๆด้าน เพื่อประโยชน์ในการประยุกต์ใช้งานได้สูงสุด (Shaari, 1998) การเปรียบเทียบฟังก์ชันการใช้งานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แสดงได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบฟังก์ชันการใช้งานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

	ASHLING	INSEL			SOMES	TRNSYS
Parameter	5.0	4.8	PVS	PVSYST	3.1	14.2
simulation basis	time-step	systems	time-step	time-step	time-step	systems
operating system	Windows	DOS	Windows	Windows	DOS	Windows
IBM compatible	yes	yes	yes	yes	yes	yes

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Parameter	ASHLING 5.0	INSEL 4.8	PVS	PVSYST	SOMES 3.1	TRNSYS 14.2
Validated	-	yes	-	yes	yes	yes
direct, stand-alone	yes	yes	yes	yes	yes	yes
hybrid, stand-alone	-	yes	yes	yes	yes	yes
grid-connected	yes	yes	yes	yes	yes	yes
BIPV	-	-	-	yes	-	-
shading factor	-	-	yes	yes	-	-
library	yes	-	yes	yes	limited	-
met data library	yes	yes	yes	yes	yes	yes
met generator	yes	yes	yes	yes	yes	yes
graphics	yes	yes	-	yes	-	yes
measured data	-	-	-	yes	yes	-
energy analysis	-	-	yes	yes	yes	yes
comparisons	-	-	-	yes	-	-
economics	-	-	-	yes	yes	yes
on screen results	yes	yes	yes	yes	yes	yes
ASCII output	-	yes	limited	yes	yes	yes

ที่มา: Shaari (1998)

จากตารางที่ 4 จะเห็นว่าโปรแกรม PVSYST มีฟังก์ชันการใช้งานที่หลากหลายเมื่อเทียบกับโปรแกรมอื่น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกได้ใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรม PVSYST เวอร์ชัน 5.31 ในการคาดการณ์พลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรุ่น และชนิดที่แตกต่างกัน โดยขั้นตอนในการคาดการณ์ปริมาณพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขั้นตอนหลังจากที่กำหนดลักษณะของการวางแผงฯ และสถานที่สำหรับออกแบบ โดยเริ่มจากการเลือกการออกแบบเป็นแบบ Project Design และเลือกระบบเป็น Grid connected

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์
2. โปรแกรม Microsoft office 2007
3. โปรแกรม PVSYST 5.31

วิธีการ

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์การเก็บและรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลจากโครงการศึกษามาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์ในเขตร้อนชื้นของ สวทช. ได้รับการสนับสนุนจาก New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) ประเทศญี่ปุ่น ในการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่จำเป็นซึ่งประกอบด้วย เครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์ (IV checker) เครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer) เครื่องวัดสเปกตรัมแสง (Spectroradiometer) เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดทิศทางและความเร็วลม และเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์และอุณหภูมิอากาศ

ระบบมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 30 แผง จากบริษัทผู้ผลิต 10 แห่งซึ่งมีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆคือ Heterojunction with Intrinsic Thin layer (HIT), Copper indium selenide (CIS), Poly-Si และ thin film a-Si โครงสร้างเซลล์เดี่ยว, เซลล์ซ้อน 2 และ 3 ชั้น โดยติดตั้งด้วยมุมเอียง 14 องศาเทียบกับแนวระนาบของพื้นโลก สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นชนิด Poly-Si และ thin film a-Si โครงสร้างเซลล์เดี่ยว

การศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ในส่วนของระบบได้มีการต่อโหลดเทียม เพื่อใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ โดยใช้อุปกรณ์ IV Curve Tracer ที่ค่าความต้านทานปรับค่าได้ ภาพที่ 19 แสดงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์การวัด



ภาพที่ 19 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัย

สำหรับระบบที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วนหลักคือ 1) ส่วนบริเวณที่ติดตั้งภายนอกอาคารและ 2) ส่วนบริเวณที่ติดตั้งภายในอาคาร โดยส่วนที่ติดตั้งภายนอกอาคารจะประกอบด้วยเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยาเป็นส่วนใหญ่ที่ประกอบด้วยเครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ เครื่องวัดความเร็วลม ทิศทางลม อุณหภูมิบรรยากาศ เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ รวมไปถึงสายเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์ทุกแผง โดยที่ติดตั้งบริเวณด้านหลังแผงตรงตำแหน่งกลางแผง ตามภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ตำแหน่งการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลบริเวณด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์

นอกจากนี้ยังมีในส่วนของเครื่องวัดสเปกตรัมแสงหรือ Spectroradiometer ที่ติดตั้งในบริเวณเดียวกับเครื่องมือวัดทั้งหมด สำหรับส่วนที่ติดตั้งภายในอาคารจะใส่อยู่ในตู้ควบคุม (Cabinet) ตามภาพที่ 21 ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำหรับสั่งการโดยคอมพิวเตอร์และมีการเชื่อมต่อกับสายสัญญาณมาจากบริเวณที่ติดตั้งที่บริเวณภายนอกอาคารทั้งหมดเพื่อสามารถรับและส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ให้ทำงานอย่างต่อเนื่อง รวมถึงสามารถบันทึกและเก็บข้อมูลลงในคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับนำข้อมูลมาวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 21 ตู้ควบคุมภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมในการวัดและบันทึกผลด้วยคอมพิวเตอร์

จากที่ได้กล่าวมาแล้วสำหรับความสำคัญของการวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์ ภายใต้สภาวะการทำงานจริงที่จะต้องวัดจากตัวแปรทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์ทั้งหมด และในการวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์ในงานวิจัยนี้ยังได้แบ่งวิธีการวัดและเก็บข้อมูลออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1.1 ส่วนการวัดด้านอุตุนิยมวิทยา

1.2 ส่วนการวัดค่าทางไฟฟ้า (IV Curve)

1.3 ส่วนการวัดสเปกตรัมแสง

โดยที่การวัดทั้ง 3 ส่วนจะมีค่าพารามิเตอร์ตามที่แสดงในภาพที่ 22

Meteorology Module	IV Characteristics Module	Spectrum Module
• Horizontal Irradiation • Tilted Irradiation • Wind Temperature • Wind Speed • Wind Direction • Relative Humidity	• Voc Vpm • Isc Ipm • Pmax • FF	• Spectral Response • Wavelength

ภาพที่ 22 องค์ประกอบ 3 ส่วนที่ใช้ในระบบการวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1.1 ส่วนการวัดด้านอุตุนิยมวิทยา (Meteorology)

ระบบวัดแบบภายนอกอาคารนี้ได้วัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์แนวระดับ ความเข้มแสงอาทิตย์แนวเอียง 14 องศา อุณหภูมิอากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้นสัมพัทธ์ รวมไปถึงค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์ทั้งหมด 30 แผงที่ใช้ทดสอบ โดยลักษณะการเก็บข้อมูลจะทำการเก็บข้อมูลตลอด 24 ชม. โดยมีอัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ตัวอย่างแสดงตามภาพที่ 23

Date	Time	Global Irradiance	Tilted Irradiance	Wind Direction	Wind Speed	Temperature	Humidity
18/5/2007	10:11:00	792.6	725.5	255	.9	32.3	57.1
18/5/2007	10:12:00	799.9	732.9	325	.3	32.4	55.8
18/5/2007	10:13:00	795.1	728.3	272.1	.3	32.5	56.9
18/5/2007	10:14:00	798.9	731.9	294	1	32.7	56
18/5/2007	10:15:00	783.3	717.6	282	1.9	32.8	55.2
18/5/2007	10:16:00	799.6	733.3	260	1.1	32.8	55
18/5/2007	10:17:00	811.9	744.6	271	1.4	32.7	53.9
18/5/2007	10:18:00	813.8	746.7	273	1.8	32.7	55.9
18/5/2007	10:19:00	798.6	733	253	.9	32.7	55.5
18/5/2007	10:20:00	794.2	729.3	220	.9	32.8	54.3
18/5/2007	10:21:00	800.7	736.3	250	1	33	53.6
18/5/2007	10:22:00	821	754	292	1.8	33	54.4
18/5/2007	10:23:00	816.4	750.5	285	1.8	32.9	53.1
18/5/2007	10:24:00	837.7	770.5	269	3.1	32.8	53.7
18/5/2007	10:25:00	821.5	756.2	291.1	1.8	32.7	53.3
18/5/2007	10:26:00	826.7	760.9	293	1.1	32.4	53.8
18/5/2007	10:27:00	827.2	761.7	298	.9	32.4	54.5
18/5/2007	10:28:00	828.4	763.1	293	1.8	32.5	54.3
18/5/2007	10:29:00	830.9	765.9	312.1	1.1	32.6	54.2
18/5/2007	10:30:00	827.2	763.1	270	1.2	32.7	55

ภาพที่ 23 ตัวอย่างข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

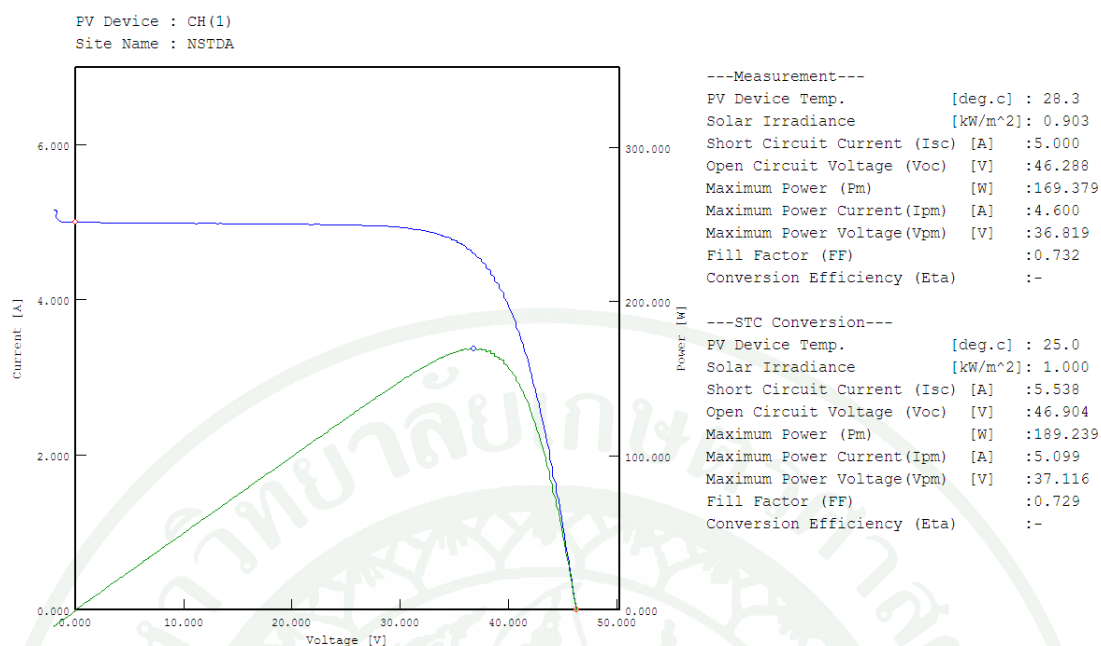
1.1.1 ข้อมูลความเข้มแสง แบ่งเป็นการเก็บ ที่แนวระนาบ (Horizontal irradiance) กับ แนวนุมเอียง 14 องศา (Tilted irradiance) ซึ่งเป็นมุมที่เอียงระดับเดียวกับมุมติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ความเข้มแสงที่เก็บข้อมูลมีหน่วยเป็น W/m^2 ใช้อุปกรณ์ MS-802-E เป็นตัวเก็บข้อมูล

1.1.2 ข้อมูลลม แบ่งเป็น ความเร็ว (Wind speed) มีหน่วยเป็น m/s และทิศทางลม (Wind Direction) มีหน่วยเป็นองศา เริ่มต้นที่ 0 องศาในทิศเหนือหมุนตามเข็มนาฬิกาเป็นบวก จนครบ 360 องศา เก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์ USA-1 เครื่องวัดความเร็วลมใบพัดอัลตราโซนิกสามมิติ ใช้วัสดุเซมิคอนดักเตอร์เป็นตัวรับสัญญาณ

1.1.3 ข้อมูลอุณหภูมิที่สภาวะแวดล้อม (Temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และ ข้อมูลความชื้นในบรรยากาศ (Relative Humidity) มีหน่วยเป็น RH โดยใช้อุปกรณ์ MT-062-30

1.2 ส่วนการวัดค่าทางไฟฟ้า (IV Curve)

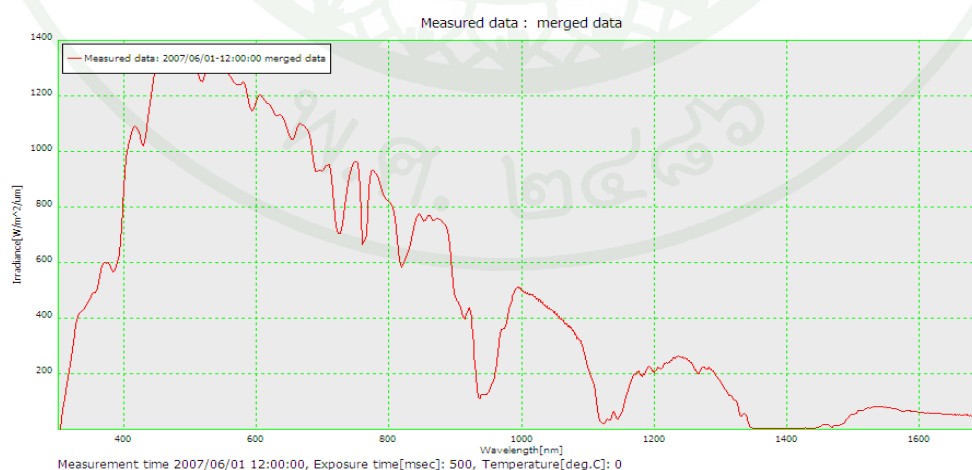
เป็นการวัดค่าความต่างศักย์ทั้ง V_{oc} และ V_{pm} ค่ากระแสไฟฟ้าทั้ง I_{sc} และ I_{pm} กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_{max}) และค่าฟิลแฟกเตอร์ (FF) โดยใช้อุปกรณ์ IV Curve Tracer เป็นโหลดเทียม เพื่อทำการหาคุณลักษณะ IV Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลานั้น ลักษณะการเก็บข้อมูลจะทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ช่วง 5:00:00 ถึง 19:30:00 โดยมีอัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บดังแสดงตามภาพที่ 24



ภาพที่ 24 การวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์

1.3 ส่วนการวัดสเปกตรัมแสง (Spectrum irradiance)

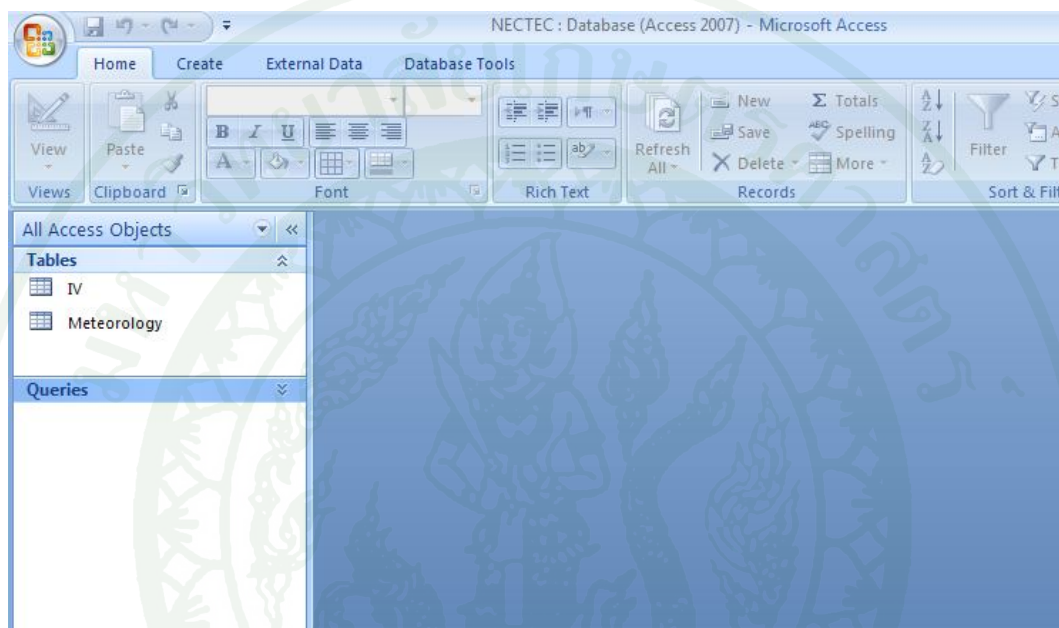
เป็นการวัดพลังงานสเปกตรัมแสง ณ ความยาวคลื่นหนึ่งในช่วงเวลานั้น ทำการวัดข้อมูลด้วยอุปกรณ์ MS 701 ซึ่งเป็นเครื่องวัดรังสีสเปกตรัมแสงที่ตามองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible light) โดยมีอัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บแสดงตามภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ส่วนของการวัดสเปกตรัมของแสงอาทิตย์

2. การทำฐานข้อมูลและกำหนดความสัมพันธ์ในข้อมูลแต่ละส่วน

ข้อมูลที่ได้รับจากสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC), สวทช. อยู่ในรูปแบบฐานข้อมูลของโปรแกรม access โดยมีข้อมูลเพียง 2 ส่วนคือ ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) และข้อมูล IV อยู่ในส่วนของ table ฐานข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 26



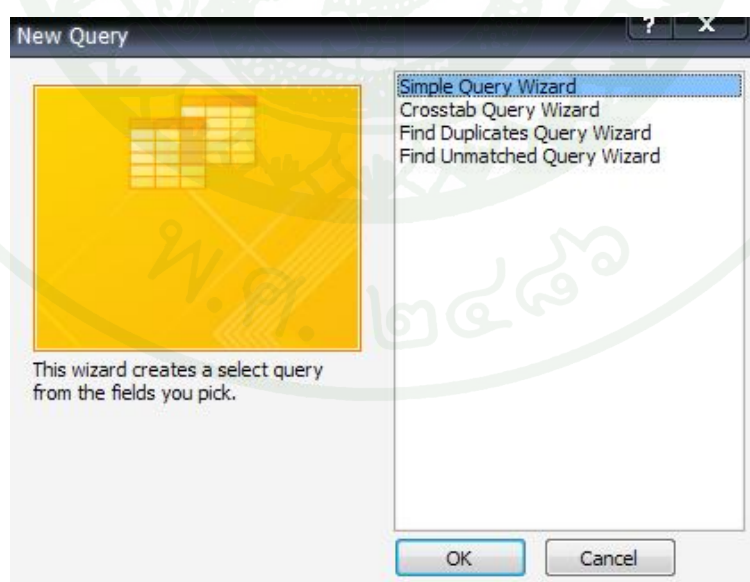
ภาพที่ 26 ข้อมูลจากสถาบัน SOLARTEC ฐานข้อมูล 2 ส่วนคือ อุตุนิยมวิทยาและข้อมูล IV

จากนั้นทำการกรองข้อมูลโดยโปรแกรม access นั้นได้ใช้งานเมนู Query ในการวิจัยเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ Channel 6 และ Channel 9 ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si และ a-Si ตามลำดับ ข้อมูลที่ใช้อยู่ในช่วงปี 2008 ช่วงเวลาตั้งแต่ 6:00-18:00 น. ดังแสดงในภาพที่ 27

All Access Objects	Date	Time	Channel	Er	T1	Voc	Isc
Tables	1/2/2008	8:10:00	CH(06)	.050712	30.4425	24.55182	.399125
IV	1/2/2008	8:20:00	CH(06)	.080199	30.5375	25.38828	.682318
Meteorology	1/2/2008	8:30:00	CH(06)	.063248	30.6	24.87838	.510333
Spectral	1/2/2008	8:40:00	CH(06)	.07037	30.7225	25.16545	.610032
Queries	1/2/2008	8:50:00	CH(06)	.093732	30.33	25.57994	.833158
Add Wind CH01	1/2/2008	9:00:00	CH(06)	.05584	29.6675	24.81368	.52939
Irr Temp VS Pmax	1/2/2008	9:10:00	CH(06)	.098575	28.9875	25.78862	.799529
IV and Temp (Ch01)	1/2/2008	9:20:00	CH(06)	.057123	28.9975	25.10854	.470525
IV and Temp (Ch02)	1/2/2008	9:30:00	CH(06)	.049288	29.4	24.89688	.447243
IV and Temp (Ch03)	1/2/2008	9:40:00	CH(06)	.185185	29.63	26.60485	1.546481
IV and Temp (Ch04)	1/2/2008	9:50:00	CH(06)	.122365	29.18	26.19225	1.068951
IV and Temp (Ch05)	1/2/2008	10:00:00	CH(06)	.141595	28.72	26.23559	1.194274
IV and Temp (Ch06)	1/2/2008	10:20:00	CH(06)	.219658	27.925	26.22853	1.745048
IV and Temp (Ch07)	1/2/2008	10:30:00	CH(06)	.283761	27.61	26.40053	2.340586
IV and Temp (Ch08)	1/2/2008	10:40:00	CH(06)	.22906	27.34	25.50641	1.838391
IV and Temp (Ch09)	1/2/2008	10:50:00	CH(06)	.871225	27.12	27.29851	7.514803
IV and Temp (Ch10)	1/2/2008	11:00:00	CH(06)	.851425	27.1	26.33368	7.184156
Sensitivity	1/2/2008	11:10:00	CH(06)	.392165	27.13	25.467	3.616864
test	1/2/2008	11:20:00	CH(06)	.943732	27.3825	26.30711	7.993157
ลองเพิ่ม Wind Speed/Direct	1/2/2008	11:30:00	CH(06)	.91567	27.4225	25.82396	7.789118
	1/2/2008	11:40:00	CH(06)	.363818	27.3875	25.01481	3.048442
	1/2/2008	11:50:00	CH(06)	1.030057	27.2675	26.70679	8.805046
	1/2/2008	12:00:00	CH(06)	.455271	27.2175	25.02059	3.279082
	1/2/2008	12:10:00	CH(06)	.379772	27.11	26.0671	3.171745
	1/2/2008	12:30:00	CH(06)	.882336	26.9775	26.16629	6.090291
	1/2/2008	12:40:00	CH(06)	.442593	26.9	26.1226	4.138154

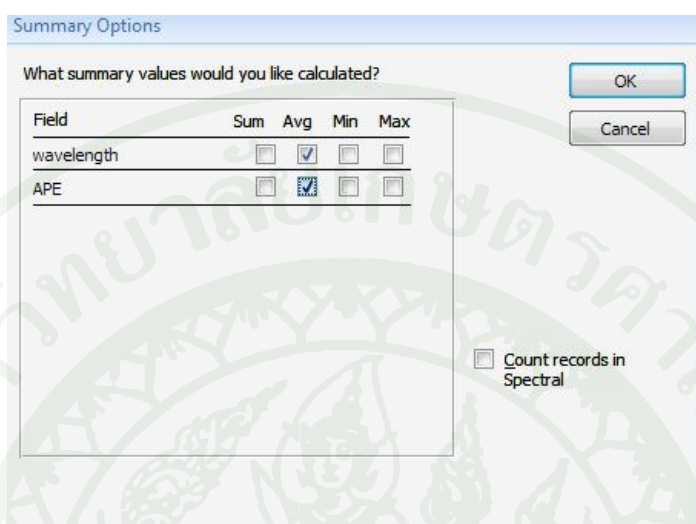
ภาพที่ 27 ข้อมูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si และ a-Si ที่กรองข้อมูลเรียบร้อยแล้ว

การวิเคราะห์ข้อมูลสามารถหาค่าเฉลี่ยหรือผลรวมของตัวแปรแต่ละตัวได้ เพื่อง่ายในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าทางไฟฟ้าได้ชัดเจนยิ่งขึ้น การกรองข้อมูลและการเฉลี่ยข้อมูลใช้ฟังก์ชัน Simple Query Wizard

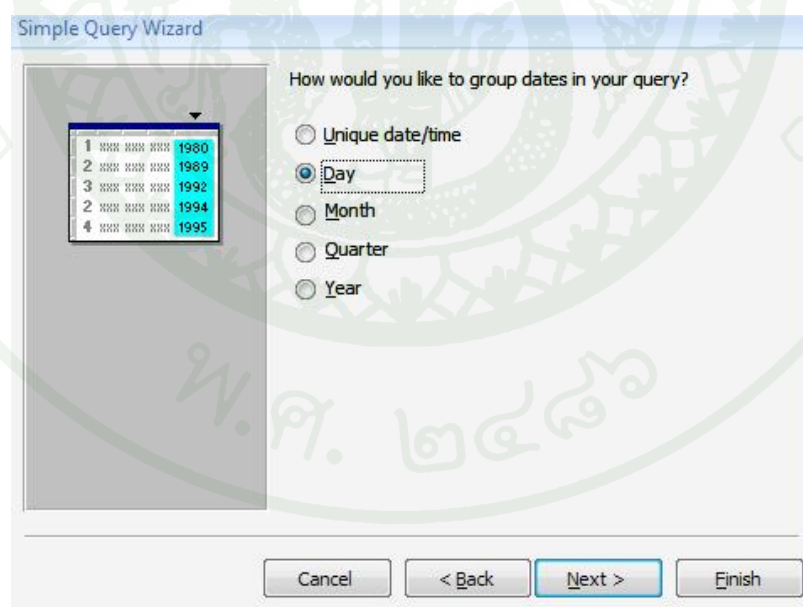


ภาพที่ 28 การกรองและการเฉลี่ยข้อมูลสเปกตรัมด้วยฟังก์ชัน Query Wizard

จากนั้นทำการสร้างเงื่อนไขให้โปรแกรมทำการ summary, average ข้อมูล แบบรายวัน, รายเวลา หรือรายเดือนได้ โดยเลือกที่ summary option เลือกแบบผลรวม (Sum), ค่าเฉลี่ย(Avg) และเลือกการรวมข้อมูลแบบรายวัน, รายเวลา หรือรายเดือนตามภาพที่ 29 และ 30

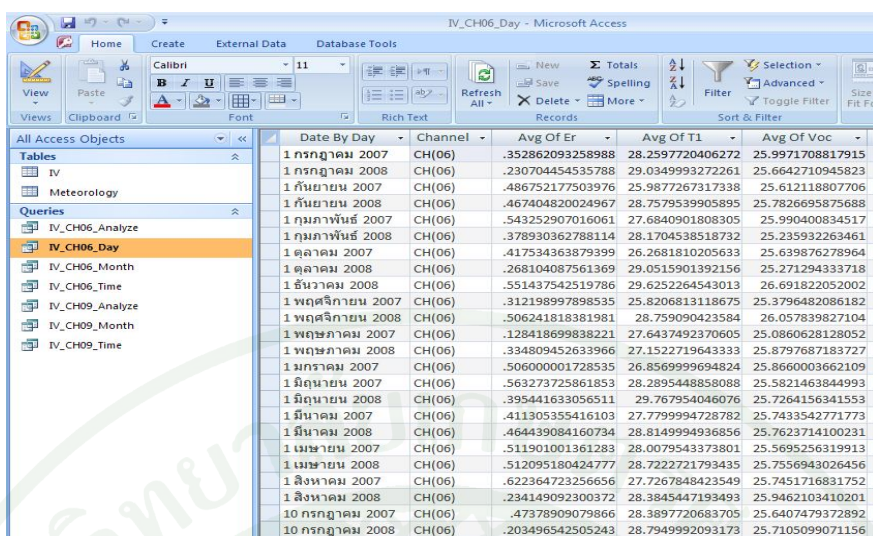


ภาพที่ 29 การเลือก summary ข้อมูลแบบ Avg



ภาพที่ 30 การเลือก summary ข้อมูลให้เป็นแบบรายวัน

เมื่อสร้าง Query จึงสามารถนำมาวิเคราะห์ได้ตามภาพที่ 31

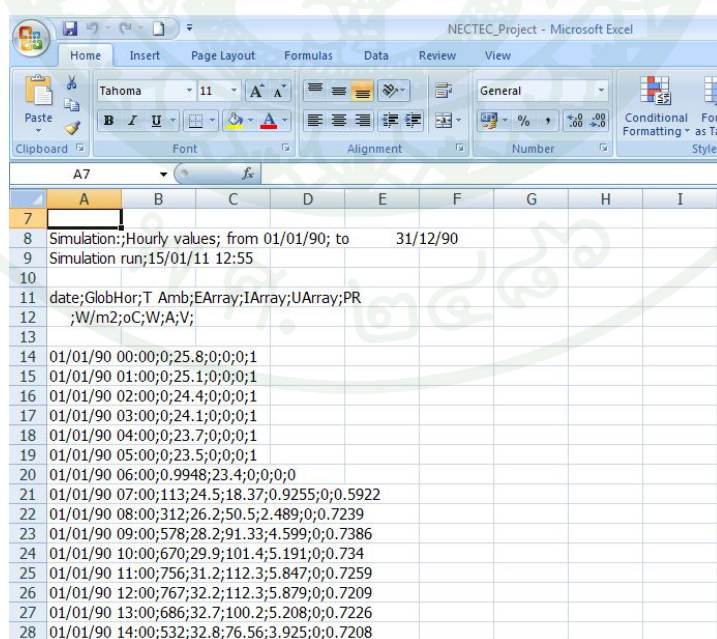


Date By Day	Channel	Avg Of Er	Avg Of T1	Avg Of Voc
1 กรกฎาคม 2007	CH(06)	.352862093258988	28.2597720406272	25.9971708817915
1 กรกฎาคม 2008	CH(06)	.230704454535788	29.0349993272261	25.6642710945823
1 กันยายน 2007	CH(06)	.486752177503976	25.9877267317338	25.612118807706
1 กันยายน 2008	CH(06)	.467404820024967	28.7579539905895	25.7826695875688
1 กุมภาพันธ์ 2007	CH(06)	.543252907016061	27.6840901808305	25.990400834517
1 กุมภาพันธ์ 2008	CH(06)	.378930362788114	28.1704538518732	25.235932263461
1 ตุลาคม 2007	CH(06)	.417534363879399	26.2681810205633	25.639876278964
1 ตุลาคม 2008	CH(06)	.268104087561369	29.0515901392156	25.271294333718
1 ธันวาคม 2008	CH(06)	.551437542519786	29.6252264543013	26.691822052002
1 พฤศจิกายน 2007	CH(06)	.312198997898535	25.8206813118675	25.3796482086182
1 พฤศจิกายน 2008	CH(06)	.506241818381981	28.759090423584	26.057839827104
1 พฤษภาคม 2007	CH(06)	.128418699838221	27.6437492370605	25.0806628128052
1 พฤษภาคม 2008	CH(06)	.334809452633966	27.1522719643333	25.8797687183727
1 มกราคม 2007	CH(06)	.506000001728535	26.8569999694824	25.8660003662109
1 มิถุนายน 2007	CH(06)	.563273725861853	28.2895448858088	25.5821463844993
1 มิถุนายน 2008	CH(06)	.395441633056511	29.767954046076	25.7264156341553
1 มีนาคม 2007	CH(06)	.411305355416103	27.7799994728782	25.7433542771773
1 มีนาคม 2008	CH(06)	.464439084160734	28.8149994936856	25.7623714100231
1 เมษายน 2007	CH(06)	.511901001361283	28.0079543373801	25.5695256319913
1 เมษายน 2008	CH(06)	.512095180424777	28.7222721793435	25.7556943026456
1 สิงหาคม 2007	CH(06)	.622364723256656	27.7267848423549	25.7451716831752
1 สิงหาคม 2008	CH(06)	.234149092300372	28.3845447193493	25.5462103410201
10 กรกฎาคม 2007	CH(06)	.47378909079866	28.3897720683705	25.6407479372892
10 กรกฎาคม 2008	CH(06)	.203496542505243	28.7949992093173	25.7105099071156

ภาพที่ 31 ค่าเฉลี่ย Query ข้อมูล IV แบบรายวัน

3. การวิเคราะห์ผลการคาดการณ์ค่าทางไฟฟ้าจากโปรแกรม PVSYS 5.31

ผลการคาดการณ์ค่าทางไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม PVSYS 5.31 โดยปกติจะถูกเก็บไว้ที่ C:\Program Files\PVsys5.31\Data\Userdata ซึ่งเป็นเอกสารนามสกุล .csv สามารถใช้โปรแกรม Microsoft office เปิดได้ ดังภาพที่ 32



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
7									
8	Simulation::Hourly values; from 01/01/90; to					31/12/90			
9	Simulation run;15/01/11 12:55								
10									
11	date;GlobHor;T Amb;EArray;IArray;UArray;PR								
12	;W/m2;oC;W;A;V;								
13									
14	01/01/90 00:00;0;25.8;0;0;0;1								
15	01/01/90 01:00;0;25.1;0;0;0;1								
16	01/01/90 02:00;0;24.4;0;0;0;1								
17	01/01/90 03:00;0;24.1;0;0;0;1								
18	01/01/90 04:00;0;23.7;0;0;0;1								
19	01/01/90 05:00;0;23.5;0;0;0;1								
20	01/01/90 06:00;0.9948;23.4;0;0;0;0								
21	01/01/90 07:00;113;24.5;18.37;0.9255;0;0.5922								
22	01/01/90 08:00;312;26.2;50.5;2.489;0;0.7239								
23	01/01/90 09:00;578;28.2;91.33;4.599;0;0.7386								
24	01/01/90 10:00;670;29.9;101.4;5.191;0;0.734								
25	01/01/90 11:00;756;31.2;112.3;5.847;0;0.7259								
26	01/01/90 12:00;767;32.2;112.3;5.879;0;0.7209								
27	01/01/90 13:00;686;32.7;100.2;5.208;0;0.7226								
28	01/01/90 14:00;532;32.8;76.56;3.925;0;0.7208								

ภาพที่ 32 ข้อมูลที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยโปรแกรม PVSYS 5.31

จากนั้น Filter ข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม PVSYST 5.31 โดยจัดให้ 1 ชุดข้อมูลเป็น 1 คอลัมน์ ดังภาพที่ 33 แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ต่อไป

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
13	date	Time	GlobHor	T Amb	Earray	Iarray	PR							
14	01/01/	00:00	0	25.8	0	0	1							
15	01/01/	01:00	0	25.1	0	0	1							
16	01/01/	02:00	0	24.4	0	0	1							
17	01/01/	03:00	0	24.1	0	0	1							
18	01/01/	04:00	0	23.7	0	0	1							
19	01/01/	05:00	0	23.5	0	0	1							
20	01/01/	06:00	0	23.4	0	0	0							
21	01/01/	07:00	113	24.5	18.37	0.9255	0.5922							
22	01/01/	08:00	312	26.2	50.5	2.489	0.7239							
23	01/01/	09:00	578	28.2	91.33	4.599	0.7386							
24	01/01/	10:00	670	29.9	101.5	5.191	0.734							
25	01/01/	11:00	756	31.2	112.3	5.847	0.7259							
26	01/01/	12:00	767	32.2	112.3	5.879	0.7209							
27	01/01/	13:00	686	32.7	100.2	5.208	0.7226							
28	01/01/	14:00	532	32.8	76.56	3.925	0.7208							
29	01/01/	15:00	321	32.2	44.19	2.251	0.7003							
30	01/01/	16:00	165	31.2	22.14	1.146	0.6271							
31	01/01/	17:00	20	30	0	0	0							
32	01/01/	18:00	0	29.4	0	0	1							
33	01/01/	19:00	0	28.8	0	0	1							
34	01/01/	20:00	0	28.1	0	0	1							
35	01/01/	21:00	0	27.5	0	0	1							
36	01/01/	22:00	0	26.9	0	0	1							
37														
38														
39														

ภาพที่ 33 ข้อมูลที่ได้จากการคาดการณ์ด้วยโปรแกรม PVSYST 5.31 หลังจัดชุดข้อมูลแล้ว

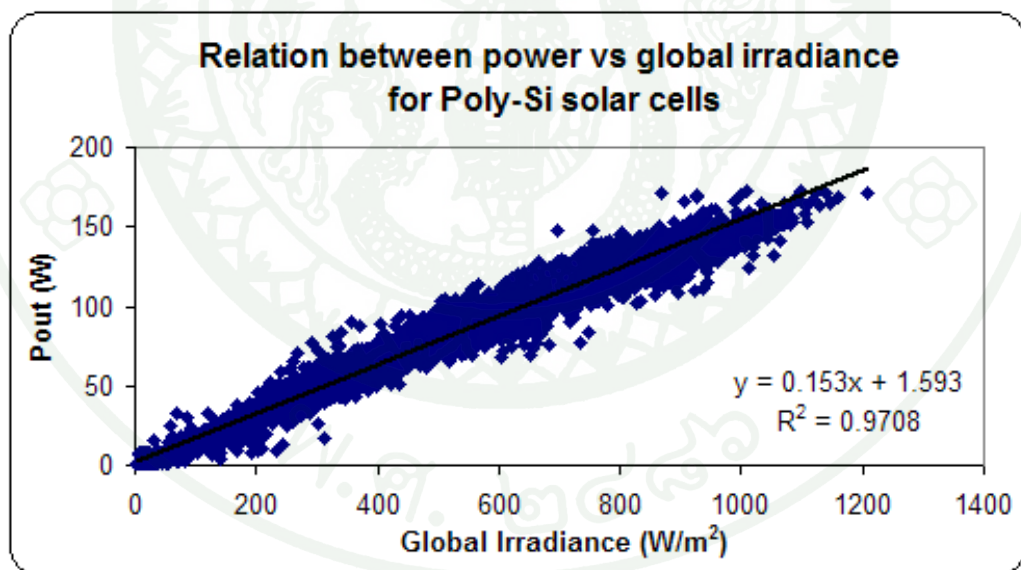
ผลและวิจารณ์

ผล

1. ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่PTEC

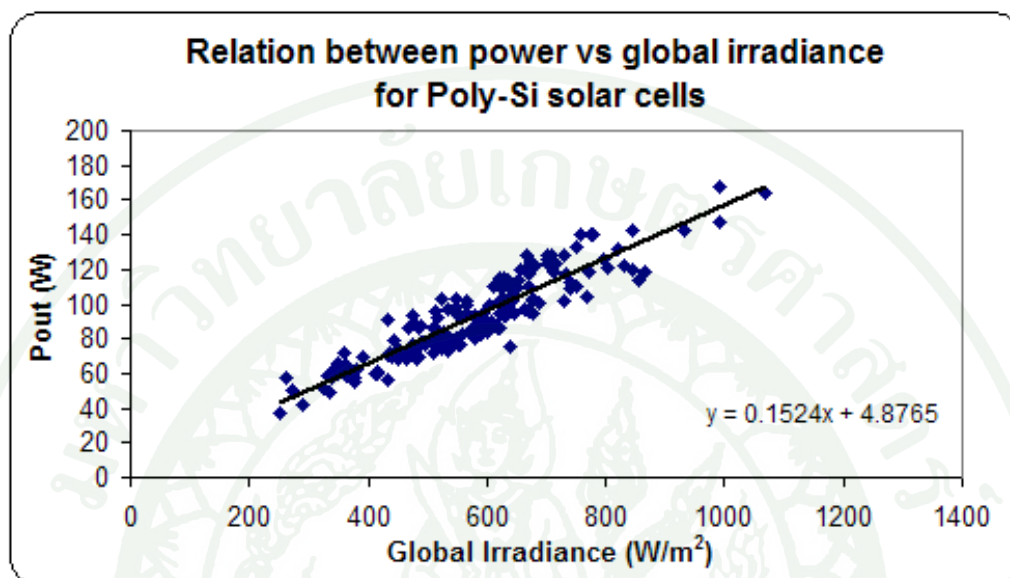
1.1 ผลของความเข้มแสงที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ผลของความเข้มแสง (Global irradiance) ที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ที่มีค่า P_{max} เท่ากับ 170 W ในปี พ.ศ.2551 ที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ช่วงเวลา 7:00 น. ถึง 17:00 น. ของทุกวัน พบว่า การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Global irradiance มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9708 แสดงดังภาพที่ 34



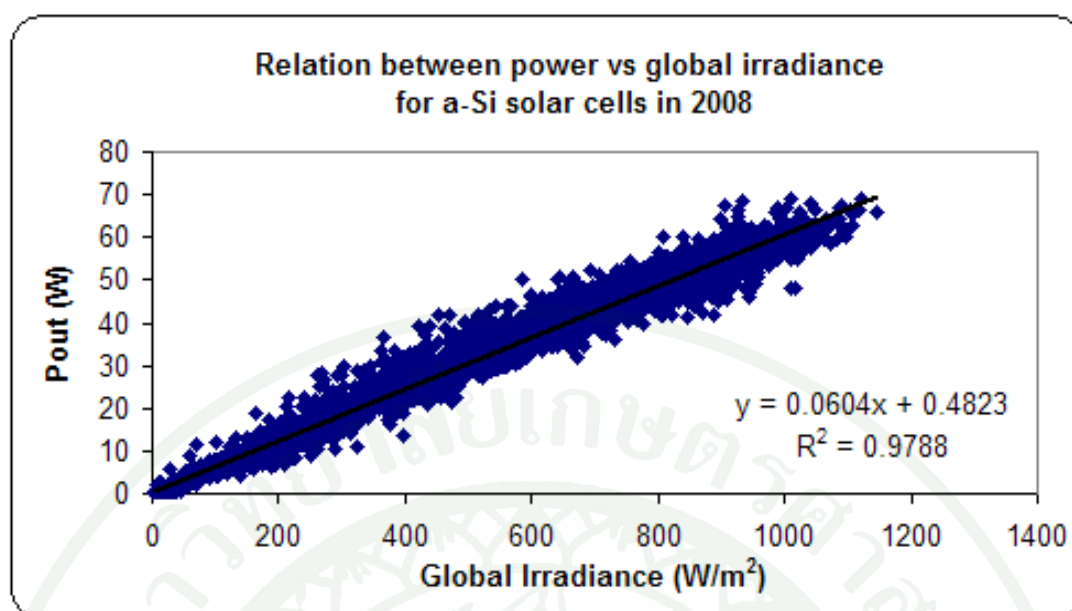
ภาพที่ 34 การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Global irradiance ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si

จากนั้นกำหนดค่า Cell temperature ที่ $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$ และพิจารณาความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Global irradiance พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Global irradiance ที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ดังภาพที่ 35



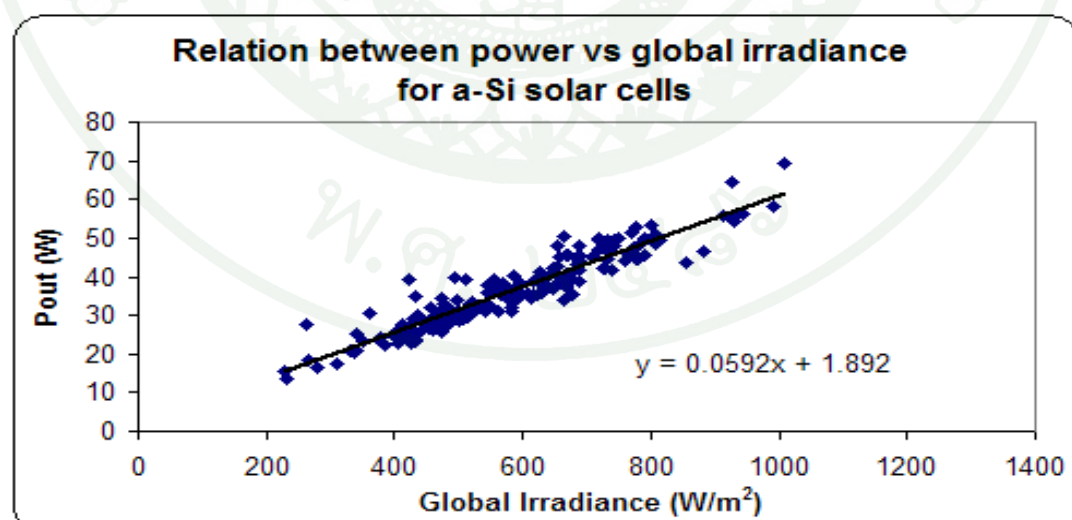
ภาพที่ 35 อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Global irradiance ที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si เมื่อกำหนดค่า Cell temperature ที่ $50 \pm 5^{\circ}\text{C}$

สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si โครงสร้างเซลล์เดี่ยวที่มีค่า $P_{\max}$ เท่ากับ 60 W พบว่าการกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Global irradiance มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9788 ดังภาพที่ 36



ภาพที่ 36 การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Global irradiance ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

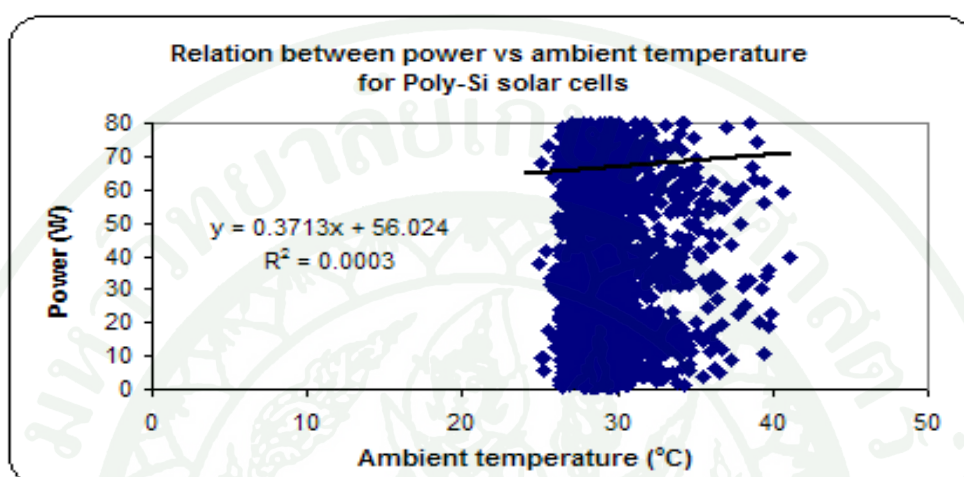
จากนั้นกำหนดค่า Cell temperature ที่ $50 \pm 5^\circ\text{C}$ และพิจารณาความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Global irradiance พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Global irradiance ที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Global irradiance ที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si เมื่อกำหนดค่า Cell temperature ที่ $50 \pm 5^\circ\text{C}$

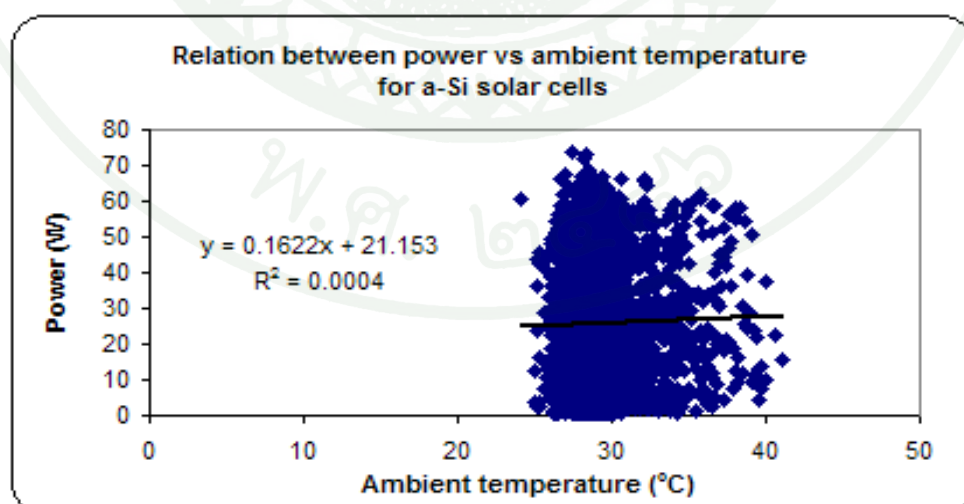
1.2 ผลของอุณหภูมิบรรยากาศที่มีต่อค่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ผลของค่าอุณหภูมิบรรยากาศ (Ambient temperature) ที่มีต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si แสดงดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Ambient temperature ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si

สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีความสัมพันธ์ดังภาพที่ 39

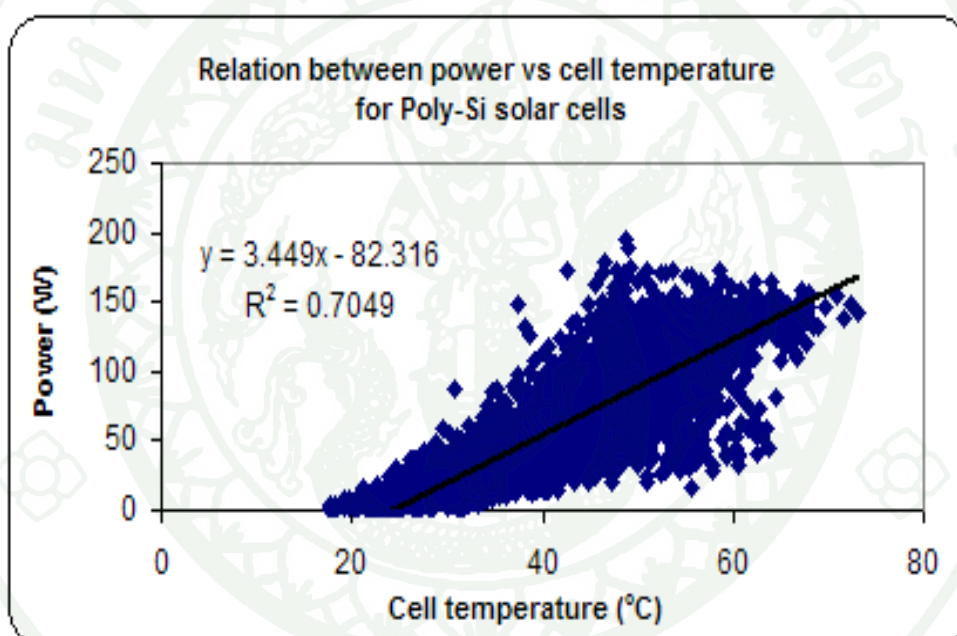


ภาพที่ 39 การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Ambient temperature ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

จากภาพที่ 38 และ 39 พบว่า ผลกระทบของ Ambient temperature ที่มีต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองชนิดไม่มีความสัมพันธ์กันอย่างชัดเจน อาจเกิดจาก Ambient temperature ของประเทศไทยมีการกระจายตัวอยู่ในช่วงแคบๆ

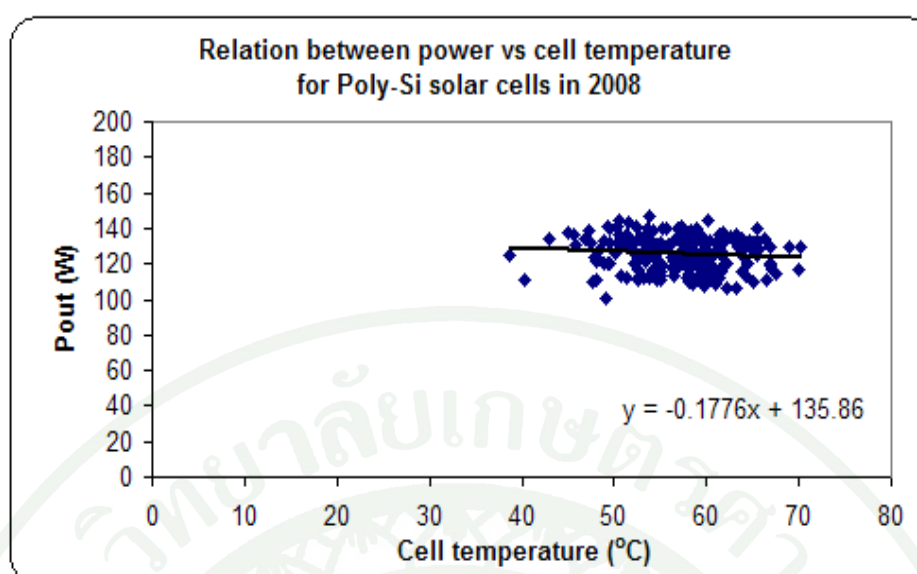
1.3 ผลของความอุณหภูมิแผงเซลล์ที่มีต่อกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ผลของค่าอุณหภูมิแผงเซลล์ (Cell temperature) ต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si พบว่า การกระจายตัวของกำลังไฟฟ้ากับ Cell temperature มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7049 แสดงดังภาพที่ 40



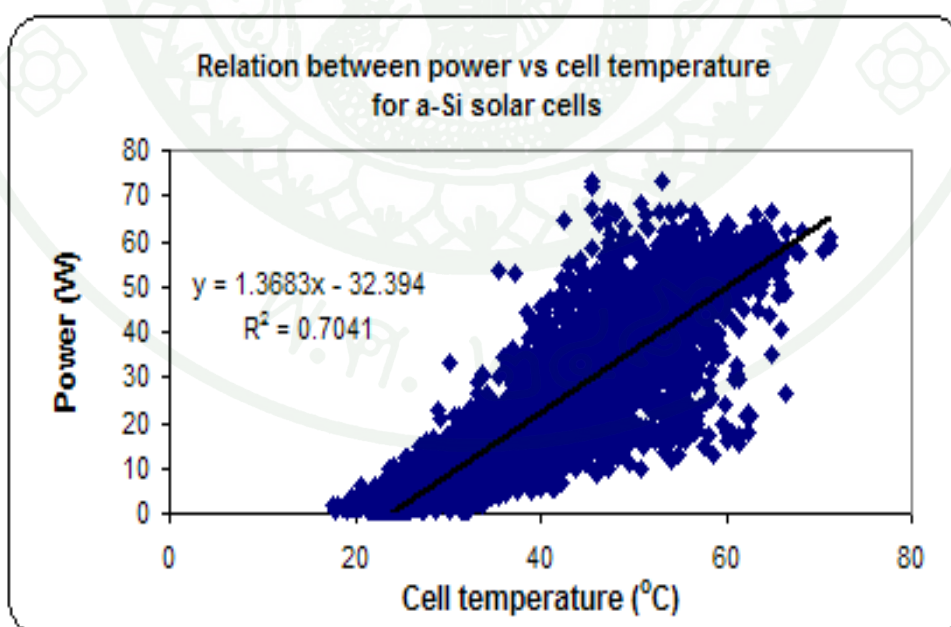
ภาพที่ 40 การกระจายตัวของกำลังไฟฟ้ากับ Cell temperature ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si

จากนั้นกำหนดค่า Global irradiance ที่ $800 \pm 50 \text{ W/m}^2$ และพิจารณาความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ากับ Cell temperature พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Cell temperature ที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ลดลง ดังภาพที่ 41



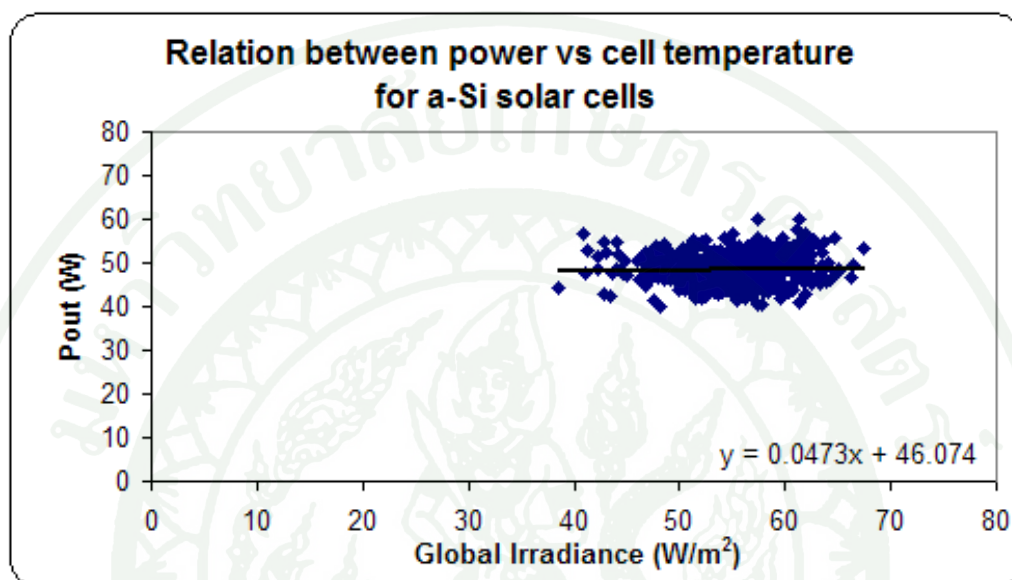
ภาพที่ 41 อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Cell temperature ที่มีต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly -Si เมื่อกำหนดค่า Global irradiance ที่ $800 \pm 50 \text{ W/m}^2$

สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si พบว่า การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Cell temperature มีค่า R^2 เท่ากับ 0.7041 ดังภาพที่ 42



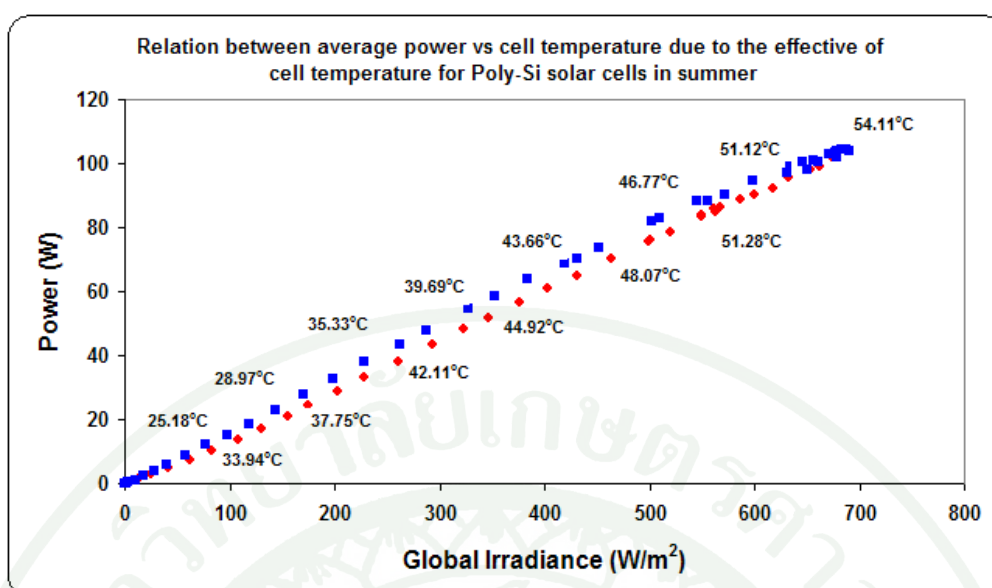
ภาพที่ 42 การกระจายตัวของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Cell temperature ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

จากนั้นกำหนดค่า Global irradiance ที่ $800 \pm 50 \text{ W/m}^2$ และพิจารณาความสัมพันธ์ของค่ากำลังไฟฟ้ากับ Cell temperature พบว่า อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Cell temperature ที่เพิ่มสูงขึ้นยังไม่สามารถทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ลดลง ซึ่งแตกต่างกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ดังภาพที่ 43

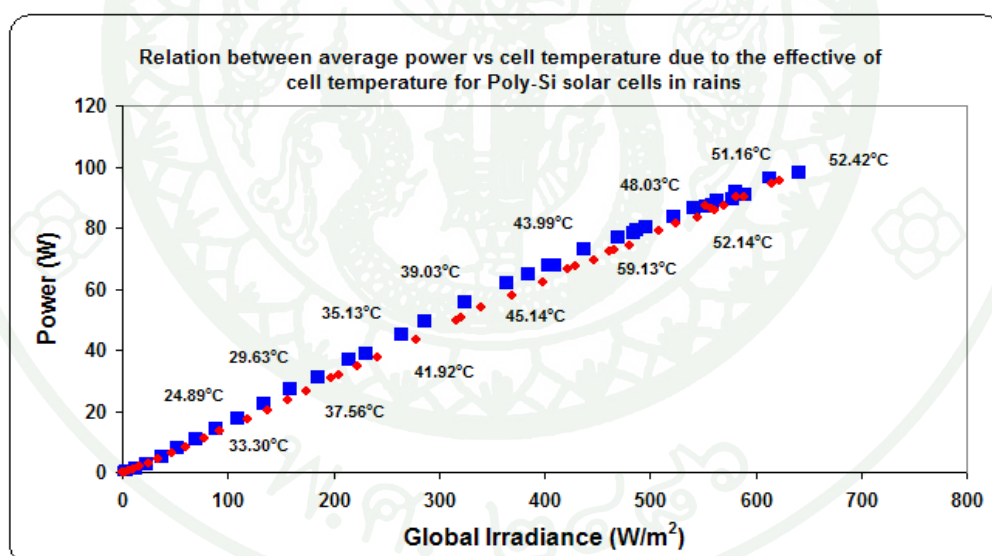


ภาพที่ 43 อัตราการเปลี่ยนแปลงของ Cell temperature ที่มีต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si เมื่อกำหนดค่า Global irradiance ที่ $800 \pm 50 \text{ W/m}^2$

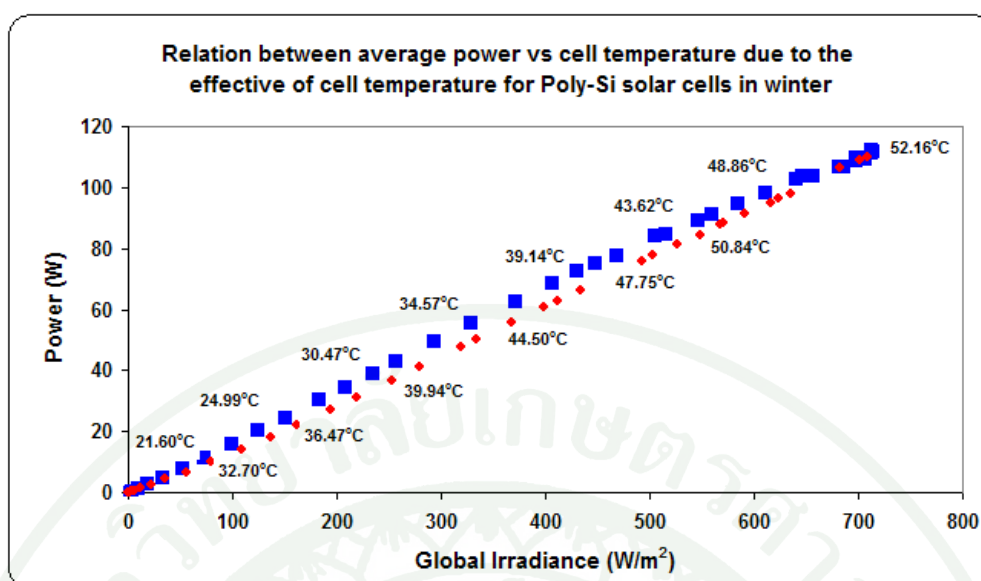
เมื่อทำการวิเคราะห์ค่า Cell temperature โดยแบ่งตามฤดูกาล ประเทศไทยสามารถแบ่งได้ 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อนอยู่ช่วงมีนาคม ถึง มิถุนายน ฤดูฝนอยู่ในช่วง กรกฎาคม ถึง ตุลาคม และฤดูหนาวอยู่ในช่วง พฤศจิกายน ถึง กุมภาพันธ์ โดยปกติแล้วประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าขึ้นกับ Cell temperature ซึ่งสามารถอธิบายผลกระทบจากอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ได้จากภาพที่ 44-46 เป็น hysteresis curve แสดงผลกระทบของค่า Cell temperature ด้วยกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่าความเข้มแสงต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาลในช่วงปี พ.ศ. 2551 ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si



ภาพที่ 44 ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly -Si ในช่วงฤดูร้อน

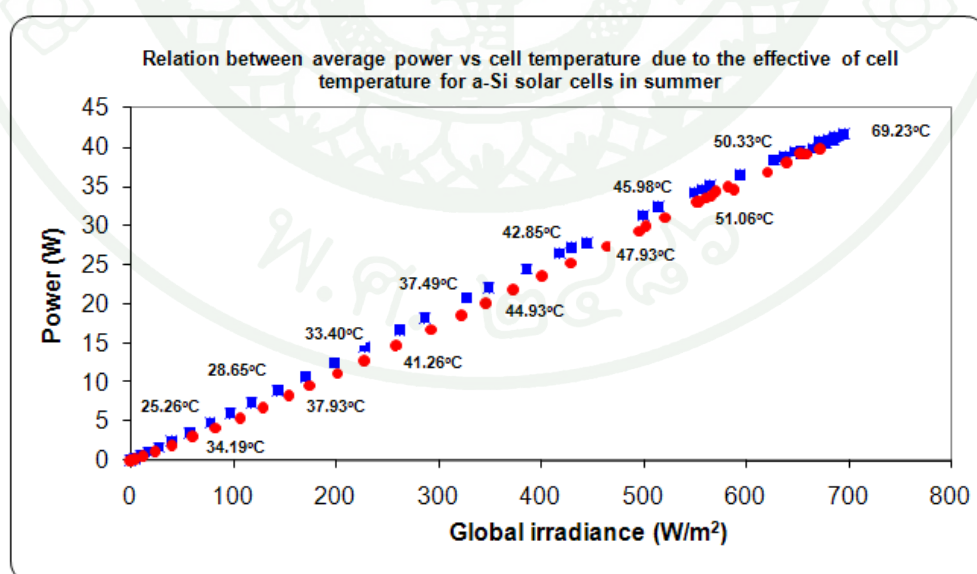


ภาพที่ 45 ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly -Si ในช่วงฤดูฝน

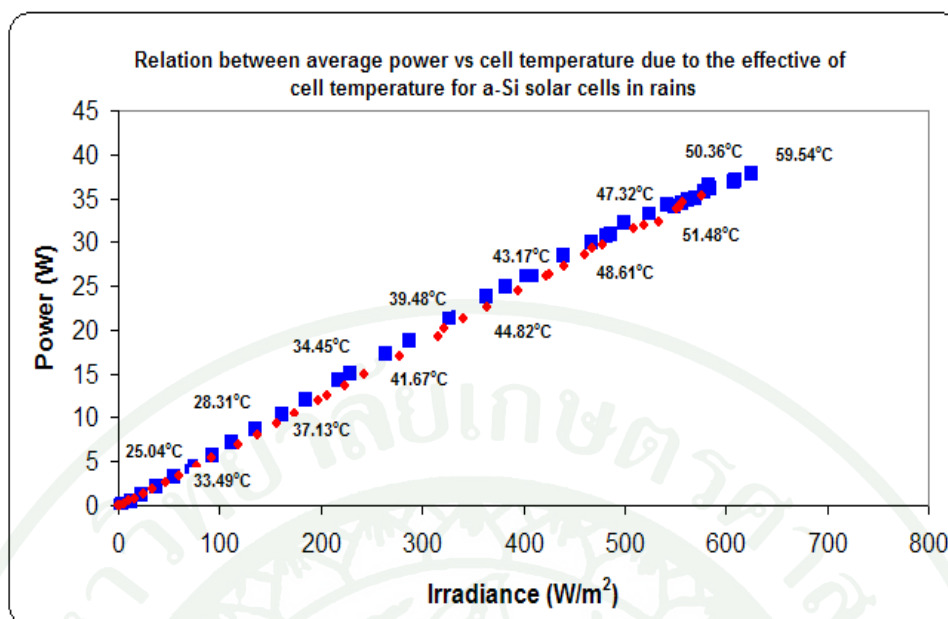


ภาพที่ 46 ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ในช่วงฤดูหนาว

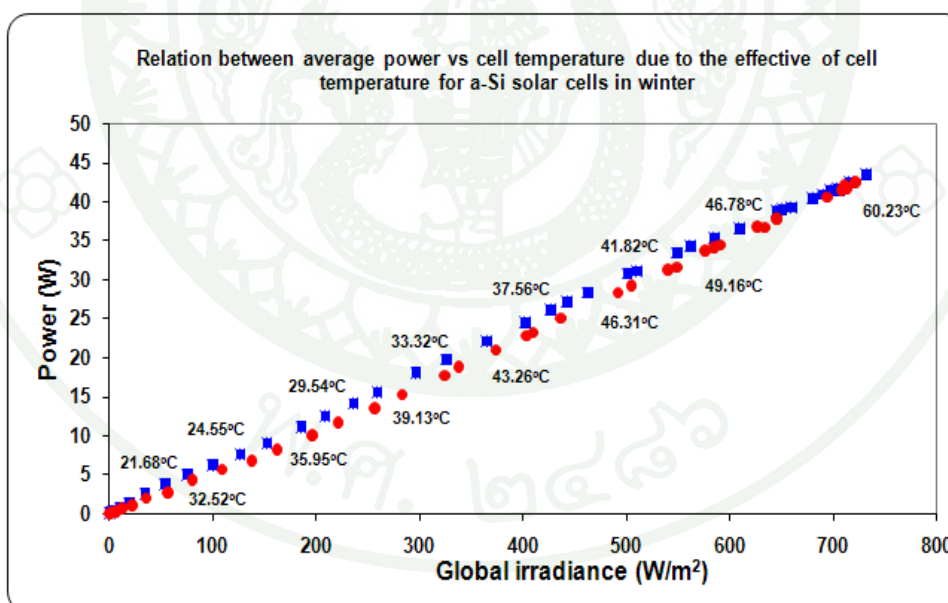
สำหรับการแสดงผลกระทบของค่า Cell temperature ด้วยกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่าความเข้มแสงต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามฤดูกาลในช่วงปี พ.ศ. 2551 ของเซลล์แสงอาทิตย์ a-Si แสดงดังภาพที่ 47-49



ภาพที่ 47 ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ในช่วงฤดูร้อน



ภาพที่ 48 ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ในช่วงฤดูฝน

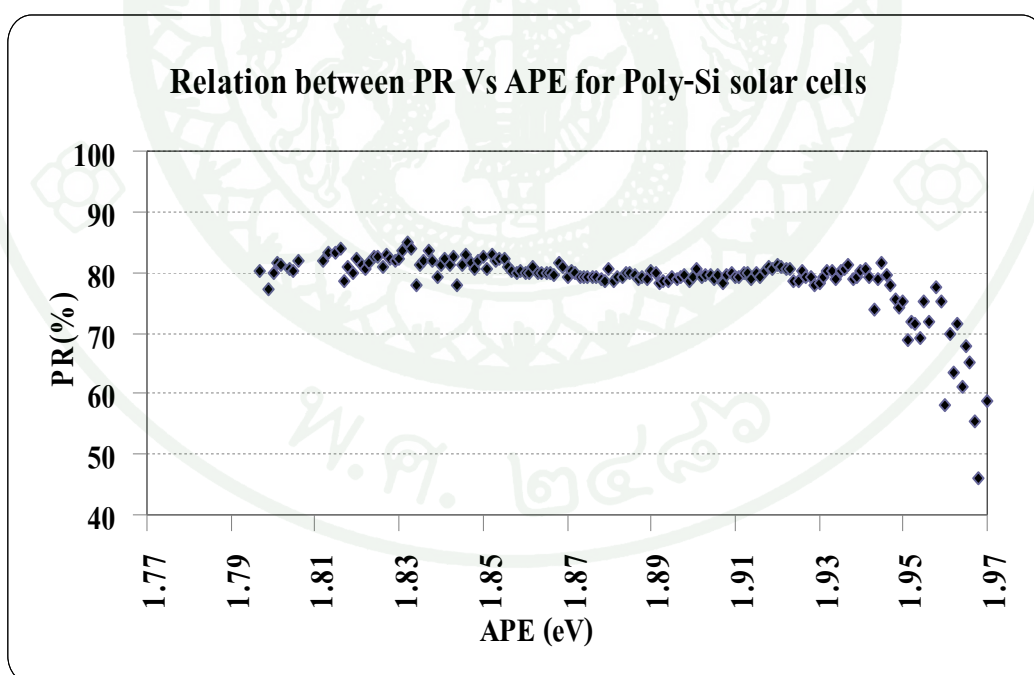


ภาพที่ 49 ผลกระทบของค่า Cell temperature เมื่อสร้างกราฟการกระจาย XY ระหว่างค่า Global irradiance ต่อค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ในช่วงฤดูหนาว

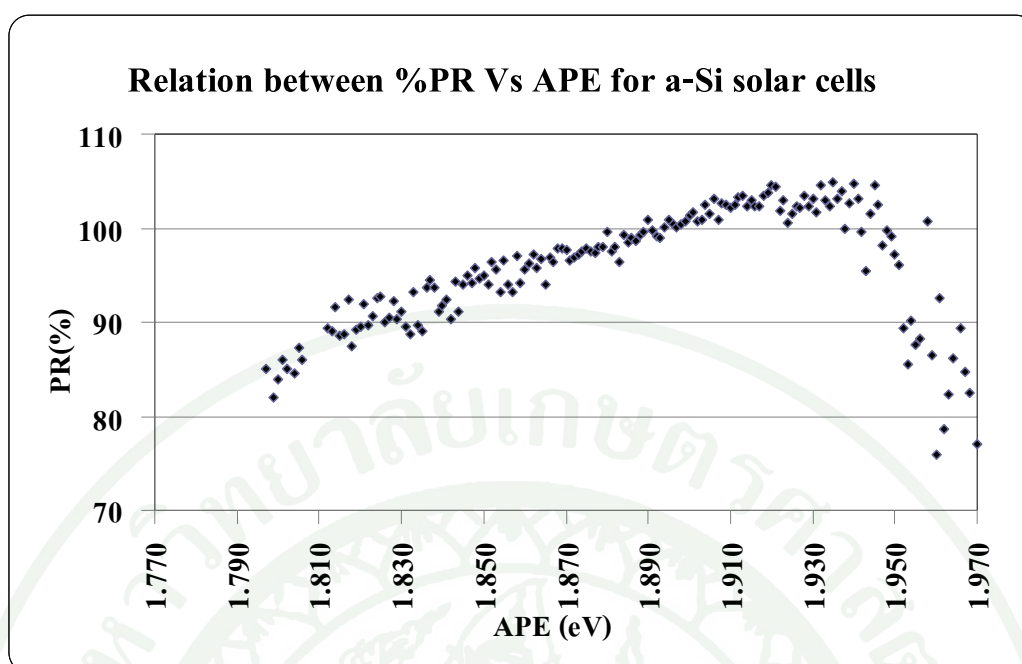
จากกราฟการกระจาย XY พบว่า ที่จุดเริ่มต้นของกราฟเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่มีการผลิตกำลังไฟฟ้า เนื่องจากไม่มีค่าความเข้มแสง เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตรงกับค่าความเข้มแสง เมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นตามลำดับ และจุดที่เซลล์แสงอาทิตย์มีค่าสูงสุดเป็นจุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ร้อน ดังนั้นประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลง โดยจะสังเกตได้ว่าเมื่อความเข้มแสงลดลงค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จะแตกต่างกัน

1.4 ผลการวิเคราะห์ค่า PR และ APE ของเซลล์แสงอาทิตย์

ในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์สมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PR และค่า APE ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด การวิเคราะห์ผลกระทบจากสเปกตรัมแสงต่อสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งพบว่าผลกระทบจากสเปกตรัมแสงมีผลเพียงเล็กน้อยต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si ได้รับผลกระทบอย่างมาก แสดงในภาพที่ 50 คือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si และภาพที่ 51 คือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si



ภาพที่ 50 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PR กับค่า APE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si
(นิตินันท์, 2552)



ภาพที่ 51 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า APE กับค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

2. ผลการวิเคราะห์สมรรถนะเซลล์แสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน IEC 61724

ผลการวิเคราะห์สมรรถนะเซลล์แสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน IEC 61724 สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน IEC 61724

Parameters	Poly-Si	a-Si
Net energy from array ($E_{A,T}$), (kWh/day)	11.23	4.22
Array yield (Y_A), (h/d)	4.36	4.56
Performance ratio (PR), (%)	92.54	105

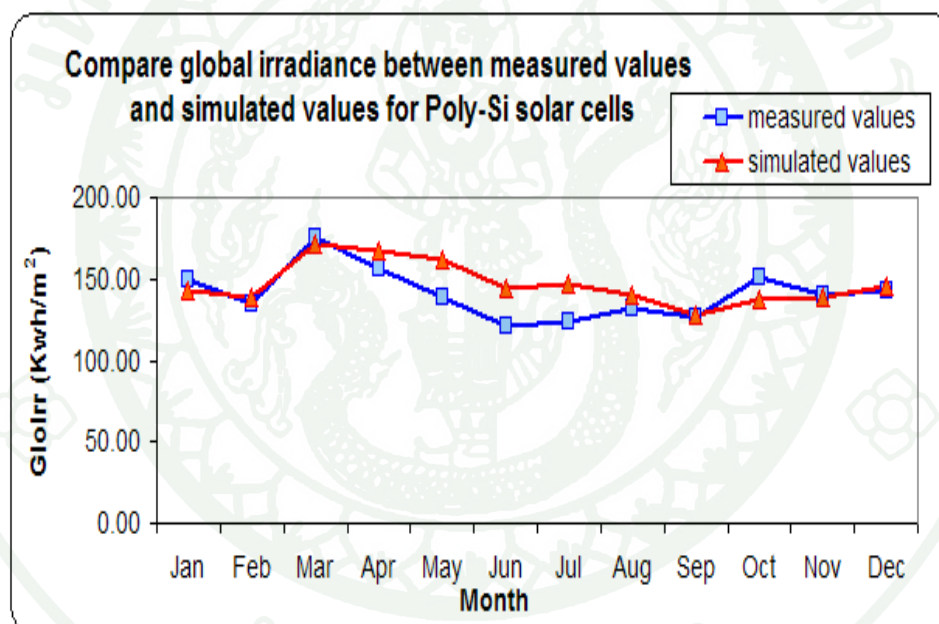
จากตารางที่ 5 แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการผลิตพลังงานสุทธิ ($E_{A,T}$) ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si มีค่ามากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ค่อนข้างมาก แต่ประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน (Y_A) และ PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีค่ามากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด

Poly-Si ซึ่งเกิดจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si สามารถตอบสนองสเปกตรัมที่ประเทศไทยได้ดีกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si

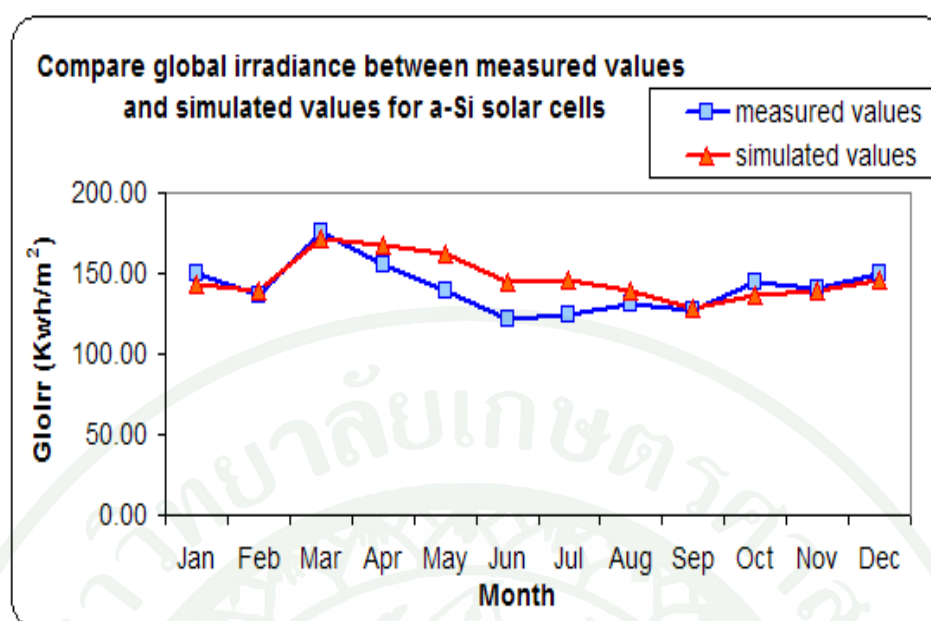
3. ผลการวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรม PVSYST 5.31

1.4 ผลการเปรียบเทียบค่าความเข้มแสง

ผลการเปรียบเทียบค่า Global irradiance จากข้อมูลที่วัดภายนอกอาคารที่ PTEC กับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลอง สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si และ a-Si แสดงได้ดังภาพที่ 52-53 ตามลำดับ



ภาพที่ 52 เปรียบเทียบ Global irradiance จากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si

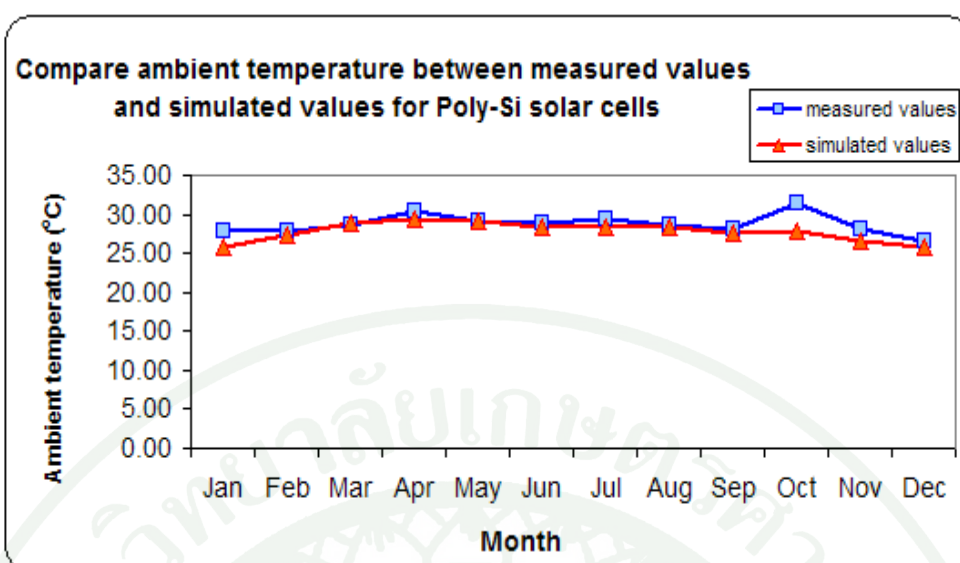


ภาพที่ 53 เปรียบเทียบ Global irradiance จากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

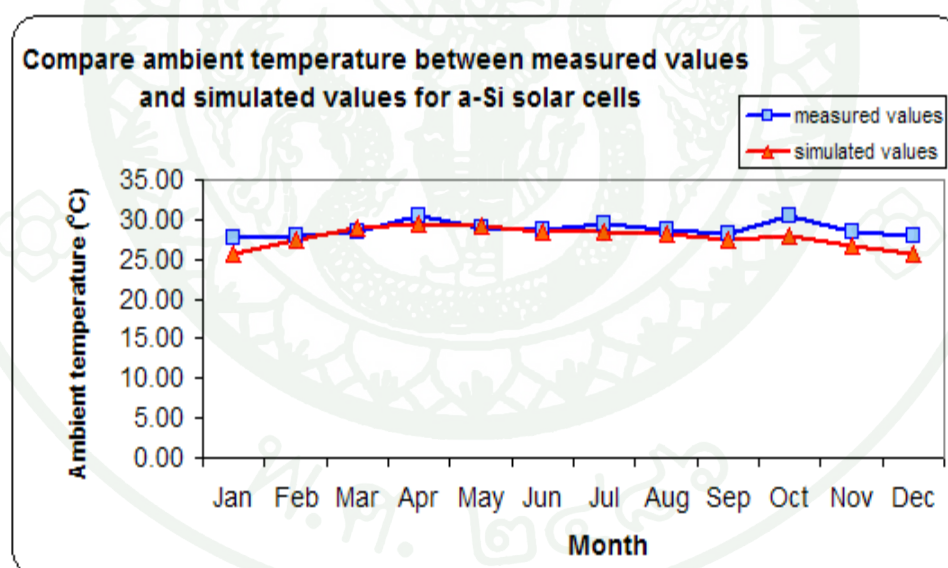
พบว่า สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si มีค่า Global irradiance ที่ได้จากฐานข้อมูลโปรแกรมจำลองมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จาก SOLARTEC ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคมเฉลี่ย 17.91 kWh/m² และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีค่า Global irradiance ที่ได้จากฐานข้อมูลโปรแกรมจำลองมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จาก SOLARTEC ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคมเฉลี่ย 17.92 kWh/m²

1.5 ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิบรรยากาศ

การเปรียบเทียบค่า Ambient temperature จากข้อมูลที่วัดภายนอกอาคารที่ PTEC กับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลอง สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si และ a-Si แสดงได้ดังภาพที่ 54-55 ตามลำดับ



ภาพที่ 54 เปรียบเทียบ Ambient temperature จากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si



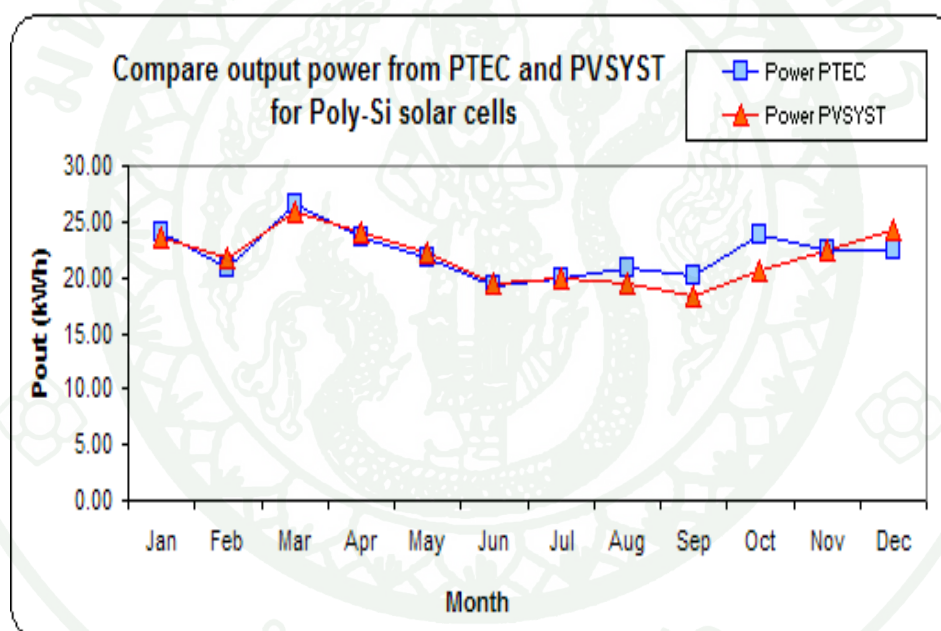
ภาพที่ 55 เปรียบเทียบ Ambient temperature จากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

พบว่า สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si มีค่า Ambient temperature มีค่าความแตกต่างเฉลี่ยร้อยละ 3.52 โดยค่าความแตกต่างสูงสุดที่เดือนตุลาคมประมาณ 3.59 องศาเซลเซียส

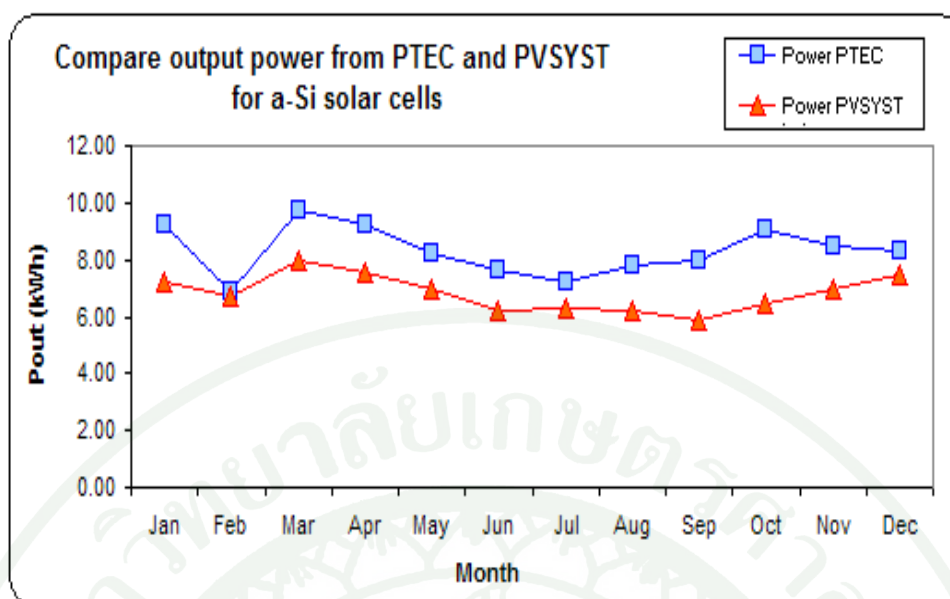
และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีค่า Ambient temperature มีค่าความแตกต่างเฉลี่ยร้อยละ 3.74 ค่าความแตกต่างสูงสุดที่เดือนตุลาคมประมาณ 2.57 องศาเซลเซียส จากภาพที่ 54 และ 55 จะพบว่าค่า Ambient temperature จากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองมีค่าใกล้เคียงกันมาก

1.6 ผลการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้า

การเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าจากข้อมูลที่วัดภายนอกอาคารที่ PTEC กับโปรแกรม PVSYST 5.31 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si และ a-Si แสดงได้ดังภาพที่ 56-57 ตามลำดับ

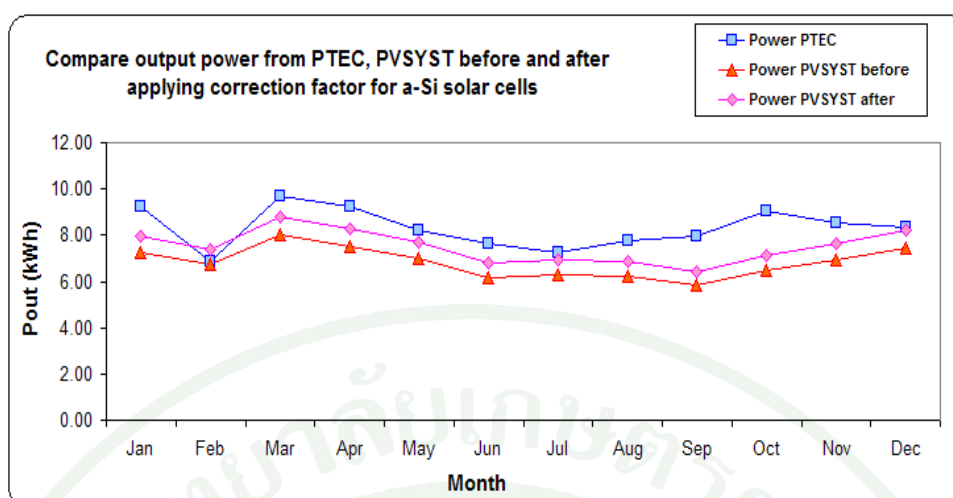


ภาพที่ 56 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับโปรแกรม PVSYST 5.31 ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si



ภาพที่ 57 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับโปรแกรม PVSYST 5.31 ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

พบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการข้อมูลวัดภายนอกอาคารเทียบกับโปรแกรม PVSYST 5.31 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 4.22 และสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 17.54 แต่เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PR และ APE พบว่า ค่า APE ในประเทศไทยมีค่ามากกว่าค่า APE มาตรฐาน STC (1.88 eV) แสดงว่าประเทศไทยมีองค์ประกอบของแสงสีน้ำเงินสูงกว่าสเปกตรัมมาตรฐานส่งผลให้สมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงตามไปด้วย ทำให้ค่า PR มีค่าสูงขึ้นเป็นประมาณ 105% จึงทำการปรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม PVSYST 5.31 ด้วยค่า Correction factor เท่ากับ 1.1 ได้ผลดังภาพที่ 58



ภาพที่ 58 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าจากข้อมูลวัดภายนอกอาคาร, โปรแกรม PVSYST 5.31 และจากโปรแกรม PVSYST 5.31 หลังปรับ Correction factor ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

หลังทำการปรับค่ากำลังไฟฟ้าด้วยค่า Correction factor พบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการข้อมูลวัดภายนอกอาคารเทียบกับโปรแกรม PVSYST 5.31 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ลดลงเท่ากับ 10.60%

วิจารณ์

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PR และค่า APE ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si พบว่า PR มีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อ APE เปลี่ยนแปลง สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si พบว่าค่า PR เพิ่มขึ้นตามค่า APE ที่เพิ่มขึ้น จนถึงค่า APE ประมาณ 1.95 eV ค่า PR จะมีค่าลดลงเนื่องจากผลของการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของตัวเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับผลการเปรียบเทียบค่า Global irradiance และ Ambient temperature จากข้อมูลที่วัดภายนอกอาคารที่ PTEC กับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลอง จากภาพที่ 57 และ 58 จะพบว่าในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนกรกฎาคม ข้อมูลวัดภายนอกอาคารกับฐานข้อมูลของโปรแกรมจำลองของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิดมีค่าแตกต่างกันมากนั้น ส่วนหนึ่งเกิดจากสภาพภูมิอากาศที่เปลี่ยนแปลงไป เช่น เกิดสภาพอากาศผิดปกติ, ฝนตก เนื่องจากค่าความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity) มีค่าเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิมีค่าลดลงในช่วงเดือนพฤษภาคม ถึงเดือนมิถุนายน ซึ่งควรจะเป็นฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นสูงและค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการข้อมูลวัดภายนอกอาคารเทียบกับโปรแกรม PVSYST 5.31 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 4.22 และสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 17.54 ซึ่งมีค่าแตกต่างค่อนข้างมากเนื่องจากโปรแกรม PVSYST 5.31 ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Mono-Si ในการออกแบบโปรแกรมทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ที่ตอบสนองช่วงความยาวคลื่นที่แตกต่างกันเกิดความคลาดเคลื่อนได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการเก็บข้อมูลที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ช่วงเวลา 7:00 น. ถึง 17:00 น. ในปี พ.ศ. 2551 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si และ a-Si พบว่า Global irradiance และ Cell temperature มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่ากำลังไฟฟ้า และเมื่อทำการวิเคราะห์ค่า Cell temperature โดยแบ่งตามฤดูกาลพบว่า Cell temperature มีผลทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง แต่ Ambient temperature ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับกำลังไฟฟ้าอย่างชัดเจนเนื่องจาก Ambient temperature ของประเทศไทยมีค่าการกระจายตัวในช่วงแคบตั้งแต่ 24 – 40 องศาเซลเซียส

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PR และค่า APE ของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด การวิเคราะห์ผลกระทบจากสเปกตรัมแสงต่อสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งพบว่าผลกระทบจากสเปกตรัมแสงมีผลเพียงเล็กน้อยต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si ได้รับผลกระทบอย่างมาก โดยค่า PR เพิ่มขึ้นตามค่า APE ที่เพิ่มขึ้น จนถึงค่า APE ประมาณ 1.95 eV ค่า PR จะมีค่าลดลงเนื่องจากผลของการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของตัวเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน IEC 61724 พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโพลีซิลิกอนมี Net energy from array ($E_{A,T}$) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 11.23 kWh/day, Array yield (Y_A) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.36 h/d และ Performance ratio (PR) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 92.54 และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอนมี Net energy from array ($E_{A,T}$) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.22 kWh/day, Array yield (Y_A) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.65 h/d และ Performance ratio (PR) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 105

สำหรับค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการข้อมูลวัดภายนอกอาคารเทียบกับโปรแกรม PVSYST 5.31 พบว่า สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 4.22 และสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si หลังปรับค่า Correction factor เท่ากับ 1.1 มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 10.60

แสดงว่าสำหรับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยนั้น ควรใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ที่ให้สมรรถนะในการผลิตไฟฟ้าต่อวัน และค่า PR ได้ดีกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงระบบโดยรวมที่ทำการติดตั้งด้วย เช่น พื้นที่ในการติดตั้งระบบ, เงินทุน ด้วย และยังสามารถใช้โปรแกรม PVSYST 5.31 ในการออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะติดตั้งในประเทศไทยได้ โดยมีค่าความน่าเชื่อถือร้อยละ 95.78 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si และความน่าเชื่อถือร้อยละ 89.40 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si

ข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาระหว่างการดำเนิน โครงการวิจัย และจากผลของการดำเนิน โครงการทางคณะผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางที่คาดว่าจะประโยชน์ในการพัฒนาโครงการวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. ทำการวิเคราะห์สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มเติม โดยใช้ข้อมูลวัดจริงจากฟิสิกส์อื่นหรือภูมิภาคอื่น เพื่อทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ในภูมิภาคต่างๆในประเทศไทย
2. ค่า APE ที่ประเทศไทยมีแนวโน้มแตกต่างจากที่สภาวะมาตรฐานที่ 1.88 eV ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si กว่า 100%
3. จากการศึกษาผลของความคลาดเคลื่อนของโปรแกรมพบว่า สามารถใช้งานโปรแกรม PVSYST 5.31 ในการช่วยออกแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Si ซึ่งให้ค่ากำลังไฟฟ้าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 4.22 สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีค่ากำลังไฟฟ้าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยร้อยละ 10.60

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คู่มือ เครื่องาม. 2542. สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ เทคโนโลยีและการใช้งาน เล่ม 1.

พิมพ์ครั้งที่ 1 สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ทรงพล ยุทธเกรียงไกร. 2549. สมรรถนะของระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน

แบบผสมผสานสำหรับหมู่บ้าน (กรณีหมู่บ้านเกาะจิก). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

นิธินันท์ พูลชนะนันท์. 2553. การศึกษาผลของสเปกตรัมแสงต่อสมรรถภาพของเซลล์

แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,

กรุงเทพฯ.

พยุสศักดิ์ ก้อนแก้ว. 2549. การศึกษาแนวทางการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับ

อาคารอื้อจือเหลียง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,

กรุงเทพฯ.

ศุภลักษณ์ สติธิชีวิน. 2548. การพัฒนาโมเดลเทคนิคสำหรับระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าด้วย

พลังงานทดแทนแบบผสมผสาน กรณีเกาะจิก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. แผนที่

พลังงานแสงอาทิตย์. แหล่งที่มา : http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=80%3A2010-05-03-10-23-13&catid=52%3A2010-04-06-09-11-30&Itemid=68&lang=th, 7 มกราคม 2554.

สำนักพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. ปริมาณ

การใช้งานด้านพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526-2553.

แหล่งที่มา : http://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=82%3A2010-05-03-10-47-53&catid=52&Itemid=68&lang=th, 7 มกราคม

2554.

AU Optronics Corp. 2011. **Solar Module Technology**. Available Source:

<http://www.auosolar.com/?sn=638&lang=en-US>, May 1, 2011.

EYE Lighting International of North America Inc. n.d. **Solar Energy**. Available Source:

<http://www.eyesolarlux.com/Solar-simulation-energy.htm>, January 8, 2011.

Filed, H. 1997. Solar Cell Spectral Response Measurement Errors Related to Spectral Band Width and Chopped Light Waveform, pp. 471-474. *In IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, California , USA.

German Solar Energy Society . 2008. **Planning and Installing Photovoltaic system**. 2nd ed, Earthscan publishing Inc., UK.

Green energy Green home Inc. 2011. **Solar Photovoltaic System**. Available Source:

<http://www.greenenergygreenhome.com/solar-photovoltaic-system>, January 8, 2011.

Hasimah, A. R., M. N. Khalid and Y. H. Mohammad. 2009. Assessment of PV cell performance under actual Malaysia operating condition, pp. 1–5. *In Power Engineering Conference*, 2009. Australia.

International Electrotechnical Commission. 1998. **IEC 61724: Photovoltaic System Performance Monitoring Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis**.

International Electrotechnical Commission, 2008, **IEC 60904-3: Photovoltaic devices – Part 3: Measurement principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data**.

Otani K., Y. Hishikawa, P. Sichamugrist, P. Supanich and E. Hattha. 2008. Energy Rating of Various PV Module Technologies. Based on Outdoor Measurements in Low Latitude Region, Thailand. *In Renewable energy 2008 International Conference and Exhibition*, 2008. South Korea.

PV education. 2010. **Fill Factor**. Available Source:

<http://pvcidrom.pveducation.org/CELLOPER/ff.htm>, January 8, 2011.

Shaari, S. and N. Bowman. 1998. Photovoltaics in buildings: A case study for rural England and Malaysia. **Renewable energy**, vol. 15. pp. 558–561.

So, J. H., Y. S. Jung, G. J. Yu, J. Y. Choi, and J. H. Choi. 2007. Performance results and analysis of 3 kW grid-connected PV systems. **Renewable energy**, vol. 32. pp. 1858–1872.

Spanos, I., L. Duckers. 2004. Expected cost benefits of building-integrated PVs in UK, through a quantitative economic analysis of PVs in connection with buildings. **Renewable energy**, vol. 29. pp. 1289–1303.

Sunsense Inc. 2009. **The Sun's Path**. Available Source:

http://www.sunsensesolar.com/index.php/solar-electric-basics/more/solar_electric_101/, January 8, 2011.

Topic, M., K. Brecl, and J. Sites. 2006. Performance Assessment of PV Modules - Relationship Between STC Rating and Field Performance, pp. 2141-2144, *In Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the 2006 IEEE 4th World Conference*. 2006. Hawaii, USA.

Wenham, S.R., M.A. Green and M.E. Watt. 2007. **Applied photovoltaic**. 2nd ed, Earthscan publishing Inc., UK.

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



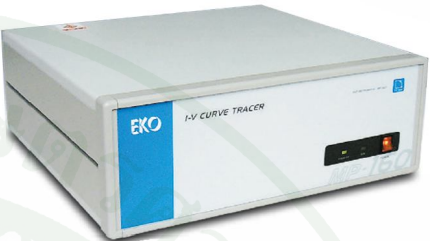




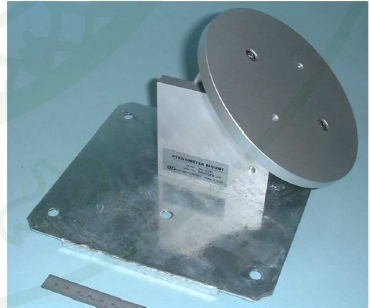
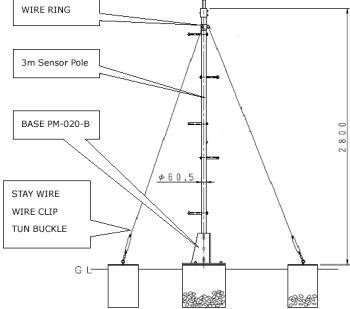
ภาคผนวก ก

อุปกรณ์ต่างๆที่ติดตั้งที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) สำหรับวัดข้อมูลทางอุณหภูมิตามวิทยา, ค่าทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์และสเปกตรัมแสง

ตารางผนวกที่ ก1 อุปกรณ์ต่างๆที่ติดตั้งที่ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
(PTEC) สำหรับวัดข้อมูลทางอุณหภูมิตามวิทยา, ค่าทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์
และสเปกตรัมแสง

รายการอุปกรณ์	ลักษณะการใช้งาน	อุปกรณ์
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	ใช้สำหรับวัดสเปกตรัมจากแสงอาทิตย์	
4. MS-802-E, whole sky solar insolation meter	ใช้สำหรับการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์	
5. MT-062-30, เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นในชั้นบรรยากาศ	ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นที่ไม่กระทบต่อการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ มีค่าความต่างศักย์เป็นเอาพุทของเครื่องมือ	

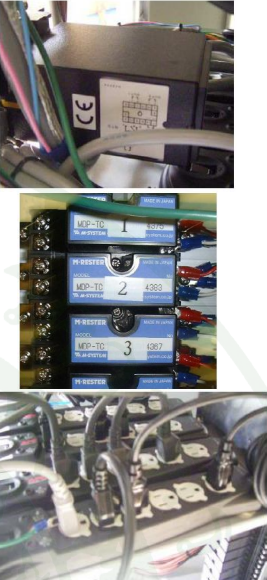
ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายการอุปกรณ์	ลักษณะการใช้งาน	อุปกรณ์
6. USA-1, เครื่องวัดความเร็วลมใบพัดอัลตราโซนิกสามมิติ	ใช้สำหรับวัดความเร็วลมและทิศทางการลม โดยใช้วัสดุเซมิคอนดักเตอร์เป็นตัวรับสัญญาณสามารถประเมินค่าความเร็วลมเป็น 3 มิติได้	
7. โครงเหล็ก, (W1000×D1000×H1000)	ใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในแนวระดับและแนวเอียง และติดตั้งอุปกรณ์วัดความชื้นและอุณหภูมิระหว่างการเก็บบันทึกข้อมูล	
8. PO-070, ฐานสำหรับเครื่องวัดการแผ่รังสี	ใช้เป็นฐานยึดสำหรับติดตั้งเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์	
9. PM-020, เสาสำหรับใบพัดของเครื่องวัดความเร็วลม (3 เมตร)	ใช้สำหรับติดตั้งอุปกรณ์ในการวัดความเร็วลมโดยมีแทนสำหรับวางเสาตรงกลางแล้วมีการยึดด้วยสมอบกทั้ง 3 จุดทำมุมกัน 120 องศาเพื่อความแข็งแรงขณะวัดค่าความเร็วลม	

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายการอุปกรณ์	ลักษณะการใช้งาน	อุปกรณ์
10. CADAC21 9201A, data logger	ใช้สำหรับรับสัญญาณจาก อุปกรณ์วัดแรงเซลล์แสงอาทิตย์ และแปลงสัญญาณที่ได้โดยทำ การบันทึกค่าเก็บไว้	  Front view Back view
11. CADAC21- 10ch adapter	ใช้สำหรับสแกนสัญญาณที่ได้ จากเครื่อง Data Logger ซึ่งมี ช่องสัญญาณอยู่ 10 ช่อง	
12. CADAC21- 20ch adapter	ใช้สำหรับสแกนสัญญาณที่ได้ จากเครื่อง Data Logger ซึ่งมี ช่องสัญญาณอยู่ 20 ช่อง	
13. เครื่องสำรอง ไฟ SUA1000JB, 1KVA	ใช้สำหรับสำรองไฟขณะที่ทำ การวัดค่าข้อมูลต่างๆ เมื่อเกิดการ ดับของกระแสไฟฟ้า	
14. คอมพิวเตอร์ DellPrecisionM20 (2 เครื่อง)	ใช้สำหรับควบคุมและ ประมวลผลจากเครื่อง Data logger	 Dell Precision M20 Mobile Workstation
15. สายเคเบิลนำ สัญญาณต่างๆ	ใช้สำหรับเป็นสายนำสัญญาณ จากเครื่องมือวัดต่างๆ ไปยัง อุปกรณ์ประมวลผลและอุปกรณ์ บันทึก	 

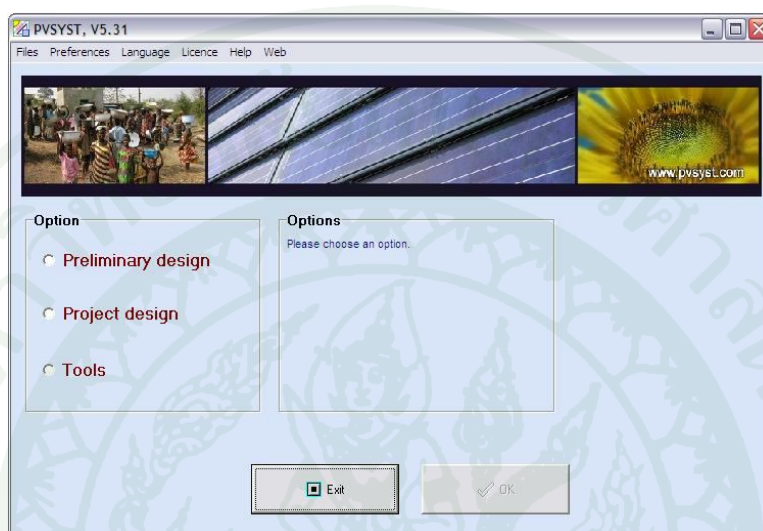
ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

รายการอุปกรณ์	ลักษณะการใช้งาน	อุปกรณ์
16. สายล่อฟ้า	ใช้เป็นอุปกรณ์ในการรองรับการเกิดไฟฟ้าเกินวงจรขณะที่มีการดำเนินการวัดสัญญาณในกรณีที่มีการเกิดฝนฟ้าคะนอง	
17. ตู้เก็บอุปกรณ์ควบคุมต่างๆ	ใช้สำหรับรองรับและเก็บอุปกรณ์หลักต่างๆ ที่ใช้ในการวัดสัญญาณ	



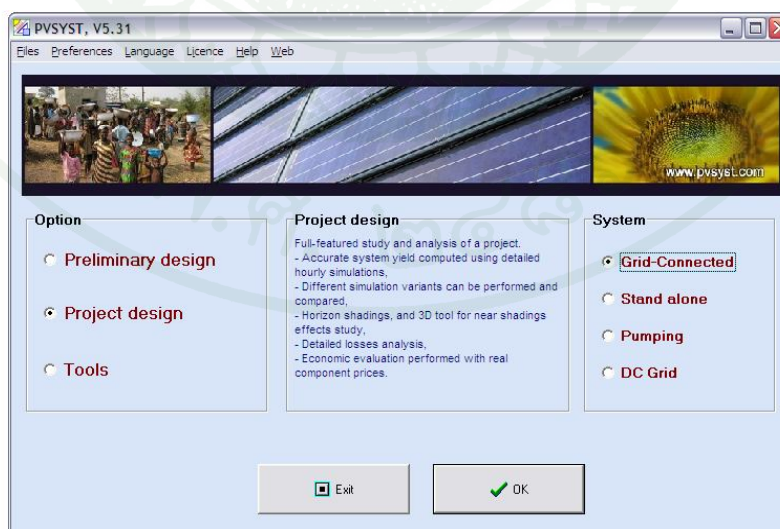
วิธีการใช้งานโปรแกรม PVSYST 5.31

1. การเปิดโปรแกรม คลิกที่ Start ⇨ All Programs ⇨  PVSyst5.31 เพื่อเรียกใช้งานโปรแกรม โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างพร้อมทำงานดังภาพผนวกที่ ข1



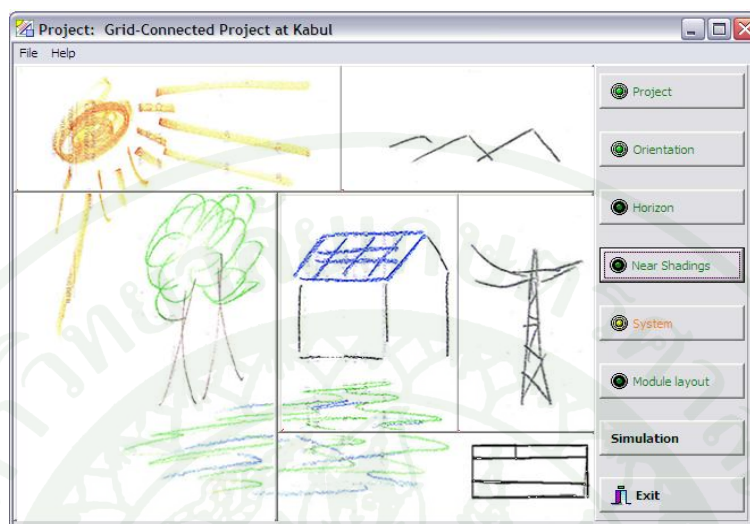
ภาพผนวกที่ ข1 หน้าต่างเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรม

2. เลือก Option เป็น Project และเลือก System เป็น Grid-connected ดังภาพผนวกที่ ข2



ภาพผนวกที่ ข2 การเลือกรูปแบบระบบที่ต้องการวิเคราะห์

3. จากขั้นตอนที่ 2 เมื่อเลือกรูปแบบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องการทำการวิเคราะห์แล้ว คลิก OK โปรแกรมจะแสดงหน้าต่างภาพผนวกที่ ข3



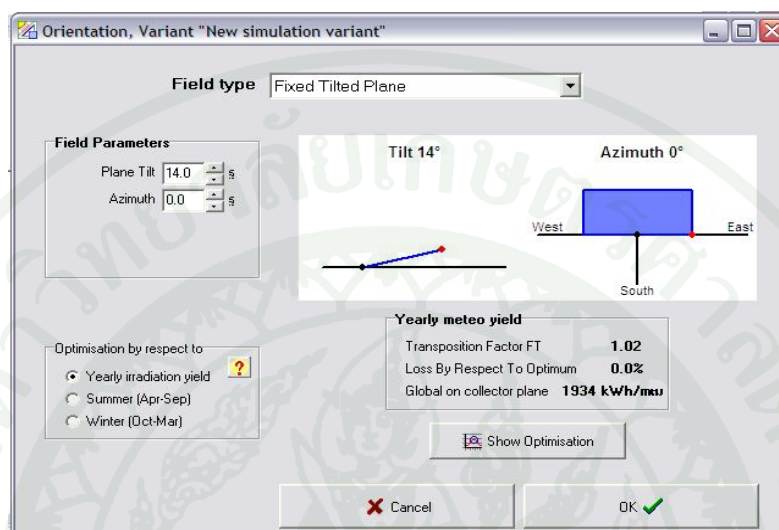
ภาพผนวกที่ ข3 องค์ประกอบต่างๆของระบบ

4. คลิกที่ไอคอน  เพื่อป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับพิกัดที่ทำการติดตั้ง และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ดังภาพผนวกที่ ข4



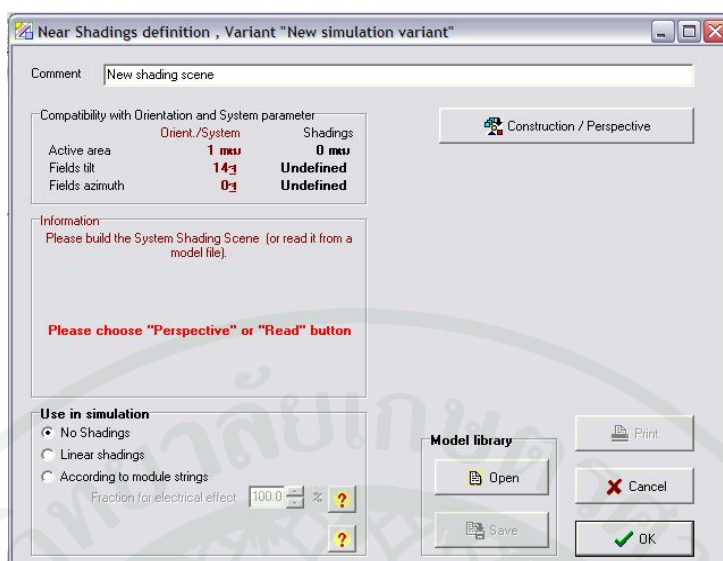
ภาพผนวกที่ ข4 ป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับพิกัดที่ทำการติดตั้ง และข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

5. คลิกที่ไอคอน  Orientation เพื่อป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งว่าเป็นแบบหมุนตามดวงอาทิตย์หรือติดตั้งอยู่กับที่ และระบุค่ามุมของเซลล์แสงอาทิตย์ที่กระทำกับระนาบของพื้นโลก ซึ่งในงานวิจัยนี้ระบุค่าเท่ากับ 14 องศา ดังภาพผนวกที่ ข5



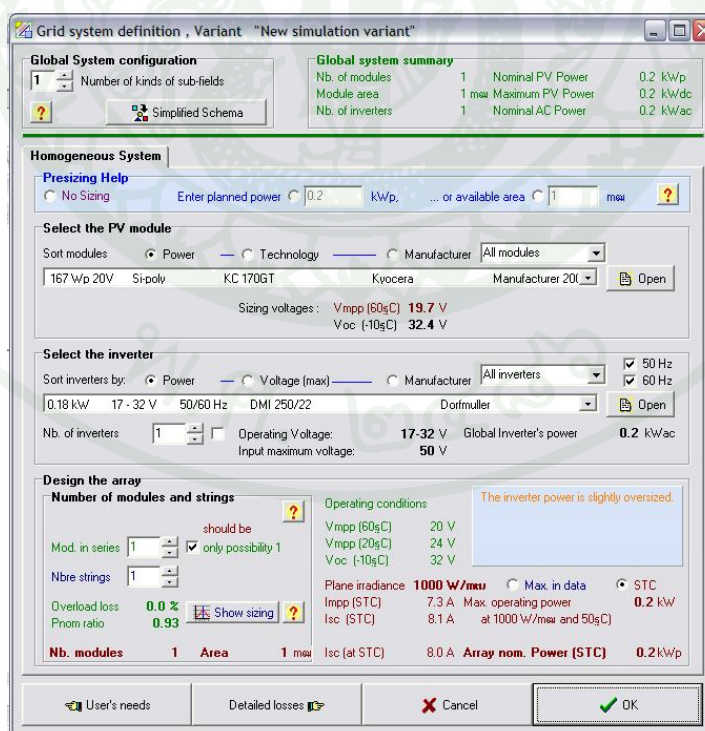
- ภาพผนวกที่ ข5 ป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง และระบุค่ามุมของเซลล์แสงอาทิตย์ที่กระทำกับระนาบของพื้นโลก

6. คลิกที่ไอคอน  Near Shadings เลือก No Shadings เนื่องจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการติดตั้งที่ PTEC ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในการวิเคราะห์เพียงแผงเดียวต่อชนิดเท่านั้น และการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งอยู่บนอาคารสูง ซึ่งไม่มีผลกระทบที่เกิดจากการบังเงาอื่นนอกเหนือจากการบังเงาของเมฆเท่านั้น ดังภาพผนวกที่ ข6



ภาพผนวกที่ ข6 ป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับการบ่งของเงาที่อาจเกิดขึ้นในระบบ

7. คลิกที่ไอคอน  System เพื่อป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการติดตั้ง ดังภาพผนวกที่ ข7

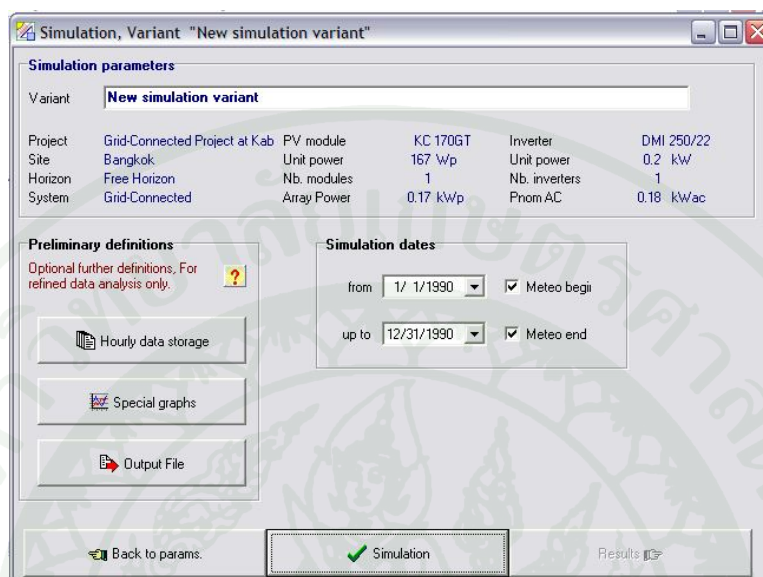


ภาพผนวกที่ ข7 ป้อนรายละเอียดเกี่ยวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ในการติดตั้ง

8. เมื่อทำการป้อนรายละเอียดต่างๆของระบบ และระบุอุปกรณ์ที่ต้องใช้แล้ว คลิกที่ไอคอน

Simulation

เพื่อให้โปรแกรมทำการเริ่มต้นวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องการ ดังภาพผนวกที่ ข8



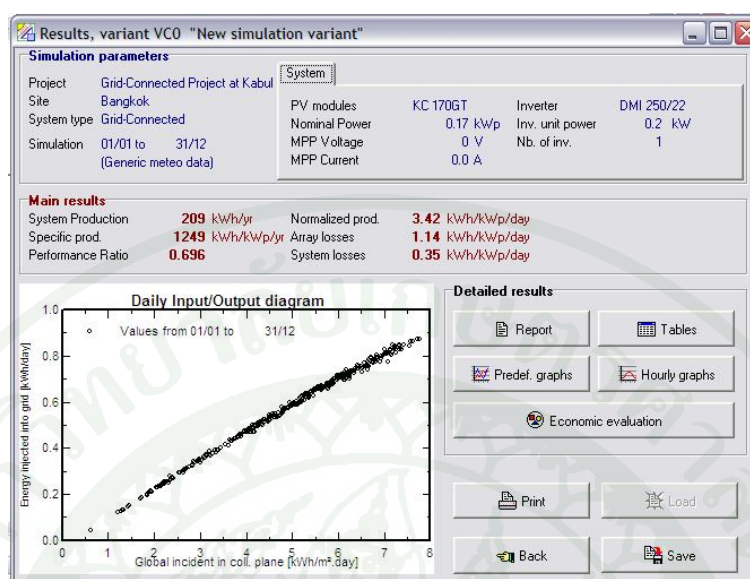
ภาพผนวกที่ ข8 หน้าต่างแสดงการพร้อมในการเริ่มวิเคราะห์ของโปรแกรม

9. เมื่อระบบคำนวณเสร็จจะแสดงหน้าต่าง Information ขึ้นมาดังภาพผนวกที่ ข9



ภาพผนวกที่ ข9 หน้าต่าง Information ที่แจ้งเตือนหลังโปรแกรมทำการวิเคราะห์เสร็จสิ้น

10. คลิก OK โปรแกรมจะแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ ดังภาพผนวกที่ ข10



ภาพผนวกที่ ข10 หน้าต่างแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ระบบ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ – นามสกุล	นายอนุชา โปวัน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	8 มกราคม พ.ศ. 2527
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ.2551 และ พ.ศ.2553)