



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาผลของสเปกตรัมแสงต่อสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร
Effect of Spectral Irradiance Distribution on the Outdoor Performance of Photovoltaic Modules

นามผู้วิจัย นายนิรันดร์ พูลธนะนันท์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฐมภรณ์ ศรีผดุงธรรม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์อ้อมรัตน์ ลิ้มมณี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงษ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาผลของสเปกตรัมแสงต่อสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร

Effect of Spectral Irradiance Distribution on the Outdoor Performance of Photovoltaic Modules

โดย

นายนิรันดร์ พูลธนะนันท์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2553

นิตินันท์ พูลธนะนันท์ 2553: การศึกษาผลของสเปกตรัมแสงต่อสมรรถภาพของเซลล์
แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปฐมาภรณ์ ศรีผดุงธรรม, Ph.D. 58 หน้า

การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งภายนอกอาคารมีปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อ
สมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ นอกเหนือจากอุณหภูมิและความเข้มแสง สเปกตรัมแสงก็เป็น
ปัจจัยที่สำคัญหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เช่นกัน

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอผลกระทบจากสเปกตรัมแสงที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถภาพของเซลล์
แสงอาทิตย์ โดยหาค่าพลังงานโฟตอนเฉลี่ย (Average photon energy: APE) ในช่วงความยาวคลื่น
แสงที่ 350 – 1050 nm เพื่อบอกถึงการกระจายและการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสงในแต่ละ
เดือนหรือฤดูกาล การเปรียบเทียบค่า APE กับสมรรถภาพ (PR) ของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด
ทำให้ทราบว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin-film amorphous Silicon (a-Si) ได้รับผลกระทบสูงโดย
เมื่อค่า APE เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า PR ของแผงดีขึ้นจนถึงค่า APE เป็น 1.94 eV ส่วนแบบ poly
crystalline Silicon (poly c-Si) ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของค่า APE คือค่า PR
เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยไม่เกิน 5% การวิเคราะห์สมรรถภาพในแต่ละฤดูกาลพบว่าเซลล์
แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si มีค่า PR ต่ำสุดในช่วงฤดูหนาวคือ 95% ซึ่งสอดคล้องกับค่า APE ที่
ต่ำที่สุดในช่วงฤดูหนาว จากผลการวิจัยเมื่อทราบค่า APE เฉลี่ยของประเทศไทยคือ 1.91 eV ทำให้
สามารถเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si ที่เหมาะสม เมื่อวิเคราะห์ค่า APE เฉลี่ยในแต่ละ
เดือนหรือฤดูกาลทำให้สามารถประมาณค่าพลังงานขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์ได้แม่นยำมาก
ขึ้น

Nitinan Pooltananan 2010: Effect of Spectral Irradiance Distribution on the Outdoor Performance of Photovoltaic Modules. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Patamaporn Sripadungtham, Ph.D. 58 pages.

The outdoor performance of photovoltaic (PV) modules is affected by several environmental conditions. Spectral irradiance is one of the important factors that should be investigated.

This thesis presented the effect of spectral irradiance by using average photon energy (APE) to declare spectral irradiance distribution. Relationship between the performance ratio (PR) and the APE were shown. The results indicated that thin-film amorphous silicon (a-Si) PV module was significantly affected by the APE. The increasing of APE enhanced the outdoor performance of the thin film a-Si PV module until the value of the APE reached 1.94 eV, while the polycrystalline silicon (poly c-Si) PV module was found to be less sensitive to the change in the APE since it showed a small change in the PR of 5%. The PR of the thin film a-Si PV module in winter decreased to the minimum value of 95%, consistent with the lowest APE in this season. The average APE in Thailand was found to be approximately 1.91 eV. This is informative data for selecting the PV module which is suitable for Thailand, and it is also beneficial information for improving thin film a-Si in PV module fabrication. Moreover, the monthly APE obtained from this study is a useful factor for accurate estimation of output power of PV modules.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมาภรณ์ ศรีผดุงธรรม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และดร. อมรรัตน์ ลิ้มมณี ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี คุณเอกชาติ หัตถา ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำในการทำงานวิจัย

ข้าพเจ้าขอขอบคุณสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC) เป็นอย่างสูงสำหรับการสนับสนุนข้อมูลและคำปรึกษาในการทำวิจัย

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณพ่อและแม่ ตลอดจนเพื่อนๆทุกคน ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้ายินดีรับข้อเสนอแนะ และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นิธินันท์ พูลชนะนนท์

เมษายน 2553

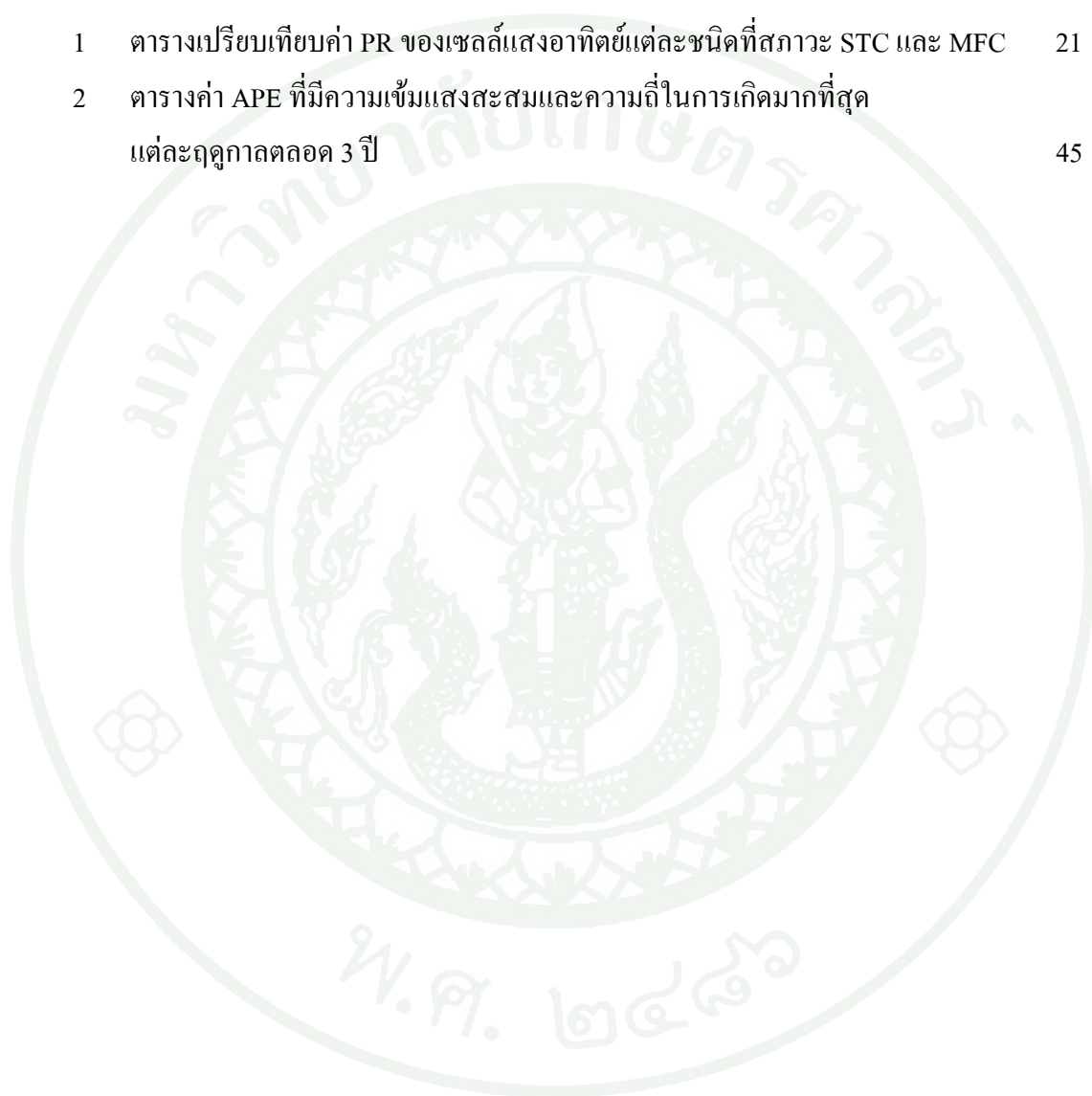
สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	26
ผลและวิจารณ์	42
ผล	42
วิจารณ์	49
สรุปและข้อเสนอแนะ	50
สรุป	50
ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารอ้างอิง	52
ภาคผนวก	54
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	58

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางเปรียบเทียบค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดที่สภาวะ STC และ MFC	21
2	ตารางค่า APE ที่มีความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดมากที่สุด แต่ละฤดูกาลตลอด 3 ปี	45



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
1	พลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศ	4
2	มุมต่างๆที่ใช้บอกตำแหน่งพิกัดท้องฟ้า	5
3	ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลต่างๆ	6
4	ค่า AM ที่แปรผันตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์	7
5	เปรียบเทียบสเปกตรัมของแสงระหว่างค่า AM 0 และ AM 1.5	8
6	แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์	9
7	กราฟ IV Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์	11
8	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์ชนิดผลึกซิลิคอนและ thin film a-Si	13
9	การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยสารซิลิคอน	14
10	กราฟสเปกตรัมแสงที่ AM 1.5 ตามมาตรฐาน IEC 60907-3, 2008	16
11	กราฟแท่งความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมกับ APE เมือง Kusatsu	17
12	แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si ในรูปแบบ ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE	18
13	แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si ในรูปแบบ ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE	18
14	แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si ในรูปแบบ ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE	19
15	แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si/ μ c-Si ในรูปแบบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE	19
16	แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด 3 ชั้นคือ a-Si/a-SiGe/a-SiGe ในรูปแบบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE	20
17	แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si ในรูปแบบ ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE	22
18	แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ thin film a-Si ในรูปแบบ ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE	23

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	แผนภูมิคอนทัวร์ความสัมพันธ์ PR กับ APE และอุณหภูมิแผงเซลล์ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ในช่วงฤดูใบไม้ผลิ	24
20	แผนภูมิคอนทัวร์ความสัมพันธ์ PR กับ APE และอุณหภูมิแผงเซลล์ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ในช่วงฤดูใบไม้ร่วง	24
21	แผนภูมิคอนทัวร์ความสัมพันธ์ PR กับ APE และอุณหภูมิแผงเซลล์ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si เปรียบเทียบกันระหว่าง ฤดูใบไม้ผลิและใบไม้ร่วง โดยฤดูใบไม้ผลิเป็นฐาน	25
22	แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าภายนอกอาคาร	27
23	ตำแหน่งการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลบริเวณด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์	27
24	ผู้ควบคุมภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมในการวัดและบันทึกผลด้วยคอมพิวเตอร์	28
25	ตัวอย่างข้อมูลทางอุณหภูมิตามเวลา	30
26	ตัวอย่างข้อมูล IV-Curve	30
27	ตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมแสง	31
28	เมนูการทำงานของโปรแกรม MS-712	32
29	รายการที่โปรแกรมได้ทำการ import เข้ามาของโปรแกรม MS-712	32
30	กราฟจากฟังก์ชัน 3D ของโปรแกรม MS-712	33
31	เมนูฟังก์ชัน export ของโปรแกรม MS-712	33
32	ข้อมูลที่ได้ทำการ export จากโปรแกรม MS-712	34
33	ผลการ transpose ข้อมูล	35
34	ข้อมูลจากสถาบัน SOLARTEC ฐานข้อมูล 2 ส่วนคือ อุณหภูมิตามเวลาและข้อมูล IV	37
35	การสร้าง relation ในแต่ละ table โดยการเชื่อมโยงในส่วนของวันที่และเวลา	37
36	การสร้างเงื่อนไข Query เพื่อกรองข้อมูลจาก channel 2	38
37	ตัวอย่างข้อมูลทำการกรองด้วย Query	38
38	การกรองและการเฉลี่ยข้อมูลสเปกตรัมด้วยฟังก์ชัน Query Wizard	39
39	การเลือก summary ข้อมูล APE แบบ Avg	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
40	การเลือก summary ข้อมูล APE ให้เป็นแบบรายวัน	40
41	Query ของสเปกตรัมแสงที่มีค่าเฉลี่ย APE แบบรายวัน	41
42	ค่า APE รายวันในช่วงปีพ.ศ.2549-2551	42
43	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดกับค่า APE	43
44	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดกับค่า APE ช่วงฤดูร้อน	44
45	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดกับค่า APE ช่วงฤดูฝน	44
46	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดกับค่า APE ช่วงฤดูหนาว	45
47	การเปลี่ยนแปลงค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si และ poly c-Si ในแต่ละเดือน	46
48	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า APE กับค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si	47
49	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า APE กับค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ poly c-Si	47
50	ช่วงการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si	48
51	ช่วงการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ poly c-Si	48
ภาพผนวกที่		
1	เครื่อง IV Checker MP-160, an I-V curve tracer to measure PV modules วัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ร่วมกับเครื่อง MI-520 เพื่อรวบรวมค่าจากเครื่อง MI-520	55
2	MI-520, 12ch PV module switcher (3 เครื่อง) ใช้วัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ร่วมกับเครื่อง MP-160 เพื่อสำหรับการวัดแผงเซลล์จำนวนมาก	55
3	MS-701, เครื่องวัดการแผ่รังสีของสเปกตรัมที่มองเห็นด้วยตาเปล่า	55
4	MS-802-E, whole sky solar insolation meter ใช้สำหรับวัดความเข้มแสงอาทิตย์	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
5 PO-070, ฐานสำหรับเครื่องวัดการแผ่รังสี ใช้เป็นฐานยึดสำหรับติดตั้ง เครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์	56
6 CADAC21 9201A, data logger ใช้รับสัญญาณจากอุปกรณ์วัดแผง เซลล์แสงอาทิตย์และแปลงสัญญาณที่ได้โดยทำการบันทึกค่าเก็บไว้	56
7 CADAC21-20ch adapter ใช้สแกนสัญญาณที่ได้จากเครื่อง Data Logger ซึ่งมีช่องสัญญาณอยู่ 20 ช่อง	57
8 ตู้เก็บอุปกรณ์ควบคุม	57

การศึกษาผลของสเปกตรัมแสงต่อสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร

Effect of Spectral Irradiance Distribution on the Outdoor Performance of Photovoltaic Modules

คำนำ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) สามารถประยุกต์ใช้งานได้ทั้งแบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic) ที่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าและการประยุกต์ใช้ด้านความร้อน (Thermal) ปัจจุบันการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์กำลังเป็นที่แพร่หลายเพิ่มขึ้นเนื่องจากต้นทุนการผลิตที่ลดลงและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เพิ่มขึ้น เพื่อใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นนั้นต้องมีการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันใช้ผลการทดสอบจากห้องทดลองโดยกำหนดสภาพตามมาตรฐานสากล Standard test condition (STC) มีรายละเอียดคือความเข้มแสง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิแผงเซลล์ 25 องศาเซลเซียสและ Air mass (AM) ที่ 1.5 แต่ในการใช้งานจริงเมื่อติดตั้งภายนอกอาคารปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่ส่งผลกับประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่หลายปัจจัย ซึ่งหลายงานวิจัยมุ่งเน้นศึกษาในเรื่องผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิ ทั้งนี้ยังมีอีกหนึ่งปัจจัยที่ควรศึกษาควบคู่ไปด้วยกันคือผลของสเปกตรัมแสง สเปกตรัมแสงที่ถูกส่งมายังโลกมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและแตกต่างกันแต่ละภูมิภาค การศึกษาสเปกตรัมแสงจะช่วยให้การวิเคราะห์การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตอบสนองในช่วงความยาวคลื่นแสงที่แตกต่างกันได้

วิทยานิพนธ์นี้วิเคราะห์ผลของสเปกตรัมแสงในรูปของดัชนีพลังงานเฉลี่ยโฟตอน (Average photon energy) APE เพื่อนำมาศึกษาผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ในการเลือกใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับภูมิภาคนั้นได้

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้ คือ เพื่อศึกษาผลกระทบจากสเปกตรัมแสงต่อสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และศึกษาพลังงานเฉลี่ยโฟตอนในประเทศไทยโดยวิเคราะห์ค่า APE ในแต่ละเดือนหรือฤดูกาล ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยยังไม่มีการนำปัจจัยนี้มาวิเคราะห์อย่างจริงจัง การนำเสนอตัวแปรนี้ให้เป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญในการทดสอบสมรรถภาพเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อการเลือกใช้งานและการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับประเทศไทย และเปรียบเทียบผลกระทบของสเปกตรัมแสงต่อสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิคอนและชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน

การตรวจเอกสาร

ทฤษฎีและแนวความคิด

พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปแบบหนึ่งที่มีความสำคัญกับชีวิตประจำวันมากที่สุด โดยการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันสามารถแบ่งแหล่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าออกเป็นกลุ่มใหญ่ 2 กลุ่ม คือ ชนิดใช้แล้วหมดไปไม่สามารถทดแทนได้ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน แก๊สธรรมชาติ และพลังงานนิวเคลียร์ อีกแบบคือพลังงานที่มีอยู่ในสิ่งแวดล้อมเมื่อนำมาใช้แล้วสามารถเกิดขึ้นใหม่ได้ เช่น พลังงานลม พลังงานน้ำ แก๊สชีวมวล และพลังงานแสงอาทิตย์

1. พลังงานแสงอาทิตย์

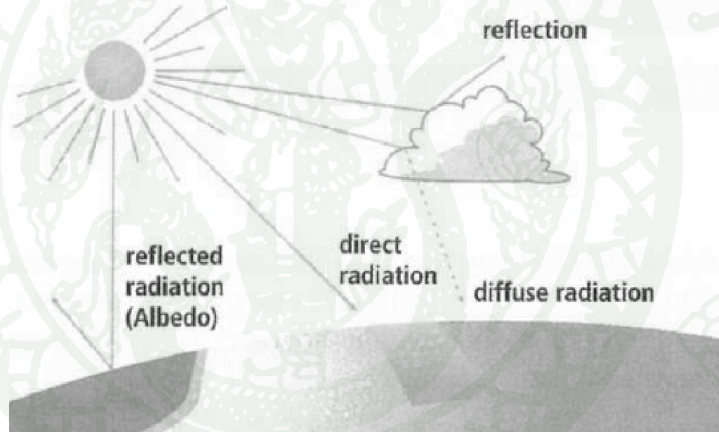
พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง การใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำแนกออกเป็น 2 รูปแบบคือ การใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตความร้อน

เป็นที่ทราบกันดีว่าพลังงานของดวงอาทิตย์เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาฟิวชั่น (Fusion reaction) ระหว่าง ไฮโดรเจนและฮีเลียม (Adolf, 1998) พลังงานแสงอาทิตย์ที่แผ่มายังผิวโลกนอกชั้นบรรยากาศมีค่าเป็น $1,367 \text{ W/m}^2$ (Adolf, 1998) ซึ่งเรียกว่า Solar constant เมื่อพลังงานแสงอาทิตย์แผ่เข้ามายังชั้นบรรยากาศโลกจะถูกดูดซึม สะท้อนกลับ หรือทำให้กระจายออกโดยธาตุต่างๆตามชั้นบรรยากาศ เช่น โอโซน ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ออกซิเจน ทำให้มีความเข้มแสงลดลงเมื่อมาถึงผิวโลกจากนั้นเมื่อตกกระทบกับผิวโลกแล้วอาจมีการสะท้อนกับผิวได้กลับออกไปนอกโลกเช่นกัน

พลังงานแสงอาทิตย์จะแปรผันตามฤดูกาลในแต่ละรอบปีและพื้นที่ภูมิภาคร่างๆ โดยพื้นที่ที่ได้รับความเข้มแสงสูงจะอยู่บริเวณเส้นศูนย์สูตรเป็นส่วนใหญ่ ในบางพื้นที่บริเวณเส้นศูนย์สูตรได้รับความเข้มแสงสูงถึง $2,300 \text{ kWh/m}^2$ ต่อปี (German Solar Energy Society, 2008) และค่านี้จะลดลงตามเส้นละติจูดที่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรทั้งทิศเหนือและทิศใต้ อย่างเช่น ประเทศในแถบยุโรปตอนล่างจะได้รับความเข้มแสง $1,700 \text{ kWh/m}^2$ ต่อปี และยิ่งถ้าเป็นประเทศในแถบทวีปยุโรป

ตอนล่างจะได้รับความเข้มแสงลดลงเหลือเพียง $1,040 \text{ kWh/m}^2$ ต่อปี (German Solar Energy Society, 2008)

พลังงานแสงอาทิตย์เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศเข้ามาสู่พื้นผิวโลก สามารถนำมาใช้งานในการผลิตไฟฟ้าได้หลายรูปแบบด้วยกัน เช่น ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ หรือใช้ต้มน้ำเพื่อหมุนเทอร์ไบน์ เป็นต้น เซลล์แสงอาทิตย์สามารถรับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศได้ 3 ทางด้วยกันคือ 1. รับแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์เรียกว่า Beam radiation หรือ Direct radiation 2. รับแสงโดยผ่านการกระจายจาก ไอน้ำ เมฆ หรือหมอก เรียกว่า Diffuse radiation และ 3. เซลล์แสงอาทิตย์รับแสงที่เกิดจากการสะท้อนจากผิวโลกเรียกว่า Albedo ซึ่งทั้งแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิดนี้เรียกรวมกันเป็น Global radiation ตามภาพที่ 1



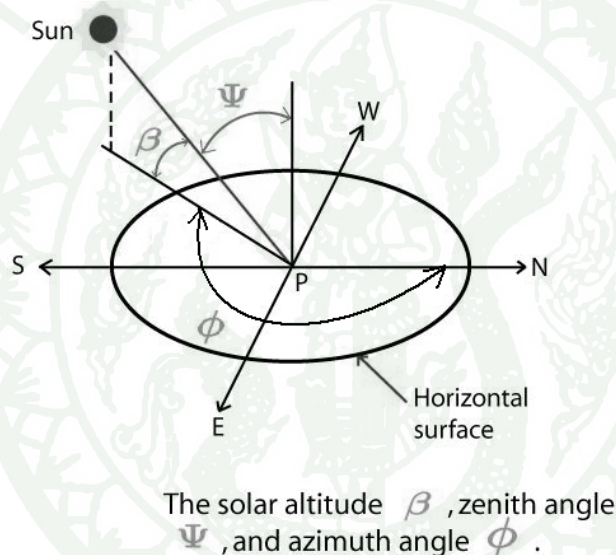
ภาพที่ 1 พลังงานแสงอาทิตย์ที่ผ่านชั้นบรรยากาศ

ที่มา: German Solar Energy Society (2008)

a. มวลอากาศและมุม

โลกหมุนรอบตัวเองโดยมีแกนที่มุม 23.5° เป็นขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้ โลกหมุนรอบตัวเองด้วยความเร็ว 1,000 ไมล์ต่อชั่วโมง ใช้เวลา 24 ชั่วโมงหมุนรอบตัวเองเรียกว่า Solar day เมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์จะทำให้เกิดฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากระยะทางและมุมของโลกกับดวงอาทิตย์ โดยมุมที่ใช้บอกตำแหน่งพิกัดมีด้วยกัน 3 ชนิดคือ 1) มุมอะซิมูท (Azimuth

angle, ϕ) เป็นมุมที่ใช้บอกตำแหน่งของพิภคบนท้องฟ้า เช่น บอกตำแหน่งของดาวเพื่อกำหนดทิศทางของดาวหรือบอกตำแหน่งของดาวเทียมวงโคจรต่างฟ้าเพื่อกำหนดตำแหน่งดาวเทียม การกำหนดมุมอะซิมุท จะมีค่าเริ่มต้นที่ 0 องศาเหนือ และมีค่าเพิ่มขึ้นตามเข็มนาฬิกา จนมีค่า 90 องศาที่ทิศตะวันออก 180 องศาที่ทิศใต้ และ 270 องศาที่ทิศตะวันตก 2) มุมอัลติจูด (Altitude angle, β) คือมุมระหว่างแนวเส้นแวงอาทิตย์เมื่อวัดตำแหน่งของดวงอาทิตย์เทียบกับแนวระนาบศูนย์สูตร เป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ มุมดิคลิเนชันมีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง 23.45° และ -23.45° และ 3) มุมเซนิต (Zenith angle, ψ) เป็นจุดยอดของท้องฟ้าที่อยู่เหนือและตรงกับศีรษะกับแสงอาทิตย์ ทั้ง 3 มุมแสดงดังภาพที่ 2



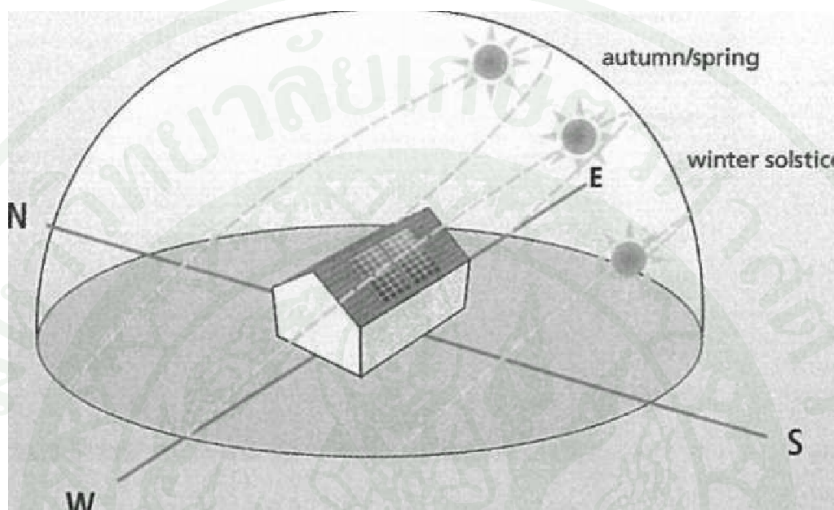
ภาพที่ 2 มุมต่างๆที่ใช้บอกตำแหน่งพิภคท้องฟ้า

ที่มา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (2545)

ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์และมุมของแสงที่กระทบสู่พื้นโลกและมุมของลำแสงจะวัดเทียบกับแนวระดับ โดยขณะที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ในช่วงเช้าถึงช่วงเย็นในแต่ละฤดูกาลจะมีความสูงแตกต่างกัน

ตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของแกนโลกเมื่อโลกโคจรรอบดวงอาทิตย์จะสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแสงของฤดูกาล ภาพที่ 3 แสดงตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลต่างๆ ที่จะต้องแสงมายัง

โลกซึ่งจะทำให้ในแต่ละฤดูกาลตลอดทั้งปี โลกจะได้รับปริมาณความเข้มแสงไม่เท่ากัน ฤดูใบไม้ผลิและใบไม้ร่วงจะมีกลางวันเท่ากับกลางคืนเป็น 12 ชั่วโมงโดยเกิดจากมุมที่ดวงอาทิตย์มีค่าเป็น 23.5 องศา ในช่วงฤดูร้อน ดวงอาทิตย์จะอยู่สูงขึ้นไปกว่าฤดูกาลอื่น มีช่วงเวลากลางวันมากกว่ากลางคืน และในฤดูหนาวดวงอาทิตย์จะอยู่ต่ำกว่าฤดูกาลอื่น มีช่วงเวลากลางคืนมากกว่ากลางวัน



ภาพที่ 3 ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ตามฤดูกาลต่างๆ

ที่มา: German Solar Energy Society (2008)

เมื่อมุมอัลติจูดตั้งฉากกับโลก แสงอาทิตย์จะถูกแผ่มายังชั้นบรรยากาศของโลกใน ระยะทางที่สั้นที่สุด ทำให้ผลจากการดูดซึม การทำให้กระจายและสะท้อนกลับลำแสงของชั้น บรรยากาศถูกลดลงทอนลง เป็นผลให้ลำแสงของดวงอาทิตย์ที่ตกมายังผิวโลกมีค่าความเข้มแสง ลดลง เมื่อนำมุมเซนิตมาคำนวณหาความสัมพันธ์กับมวลอากาศได้ตามสมการที่ 1

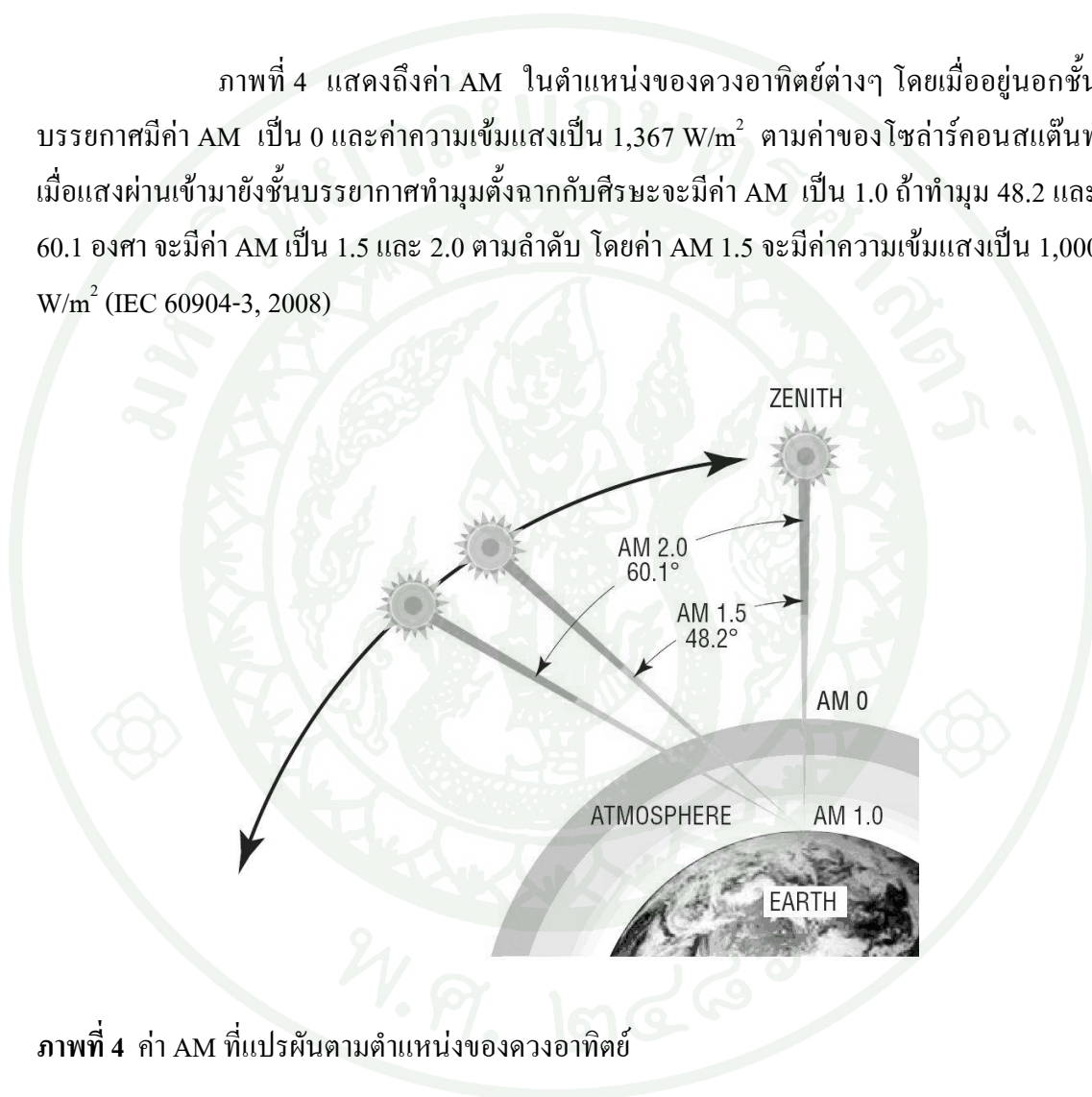
$$AM = \frac{1}{\cos(\psi)} \quad (1)$$

เมื่อ ψ คือ มุมเซนิต

ค่า AM จะแปรตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่ทำมุมกับพื้นโลก ซึ่งจากค่า AM จะ ในแถบประเทศที่อยู่ในแนวเส้นศูนย์สูตรจะมีแนวโน้มของค่า AM ใกล้เคียง 1 แต่ขณะเดียวกัน ใน

ประเทศที่อยู่ในแนวละติจูดที่สูงขึ้นทั้งทิศเหนือและใต้เทียบกับเส้นศูนย์สูตร จะได้รับความเข้มแสงลดลงตามค่า AM ที่เพิ่มขึ้นอย่างเช่นในประเทศในเขตละติจูดสูง จะมีค่า AM สูงถึง 3-4 (German Solar Energy Society, 2008) ค่าความเข้มแสงภายนอกบรรยากาศของโลกมีค่าเท่ากับ 0 และค่า AM จะเพิ่มขึ้นตามระยะทางที่แสงอาทิตย์เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นโลก

ภาพที่ 4 แสดงถึงค่า AM ในตำแหน่งของดวงอาทิตย์ต่างๆ โดยเมื่ออยู่นอกชั้นบรรยากาศมีค่า AM เป็น 0 และค่าความเข้มแสงเป็น $1,367 \text{ W/m}^2$ ตามค่าของโซลาร์คอนสแตนต์ เมื่อแสงผ่านเข้ามายังชั้นบรรยากาศทำมุมตั้งฉากกับศีรษะจะมีค่า 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 $1,000 \text{ W/m}^2$ (IEC 60904-3, 2008)



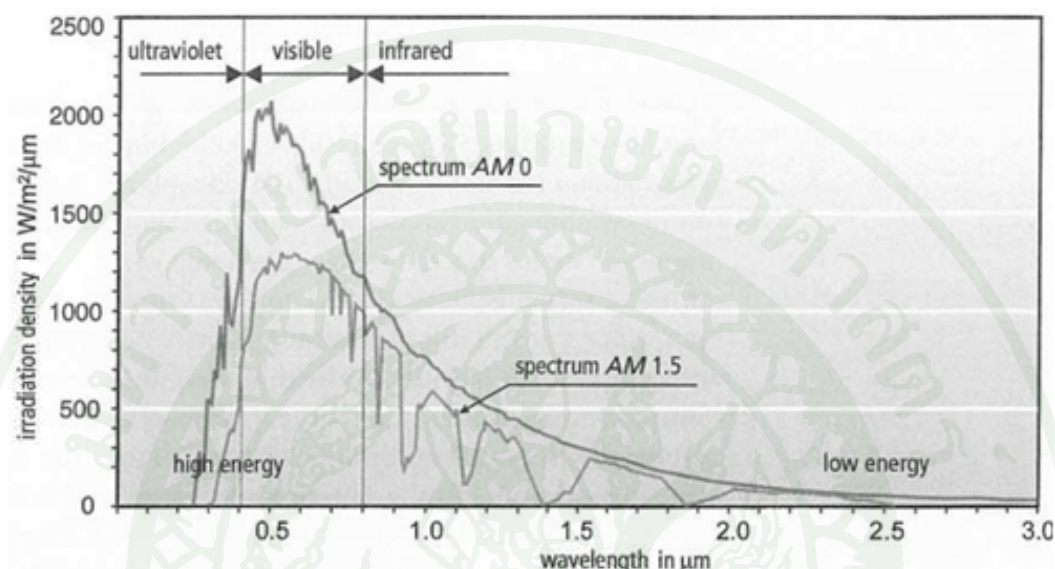
ภาพที่ 4 ค่า AM ที่แปรผันตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ที่มา: Jeong (2009)

1.2 สเปกตรัมแสง

แสงจากดวงอาทิตย์ที่เป็นแสงสีขาวมีส่วนผสมของสีต่างๆ ซึ่งสีแต่ละสีก็มีความยาวคลื่นเฉพาะตัว สีเหล่านี้เป็นแถบสี 7 สี สามารถใช้ปริซึมแยกสีออกมาได้ เรียกแถบสีเหล่านี้ว่า

สเปกตรัม มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400 – 800 nm (Brent, 1969) โดยสเปกตรัมแสงแต่ละความยาวคลื่นก็จะมีพลังงานที่แตกต่างกันออกไป ภาพที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบของสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ที่ค่า AM 0 ซึ่งเป็นค่าที่วัดภายนอกชั้นบรรยากาศโลก และค่า AM 1.5



ภาพที่ 5 เปรียบเทียบสเปกตรัมของแสงระหว่างค่า AM 0 และ AM 1.5

ที่มา: German Solar Energy Society (2008)

2. เซลล์แสงอาทิตย์

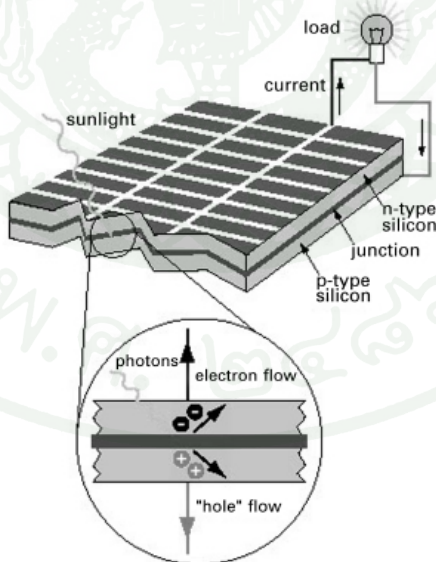
เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับกันว่า สะอาดและไม่สร้างมลภาวะเป็นพิษใดๆขณะใช้งาน ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม เพียงติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้กลางแสงอาทิตย์ ก็สามารถใช้งานได้ทันที อายุการใช้งานยาวนานกว่า 20 ปี ดังนั้นเมื่อลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในครั้งแรก ก็แทบจะไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นในส่วนของการดูแลเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ผลิตจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน(Silicon) แกลเลียมอาร์เซไนด์(Gallium Arsenide) แคดเมียมเทลลูไรด์(Cadmium Telluride) เป็นต้น (Boyle, 1998) ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก(Photovoltaic effect) ซึ่งเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิด

ความต่างศักย์ไฟฟ้าขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำ ในขณะที่ปริมาณความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่มีพลังงานมาตกกระทบ และเมื่อนำภาระทางไฟฟ้ามาต่อให้ครบวงจร อิเล็กตรอนอิสระบริเวณรอยต่อจะเกิดการเคลื่อนที่เป็นกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรได้

a. หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์คือ รอยต่อพีเอ็น (P-N junction) ของสารกึ่งตัวนำ และวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและพบมากที่สุดในโลกได้แก่ ซิลิคอน (คูสิต, 2542) ซึ่งถลุงได้จากแร่ควอตซ์หรือทราย และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ตลอดจนการทำให้เป็นผลึก เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าชนิดประจุลบและประจุบวกขึ้น คือ อิเล็กตรอนและโฮล โดยอิเล็กตรอนและโฮลจะถูกรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ โครงสร้างรอยต่อ p-n จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์เพื่อแยกอิเล็กตรอนให้ไหลไปขั้วลบทางด้านสารกึ่งตัวนำ n และแยกโฮลให้ไหลไปขั้วบวกทางด้านสารกึ่งตัวนำ p ด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้ง 2 เมื่อต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับโหลดก็จะมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา: คูสิต (2542)

บ. ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์มีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างให้มีความหลากหลายเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุดและการลดต้นทุนให้ต่ำ โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้มากคือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตด้วยซิลิคอนซึ่งมีราคาถูก โครงสร้างหลักของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีวัสดุซิลิคอนเป็นส่วนประกอบแบ่งได้ 3 ประเภทคือ

2.2.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single crystalline Silicon: sc-Si)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si มีการใช้งานกันมากและแพร่หลายเพราะมีจุดเด่นคือ มีน้ำหนักเบา ประสิทธิภาพดีกว่าชนิดผลึกโพลีซิลิคอนและชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนโดยมีประสิทธิภาพประมาณ 15-18% (German Solar Energy Society, 2008) อายุการใช้งานยาวนานมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการผลิตไฟฟ้าน้อยมากจึงสามารถนำไปใช้งานในสถานที่ใดก็ได้ เช่น ดาวเทียมหรืออาคาร มีข้อเสียคือราคาสูงเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่น มีโครงสร้างการเรียงตัวของอะตอมที่เป็นระเบียบ

2.2.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิคอน (Poly crystalline Silicon: poly c-Si)

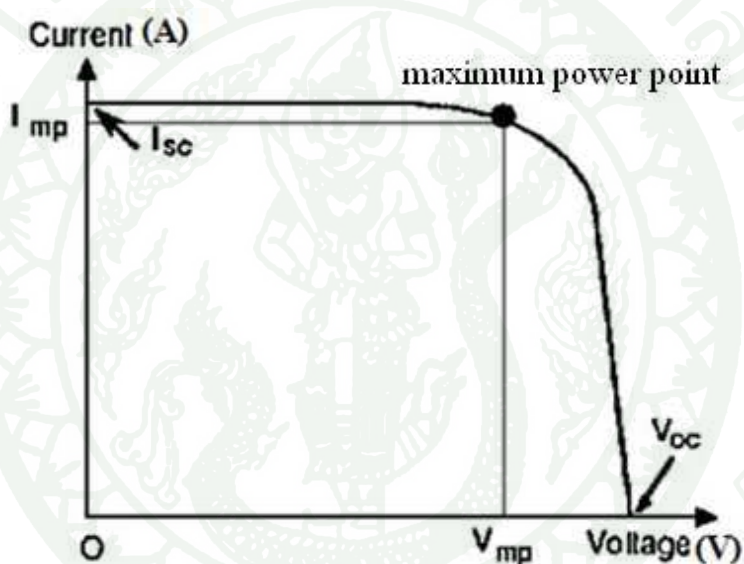
จุดประสงค์ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si นี้มีความสำคัญคือเพื่อลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากต้นทุนการผลิต poly c-Si มีแนวโน้มถูกกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si จึงกำลังได้รับความสนใจในฐานะที่จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีราคาถูกชนิดหนึ่ง โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 13-15% (Yates, 2003) การเรียงตัวของโครงสร้างอะตอมเป็นแถบ ซึ่งภายในแต่ละแถบจะมีการเรียงตัวของอะตอมที่เป็นระเบียบ

2.2.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Thin film Amorphous Silicon: thin film a-Si)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง มีราคาถูกกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอื่นแต่ประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์ชนิดอื่นด้วยเช่นกัน มีโครงสร้างการเรียงตัวของอะตอมที่ไม่เป็นระเบียบ โดยมีประสิทธิภาพประมาณ 5-7% (Yates, 2003)

2.3 IV Curve และตัวแปรที่ใช้แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรสำคัญสำหรับใช้ในการบ่งบอกถึงคุณลักษณะและประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์จะเรียกว่า IV Curve ซึ่งเป็นกราฟที่สามารถระบุถึงลักษณะของการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดที่แปรผันตามชนิดโครงสร้างและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ กราฟ IV Curve มีลักษณะดังภาพที่ 7 ซึ่งสามารถระบุถึงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m) ที่จุด Maximum power point โดยจุดนี้เมื่อลากเส้นขนานกับแกน x จะได้จุดตัดกราฟที่แกน y จะได้ค่า I_{mp} และเมื่อลากเส้นขนานกับแกน y จะได้จุดตัดกราฟที่แกน x จะได้ค่า V_{mp}



ภาพที่ 7 กราฟ IV Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญต่างๆที่สามารถอ่านได้จาก IV Curve มีดังนี้

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

ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกเปิดวงจร เมื่อรอยต่อระหว่างซิลิกอนชนิดพีกับซิลิกอนชนิดเอ็นได้รับแสง กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรในขณะนั้นเป็นศูนย์

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

ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วัดได้ ขณะที่เซลล์แสงอาทิตย์ถูกลัดวงจร เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลจากเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านไปยังวงจรภายนอก สถานะนี้กระแสไฟฟ้ามีค่าสูงสุด

2.3.3 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power, P_m)

ค่าผลคูณของแรงดันไฟฟ้ากับกระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมา ณ ค่าที่ทำให้เกิดผลคูณมีค่าสูงสุด สามารถวัดได้ขณะที่ต่อภาระทางไฟฟ้าที่มีค่าเหมาะสมค่าหนึ่ง และเมื่อพิจารณาในส่วนของกราฟ IV Curve ค่า P_m คือ พื้นที่สี่เหลี่ยมภายใต้ IV Curve ที่มีค่ามากที่สุด มีสมการคำนวณดังสมการที่ 2

$$P_m = V_{mp} \times I_{mp} \quad (2)$$

2.3.4 ค่าฟิลแฟคเตอร์ (Fill Factor)

ค่าที่ใช้กำหนดคุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอัตราส่วนระหว่างค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่(P_m) เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายได้จริงกับผลคูณของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด สำหรับการทดสอบที่สภาวะมาตรฐานค่าฟิลแฟคเตอร์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6 - 0.8 (Green, 1998) ซึ่งความต้านทานที่อยู่ภายในเซลล์จะมีผลต่อการลดลงของค่าฟิลแฟคเตอร์ เมื่อพิจารณาค่า Fill factor ใน IV Curve ที่เป็นอัตราส่วนของพื้นที่สี่เหลี่ยมผืนผ้าของกราฟที่ลากจาก I_{mp} กับ V_{mp} ต่อพื้นที่ของกราฟที่ลากจาก I_{sc} กับ V_{oc} มีสมการคำนวณดังสมการที่ 3

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

2.3.5 ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงาน (η)

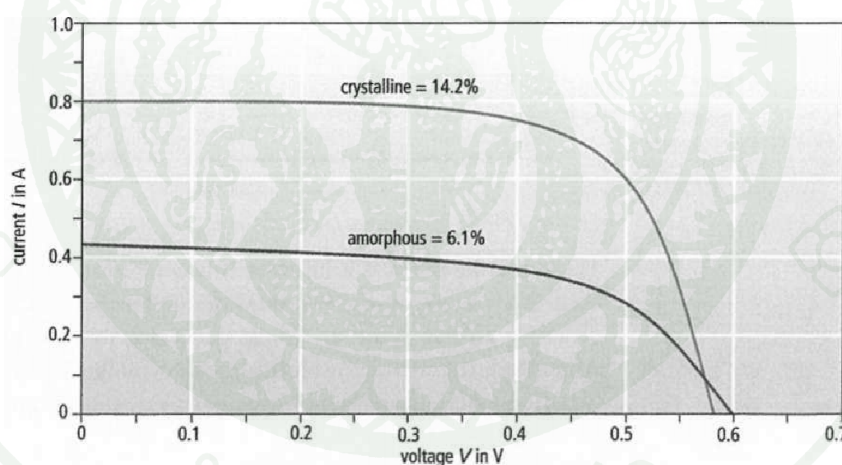
ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดกับพลังงานความเข้มแสงที่ตกกระทบบนเซลล์แสงอาทิตย์ ดังสมการที่ 4 (German Solar Energy Society, 2008)

$$\eta = \frac{P_m}{A \times E} \quad (4)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ของเซลล์แสงอาทิตย์ (A/cm^2)

E คือ ความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ (W/m^2)

IV Curve นี้ นอกจากจะสามารถทราบถึงคุณสมบัติในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แต่ละชนิดแล้วยังสามารถใช้ระบุถึงคุณสมบัติของแผงเซลล์ที่มีการต่อเซลล์ภายในแผงเซลล์ให้มีค่าทางไฟฟ้าสูงขึ้นอีกด้วย อีกทั้งเมื่อนำค่าที่ได้จาก IV Curve มาเปรียบเทียบกับกันระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ต่างชนิดกันจะพบคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่แตกต่างกันเพื่อให้ทราบถึงลักษณะของประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ต่างกันของเซลล์แต่ละชนิด ตามแสดงในภาพที่ 8 ที่เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลล์ชนิดผลึกซิลิคอนกับเซลล์ชนิด thin film a-Si ที่มีค่าประสิทธิภาพทางไฟฟ้าที่ต่างกัน



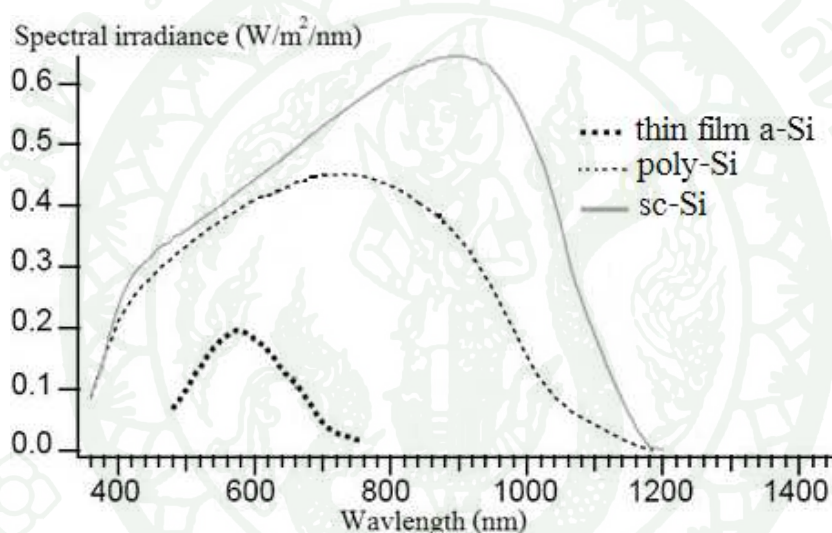
ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเซลล์ชนิดผลึกซิลิคอนและ thin film a-Si

ที่มา: German Solar Energy Society (2008)

2.4 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยอาศัยการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์กับช่วงความยาวคลื่นของแสงเป็นตัวกำหนด

ระดับของพลังงานที่แสงจะสามารถกระตุ้นให้เซลล์แสงอาทิตย์ปลดปล่อยอิเล็กตรอนได้มากหรือน้อยตามค่าความยาวคลื่นของแสงเป็นหลัก ดังนั้นการออกแบบโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์รวมไปถึงชนิดของวัสดุที่ใช้สร้างเซลล์จึงมุ่งเน้นที่การตอบสนองต่อช่วงความยาวคลื่นของแสงอาทิตย์เป็นสำคัญ โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงที่แตกต่างกันตามชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งช่วงของการตอบสนองนั้นแตกต่างกันไปตามวัสดุที่ใช้ในการทำเซลล์แสงอาทิตย์ (Field, 1997) ตามภาพที่ 9 เมื่อพิจารณาถึงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิดคือ แบบ sc-Si แบบ poly c-Si และแบบ thin film a-Si จะเห็นได้ว่าการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si มีช่วงตอบสนองที่กว้างที่สุด ถัดมาคือ poly c-Si และ thin film a-Si ตามลำดับ



ภาพที่ 9 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยสารซิลิคอน

ที่มา: Field (1997)

3. การศึกษาผลกระทบของสเปกตรัมแสงต่อสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันใช้ผลการทดสอบจากห้องทดลองโดยกำหนดสภาพตามมาตรฐานสากล Standard test condition (STC) มีรายละเอียดคือ ความเข้มแสง $1,000 \text{ W/m}^2$ อุณหภูมิแผงเซลล์ 25°C องศาเซลเซียสและ Air mass (AM) 1.5 โดยสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความเข้มแสง (Minemoto, 2008) ซึ่งตามสภาวะ STC ผลต่างระหว่างประสิทธิภาพที่ได้จริงเมื่อติดตั้งภายนอกอาคารต่างกันมาก

ดังนั้นผลการทดสอบในห้องทดสอบอาจไม่เพียงพอต่อการประมาณค่าการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในสถานะใช้งานจริงปัจจัยอื่นนอกเหนือจาก 2 ปัจจัยหลักข้างต้น (Minemoto, 2008) คือ ทำการศึกษาผลจากสเปกตรัมแสง โดยสร้างตัวแปรตัวใหม่ขึ้นคือ Average photon energy (APE) ที่นำมาทำการหาความสัมพันธ์กับสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

Performance ratio (PR) ค่า PR เป็นค่าบ่งชี้ถึงสมรรถภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้จากการนำพลังงานขาออกหารด้วยพลังงานภายใต้ STC (Otani, 2008) การคำนวณค่า PR แสดงดังสมการที่ 5-7

$$Y_r = H/G \quad (5)$$

$$Y_m = E/P_{STC} \quad (6)$$

$$PR = Y_m/Y_r \quad (7)$$

เมื่อ	Y_r	คือ Yield อ่างอิง
	H	คือ ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ (W/m^2)
	G	คือ ความเข้มแสงอ่างอิงมีค่าเป็น $1,000 W/m^2$
	Y_m	คือ Yield ของกำลังไฟฟ้า
	E	กำลังไฟฟ้าขาออก (W)
	P_{STC}	คือกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ที่สภาวะ STC (W)

ค่า APE คือ ดัชนีที่ใช้บอกการกระจายของสเปกตรัมแสงมีหน่วยเป็น eV การหาค่า APE เริ่มจากหาค่าเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักของความยาวคลื่นแสง (λ_{WA}) (Otani, 2008) ดังสมการที่ 8

$$\lambda_{WA} = \frac{\int_a^b E(\lambda) \cdot \lambda d\lambda}{\int_a^b E(\lambda) d\lambda} \quad (8)$$

เมื่อ	E	คือ ความเข้มแสงของแต่ละสเปกตรัม
	a และ b	คือ ที่ใช้คือความยาวคลื่นแสงช่วงต่ำสุดและสูงสุด (nm) ตามลำดับ

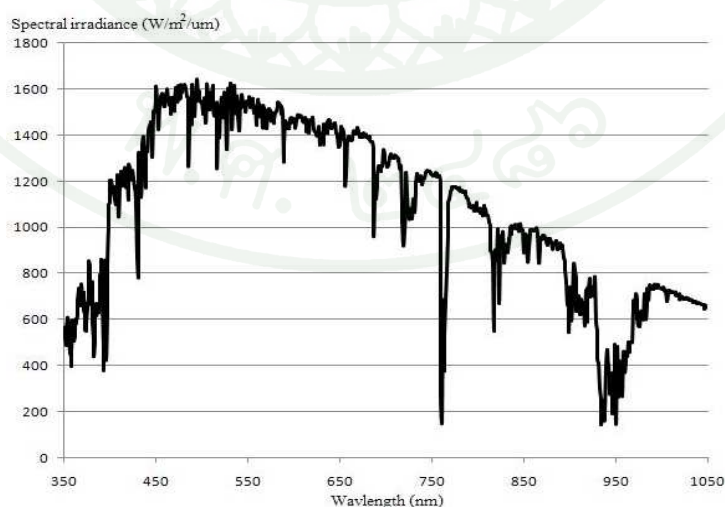
นำค่าความยาวคลื่นแสงเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักที่ได้มาหาค่า APE โดยการคำนวณตามสมการที่ 9

$$APE = \frac{hc}{\lambda_{WA}} \quad (9)$$

เมื่อ h คือ Planck's constant มีค่า $4.135667 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$
 c คือ ความเร็วแสงมีค่า $3 \times 10^8 \text{ m/s}$

เมื่อวิเคราะห์ถึงค่า APE ถ้าค่า APE สูงแสดงว่าความยาวคลื่นเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักมีค่าต่ำสามารถบอกถึงสเปกตรัมแสงนั้นมีองค์ประกอบของความยาวคลื่นสีน้ำเงินอยู่มาก โดยความยาวคลื่นสเปกตรัมแสงสีน้ำเงินเป็นความยาวคลื่นสั้น และถ้า APE มีค่าต่ำ แสดงให้เห็นว่าแสงมีองค์ประกอบของความยาวคลื่นสีแดงอยู่มาก

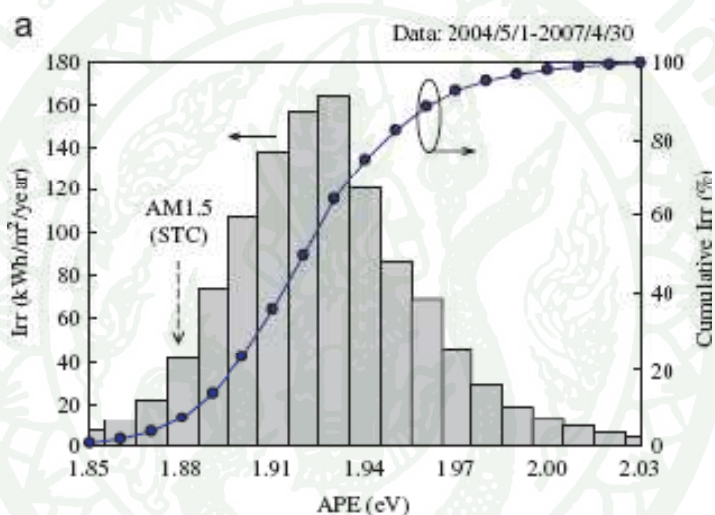
จากข้อมูลของ IEC 60907-3, 2008 ซึ่งอ้างอิงช่วงสเปกตรัมแสงตาม STC ที่ค่า AM เป็น 1.5 เมื่อนำมาสร้างกราฟของสเปกตรัมแสงโดยเลือกข้อมูลในช่วงความยาวคลื่นที่ 350 – 1050 nm ได้ผลดังภาพที่ 10 เมื่อนำข้อมูลมาคำนวณเพื่อหาค่า APE ตามสมการที่ (8) และ (9) พบว่า APE มีค่า 1.88 eV



ภาพที่ 10 กราฟสเปกตรัมแสงที่ AM 1.5 ตามมาตรฐาน IEC 60907-3, 2008

4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

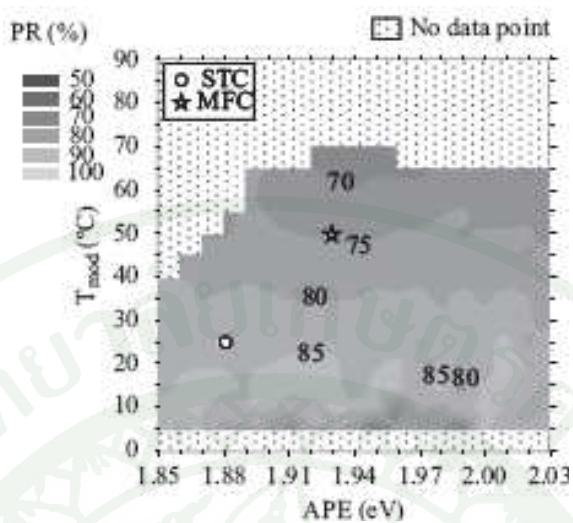
การศึกษาผลกระทบสเปกตรัมแสงกับสมรรถภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆ โดยทำการศึกษาที่ประเทศญี่ปุ่นเมือง Kusatsu ตำแหน่ง ละติจูด $34^{\circ}58'$ องศาเหนือ และลองจิจูด $135^{\circ}57'$ องศาตะวันออก โดยทำการศึกษาสภาวะแวดล้อมในความสัมพันธ์ของ APE กับความเข้มแสงสะสมเพื่อใช้ในการบอกถึงค่า APE ที่มีมาก ณ ภูมิภาคนั้น ซึ่งจากภาพที่ 11 สรุปได้ว่าประเทศญี่ปุ่นค่า APE ที่มีค่าความเข้มแสงสูงที่สุดมีค่า 1.93 ± 0.005 eV ซึ่งมากกว่าค่า APE มาตรฐานที่มีค่า 1.88 eV ที่ STC (Minemoto, 2009)



ภาพที่ 11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมกับ APE เมือง Kusatsu

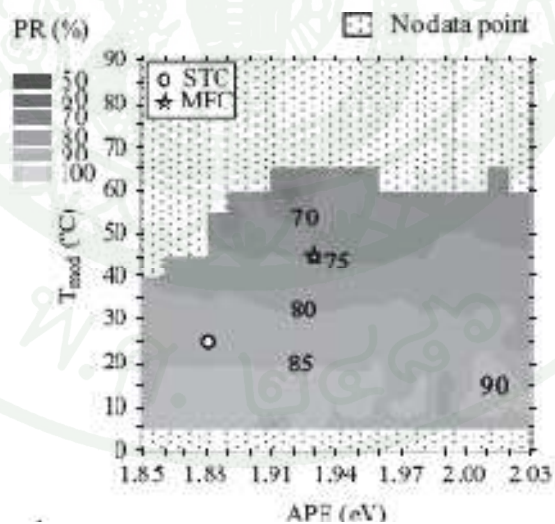
ที่มา: Minemoto (2009)

ทั้งนี้ยังมีการแสดงผลในรูปแบบแผนภูมิคอนทัวร์ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพโดยใช้ค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆกับอุณหภูมิของแผงเซลล์และค่า APE ภาพที่ 12-16 คือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si, poly c-Si, thin film a-Si, a-Si/ μ c และ a-Si/a-SiGe/a-SiGe ตามลำดับ ตามภาพนั้นระบุถึงสภาวะ STC โดยใช้เครื่องหมายรูปวงกลมคือ APE ตามมาตรฐาน STC มีค่า 1.88 eV และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 25°C ส่วนที่เครื่องหมายรูปดาวคือที่ APE สภาวะปกติ (Most frequent condition: MFC) ของสถานที่ที่ทำการเก็บข้อมูลประเทศญี่ปุ่นมีค่าเป็น 1.93 eV



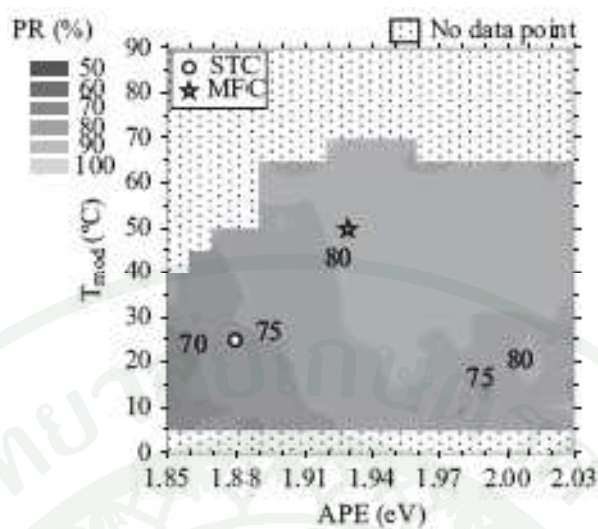
ภาพที่ 12 แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si ในรูปแบบความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE

ที่มา: Minemoto (2009)



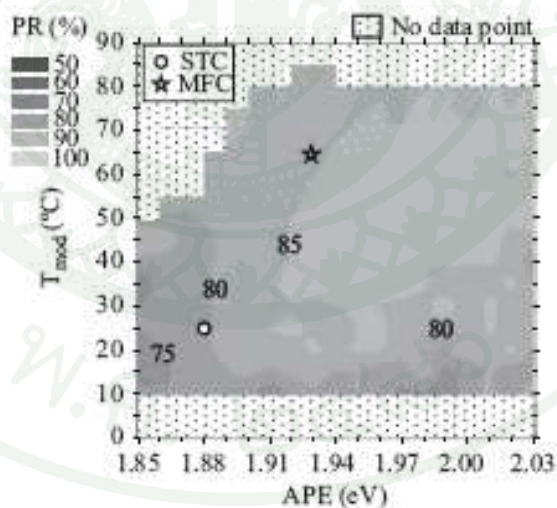
ภาพที่ 13 แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si ในรูปแบบความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE

ที่มา: Minemoto (2009)



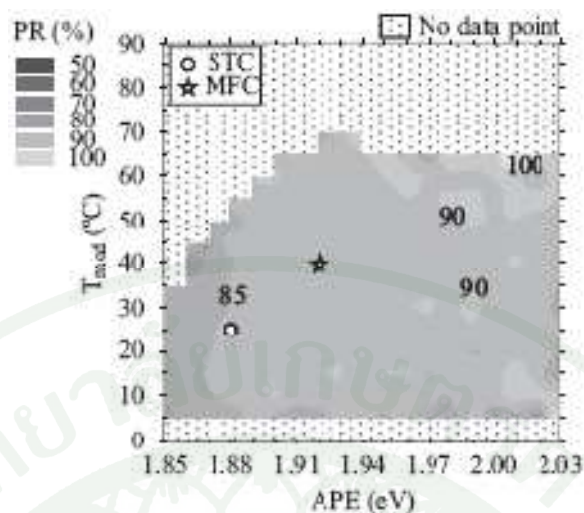
ภาพที่ 14 แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si ในรูปแบบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแพงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE

ที่มา: Minemoto (2009)



ภาพที่ 15 แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si/ μc ในรูปแบบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแพงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE

ที่มา: Minemoto (2009)



ภาพที่ 16 แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด 3 ชั้นคือ a-Si/a-SiGe/a-SiGe ในรูปแบบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE

ที่มา: Minemoto (2009)

เมื่อเปรียบเทียบภาพที่ 12 และ 13 เซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิดคือ sc-Si และ poly c-Si เห็นได้ว่ามีความคล้ายคลึงกันอย่างมากคือ เมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่า PR ลดลง โดยสังเกตได้จากกราฟในแนวแกนตั้ง และจำกัดค่า APE ไว้ที่ค่าหนึ่ง ส่วนค่าของ APE ส่งผลกระทบบ้างเล็กน้อยกับค่า PR โดยสามารถสังเกตได้จากกราฟในแนวแกนนอน และจำกัดค่าอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ที่ค่าหนึ่ง จากนั้นเมื่อเปรียบเทียบภาพที่ 14 และภาพที่ 15 ซึ่งมีองค์ประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si จะเห็นว่า ทั้งอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่า APE ส่งผลกับ ค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยค่า PR มีค่าสูงที่อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 30 °C และค่า APE มากกว่า 1.92 eV ทั้งนี้ในส่วนของภาพที่ 16 ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si/a-SiGe/a-SiGe ค่า APE ส่งผลเพียงเล็กน้อยต่อค่า PR ส่วนอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลกระทบบ้างเล็กน้อย

นำมาทำข้อเปรียบเทียบกันตามตารางที่ 1 โดยเปรียบเทียบในส่วนของค่า PR ที่สภาวะ STC และ สภาวะ MFC ในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si และ poly c-Si มีค่า PR ที่สภาวะ MFC ต่ำกว่าที่สภาวะ STC ประมาณ 9% ในส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si และ a-Si/μc มีค่า PR ที่สภาวะ MFC สูงกว่าที่สภาวะ STC 8% และ 5%

โดยประมาณตามลำดับ มีเพียงเฉพาะเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si/a-SiGe/a-SiGe ที่ค่า PR ทั้งสภาวะ STC และ MFC มีค่าไม่แตกต่างกัน โดยค่า PR ต่างกันไม่ถึง 1%

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดที่สภาวะ STC และ MFC

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	ประเภท	PR@STC(%)	PR@MFC(%)	PR(MFC-STC)
(a) sc-Si	Bulk	83.49	74.24	-9.25
(b) poly c-Si	Bulk	83.68	74.2	-9.48
(c) a-Si	Thin-film	73.27	81.28	8.01
(d) a-Si/ μ c-Si	Thin-film	79.23	83.88	4.65
(e) a-Si/a-SiGe/a-SiGe	Thin-film	86.23	86.89	0.66

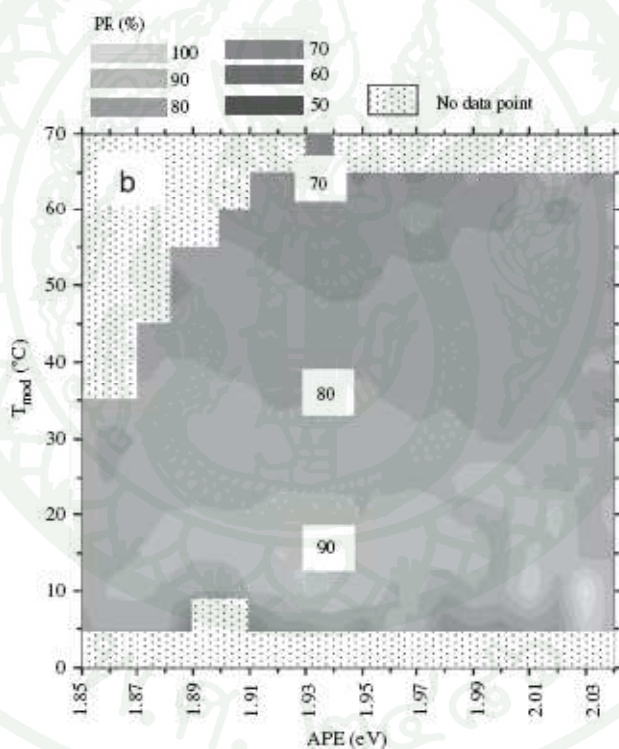
ที่มา: Minemoto (2009)

ผลจากตารางที่ 1 ชี้ให้เห็นว่าภายใต้สภาวะ STC พลังงานที่ได้จริงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si และ poly c-Si มีสมรรถภาพสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si และ a-Si/ไมโครคริสตัลไลน์ ยกเว้นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si/a-SiGe/a-SiGe

อิทธิพลของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์และค่า APE ต่อค่า PR สามารถสรุปได้ว่า ค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si และ poly c-Si ได้รับผลจากอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลัก ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si และ a-Si/ไมโครคริสตัลไลน์ ได้รับผลของทั้ง 2 ตัวแปร ความสำคัญของการเข้าใจคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆและความแม่นยำในข้อมูลของสภาวะแวดล้อมที่ทำการติดตั้ง จึงควรต้องมีการศึกษาถึงกระบวนการวิเคราะห์มาตรฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร

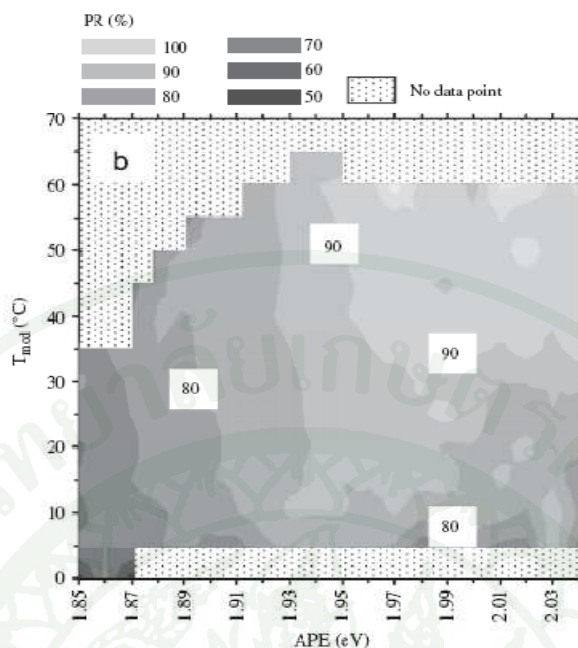
ยังมีการศึกษาความสัมพันธ์ของสมรรถภาพเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ชนิดคือ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si ในช่วงเวลาตลอดปี โดยนำ PR แสดงในรูปแบบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE ที่เมือง Kusatsu ประเทศ

ญี่ปุ่นตลอดปี 2004 (Nakada, 2009) โดยมีการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์จำนวน 2,200,000 ข้อมูล ภาพที่ 17 แสดงกราฟคอนทัวร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si ในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า PR กับ ค่า APE และ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยค่า PR มีค่าลดลงเมื่อ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าผลของอุณหภูมิแผงเซลล์นั้นมีผลต่อค่า Voc ส่วนภาพที่ 18 แสดงกราฟคอนทัวร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si ในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า PR กับ ค่า APE และ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยค่า PR มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า APE เพิ่มขึ้นโดยการสังเกตจากภาพในแนวแกนตั้ง ซึ่งสามารถอธิบายได้จากการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si มีค่าสูงในช่วงความยาวคลื่นสั้น



ภาพที่ 17 แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด sc-Si ในรูปแบบความสัมพันธ์ของอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE

ที่มา: Nakada (2009)

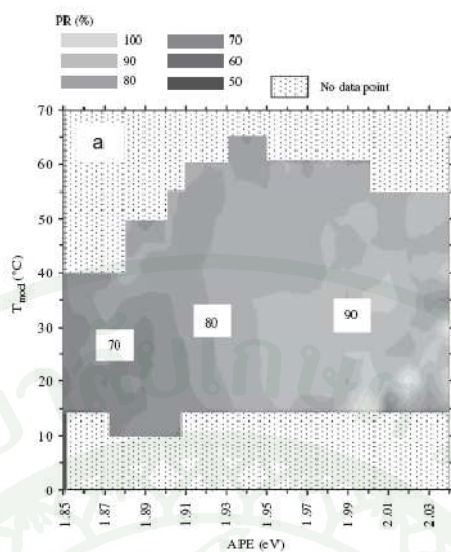


ภาพที่ 18 แผนภูมิคอนทัวร์ของ PR เซลล์แสงอาทิตย์ thin film a-Si ในรูปแบบความสัมพันธ์ของ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับ APE

ที่มา: Nakada (2009)

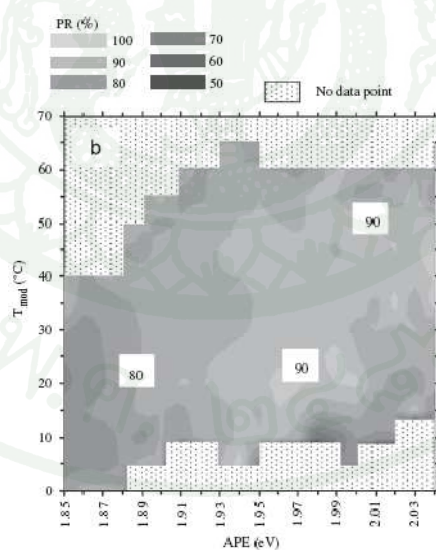
เมื่อทราบค่า APE ส่งผลกระทบกับสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si จึงทำการวิเคราะห์ค่า PR ในช่วงของฤดูกาลซึ่งค่าเฉลี่ยของ APE ในแต่ละฤดูกาลมีค่าไม่เท่ากัน ภาพที่ 19-20 แสดงกราฟคอนทัวร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si ในรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า PR กับ ค่า APE และ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูใบไม้ร่วงตามลำดับ เมื่อพิจารณารูปแบบของทั้ง 2 ฤดูกาลพบว่ามีรูปร่างที่คล้ายกัน โดย ภาพที่ 20 ซึ่งเป็นในส่วนของฤดูใบไม้ร่วงพบว่าในช่วงค่า PR 80% ครอบคลุมพื้นที่ในช่วงเดียวกันกับ พื้นที่ที่ภาพที่ 19 มีค่า PR เป็น 70% ในฤดูใบไม้ผลิ

ภาพที่ 21 แสดงให้เห็นว่าในช่วงที่ค่า APE น้อยกว่า 1.98 eV สมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si ในช่วงฤดูใบไม้ผลิมีค่ามากกว่าในช่วงฤดูใบไม้ร่วง ส่วนช่วงที่ค่า APE มากกว่า 1.98 eV สมรรถภาพในช่วงฤดูใบไม้ร่วงสูงกว่าฤดูใบไม้ผลิ



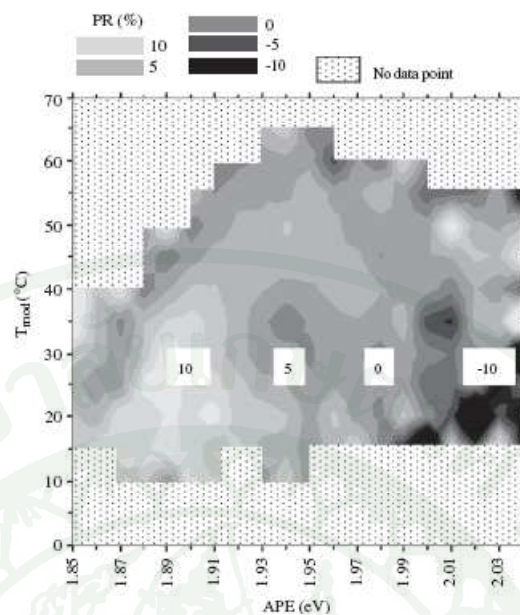
ภาพที่ 19 แผนภูมิคอนทัวร์ความสัมพันธ์ PR กับ APE และอุณหภูมิแพงเซลล์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si ในช่วงฤดูใบไม้ผลิ

ที่มา: Nakada (2009)



ภาพที่ 20 แผนภูมิคอนทัวร์ความสัมพันธ์ PR กับ APE และอุณหภูมิแพงเซลล์ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน ในช่วงฤดูใบไม้ร่วง

ที่มา: Nakada (2009)



ภาพที่ 21 แผนภูมิคอนทัวร์ความสัมพันธ์ PR กับ APE และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน เปรียบเทียบกันระหว่างฤดูใบไม้ผลิและใบไม้ร่วง โดยฤดูใบไม้ผลิเป็นฐาน

ที่มา: Nakada (2009)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

คอมพิวเตอร์ และโปรแกรมออกแบบประมวลผล

วิธีการ

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์การเก็บและรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลจากโครงการศึกษามาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์ในเขตร้อนชื้นของ สวทช. ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัย NEDO ประเทศญี่ปุ่น สถานที่ติดตั้งระบบอยู่ที่บริเวณหน้า NECTEC Pilot Plant อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี ในช่วงปี 2006 ถึงปลายปี 2007 และได้เคลื่อนย้ายระบบไปยังศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ (PTEC) ลาดกระบัง จังหวัดกรุงเทพฯ เพื่อความเหมาะสมตั้งแต่ต้นปี 2008 จนถึงปัจจุบัน

ระบบมีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 30 แผง จากบริษัทผู้ผลิต 10 แห่งซึ่งมีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆคือ Heterojunction with Intrinsic Thin layer (HIT) Copper indium selenide (CIS) Poly c-Si และ thin film a-Si แบบ 1 ชั้น 2 ชั้น โดยติดตั้งด้วยมุมเอียง 14 องศาเทียบกับแนวระนาบของพื้นโลก การศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์ในส่วนของระบบได้มีการต่อ Load เทียมเพื่อใช้ในการวัดค่าพารามิเตอร์ ใช้อุปกรณ์ IV Curve Tracer ที่ค่าความต้านทานปรับค่าได้

การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่จำเป็นซึ่งประกอบด้วย เครื่องวัดประสิทธิภาพเซลล์ (IV Curve Tracer) เครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer) เครื่องวัดสเปกตรัมแสง (Spectroradiometer) เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ เครื่องวัดทิศทางและความเร็วลม และเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์และอุณหภูมิอากาศ จากการวัดค่าด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ข้างต้นทำให้ทราบถึงค่าทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แต่ละชนิดจากเครื่อง IV Curve Tracer ที่จะบ่งบอกถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์ชนิดต่างๆ ภายใต้อุณหภูมิแวดล้อมจริงตลอดทั้งวันและต่อเนื่อง ภาพที่ 22 แสดงการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์การวัด



ภาพที่ 22 แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าภายนอกอาคาร

ระบบที่ใช้สำหรับการเก็บข้อมูลจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ส่วนหลักคือ บริเวณที่ติดตั้งภายนอกอาคารและบริเวณที่ติดตั้งภายในอาคาร โดยส่วนที่ติดตั้งภายนอกอาคารจะประกอบด้วยเครื่องมือวัดทางอุตุนิยมวิทยาที่ประกอบด้วยเครื่องวัดความเข้มแสง เครื่องวัดความเร็วและทิศทางลม อุณหภูมิของอากาศ เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ รวมไปถึงสายเทอร์โมคัปเปิลที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์ โดยติดบริเวณด้านหลังแผงตรงตำแหน่งกลางแผง ตามภาพที่ 23 นอกจากนี้ยังมีในส่วนของเครื่องวัดสเปกตรัมแสงหรือ Spectroradiometer ที่ติดตั้งในบริเวณเดียวกับเครื่องมือวัดทั้งหมด



ภาพที่ 23 ตำแหน่งการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลบริเวณด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับส่วนที่ติดตั้งภายในอาคารจะใส่อยู่ในตู้ควบคุม (Controlled Cabinet) ตามภาพที่ 24 สังการโดยคอมพิวเตอร์ มีการเชื่อมต่อกับสายสัญญาณมาจากบริเวณที่ติดตั้งที่บริเวณภายนอกอาคารทั้งหมดเพื่อสามารถรับและส่งข้อมูลที่ใช้สำหรับควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ให้ทำงานอย่างต่อเนื่อง รวมถึงสามารถบันทึกและเก็บข้อมูลลงภายในคอมพิวเตอร์เพื่อใช้สำหรับนำข้อมูลมาวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 24 ตู้ควบคุมภายในประกอบด้วยอุปกรณ์ควบคุมในการวัดและบันทึกผลด้วยคอมพิวเตอร์

การวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์ที่ติดตั้งภายนอกอาคารภายใต้สภาวะการทำงานจริงที่จะต้องวัดจากตัวแปรทางด้านอุตุนิยมวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์ทั้งหมด และในการวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์ในงานวิจัยนี้ยังได้แบ่งวิธีการวัดและเก็บข้อมูลออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1.1 ส่วนการวัดด้านอุตุนิยมวิทยา (Meteorology)

1.1.1 ข้อมูลความเข้มแสง แบ่งเป็นการเก็บ ที่แนวระนาบ (Horizontal irradiance) กับ แนวมุมเอียง 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 องศาในทิศเหนือหมุนตามเข็มนาฬิกามีค่าเป็นบวกจนครบ 360 องศา เก็บข้อมูลด้วยอุปกรณ์ USA-1 เครื่องวัดความเร็วลมใบพัดอัลตราโซนิกสามมิติ ใช้วัสดุเซมิคอนดักเตอร์เป็นตัวรับสัญญาณ

1.1.3 ข้อมูลอุณหภูมิที่สภาวะแวดล้อม (Ambient temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส และข้อมูลความชื้นในบรรยากาศ (Relative Humidity) มีหน่วยเป็น RH โดยใช้อุปกรณ์ MT-062-30

1.2 ส่วนการวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์ (IV Curve)

ประกอบด้วยตัวแปรคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ Voc Vmp Isc Imp Pm และ FF โดยใช้อุปกรณ์ IV Curve Tracer เป็นโหลดเทียม เพื่อทำการหาคุณลักษณะ IV Curve ของเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลานั้น

1.3 ส่วนการวัดสเปกตรัมแสง (Spectrum irradiance)

เป็นการวัดพลังงานสเปกตรัมแสง ณ ความยาวคลื่นหนึ่งในช่วงเวลาขณะนั้น ทำการวัดข้อมูลด้วยอุปกรณ์ MS 701 ซึ่งเป็นเครื่องวัดรังสีสเปกตรัมแสงที่ตามองเห็นด้วยตาเปล่า (Visible light)

2. ลักษณะการเก็บข้อมูลจากเครื่องมือวัด

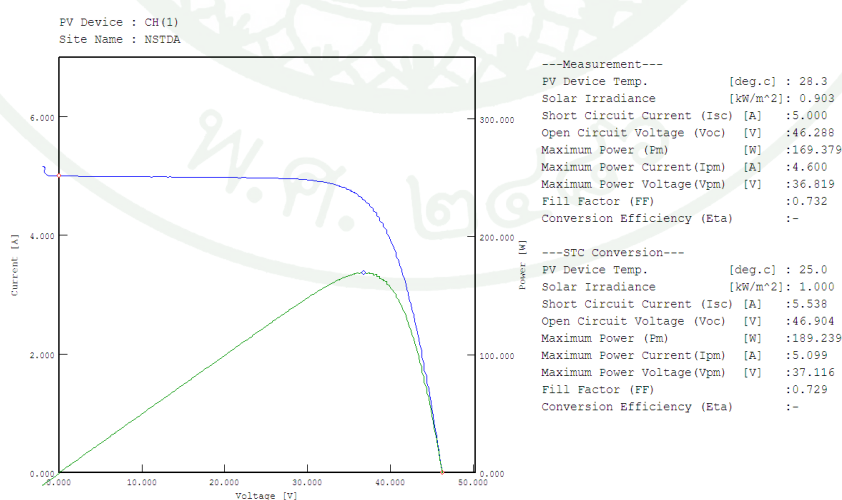
การเก็บข้อมูลจากเครื่องมือวัดทั้ง 3 ส่วนคือ ส่วนการวัดทางอุตุนิยมวิทยา ส่วนการวัด IV Curve และ ส่วนการวัดสเปกตรัม ลักษณะของข้อมูลที่เก็บได้สามารถแสดงได้จะเป็นการเก็บข้อมูลโดยใช้คอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมและบันทึกข้อมูลลงฮาร์ดดิสก์ โดยข้อมูลจากทั้ง 3 ส่วน จะทำการบันทึกแยกจากกัน ใช้ช่วงเวลาในการบันทึกเป็นตัวเชื่อมโยงข้อมูลเข้าด้วยกันเวลานำผลข้อมูลมาบันทึก รูปแบบของการเก็บข้อมูลจากทั้ง 3 ส่วนมีดังนี้

2.1 การวัดค่าอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) จะทำการวัดค่าความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิ อากาศ ความเร็วลม ทิศทางลม ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของแผงเซลล์ทั้งหมด 30 แผงที่ใช้ทดสอบ โดยลักษณะการเก็บข้อมูลจะทำการเก็บตลอด 24 ชั่วโมง โดยมีอัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ดังแสดงในภาพที่ 25

Date	Time	Global Irradiance	Tilted Irradiance	Wind Direction	Wind Speed	Temperature	Humidity	Temp CH(01)	Temp CH(02)	Temp CH(03)	Temp CH(04)	Temp
18/5/2007	10:11:00	792.6	725.5	255	.9	32.3	57.1	58.9	59.3	56.2	60.8	
18/5/2007	10:12:00	799.9	732.9	325	.3	32.4	55.8	59	59.3	56.1	60.8	
18/5/2007	10:13:00	795.1	728.3	272.1	.3	32.5	56.9	59.2	59.4	56.3	61.1	
18/5/2007	10:14:00	798.9	731.9	294	1	32.7	56	59.3	59.5	56.4	61.2	
18/5/2007	10:15:00	783.3	717.6	282	1.9	32.8	55.2	58.8	59.3	56.1	60.7	
18/5/2007	10:16:00	799.6	733.3	260	1.1	32.8	55	58.8	59.3	56.2	61	
18/5/2007	10:17:00	811.9	744.6	271	1.4	32.7	53.9	58.5	59	56	60.5	
18/5/2007	10:18:00	813.8	746.7	273	1.8	32.7	55.9	58.5	59	55.9	60.4	
18/5/2007	10:19:00	798.6	733	253	.9	32.7	55.5	58.7	59.1	55.9	60.4	
18/5/2007	10:20:00	794.2	729.3	220	.9	32.8	54.3	58.7	59.4	56.1	60.7	
18/5/2007	10:21:00	800.7	736.3	250	1	33	53.6	58.9	59.8	56.3	60.9	
18/5/2007	10:22:00	821	754	292	1.8	33	54.4	58.6	59.3	56	60.5	
18/5/2007	10:23:00	816.4	750.5	285	1.6	32.9	53.1	58.1	58.7	55.7	60.2	
18/5/2007	10:24:00	837.7	770.5	269	3.1	32.8	53.7	57.8	58.6	55.5	59.9	
18/5/2007	10:25:00	821.5	756.2	291.1	1.8	32.7	53.3	57.3	57.8	55	59.2	
18/5/2007	10:26:00	826.7	760.9	293	1.1	32.4	53.8	57.3	57.8	54.8	58.8	
18/5/2007	10:27:00	827.2	761.7	298	.9	32.4	54.5	57.1	57.5	54.6	58.6	
18/5/2007	10:28:00	828.4	763.1	293	1.8	32.5	54.3	57.1	57.7	54.8	58.6	
18/5/2007	10:29:00	830.9	765.9	312.1	1.1	32.6	54.2	56.9	57.3	54.5	58.4	
18/5/2007	10:30:00	827.2	763.1	270	1.2	32.7	55	57.2	57.7	54.7	58.9	

ภาพที่ 25 ตัวอย่างข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา

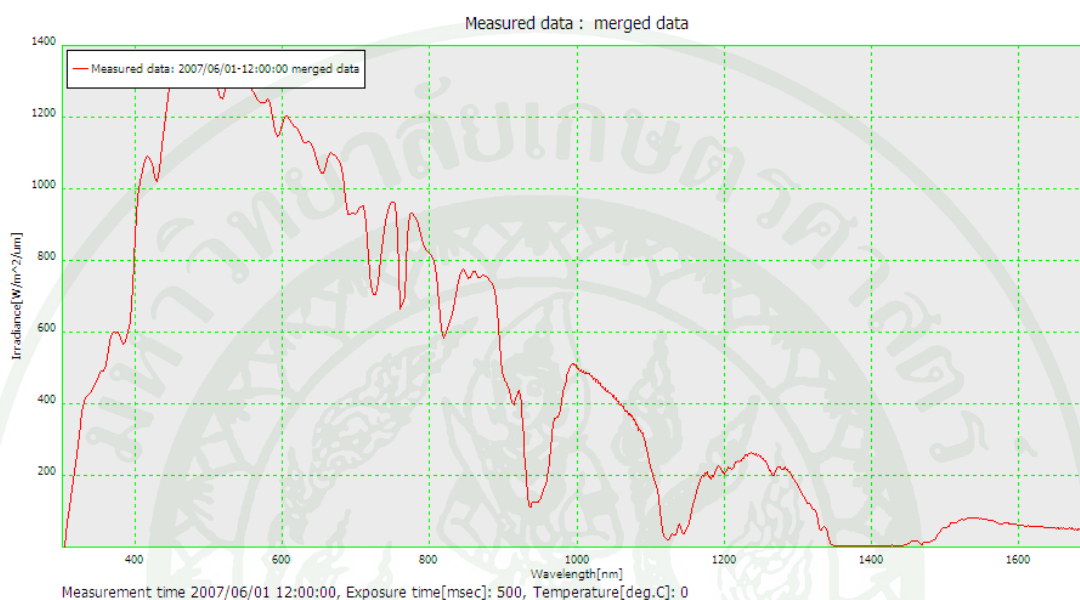
2.2 การวัดประสิทธิภาพแผงเซลล์ (IV Curve) จะทำการวัดค่าแรงดัน Voc และ Vpm ค่ากระแสไฟฟ้าทั้ง Isc และ Ipm ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Pmax) และค่าฟิลแฟคเตอร์ (FF) โดยลักษณะการเก็บข้อมูลจะทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่ช่วง 5:00:00 ถึง 19:30:00 โดยมีอัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที ดังแสดงในภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ตัวอย่างข้อมูล IV-Curve

2.3 การวัดสเปกตรัมแสง (Spectrum irradiance) จะทำการวัดค่าสเปกตรัมของแสงอาทิตย์ตลอดความยาวคลื่นแสงที่ 350 – 1500 nm โดยมีอัตราการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 นาที ดังแสดงในภาพที่

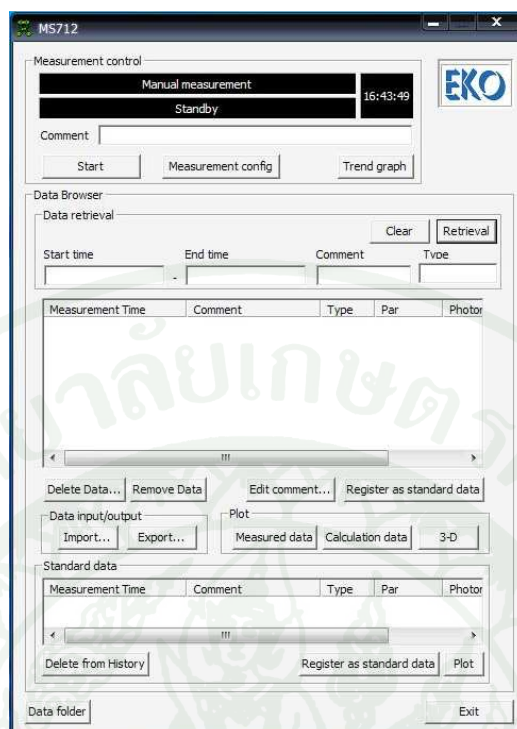
27



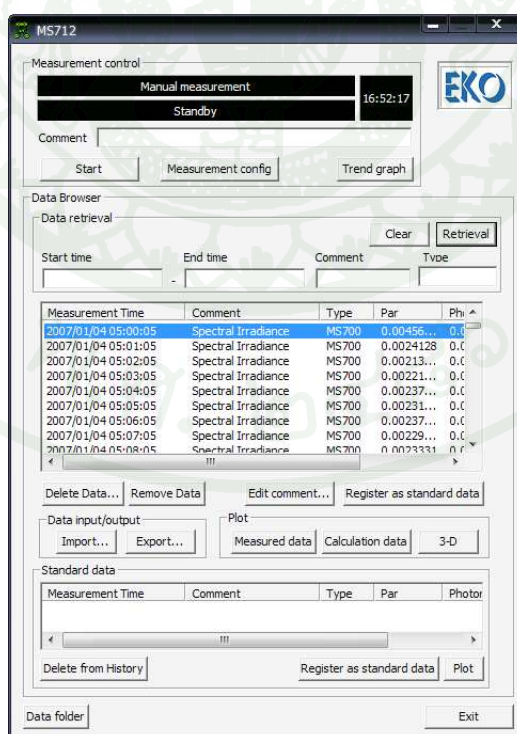
ภาพที่ 27 ตัวอย่างข้อมูลสเปกตรัมแสง

3. การคำนวณค่า APE จากข้อมูลที่เก็บมา

ไฟล์ที่เก็บได้จากเครื่อง Spectroradiometer เป็นไฟล์แบบ binary นามสกุล .rad มีการเก็บข้อมูลแบ่งเป็น 1 ไฟล์ต่อ 1 วัน โดยเริ่มเก็บตั้งแต่เวลา 05:00:00 – 19:30:00 จึงต้องใช้โปรแกรมช่วยในการเปิด ซึ่งใช้โปรแกรม MS-712 พัฒนาโดยบริษัท EKO ประเทศญี่ปุ่น โดยมีเมนูการทำงานดังภาพที่ 28 ในการ import ข้อมูลจากไฟล์แบบ binary สามารถเลือกใช้เมนู import โปรแกรมสามารถ import ข้อมูลหลายไฟล์พร้อมกัน ดังภาพที่ 29



ภาพที่ 28 เมนูการทำงานของโปรแกรม MS-712



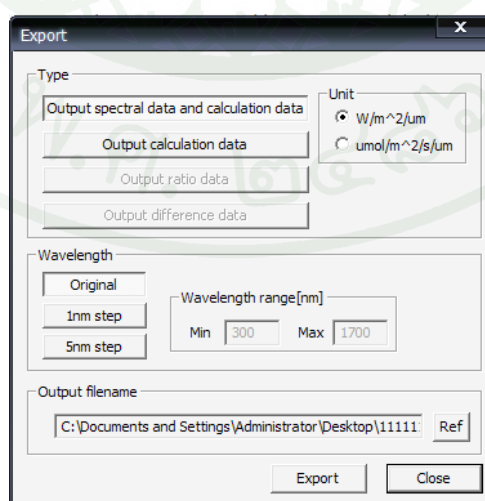
ภาพที่ 29 รายการที่โปรแกรมได้ทำการ import เข้ามาของโปรแกรม MS-712

การแสดงผลข้อมูลในรูปกราฟ 3 มิติ สามารถทำได้โดยการแสดงผลแบบ 3D โปรแกรม จะทำการแสดงกราฟของสเปกตรัมแสงของรายการนั้น โดยสามารถเลือกพร้อมกันได้หลายรายการ ดังแสดงในภาพที่ 30



ภาพที่ 30 กราฟจากฟังก์ชัน 3D ของโปรแกรม MS-712

ทั้งนี้ในงานวิจัยต้องการ export ไฟล์ออกมาเป็นไฟล์ excel เพื่อนำมาคำนวณหาค่า APE มี ขั้นตอนคือ เลือกรายการที่ต้องการ export โดยสามารถเลือกได้พร้อมกันหลายรายการ แต่ไม่เกิน ตามจำนวนคอลัมน์ที่มากที่สุดของโปรแกรม excel จากนั้นให้เลือกฟังก์ชัน export โดยจะมีรายการ เมนูแสดงดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 เมนูฟังก์ชัน export ของโปรแกรม MS-712

ที่เมนูสามารถตั้งค่าโดยมีการเลือกหน่วยได้โดยเลือกที่ $\text{W/m}^2/\mu\text{m}$ ในส่วนของ Wavelength ให้เลือกการแสดงผลของความยาวคลื่นแบบ Original ซึ่งจะแสดงความยาวคลื่นที่เก็บได้จริง ถ้าเลือก 1nm step หรือ 5 nm step โปรแกรมจะ export ไฟล์ออกมาเป็นช่วงความยาวคลื่นเป็นช่วง ช่วงละ 1 nm และ 5 nm ตามลำดับ ในส่วนของ Output filename เป็นการเซฟไฟล์ไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ในตำแหน่งที่ระบุ เมื่อตั้งค่าทั้งหมดแล้วจึงกด export

เมื่อ export ไฟล์ออกมาแล้วจะได้ไฟล์นามสกุล .csv ทำการเปิดไฟล์ด้วยโปรแกรม excel แสดงดังภาพที่ 32 ซึ่งจะมีข้อมูลในส่วนของ วันที่ เวลา ความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความเข้มแสง

M32			
	A	B	C
1	DATE	4/1/2007	
2	TIME	10:13:01	
3	Exposed Time[msec]	50	
4	MEMO	Spectral Irradiance	
5	PAR[W/m ²]	272.843	
6	Ptn[mol/m ²]	1258.2	
7	Lux[lm]	70645.1	
8	CSV Configuration	Original	
9	Wavelength[nm]	Irradiance[W/m ² /μm]	
10	303.692	0.00E+00	
11	306.99	3.66E+01	
12	310.29	6.03E+01	
13	313.59	8.91E+01	
14	316.891	1.15E+02	
15	320.193	1.45E+02	
16	323.496	1.80E+02	
17	326.799	2.14E+02	
18	330.104	2.37E+02	
19	333.409	2.45E+02	
20	336.715	2.52E+02	
21	340.022	2.58E+02	
22	343.33	2.68E+02	
23	346.638	2.77E+02	
24	349.947	2.90E+02	
25	353.257	3.00E+02	
26	356.568	3.00E+02	

ภาพที่ 32 ข้อมูลที่ได้ทำการ export จากโปรแกรม MS-712

เมื่อข้อมูลมีมากจึงต้องทำการ transpose ข้อมูลให้อยู่ในแนวนอนแทนเพื่อง่ายแก่การจัดเก็บ โดยได้ทำการตัดข้อมูลในส่วนที่ไม่ต้องการใช้ออกไปด้วยให้เหลือเพียง วันที่ เวลา และความยาวคลื่นที่สัมพันธ์กับความเข้มแสง ข้อมูลที่แสดงดังภาพที่ 33 ซึ่งเป็นการ transpose ข้อมูลจำนวนมาก ทั้งนี้ยังทำการกรองข้อมูลให้เหลือเพียงช่วงเวลา 9:00:00 – 16:00:00 ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเข้มแสง

เฉลี่ยมากกว่า 400 W/m^2 และเลือกความยาวคลื่นที่ใช้ในช่วง $350 - 1050 \text{ nm}$ ตามผลงานวิจัยอื่นซึ่งทำการเลือกค่านี้เป็นมาตรฐานในการคำนวณ

				ควายาวคลื่น		ความเข้มแสง	
DATE	TIME	C	D	E	F	G	H
1/11/2006	9:00:00	207.000	211.000	189.000	212.000	245.000	251.000
1/11/2006	9:01:00	242.000	248.000	222.000	249.000	289.000	296.000
1/11/2006	9:02:00	242.000	248.000	221.000	249.000	290.000	296.000
1/11/2006	9:03:00	242.000	248.000	221.000	249.000	289.000	296.000
1/11/2006	9:04:00	244.000	250.000	223.000	251.000	292.000	299.000
1/11/2006	9:05:00	245.000	250.000	223.000	251.000	292.000	299.000
1/11/2006	9:06:00	247.000	252.000	225.000	254.000	295.000	302.000
1/11/2006	9:07:00	249.000	254.000	227.000	255.000	296.000	303.000
1/11/2006	9:08:00	251.000	257.000	229.000	258.000	299.000	306.000
1/11/2006	9:09:00	253.000	258.000	231.000	259.000	302.000	308.000
1/11/2006	9:10:00	256.000	261.000	233.000	262.000	305.000	312.000
1/11/2006	9:11:00	257.000	263.000	235.000	264.000	307.000	313.000
1/11/2006	9:12:00	226.000	232.000	207.000	232.000	268.000	275.000
1/11/2006	9:13:00	265.000	271.000	243.000	273.000	317.000	324.000
1/11/2006	9:14:00	230.000	236.000	210.000	235.000	273.000	279.000
1/11/2006	9:15:00	268.000	274.000	244.000	274.000	319.000	326.000
1/11/2006	9:16:00	235.000	240.000	215.000	241.000	278.000	284.000
1/11/2006	9:17:00	272.000	278.000	249.000	280.000	325.000	332.000
1/11/2006	9:18:00	236.000	241.000	215.000	242.000	280.000	286.000
1/11/2006	9:19:00	275.000	281.000	251.000	282.000	327.000	335.000
1/11/2006	9:20:00	272.000	278.000	248.000	279.000	324.000	331.000
1/11/2006	9:21:00	239.000	245.000	219.000	245.000	284.000	290.000
1/11/2006	9:22:00	281.000	287.000	257.000	289.000	335.000	342.000
1/11/2006	9:23:00	281.000	286.000	256.000	287.000	334.000	342.000
1/11/2006	9:24:00	247.000	253.000	226.000	253.000	293.000	299.000
1/11/2006	9:25:00	288.000	295.000	263.000	295.000	343.000	351.000
1/11/2006	9:26:00	287.000	294.000	262.000	295.000	343.000	350.000
1/11/2006	9:27:00	259.000	265.000	236.000	265.000	307.000	314.000
1/11/2006	9:28:00	293.000	299.000	267.000	300.000	349.000	357.000
1/11/2006	9:29:00	260.000	266.000	238.000	267.000	308.000	315.000
1/11/2006	9:30:00	293.000	299.000	267.000	301.000	349.000	357.000
1/11/2006	9:31:00	264.000	270.000	241.000	270.000	313.000	320.000
1/11/2006	9:32:00	299.000	306.000	273.000	307.000	357.000	365.000
1/11/2006	9:33:00	265.000	271.000	242.000	272.000	315.000	321.000

ภาพที่ 33 ผลการ transpose ข้อมูล

คำนวณหาค่า APE เริ่มจากการหาค่าความยาวคลื่นเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักโดยใช้สมการที่ (8) ทั้งนี้เมื่อวิเคราะห์ถึงตัวสมการแล้วจะเห็นได้ว่าเป็นการหาจุด centroid ของพื้นที่ทั้งหมดตามทฤษฎีทางคณิตศาสตร์

$$\bar{x} = \frac{\text{total moments}}{\text{total area}} = \frac{\int_a^b x(y_2 - y_1) dx}{\int_a^b (y_2 - y_1) dx} \quad (10)$$

จากสมการทางคณิตศาสตร์เปรียบเสมือน X คือ ความยาวคลื่นและ Y คือ ความเข้มแสง ตัวแปร a และ b คือ ความยาวคลื่น 350 และ 1050 nm ตามลำดับ การคำนวณในส่วน of total area ใช้หลักการหาพื้นที่สี่เหลี่ยมคางหมูซึ่งมีสมการเป็น

$$\left(\frac{1}{2} \times \text{ผลบวกด้านคู่ขนาน} \times \text{ความสูง}\right) \quad (11)$$

นำพื้นที่รวมกันจึงได้พื้นที่ทั้งหมดของกราฟ และในส่วน total moments เป็นการหาค่าเฉลี่ยของ X ในแต่ละพื้นที่คูณด้วยพื้นที่ในส่วนนั้นเพื่อถ่วงน้ำหนัก

$$\bar{X}_{\text{ช่วงที่ต้องการหา}} \times \text{พื้นที่ในส่วนนั้น} \quad (12)$$

ตัวอย่างการคำนวณ moment ในช่วงความยาวคลื่นที่ 352.2 และ 355.6 nm โดยมีความเข้มแสงที่สัมพันธ์เป็น 235.0 และ 240.0 W/m² ตามลำดับ

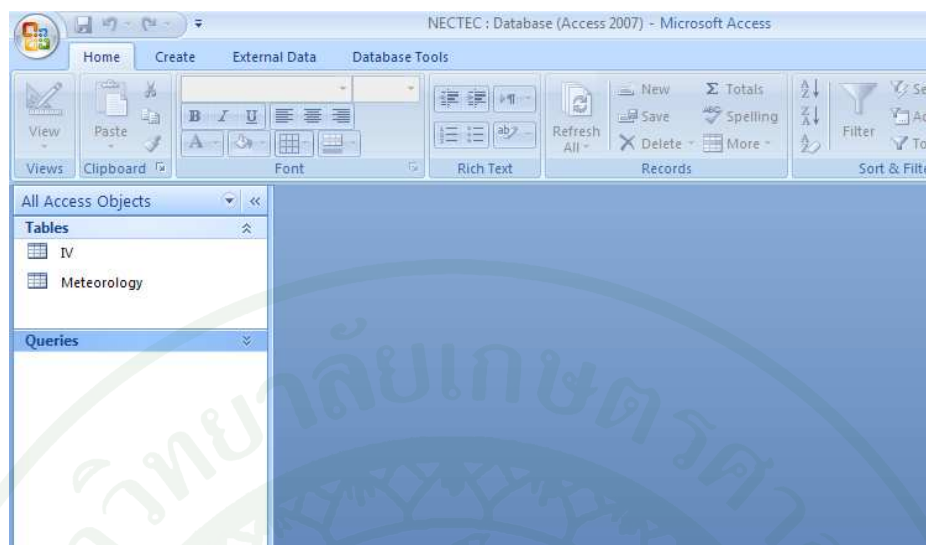
$$\left(\frac{355.6 + 352.2}{2}\right) \times \left(\frac{1}{2} \times (235 + 240) \times (355.6 - 352.2)\right)$$

$$\text{Moment} = 1372.5$$

ทำการรวม moment ทั้งหมดจึงได้ total moments จากนั้นนำ total moments หารด้วย total area จะได้ค่าความยาวคลื่นเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (λ_{WA}) ของช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล เมื่อได้ค่าความยาวคลื่นเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักแล้วจึงนำมาคำนวณค่า APE ได้ตามสมการที่ (7) ซึ่งมีหน่วยเป็น eV

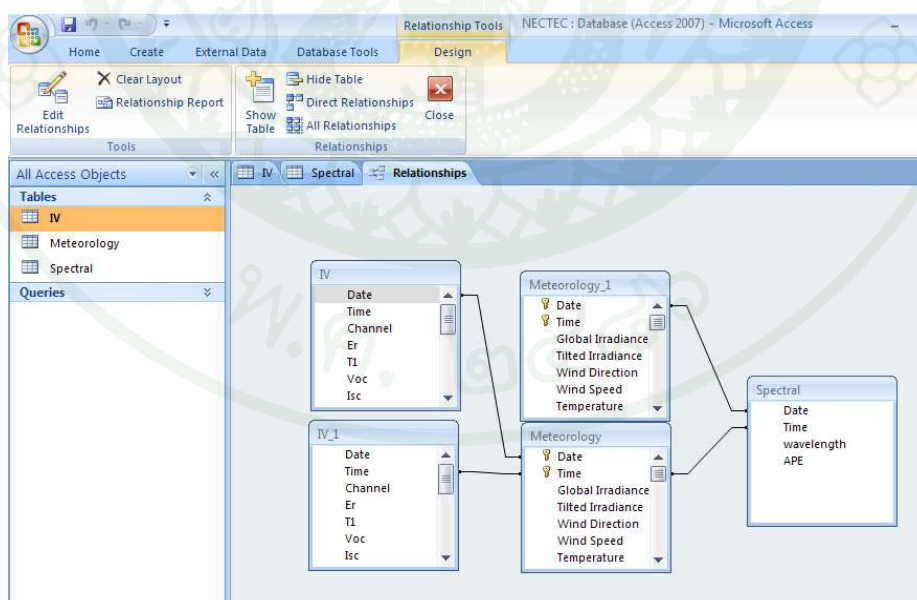
4. การทำฐานข้อมูลและกำหนดความสัมพันธ์ในข้อมูลแต่ละส่วน

ข้อมูลที่ได้รับจากสถาบัน SOLARTEC อยู่ในรูปแบบฐานข้อมูลของโปรแกรม access โดยมีข้อมูลเพียง 2 ส่วนคือ ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยา (Meteorology) และข้อมูล IV อยู่ในส่วนของ table ฐานข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ข้อมูลจากสถาบัน SOLARTEC ฐานข้อมูล 2 ส่วนคือ อุตุนิยมหาวิทยาลัยและข้อมูล IV

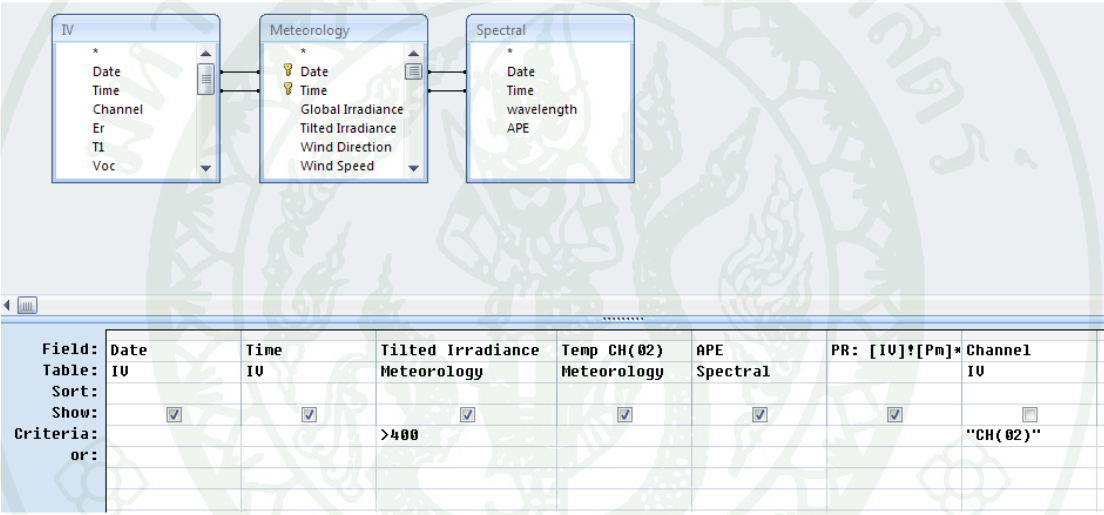
ทำการ import ข้อมูลในส่วนของ APE เพิ่มเข้าไปเป็นอีกเป็นอีกหนึ่ง table จากนั้นจึงสร้าง relation เพื่อเชื่อมความสัมพันธ์ในแต่ละ table โดยใช้คุณลักษณะในเรื่องของเวลา จะปรากฏดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 การสร้าง relation ในแต่ละ table โดยการเชื่อมในส่วนของวันที่และเวลา

5. การกรองข้อมูลก่อนทำการวิเคราะห์และการคำนวณ

การกรองข้อมูลโดยโปรแกรม access นั้นได้ใช้งานเมนู Query ในการวิจัยเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ channel 2 และ channel 9 ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si และ thin film a-Si ตามลำดับ ข้อมูลที่ใช้อยู่ในช่วง มกราคม พ.ศ. 2549 ถึง ตุลาคม พ.ศ. 2551 ข้อมูลรวมทั้งหมดมากกว่า 2 ล้านข้อมูล ไม่รวมข้อมูลที่มีความเข้มแสงน้อยกว่า 400 W/m^2 เมื่อกำหนดเงื่อนไขดังกล่าวแล้วจึงทำการตั้งค่าในกระบวนการ Query เพื่อกรองข้อมูลที่ต้องการดังภาพที่ 36 เป็นการกรองข้อมูลเฉพาะ channel 2 ทั้งนี้ยังมีการคำนวณ Performance ratio เพิ่มเข้าไปอีกคอลัมน์



Field:	Date	Time	Tilted Irradiance	Temp CH(02)	APE	PR: [IV]*[Pm]*	Channel
Table:	IV	IV	Meteorology	Meteorology	Spectral		IV
Sort:							
Show:	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☐
Criteria:			>400				"CH(02)"
or:							

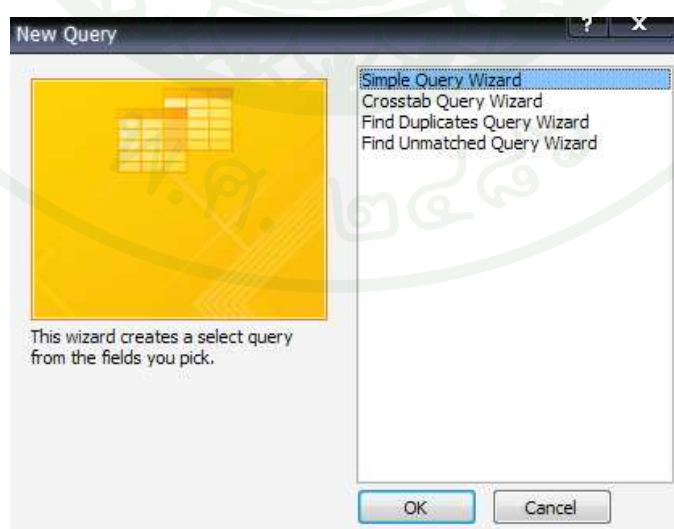
ภาพที่ 36 การสร้างเงื่อนไข Query เพื่อกรองข้อมูลจาก channel 2 (poly c-Si)

คุณลักษณะที่งานวิจัยต้องการใช้คือ วันที่ เวลา APE อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และ PR หลังจากกรองข้อมูล จะได้ข้อมูลอยู่ในรูปทุก 10 นาที ตามข้อมูลของ คอลัมน์ IV ซึ่งใช้นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่าง PR และ APE ดังภาพที่ 37

CH02						
Date	Time	Tilted Irradiat	Temp CH(0	APE	PR	
4/1/2006	12:20:00	886.1	53.5	1.88	93.0348479227405	
4/1/2006	9:00:00	460	46.6	1.89	94.4089405778525	
4/1/2006	15:00:00	477.7	55.3	1.90	90.8035543661132	
4/1/2006	14:50:00	760.1	55.8	1.87	92.0860137090485	
4/1/2006	14:40:00	669.2	49.6	1.87	94.1654753623461	
4/1/2006	14:00:00	647.4	49.5	1.86	96.2329922881759	
4/1/2006	13:40:00	700.2	51.5	1.85	91.4857131653957	
4/1/2006	12:30:00	420.9	49.9	1.94	94.8207790729119	
4/1/2006	12:00:00	921.3	62.4	1.90	87.0697243913417	
4/1/2006	11:50:00	409.4	49.8	1.92	93.140935057912	
4/1/2006	11:40:00	592.7	54.6	1.91	93.4323413412926	
4/1/2006	11:30:00	537.2	53.8	1.91	94.2201739725361	
4/1/2006	11:20:00	699.8	58.9	1.91	89.7547641306899	
4/1/2006	9:40:00	606.3	53	1.90	91.5961284267764	
4/1/2006	12:40:00	929	60.7	1.89	86.9493789043228	
4/1/2006	9:30:00	574.8	51	1.90	92.4092402889097	
4/1/2006	11:10:00	750.8	62.4	1.90	87.5106877237417	
4/1/2006	9:50:00	637.7	52.5	1.90	91.1746526817008	
4/1/2006	10:00:00	641.8	54.5	1.89	91.2082662125707	
4/1/2006	10:10:00	683.1	57.3	1.90	89.314848850643	
4/1/2006	10:20:00	705.1	58.2	1.90	89.0248355213138	

ภาพที่ 37 ตัวอย่างข้อมูลที่ทำกรกรองด้วย Query

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของสเปกตรัมแสงได้ทำการเฉลี่ยค่า APE เป็นแบบรายวันเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสงได้ชัดเจนยิ่งขึ้น การกรองข้อมูลและการเฉลี่ยข้อมูลใช้ฟังก์ชัน Simple Query Wizard



ภาพที่ 38 การกรองและการเฉลี่ยข้อมูลสเปกตรัมด้วยฟังก์ชัน Query Wizard

ทำการสร้างเงื่อนไขให้โปรแกรมทำการ summary ข้อมูลของ APE แบบเฉลี่ยรายวัน โดยเลือกที่ summary option เลือกแบบ Avg และเลือกการรวมข้อมูลแบบรายวันตามภาพที่ 39 และ 40

Field	Sum	Avg	Min	Max
wavelength	☐	☒	☐	☐
APE	☐	☒	☐	☐

☐ Count records in Spectral

ภาพที่ 39 การเลือก summary ข้อมูล APE แบบ Avg

How would you like to group dates in your query?

☐ Unique date/time
☒ Day
☐ Month
☐ Quarter
☐ Year

1 1/1/1980
2 1/1/1989
3 1/1/1992
2 1/1/1994
4 1/1/1995

Cancel < Back Next > Finish

ภาพที่ 40 การเลือก summary ข้อมูล APE ให้เป็นแบบรายวัน

เมื่อสร้าง Query สเปกตรัมแสง จึงสามารถนำมาวิเคราะห์ค่า APE ในแบบรายวันซึ่งเป็นการเฉลี่ยข้อมูลค่า APE ตลอดทั้งวันให้เหลือเพียง 1 ค่า โดยแสดง Query ของสเปกตรัมตามภาพที่

41

Spectral Query	
Date	Avg Of APE
4/1/2006	1.90866681787313
5/1/2006	1.87690485203351
6/1/2006	1.9105293696963
7/1/2006	1.90542901978074
8/1/2006	1.9129597645191
9/1/2006	1.90677083954392
10/1/2006	1.89375831990231
12/1/2006	1.88670141170257
13/1/2006	1.8733537177292
14/1/2006	1.87462204992063
15/1/2006	1.88804675337821
16/1/2006	1.88998088559176
18/1/2006	1.8913865126227
19/1/2006	1.89405160958297
20/1/2006	1.88804211242748
23/1/2006	1.87935089102267

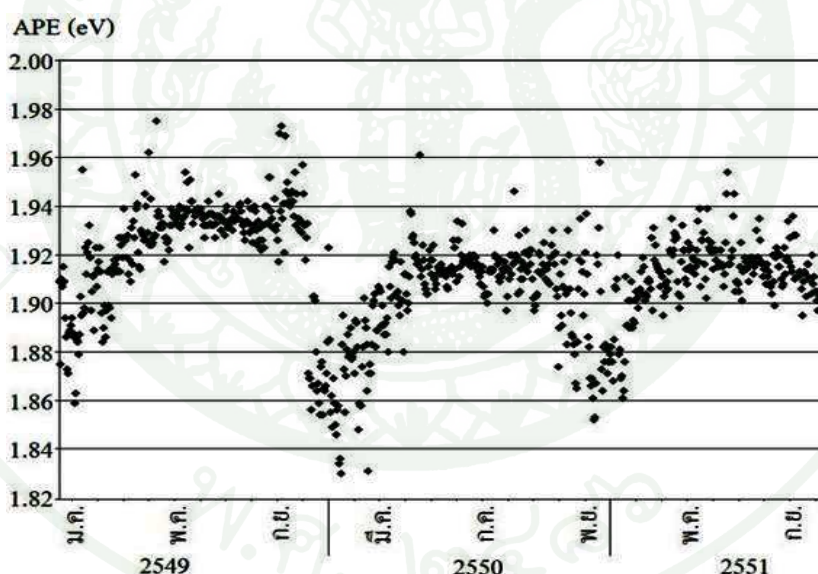
ภาพที่ 41 Query ของสเปกตรัมแสงที่มีค่าเฉลี่ย APE แบบรายวัน

ผลและวิจารณ์

ผล

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งฤดูกาลเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ต่างๆ โดยประเทศไทยแบ่งได้ 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อนอยู่ช่วงมีนาคม ถึง มิถุนายน ฤดูฝนอยู่ในช่วง กรกฎาคม ถึง ตุลาคม และฤดูหนาวอยู่ในช่วง พฤศจิกายน ถึง กุมภาพันธ์

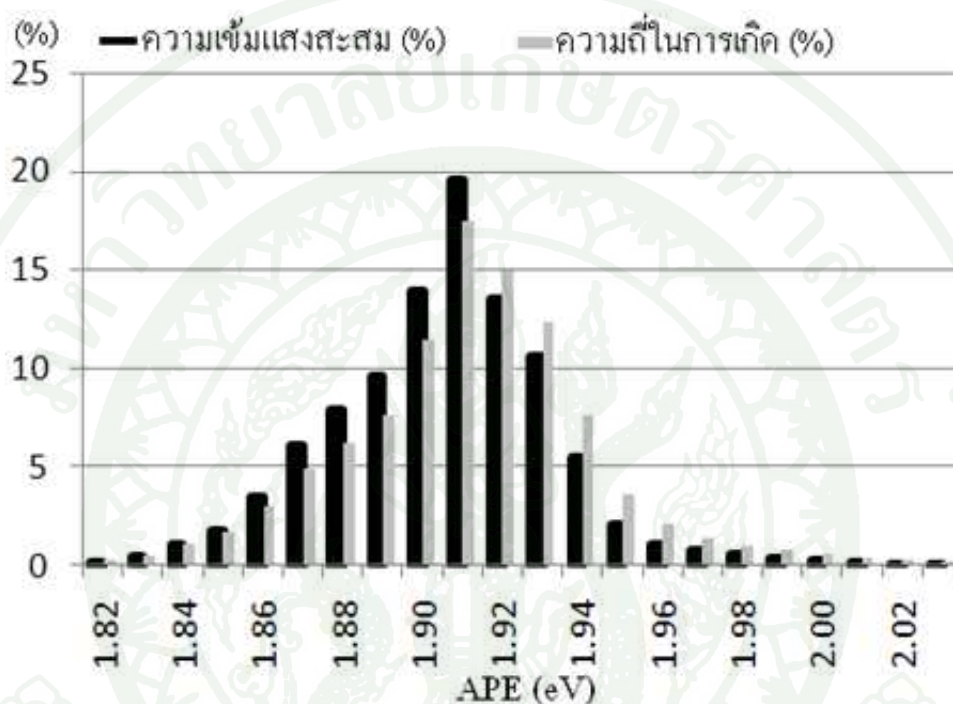
ผลการวิเคราะห์ค่า APE รายวันในช่วงปี พ.ศ. 2549-2551 ของประเทศไทยแสดงดังภาพที่ 42 โดยค่า APE มีค่าสูงอยู่ในช่วงปลายฤดูร้อน (เดือนพฤษภาคม) จนถึงปลายฤดูฝน (เดือนตุลาคม) แล้วลดลงและต่ำสุดในช่วงต้นฤดูหนาว (เดือนพฤศจิกายน) ถึงต้นฤดูร้อน (เดือนมีนาคม) โดยค่า APE ต่ำสุดมีค่าลดลงจากค่า APE สูงสุดคิดเป็น 5%



ภาพที่ 42 ค่า APE รายวันในช่วงปีพ.ศ.2549-2551

เมื่อนำค่า APE มาเขียนในรูปแบบความสัมพันธ์กับความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดค่า APE ตลอดช่วงที่ทำการวิเคราะห์ปี 2549 – 2551 ช่วงเวลา 9.00 – 16.00 โดยแสดงค่าความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดในแต่ละค่า APE เป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับค่าความเข้มแสงสะสมทั้งหมด ดังแสดงในภาพที่ 43 พบว่าค่า APE ที่มีความเข้มแสงสะสมมากที่สุดคือ 1.91 eV

โดยมีความเข้มแสงสะสมเป็น 19.59% ของความเข้มแสงสะสมทั้งหมด และความถี่ในการเกิดค่า APE มากที่สุดที่ค่า APE เป็น 1.91 eV คิดเป็น 17.51% ของการเกิดค่า APE ทั้งหมด ทำให้ทราบว่าสเปกตรัมแสงของประเทศไทยมีค่า APE ที่ 1.91 eV มากที่สุดและที่ค่า APE 1.91 eV มีความเข้มแสงสะสมมากที่สุด

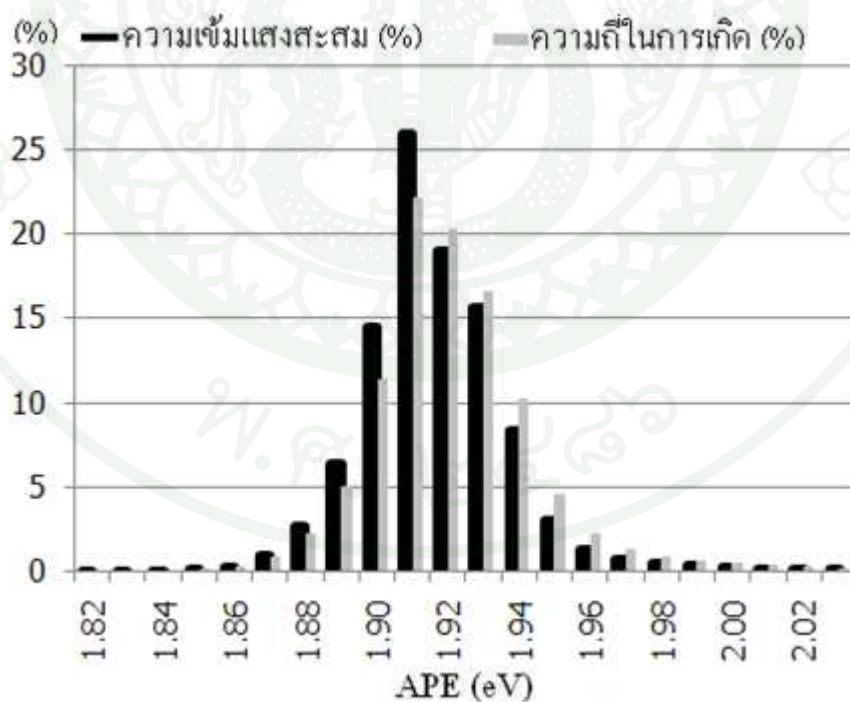


ภาพที่ 43 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดกับค่า APE

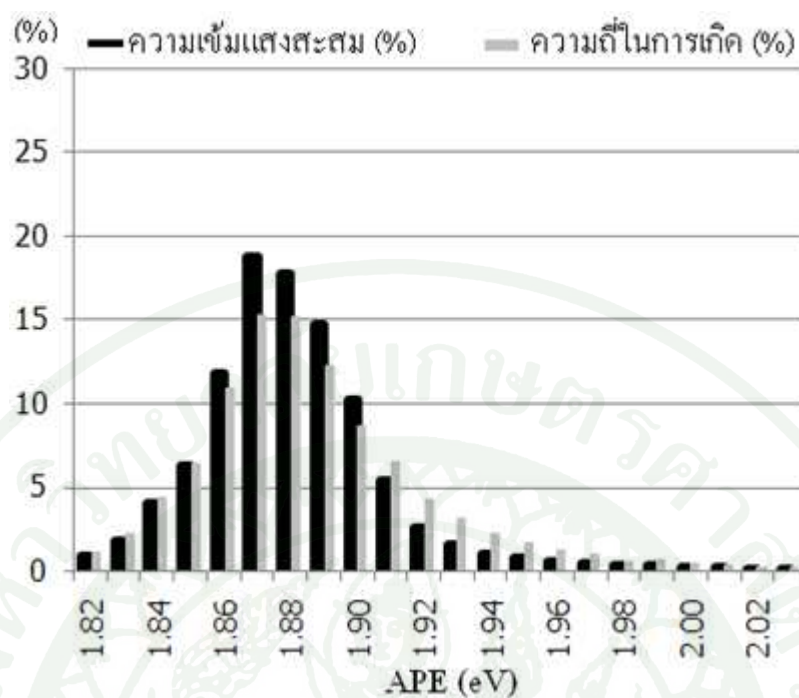
เมื่อวิเคราะห์ค่า APE เป็นฤดูกาล ผลของค่า APE ในแต่ละฤดูกาลแสดงในภาพที่ 44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดกับค่า APE ช่วงฤดูร้อน ภาพที่ 45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดกับค่า APE ช่วงฤดูฝนผล และภาพที่ 46 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดกับค่า APE ช่วงฤดูหนาว พบว่าฤดูหนาวมีความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดค่า APE ที่ 1.87 eV ซึ่งต่ำสุดเมื่อเทียบกับช่วงฤดูกาลอื่นเนื่องจากมุมของดวงอาทิตย์ที่ส่องแสงตกกระทบกับประเทศไทยที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลส่งผลให้ค่า AM เกิดการเปลี่ยนแปลง เกิดสเปกตรัมแสงในลักษณะที่ต่างกันไป อีกทั้งในช่วงแต่ละฤดูกาลมีความชื้นในบรรยากาศที่ต่างกันไป เมื่อแสงส่องผ่านไอน้ำเหล่านี้ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงส่งผลให้สเปกตรัมแสงมีการเปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 44 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดกับค่า APE ช่วงฤดูร้อน



ภาพที่ 45 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดกับค่า APE ช่วงฤดูฝน



ภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดกับค่า APE ช่วงฤดูหนาว

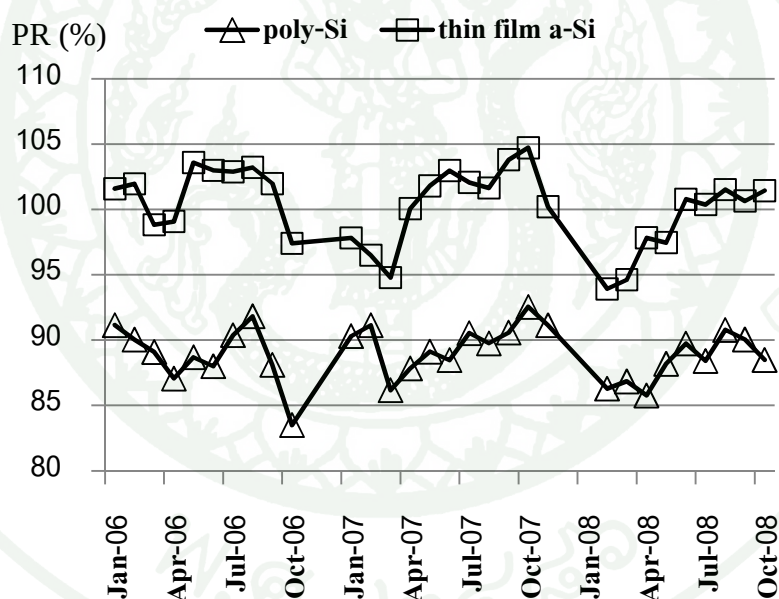
เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 3 ฤดูกาลในส่วนที่มีความเข้มแสงสะสมมากที่สุดได้ผลตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่า APE ที่มีความเข้มแสงสะสมและความถี่ในการเกิดมากที่สุดแต่ละฤดูกาลตลอด 3 ปี

ฤดู	APE (eV)
ร้อน	1.91
ฝน	1.91
หนาว	1.87

นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์สมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า PR และค่า APE ใช้การเปรียบเทียบเมื่อทำการวิเคราะห์ค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ 2 แบบคือ thin film a-Si จาก Channel 9 ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบ double junction มีค่ากำลังสูงสุดที่ STC (P_{stc}) 60 W และ poly crystalline silicon (poly c-Si) จาก Channel 2 มีค่ากำลังสูงสุดที่ STC (P_{m, stc}) 120 W

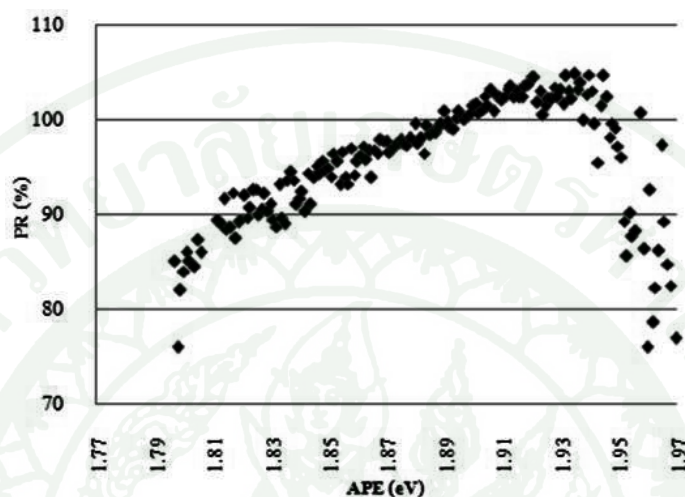
เมื่อวิเคราะห์ตลอดช่วง 3 ปี โดยทำการเฉลี่ยค่า PR ให้อยู่ในรูปแบบรายเดือนได้ผลดังภาพที่ 47 จะเห็นได้ว่าค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงแต่ละฤดูกาลซึ่งมีค่าต่ำในช่วงฤดูหนาวโดยมีค่าลดลงจาก PR สูงสุด 10% มีค่าเฉลี่ย PR เป็น $100\% \pm 5$ และค่า PR ที่มีค่าเกิน 100% ในบางช่วงเวลาอธิบายได้ว่า เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si ตอบสนองต่อความยาวคลื่นของสเปกตรัมแสงในช่วงสีน้ำเงินอย่างมาก ถ้าสเปกตรัมแสงมีองค์ประกอบสีน้ำเงินมากจะส่งผลให้สมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงตามไปด้วย เมื่อเปรียบเทียบกับค่า APE คือเมื่อค่า APE สูง แสดงว่าสเปกตรัมแสงมีองค์ประกอบสีน้ำเงินอยู่มาก และถ้าค่า APE ต่ำ แสดงว่าสเปกตรัมแสงมีองค์ประกอบสีแดงอยู่มาก และเนื่องจากค่า APE ในประเทศไทยมีค่ามากกว่าค่า APE มาตรฐาน STC (1.88 eV) แสดงว่าประเทศไทยมีองค์ประกอบของแสงสีน้ำเงินสูงกว่า สเปกตรัมมาตรฐาน ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์แบบ poly c-Si ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงฤดูกาลเล็กน้อยโดยมีค่า PR เฉลี่ยคือ $88\% \pm 2.5$



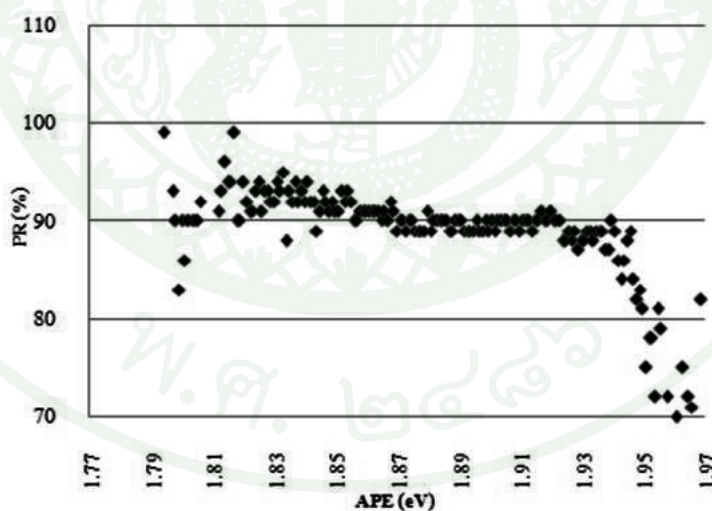
ภาพที่ 47 การเปลี่ยนแปลงค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si และ poly c-Si ในแต่ละเดือน

เมื่อนำเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 แบบมาวิเคราะห์ผลกระทบจากสเปกตรัมแสงต่อสมรรถภาพ ดังแสดงในภาพที่ 48 คือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si และภาพที่ 49 คือเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si เห็นได้ว่าผลกระทบจากสเปกตรัมแสงมีผลอย่างมากต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin

film a-Si ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์แบบ poly c-Si ได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อย ที่ค่า APE เฉลี่ยของประเทศไทย 1.91 eV ค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si มีค่า 102% ในช่วงปี 2549-2551 ส่วนค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ poly c-Si มีค่า 88% ในช่วงปี 2549-2551

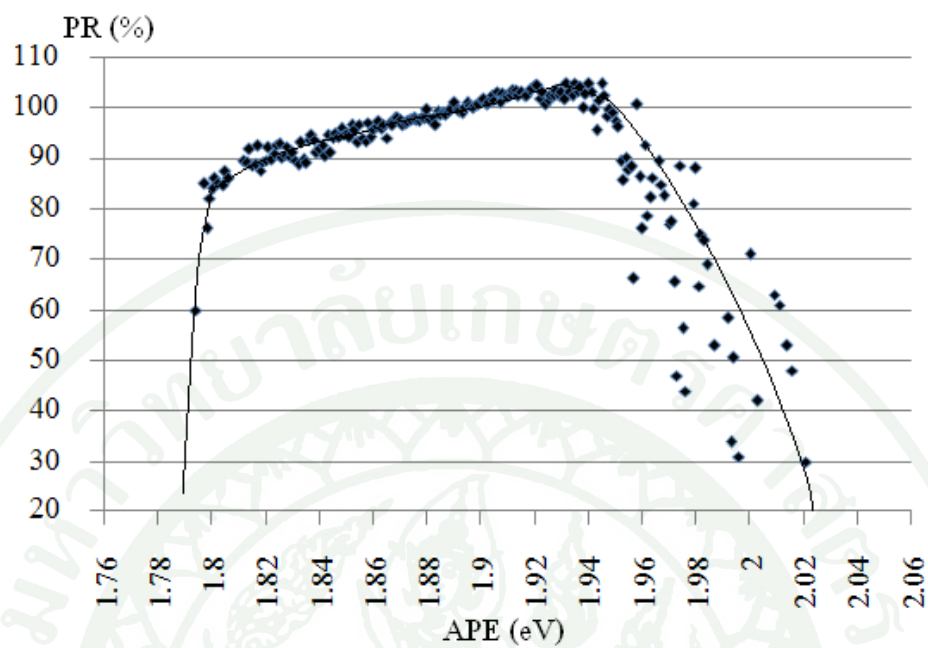


ภาพที่ 48 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า APE กับค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si

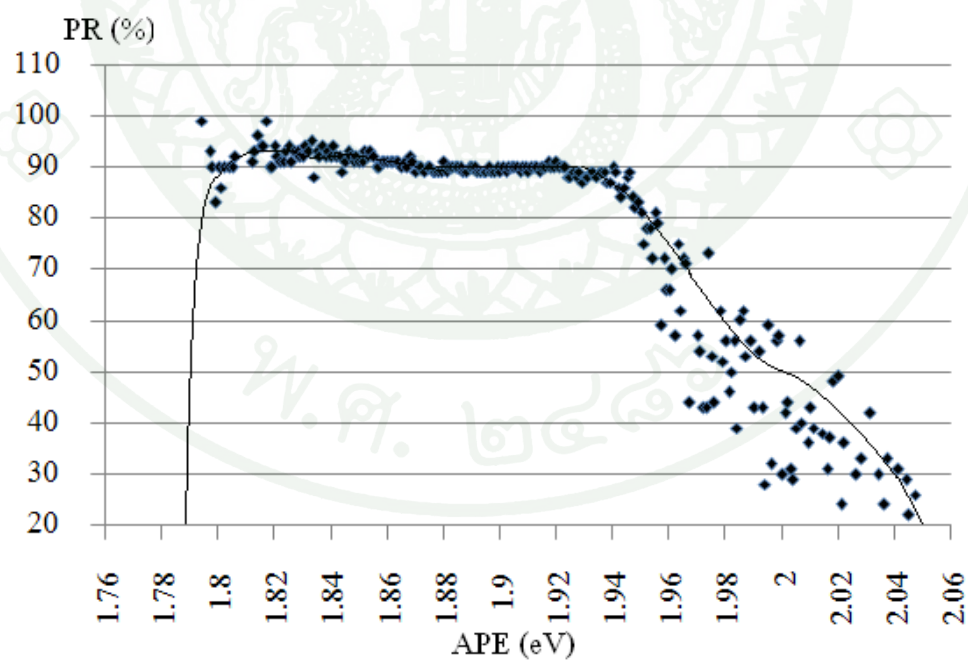


ภาพที่ 49 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า APE กับค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ poly c-Si

เมื่อสร้างเส้นกราฟจะเห็นว่าช่วงการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si แคบกว่าแบบ poly c-Si โดยมีช่วง APE เป็น 1.79 – 2.01 eV และ 1.79 – 2.05 eV ดังแสดงในภาพที่ 50-51



ภาพที่ 50 ช่วงการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si



ภาพที่ 51 ช่วงการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ poly c-Si

วิจารณ์

จากผลการวิจัยพบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่า APE ทั้ง 3 ฤดูกาล ค่า APE จะมีค่าสูงในช่วง ฤดูร้อนและฤดูฝน ส่วนฤดูหนาวมีค่า APE ต่ำสุดเมื่อเทียบกับในช่วงฤดูกาลอื่นเนื่องจากมุมของดวงอาทิตย์ที่ส่องแสงตกกระทบกับประเทศไทยที่แตกต่างกันในแต่ละฤดูกาลส่งผลให้ระยะเวลาในช่วงกลางวันสั้นกว่าเวลาในช่วงกลางคืน ค่า AM ในแต่ละวันจึงแตกต่างจากฤดูกาลอื่น โดยสเปกตรัมของแสงมีองค์ประกอบของความยาวคลื่นสีน้ำเงินน้อยกว่าฤดูกาลอื่น อีกทั้งในช่วงแต่ละฤดูกาลมีความชื้นในบรรยากาศที่แตกต่างกัน เมื่อแสงส่องผ่านไอน้ำเหล่านี้ทำให้เกิดการกระเจิงของแสงส่งผลให้สเปกตรัมแสงมีการเปลี่ยนแปลงไป

การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า APE กับค่า PR ในเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si มีค่า PR เพิ่มขึ้นตามค่า APE ที่เพิ่มขึ้น จนถึงค่า APE ที่ 1.94 eV จากนั้นค่า PR จึงลดลงอันเนื่องจากผลของการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงของตัวเซลล์แสงอาทิตย์ ในส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si ค่า PR มีค่าค่อนข้างที่จะคงที่เมื่อ APE เปลี่ยนแปลงไปซึ่งทำให้ทราบว่าสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกไม่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสงมากนัก

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

สเปกตรัมแสงของประเทศไทยมีความเข้มแสงสะสมที่ค่า APE 1.91 eV มากที่สุด ซึ่งในแต่ละฤดูกาลค่า APE ที่สัมพันธ์กับความเข้มแสงสะสมมากที่สุดคือ ฤดูร้อน 1.91 eV ฤดูฝน 1.91 eV และฤดูหนาว 1.87 eV

ความสัมพันธ์ระหว่าง APE กับสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด thin film a-Si มีค่า PR เฉลี่ยประมาณ $100\% \pm 5.0\%$ มีค่า PR ต่ำสุดที่ 95% ในช่วงฤดูหนาวและมีค่าสูงสุด 105% ในช่วงฤดูฝน ซึ่งสอดคล้องกันกับการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมแสง ส่วนค่า PR ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด poly c-Si มีค่าเฉลี่ยคงที่ประมาณ $88\% \pm 2.5\%$ สเปกตรัมแสงมีผลกระทบต่อสมรรถภาพเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si สูงโดยสมรรถภาพสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si คือที่ค่า APE เป็น 1.94 eV มีค่า PR คือ 105% มีค่า PR ต่ำสุด 85% ที่ APE มีค่าเป็น 1.80 eV และที่ค่า APE มากกว่า 1.94 eV สมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าลดลงเรื่อยๆจนถึงค่า APE 1.97 eV ส่วนสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ poly c-Si ได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อยเมื่อค่า APE มีการเปลี่ยนแปลงโดยค่า PR มีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน 5%

การทดสอบสมรรถภาพในห้องทดสอบของผู้ผลิตจะใช้สภาวะที่ STC ซึ่งเมื่อคำนวณค่า APE ของสเปกตรัมแสงในช่วงความยาวคลื่นที่ 350 – 1050 nm จะมีค่าเป็น 1.88 eV ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศไทยซึ่งมีค่าเฉลี่ย APE ที่ 1.91 eV ทำให้สมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si เมื่อเปรียบเทียบกับห้องทดสอบของผู้ผลิตมีค่าเกิน 100% ในการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยเฉลี่ยตลอดทั้งปี ส่วนเซลล์แสงอาทิตย์แบบ poly c-Si นั้นจากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าสมรรถภาพไม่ได้ขึ้นกับสเปกตรัมของแสงแต่ที่สมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีค่าต่ำกว่า 100% เป็นเพราะผลกระทบใหญ่คือ อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยที่สภาวะ STC นั้นกำหนดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศเขตร้อนที่มีอุณหภูมิเฉลี่ยสูงตลอดทั้งปีทำให้ส่งผลกระทบโดยตรงกับสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาระหว่างการดำเนินโครงการวิจัย และจากผลของการดำเนินโครงการทางคณะผู้วิจัยขอเสนอแนะแนวทางอันคาดว่าจะจะเป็นประโยชน์ในการพัฒนาโครงการวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. การทราบค่า APE ทำให้สามารถเลือกใช้หรือทำการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบ thin film a-Si ที่เหมาะสมกับประเทศไทยที่ค่า APE 1.91 eV เพื่อให้ได้สมรรถภาพสูงสุดในการผลิตไฟฟ้า
2. เมื่อวิเคราะห์ค่า APE แต่ละฤดูกาลทำให้ทราบสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์และนำไปคำนวณพลังงานขาออกโดยเฉลี่ยในแต่ละฤดูกาลได้แม่นยำมากขึ้นกว่าเดิมที่ใช้แค่ความเข้มแสงและอุณหภูมิ
3. ที่ค่า APE แต่ละค่าจะมีรูปแบบของสเปกตรัมแสงเฉพาะตัวที่ต่างกันไป (Minemoto, 2009) เนื่องจากการวิจัยที่พบว่าค่า APE สามารถทำให้ทราบถึงรูปแบบของสเปกตรัมแสง ณ ภูมิภาคนั้นได้ ซึ่งประเทศไทยยังไม่มีมีการคำนวณในเรื่องนี้
4. จากการศึกษาทำให้ควรมีการคำนึงถึงผลของสเปกตรัมแสงในการทดสอบในห้องทดสอบของผู้ผลิตเพิ่มเติมเข้าไปมาตรฐานการทดสอบ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คู่มือเครื่องม. 2542. สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ ฟิสิกส์ เทคโนโลยีและการใช้งาน เล่ม 1.
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ

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

เอกชาติ หัตถา. 2552. โครงการศึกษามาตรฐานเซลล์แสงอาทิตย์ในเขตร้อนชื้น ระยะที่ 3. รายงาน
การวิจัย พัฒนาและวิศวกรรม ฉบับสมบูรณ์. สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงาน
แสงอาทิตย์ (SOLARTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

Berlin, B. and P. Kay. 1969. **Basic Color Terms: Their Universality and Evolution**, Berkeley.
University of California Press.

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

Field, H. 1997. **Solar Cell Spectral Response Measurement Errors Related to Spectral Band
Width and Chopped Light Waveform**. 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference,
September 29-October 3, 1997. Task No. PV703401

German Solar Energy Society. 2008. **Planning and Installing Photovoltaic system 2nd Edition**.
Eathscan. UK.

Goetzberger, A., J. Knobloch and B. Voss. 1998. **Crystalline Silicon Solar Cells**. John Wiley &
Sons Ltd., England

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

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

Minemoto, T., S. Fukushige and H. Takakura. 2009. **Difference in the outdoor performance of bulk and thin-film silicon-based photovoltaic modules.** Solar Energy Materials & Solar Cells 93 (2009) 1062-1065.

Minemoto, T., Y. Nakada, H. Takahashi and H. Takakura. 2009. **Uniqueness verification of solar spectrum index of average photon energy for evaluating outdoor performance of photovoltaic modules.** Solar Energy Material & Solar Cells 83 (2009) 1294-1299.

Nakada, Y., S. Fukushige, T. Minemoto and H. Takakura. 2009. **Seasonal variation analysis of the outdoor performance of amorphous Si photovoltaic modules using contour map.** Solar Energy Materials & Solar Cells 93 (2009) 334-337.

Otani, K., Y. Hishikawa, P. Sichamugrist, P. SSupanich and E. Hatthat. 2008. **Energy Rating of Various PV Module Technologies. Based on Outdoor Measurements in Low Latitude Region, Thailand.** Proceeding of RENEWABLE ENERGY2008 International Conference and Exhibition, South Korea (October 13-17, 2008) O-PV-44

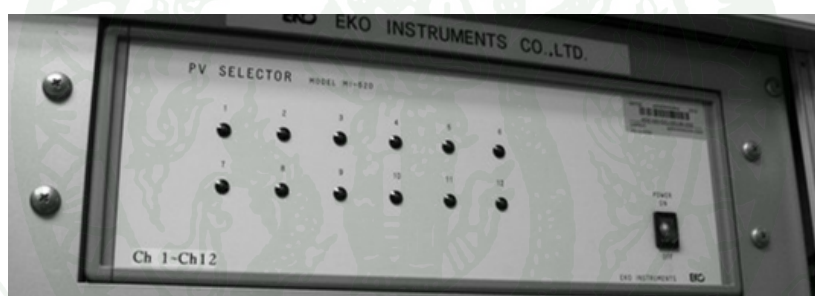
Yates, T. 2003. **Solar Cells in Concentrating Systems and their High Temperature Limitations.** University of California, Santa Cruz.



อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้วัดประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพผนวกที่ 1 เครื่อง IV Checker MP-160, an I-V curve tracer to measure PV modules วัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ร่วมกับเครื่อง MI-520 เพื่อรวบรวมค่าจากเครื่อง MI-520



ภาพผนวกที่ 2 MI-520, 12ch PV module switcher (3 เครื่อง) ใช้วัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ร่วมกับเครื่อง MP-160 เพื่อสำหรับการวัดแผงเซลล์จำนวนมาก



ภาพผนวกที่ 3 MS-701, เครื่องวัดการแผ่รังสีของสเปกตรัมที่มองเห็นด้วยตาเปล่า



ภาพผนวกที่ 4 MS-802-E, whole sky solar insolation meter ใช้สำหรับวัดความเข้มแสงอาทิตย์



ภาพผนวกที่ 5 PO-070, ฐานสำหรับเครื่องวัดการแผ่รังสี ใช้เป็นฐานยึดสำหรับติดตั้งเครื่องมือวัดความเข้มแสงอาทิตย์



ภาพผนวกที่ 6 CADAC21 9201A, data logger ใช้รับสัญญาณจากอุปกรณ์วัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแปลงสัญญาณที่ได้โดยทำการบันทึกค่าเก็บไว้



ภาพผนวกที่ 7 CADAC21-20ch adapter ใช้สแกนสัญญาณที่ได้จากเครื่อง Data Logger ซึ่งมีช่องสัญญาณอยู่ 20 ช่อง



ภาพผนวกที่ 8 ตู้เก็บอุปกรณ์ควบคุม

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายนิรันทน พูลชนะนันท์
เกิดวันที่ 10 เมษายน 2526
สถานที่เกิด เขตบางพลัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา วศ.บ. (ไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตำแหน่งปัจจุบัน -
สถานที่ทำงานปัจจุบัน -
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ ได้รับการตีพิมพ์ผลงานเรื่อง “การศึกษาผลของสเปกตรัมแสงต่อสมรรถภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งภายนอกอาคาร” ในงานประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 8, หน้า 42, 19 มีนาคม พ.ศ. 2553 และ “Effect of Spectral Irradiance Distribution on the Outdoor Performance of Photovoltaic Modules” Proceeding of 7th ECTI-CON 19 – 21 May 2010. P. 71-73.
ทุนการศึกษาที่ได้รับ ได้รับทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2552)