

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผลการวิจัยที่ผ่านมา

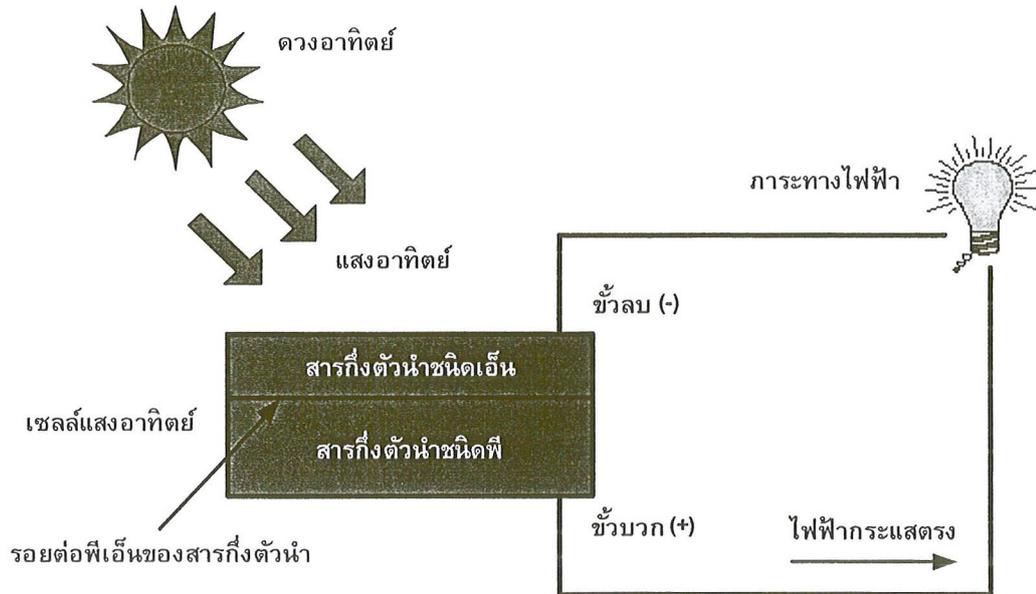
จากการศึกษาโดยวิทยาลัยพลังงานทดแทนภายใต้โครงการ “สมรรถนะกลางแจ้งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐานภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้น ระยะที่ 1 และ 2” พบว่าอัตราการลดลงสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si p-Si และ HIT เมื่อติดตั้งใช้งานเป็นระยะเวลา 5 ปี ประมาณร้อยละ 0.95 0.39 และ 0.47 ต่อปี จากข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ติดตั้งใช้งานจะมีการลดลงของสมรรถนะ แต่ยังไม่มีการศึกษาจริงจังว่าจะส่งผลอย่างไรต่อโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาแนวโน้มการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะยาวภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นแบบประเทศไทยและผลกระทบด้านเศรษฐศาสตร์จากการลดลงของสมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ส่งผลต่อโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

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

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

เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะให้แรงดันไฟฟ้าประมาณ 0.5 โวลต์ ที่สภาวะวงจรเปิดและไม่มีภาระทางไฟฟ้า ส่วนค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพและ ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ (พื้นที่หน้าตัด) และยังขึ้นอยู่กับค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวของเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวอย่างเช่น เซลล์แสงอาทิตย์จากโรงงานขนาดพื้นที่หน้าตัด 160 ตารางเซนติเมตร จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 2 วัตต์ ที่สภาวะความเข้มแสงอาทิตย์ประมาณ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และเมื่อความเข้มแสงอาทิตย์ลดต่ำลงเหลือประมาณ 400 วัตต์ต่อตารางเมตร เซลล์แสงอาทิตย์นี้ก็จะผลิตไฟฟ้าได้เพียงประมาณ 0.8 วัตต์ [18]



รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปและการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [18]

2.3 การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในด้านต่าง ๆ [19]

การนำพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานจากธรรมชาติมาทดแทนพลังงานรูปแบบอื่นๆได้รับความสนใจและเป็นที่ยอมรับมากขึ้นสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างมากมายในการดำรงชีวิตรวมถึงไม่เป็นการทำลายสิ่งแวดล้อมเช่น

1. **บ้านพักอาศัย** ระบบแสงสว่างภายในบ้าน ระบบแสงสว่างนอกบ้าน (ไฟสนาม ไฟ โรงจอดรถ และโคมไฟรั้วบ้าน ฯลฯ) อุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดต่างๆ ระบบเปิด-ปิดประตูบ้าน ระบบรักษาความปลอดภัย ระบบระบายอากาศ เครื่องสูบน้ำ เครื่องกรองน้ำ และไฟสำรองยามฉุกเฉิน ฯลฯ
2. **ระบบสูบน้ำ** อุปโภค สาธารณูปโภค ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เพาะปลูก ทำสวน-ไร่ เหมือนแร่ และชลประทาน ฯลฯ
3. **ระบบแสงสว่าง** โคมไฟป้ายรถเมล์ ตู้โทรศัพท์ ป้ายประกาศ สถานที่จอดรถ แสงสว่างภายนอกอาคาร และไฟถนนสาธารณะ ฯลฯ
4. **ระบบประจุแบตเตอรี่** ไฟสำรองไว้ใช้ยามฉุกเฉิน ศูนย์ประจุแบตเตอรี่ประจำหมู่บ้านในชนบทที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ แหล่งจ่ายไฟสำหรับใช้ในครัวเรือนและระบบแสงสว่างในพื้นที่ห่างไกล ฯลฯ
5. **ทำการเกษตร** ระบบสูบน้ำ พัดลมอบผลผลิตทางการเกษตร และเครื่องนวดข้าว ฯลฯ
6. **เลี้ยงสัตว์** ระบบสูบน้ำ ระบบเติมออกซิเจนในบ่อน้ำ (บ่อกุ้งและบ่อปลา) และแสงไฟดักจับแมลง ฯลฯ
7. **อนามัย** ตู้เย็น ถังกรองทำความเย็นเพื่อเก็บยาและวัคซีน อุปกรณ์ไฟฟ้าทางการแพทย์ สำหรับหน่วยอนามัย หน่วยแพทย์เคลื่อนที่ และสถานีอนามัย ฯลฯ
8. **คมนาคม** สัญญาณเตือนทางอากาศ ไฟนำร่องทางขึ้น-ลงเครื่องบิน ไฟประกาศการไฟนำร่องเดินเรือ ไฟสัญญาณข้ามถนน สัญญาณจราจร โคมไฟถนน และโทรศัพท์ฉุกเฉิน ฯลฯ

9. สื่อสาร สถานีทวนสัญญาณไมโครเวฟ อุปกรณ์โทรคมนาคม อุปกรณ์สื่อสารแบบพกพา(เช่น วิทยุสนามของหน่วยงานบริการและทหาร) และสถานีตรวจสอบอากาศ ฯลฯ

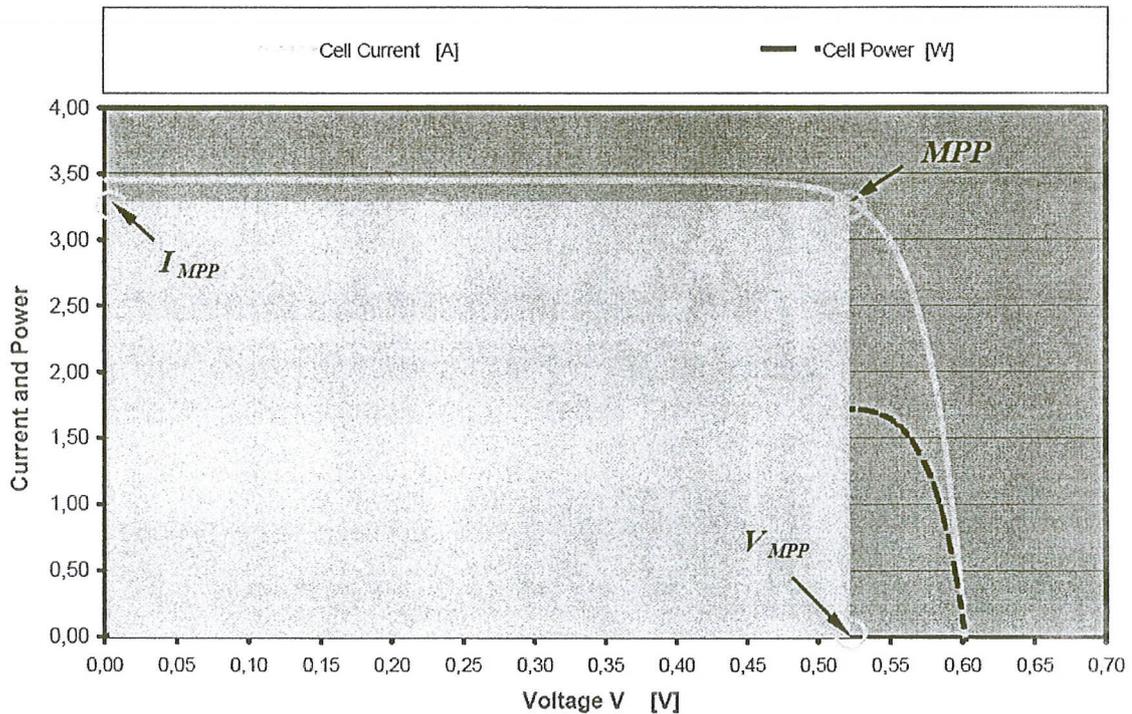
10. บันเทิงและพักผ่อนหย่อนใจ แหล่งจ่ายไฟฟ้าสำหรับบ้านพักตากอากาศในพื้นที่ห่างไกล ระบบประจุแบตเตอรี่แบบพกพาติดตัวไปได้ และอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ให้ความบันเทิง ฯลฯ

11. พื้นที่ห่างไกล ภูเขา เกาะ ป่าลึก และพื้นที่สายส่งการไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ฯลฯ

12. อวกาศ ดาวเทียม

2.4 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

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



รูปที่ 2.2 คุณสมบัติกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [20]

1. ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_m) คือค่ากระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ยังต่อกับภาระทางไฟฟ้า
2. ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m) คือค่าแรงดันไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ยังต่อกับภาระทางไฟฟ้า
3. ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) คือค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เกิดการลัดวงจร

4. **ค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc})** คือค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ไม่มีการะทางไฟฟ้า

5. **ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m)** คือค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า

6. **ค่าฟิลล์แฟคเตอร์ (F.F)** คือ ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

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

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีควรมีค่าฟิลล์แฟคเตอร์มากกว่า 0.7 ขึ้นไป เพื่อให้จะให้จุดทำงานมีค่าใกล้เคียงกับจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

7. **ประสิทธิภาพสูงสุด (η_m)** คือ ค่าอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อพลังงานที่ได้รับของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งหาค่าได้จากสมการ

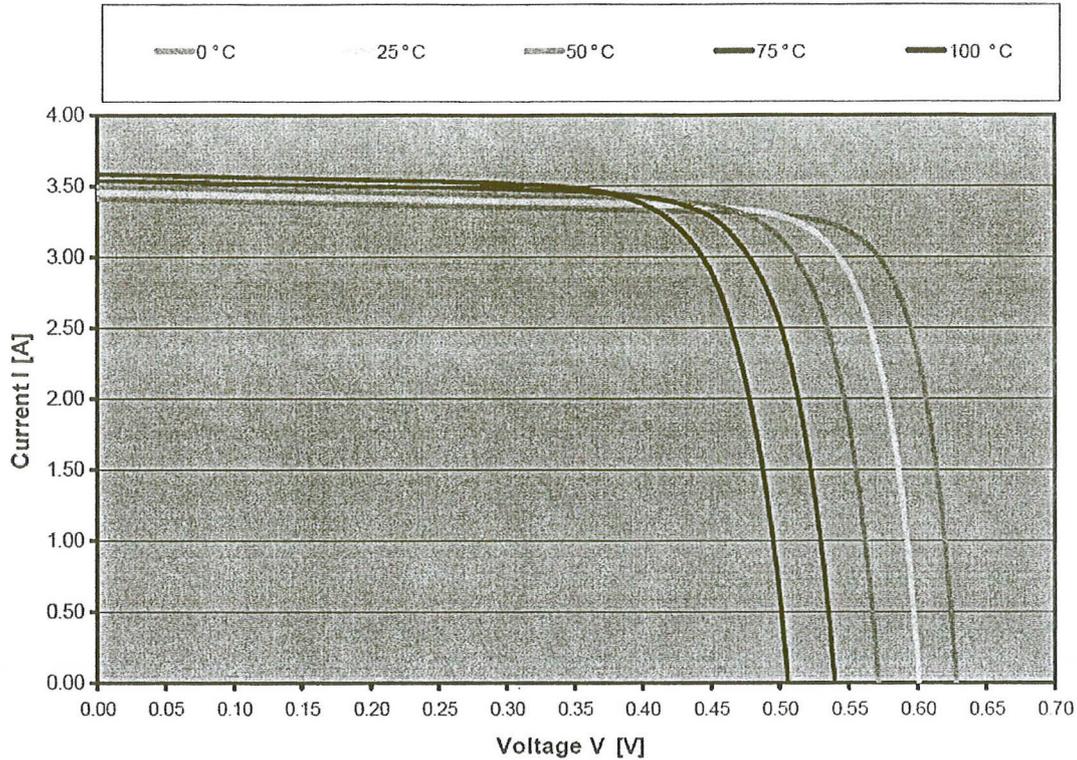
$$\eta_m = \frac{P_m}{A_m \times G_t} \quad (2.2)$$

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

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

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

สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะมีลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจคือกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลต่อ IV-Curve ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะความเข้มรังสีดวงอาทิตย์คงที่ กับที่สภาวะอุณหภูมิแตกต่างกัน กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนจะตกลงเมื่ออุณหภูมิเซลล์สูงขึ้น ส่วนค่ากระแสนั้นจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ค่าแรงดันไฟฟ้าจะตกลงอย่างมาก ซึ่งโดยปกติกำลังไฟฟ้าจะตกลงไปประมาณ 0.4–0.6 เปอร์เซ็นต์ต่อองศาเซลเซียส [21]



รูปที่ 2.3 IV-Curve กรณีเมื่อค่าความเข้มรังสีอาทิตย์คงที่และอุณหภูมิเซลล์เพิ่มขึ้น [20]

2.5 ตัวแปรทางธรรมชาติที่ส่งผลต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ผลของอุณหภูมิต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าวงจรถัด

จากที่ได้กล่าวไปในหัวข้อที่ผ่านมาถึงผลของอุณหภูมิจึงกล่าวถึงผลกระทบโดยตรงกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถอธิบายรายละเอียดของผลกระทบดังกล่าว

ผลของอุณหภูมิต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

กระแสไฟฟ้าลัดวงจรสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ

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

เมื่อ	η_e	คือ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนคู่อิเล็กตรอน - โฮลให้เป็นกระแสไฟฟ้า
	r	คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ผิวด้านรับแสงของเซลล์
	α	คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของเซลล์แสงอาทิตย์ (cm^{-1})
	I	คือ ระยะทางที่โฟตอนในแสงอาทิตย์ที่สารกึ่งตัวนำซึ่งมีช่องว่างพลังงานสามารถดูดกลืนได้ $\text{photon}/\text{cm}^2 \cdot \text{sec}$
	$e^{-\alpha}$	คือ สัดส่วนของโฟตอนที่ทะลุผ่านเซลล์ต่อโฟตอนที่ตกกระทบทั้งหมด
	E_g	คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ (eV)

เมื่อพิจารณาช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำจะพบว่าช่องว่างพลังงานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดังสมการ

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

เมื่อ E_{g0} คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์มีค่าเท่ากับ 1.16 eV

$E_g(T)$ คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิใดๆ (eV)

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

β คือ ค่าคงที่เฉพาะของสารกึ่งตัวนำใดๆ สำหรับซิลิกอน = 1,108 K

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

จากตารางที่ 2.1 แสดงค่าของช่องว่างพลังงานของซิลิกอนที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าช่องว่างพลังงานของซิลิกอนจะเปลี่ยนไปเล็กน้อยขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25 – 70 °C ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรเพิ่มขึ้นเล็กน้อยขณะที่อุณหภูมิเซลล์สูงขึ้น ในทางปฏิบัติอาจจะถือว่าอุณหภูมิต่างๆไม่มีผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรก็ได้

ตารางที่ 2.1 ช่องว่างพลังงานของซิลิกอนกับอุณหภูมิ

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

ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด

แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ

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

โดยที่

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

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

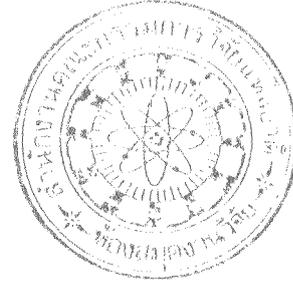
$$N_c = 2 \frac{2\pi m_e * KT}{h^2}^{3/2} \quad (2.8)$$

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

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

จำนวนอิเล็กตรอนหรือโฮลในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์เป็นไปตามสมการ

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



จากสมการสามารถเขียน V_{oc} ใหม่ได้ดังนี้

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

ค่า n_i^2 สำหรับซิลิกอนมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดังสมการ

$$n_i^2 = 1.54 \times 10^{33} T^{33} 10^{-6080/T} \tag{2.12}$$

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

ผลของอุณหภูมิต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด

กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น สามารถอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

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

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

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

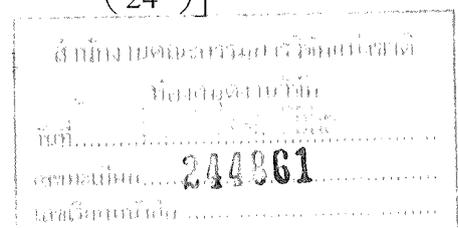
$$\eta_m = \eta_m (STC) [1 - 0.003(T_{cell} - 25)] \tag{2.14}$$

อุณหภูมิอากาศแวดล้อม (Ambient Temperature) [22]

การพิจารณาอุณหภูมิแวดล้อมในเขตร้อนชื้นจะใช้สมการของ Sinusoidal ambient temperature โดยจะพิจารณาจาก อุณหภูมิแวดล้อมสูงสุดและต่ำสุดของวันนั้น

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

เมื่อ:



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

2.6 การลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [23]

สาเหตุทำให้สมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงไป ดังต่อไปนี้

2.6.1 การลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ การสูญเสียกระแสไฟฟ้าลัดวงจร ซึ่งมีหลายสาเหตุ ได้แก่

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

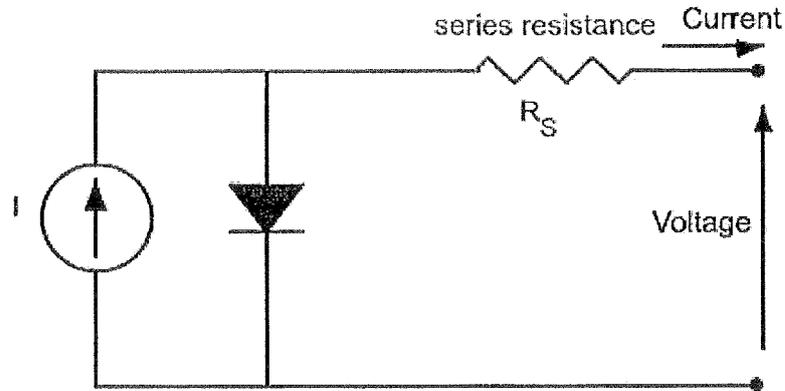
2.6.1.2 การสร้างขั้วไฟฟ้าบนผิวด้านรับแสง เช่น การเคลือบขั้ว Al เป็นลายเส้นด้านผิวด้านรับแสง ทำให้เกิดการบังแสง พื้นที่ที่บังแสงมีประมาณ 5-15 % ของพื้นที่ทั้งหมด

2.6.1.3 โฟตรอนบางตัวไม่ถูกดูดกลืน แต่สามารถเดินทางทะลุสารกึ่งตัวนำออกไปทางด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งนี้เพราะสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงมีค่าไม่มาก วิธีการแก้ไขคือ การใช้ผลึกที่มีความหนาที่เพียงพอ สารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานชนิดไม่ตรงต้องใช้ความหนามากกว่าสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานชนิดตรง

2.6.1.4 มีการสูญเสียเนื่องจากอิเล็กตรอนและโฮลรวมตัวกันก่อนที่จะออกสู่ภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ การรวมตัวกันเกิดขึ้นมากที่บริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำและในชั้นที่ไม่มีสนามไฟฟ้าภายใน ปกติพาหะโฟโตที่สามารถเดินทางออกสู่ภายนอกได้ดีได้แก่พาหะโฟโตที่เกิดขึ้นในย่านปลอดพาหะซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าภายใน (built-in potential) ช่วยพัดพาให้พาหะโฟโตไหลด้วยสนามไฟฟ้า

2.6.2 การลดลงของสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากตัวเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังนี้

2.6.2.1 เกิดจากการสึกกร่อนของรอยต่อหรือเกิดจากการลดลงของแรงยึดเหนี่ยวโครงสร้างเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ เช่น ความต้านทานของรอยต่อ p-n ความต้านทานของขั้วไฟฟ้า ความต้านทานที่รอยต่อของสารกึ่งตัวนำและขั้วไฟฟ้า เป็นต้น ค่าความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ไหลในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ลดลง โดยที่กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเขียนเป็น สมการหาได้ดังนี้



รูปที่ 2.4 วงจรของความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

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

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

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

$$R_s = \Delta V / I \quad (2.19)$$

$$R_{CH} = V_{oc} / I_{sc} \quad (2.20)$$

$$r_s = R_s / R_{CH} \quad (2.21)$$

$$FF_s = FF_o (1 - r_s) \quad (2.22)$$

$$FF_s = FF_o (1 - 1.1 r_s) + r_s^2 / 5.4 \quad (2.23)$$

เมื่อ P_m คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า

V_{mp} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า

I_{mp} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาในขณะที่มีภาระทางไฟฟ้า

R_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์

ΔV คือ ค่าความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตได้

I คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้

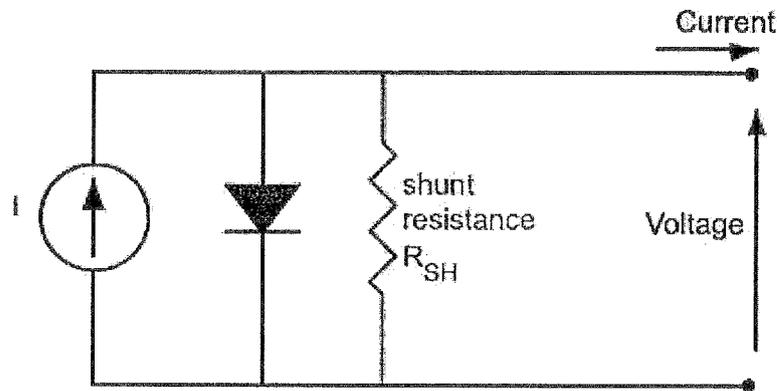
R_{CH} คือ ค่าคุณสมบัติความต้านทานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

I_{sc} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เกิดการลัดวงจร

V_{oc} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้า

- r_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรมที่สภาวะปกติ
- FF คือ ค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจเปิด
- FF_o คือ ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากแรงดันไฟฟ้าวงจเปิด
- FF_s คือ ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ที่เกิดจากความต้านทานอนุกรมเปลี่ยนแปลง

2.6.2.2 เกิดจากการเชื่อมของโลหะผสมที่อยู่ระหว่างรอยต่อพีเอ็น (p-n junction) ทำให้ค่าความต้านทานชั้นลดลง ความต้านทานชั้นเกิดจากการเกิดรั่วของกระแสไฟฟ้าที่ขอบของเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของผลึก ซึ่งการลดลงของความต้านทานชั้นจะมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ลดลง โดยที่กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถเขียนเป็น สมการได้ดังนี้



รูปที่ 2.5 วงจรของความต้านทานชั้นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$P_m = (I_{mp} - \frac{V_{mp}}{R_{sh}}) V_{mp} \quad (2.24)$$

$$= P_{mp} (1 - \frac{V_{mp}}{I_{mp} R_{sh}}) \quad (2.25)$$

$$= P_{mp} (1 - \frac{V_{oc}}{I_{sc} R_{sh}}) \quad (2.26)$$

$$R_{sh} = V / \Delta I \quad (2.27)$$

$$r_{sh} = R_{sh} / R_{CH} \quad (2.28)$$

$$FF_s = FF_o (1 - r_s) \quad (2.29)$$

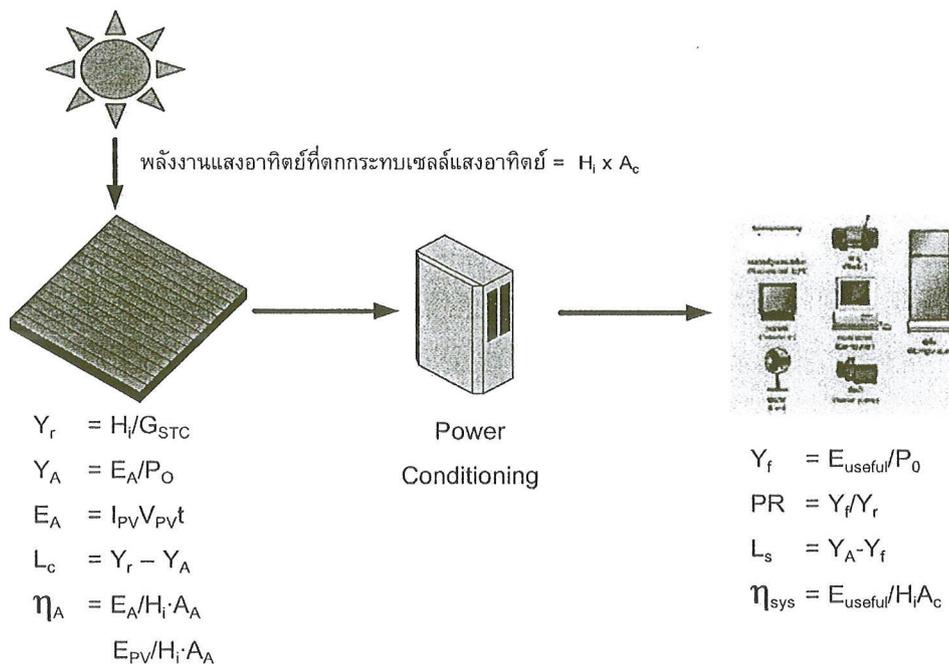
$$FF_s = FF_o (1 - 1.1 r_s) + r_s^2 / 5.4 \quad (2.30)$$

- เมื่อ R_{sh} คือ ค่าความต้านทานชั้นดีของโลหะผสมที่อยู่ระหว่างรอยต่อพีเอ็น
- r_{sh} คือ ค่าความต้านทานชั้นที่สภาวะปกติ
- V คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้
- ΔI คือ ค่าความแตกต่างของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้
- FF_{sh} คือ ค่าฟิลล์แฟกเตอร์ที่เกิดจากความต้านทานชั้นดีเปลี่ยนแปลง

2.7 ทฤษฎีการประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบ

2.7.1 วิธีการประเมินระบบทางเทคนิค

การประเมินและวิเคราะห์สมรรถนะทางด้านเทคนิคของสมรรถนะกลางแจ้งภายใต้การใช้งานจริงของเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนอสัณฐาน ระยะที่ 2 นี้ จะใช้วิธีการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค ที่อ้างอิงจาก International Energy Agency Photovoltaic Power Systems TASK 2 – Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems (IEA PVPS Task 2) [24] ซึ่งสามารถใช้ในการวิเคราะห์ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield) ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield) และสามารถนำเอาค่าต่างๆ เหล่านี้ มาใช้การคำนวณหาสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio) โดยจะทำการกำหนดวิธีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้



พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_A = \frac{E_A}{P_O} \quad (2.31)$$

Y_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp)

E_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)

P_O คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \quad (2.32)$$

Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kWp)

H_i คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m²)

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

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_f = \frac{E_{PV}}{P_O} \quad (2.33)$$

Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

E_{PV} คือ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)

P_O คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

$$E_{PV} = \frac{E_L}{(1 + E_{BU}/E_A)} \quad (2.34)$$

E_L คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงโดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)

E_A คือ พลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)

E_{BU} คือ พลังงานที่ผลิตได้จากระบบพลังงานเสริม ในกรณีนี้คือ 0 (kWh)

พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture Losses) หาได้จากสมการ

$$L_C = Y_r - Y_A \quad (2.35)$$

L_C คือ พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System Losses) หาได้จากสมการ

$$L_S = Y_A - Y_f \quad (2.36)$$

L_S คือ พลังงานที่สูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

ประสิทธิภาพระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Total Efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_{PV} = \frac{E_{PV}}{H_r A_{PV}} \quad (2.37)$$

η_{PV} คือ ประสิทธิภาพระบบเซลล์แสงอาทิตย์

สมรรถนะระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio) หาได้จากสมการ

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \quad (2.38)$$

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_A = \frac{E_A}{H_r A_A} \quad (2.39)$$

η_A คือ ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์

A_A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

สมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio) หาได้จากสมการ

$$PR_A = \frac{Y_A}{Y_r} = \frac{\eta_A}{\eta_{STC}} \quad (2.40)$$

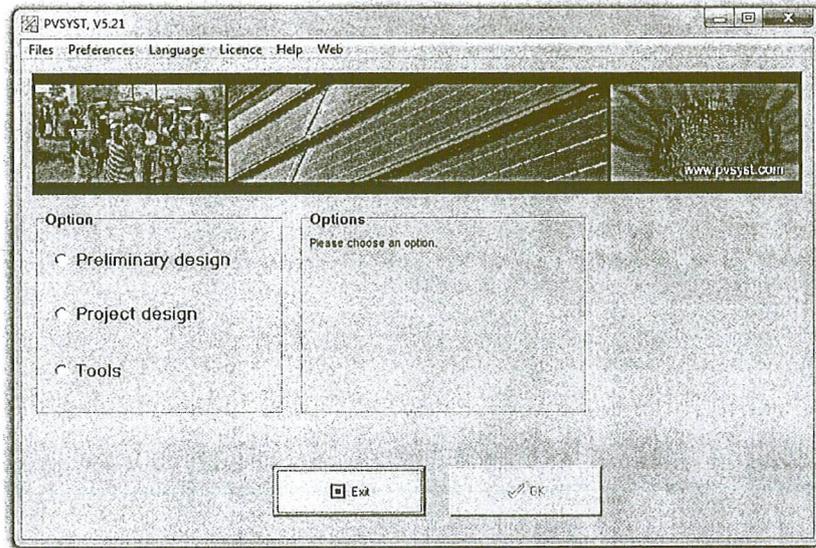
2.7.2 โปรแกรม PVSYST 5.21 [25]

การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยการใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรมช่วยในการออกแบบนั้นปัจจุบันก็มีหลากหลายโปรแกรมให้เลือกใช้ เช่น PVSYST 5.21, PV Design Pro, ASHLING 5.0, INSEL 4.8, PVS, SOME 3.1, TRANSYS 14.2 เป็นต้น [26] ซึ่งคอมพิวเตอร์โปรแกรม PVSYST 5.21 ก็เป็นโปรแกรมหนึ่งซึ่งได้รับความนิยมอย่างมากในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีฟังก์ชันการใช้งานที่เพียงพอพร้อมเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง

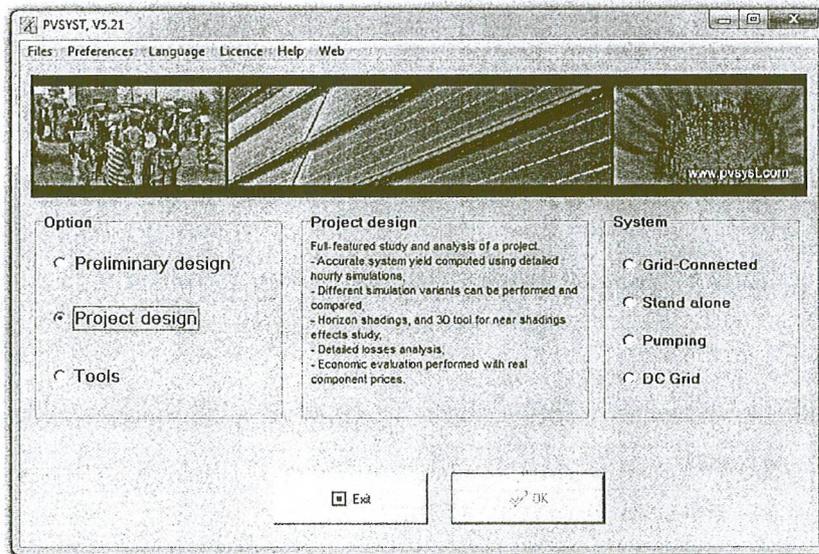
ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบฟังก์ชันการใช้งานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ [27]

Parameter	ASHLING	INSEL	PVS	PVSYST	SOMES	TRNSYS
	5.0	4.8			3.1	14.2
Simulation basic	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
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
Building integrable				Yes		
Shading factor			Yes	Yes		
PV inverter 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

ดังนั้นในการศึกษานี้ใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรม PVSYST 5.21 ซึ่งเป็นลิขสิทธิ์ของวิทยาลัยพลังงานทดแทน Customer ID: 30051902 ใช้ในการเปรียบเทียบการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ออกแบบ



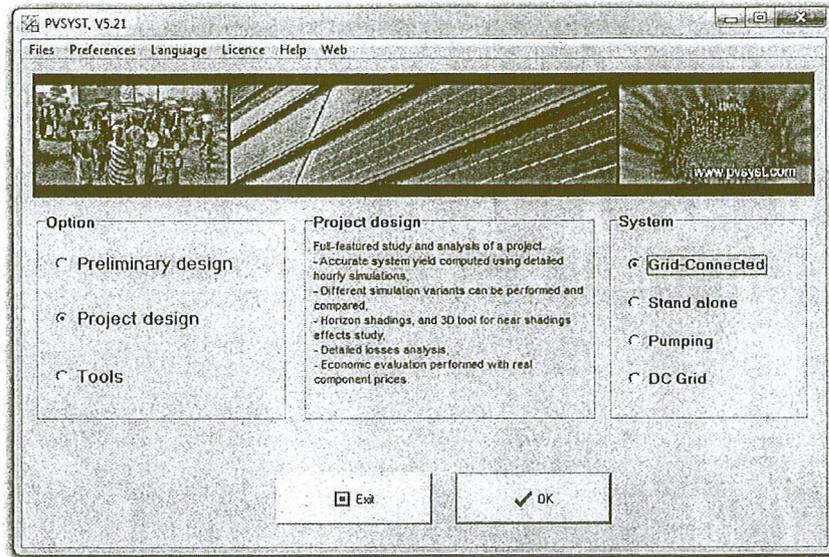
รูปที่ 2.6 เข้าสู่การใช้งานคอมพิวเตอร์โปรแกรม PVSYST 5.21



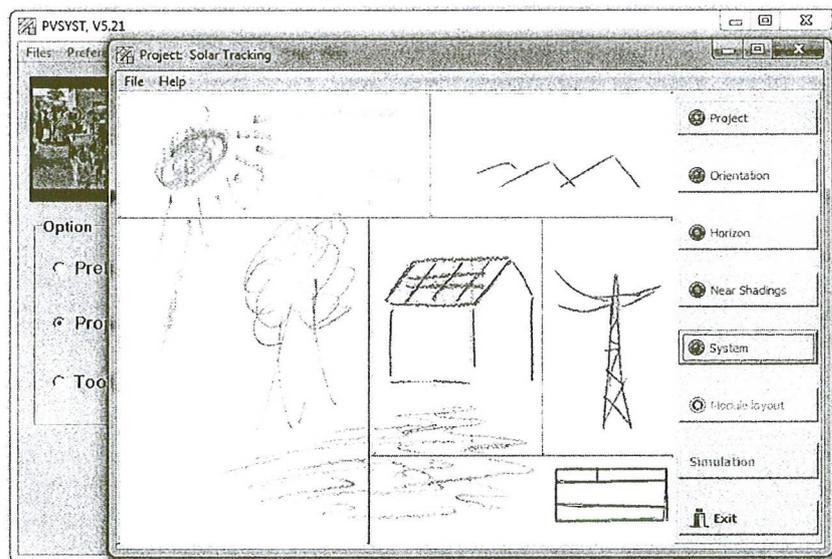
รูปที่ 2.7 การเลือกระบบที่จะทำการออกแบบ

การทำนายปริมาณพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

ขั้นตอนในการทำนายปริมาณพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขั้นตอนหลังจากที่กำหนดลักษณะของการวางแผงฯ และสถานที่สำหรับออกแบบ โดยเริ่มจากการเลือกการออกแบบเป็นแบบ Project Design และเลือกระบบเป็น Grid connected

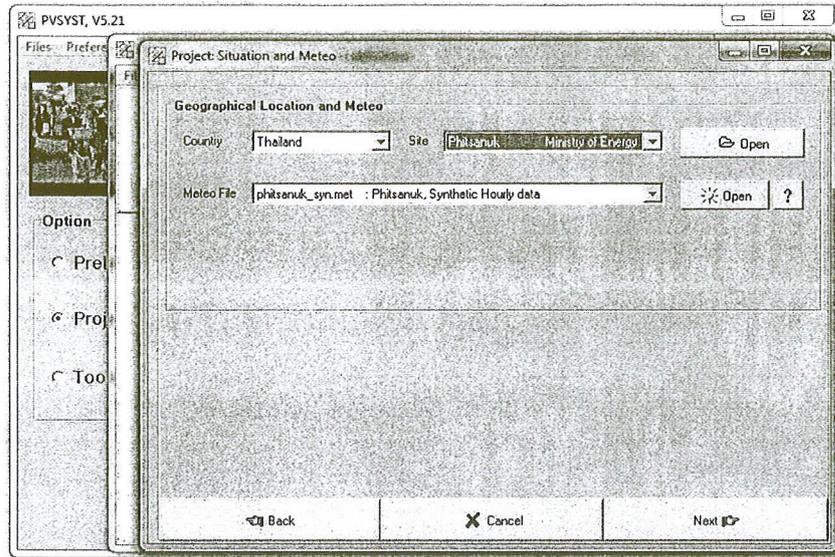


รูปที่ 2.8 เริ่มต้นการใช้โปรแกรม PVSYS 5.21 เพื่อทำนายปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้



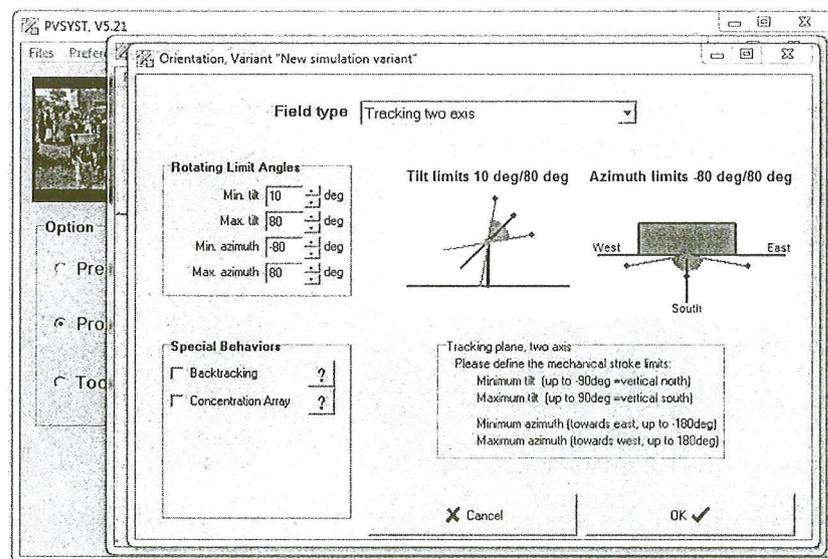
รูปที่ 2.9 เมนูหลักของโปรแกรม PVSYS 5.21 หลังจากทำการออกแบบเป็นแบบ Project Design และเลือกระบบเป็น Grid connected

ทำการกำหนดสถานที่ ที่จะทำการออกแบบให้กับโปรแกรมโดยการเลือกที่ Project หลังจากนั้นเป็นการเลือกสถานที่สำหรับออกแบบระบบ และข้อมูลสภาพอากาศ ดังรูปที่ 2.10



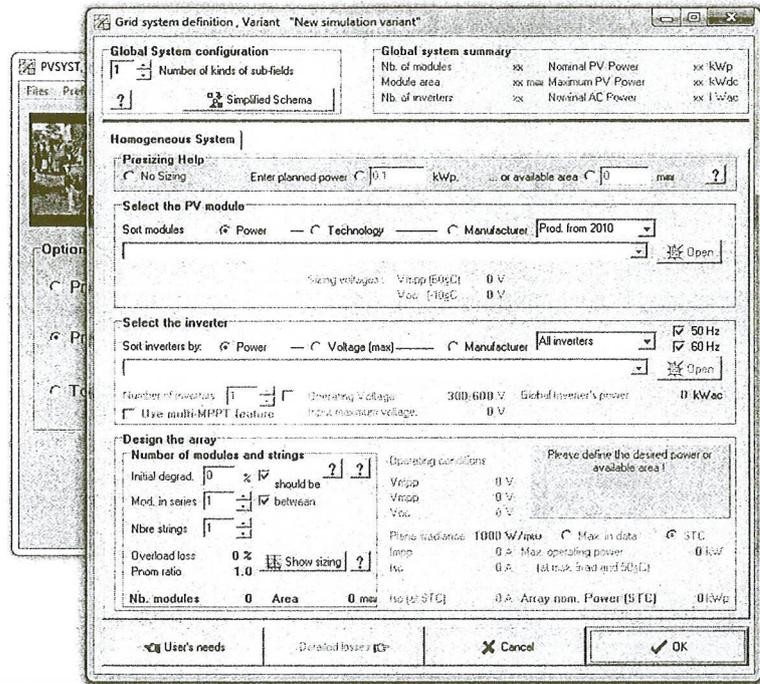
รูปที่ 2.10 การเลือกสถานที่ออกแบบและข้อมูลสภาพอากาศ

หลังจากนั้นไปที่เมนูหลักของโปรแกรมและทำการเลือก Orientation เพื่อกำหนดชนิดของระบบขนาด การเคลื่อนที่ของระบบทั้งสองแกน Tilt Angle และ Azimuth Angle ดังรูปที่ 2.11



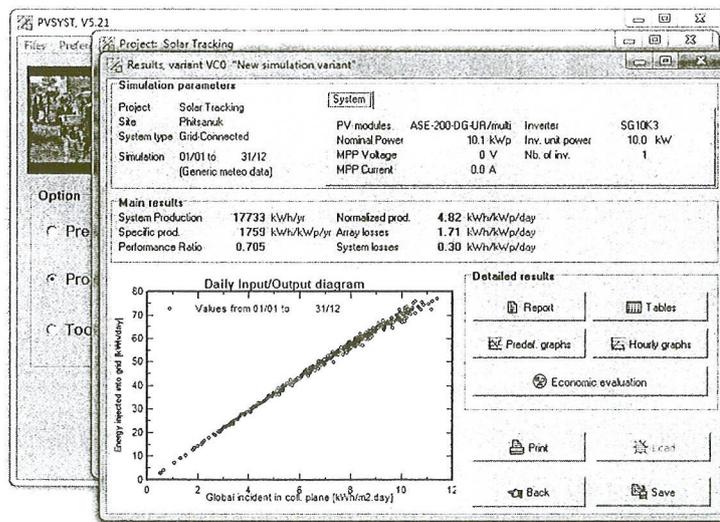
รูปที่ 2.11 การกำหนดลักษณะเฉพาะของระบบ

หลังจากนั้นกลับเข้าสู่เมนูหลักของโปรแกรมแล้วเลือก System เพื่อระบุอุปกรณ์ที่จะใช้ในการออกแบบ ระบบ ดังรูปที่ 2.12 หลังจากการระบุอุปกรณ์เข้าไปในระบบแล้ว กดปุ่ม OK เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการทำนายผล



รูปที่ 2.12 การระบุอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบ

หลังจากเลือกอุปกรณ์สำหรับระบบแล้วทำการเลือก Simulation เพื่อทำนายผล ซึ่งแสดงผลลัพธ์ ดังรูปที่ 2.13 สามารถดูผลจากการออกแบบโดยใช้โปรแกรม PVSYST 5.21 ได้โดยการเลือกที่ปุ่ม Report



รูปที่ 2.13 ผลลัพธ์จากโปรแกรม PVSYST 5.21

2.7.3 วิธีการประเมินทางเศรษฐศาสตร์

ในการคำนวณจะทำการพิจารณาในช่วงระยะเวลา Y ปี อัตราส่วนลด (Discount Rate) เท่ากับ n % อัตราเงินเฟ้อ (Inflation Rate) เท่ากับ i %

การวิเคราะห์ข้อมูลทางด้านเศรษฐศาสตร์ประกอบด้วย

1. การหามูลค่าปัจจุบันของต้นทุนทดแทนทั้งหมด (C_r) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบย่อยจากสมการ

$$C_r = C_{rm} \sum_{i=1}^{n_m} \left[\frac{(1+i)^{y-1}}{(1+d)^{iy_m}} \right] + C_{rs} \sum_{i=1}^{n_s} \left[\frac{(1+i)^{y-1}}{(1+d)^{iy_s}} \right] \quad (2.41)$$

n_m คือ จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 n_s คือ จำนวนระบบย่อย
 C_{rm} คือ ราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เปลี่ยนทดแทน (บาท)
 C_{rs} คือ ราคาระบบย่อยที่เปลี่ยนทดแทน (บาท)

2. การหามูลค่าปัจจุบันการเดินระบบและซ่อมบำรุง

$$C_a = C_{om} \times P_a \quad (2.42)$$

P_a คือ ค่าตัวปรับค่าเข้าสู่มูลค่าในปัจจุบันของระบบ (Present worth Factor) แสดงดังตารางที่ 2.2

$$P_a = \frac{(1+d)^y - 1}{d(1+d)^y} \quad (2.43)$$

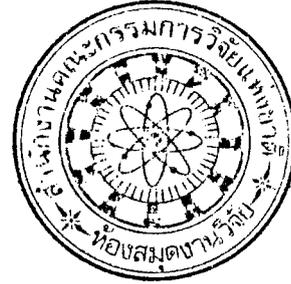
ตารางที่ 2.3 ตัวคูณปรับค่าเข้าสู่มูลค่าปัจจุบัน

อัตราส่วนลด (%)	ตัวคูณปรับค่าเข้าสู่ปัจจุบันสำหรับจำนวนปีที่พิจารณา					
	5	10	15	20	25	30
0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0	30.0
5	4.3	7.7	10.4	12.5	14.1	15.4
10	3.8	6.1	7.6	8.5	9.1	9.4
15	3.3	5.0	5.9	6.3	6.5	6.6
20	3.0	4.2	4.7	4.9	5.0	5.0

การปรับค่าเงินในอนาคตเข้าสู่ปีปัจจุบัน

$$P = F \times \frac{1}{(1+d)^y} \quad (2.44)$$

P	คือ	ค่าเงินในปัจจุบันใน
F	คือ	ค่าเงินในอนาคต
D	คือ	อัตราส่วนลด
Y	คือ	ปี



3. คำนวณค่าใช้จ่ายสุทธิตลอดอายุของระบบ (NPVC)

$$NPVC = \sum_{i=1}^n PVC_{om} + C_c - C_s \quad (2.45)$$

C_c	คือ	ราคาเริ่มต้นของการติดตั้งระบบฯ (บาท)
C_s	คือ	มูลค่าซากของระบบฯ (บาท)
PVC_{om}	คือ	มูลค่าปัจจุบันการดูแลรักษาและปรับเปลี่ยนทดแทน
N	คือ	อายุของโครงการ

4. การคำนวณค่าผลประโยชน์สุทธิตลอดอายุของระบบ (NPVB)

$$NPVB = \sum_{y=1}^n PVB \quad (2.46)$$

PVB คือ ผลประโยชน์ที่ได้รับปรับเข้าสู่ปัจจุบัน

5. การคำนวณค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบ จากสมการ

$$C_w = \frac{NPVC}{NPVB} \quad (2.47)$$

C_w คือ ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบ (บาท/kWh)

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

David L. King, William E. Boyson, Jay A. Kratochvil [2] ได้ทำการศึกษาพัฒนาสมการและประยุกต์ใช้กับการหาสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มามากกว่า 12 ปี โดยใช้ตัวแปรต่างๆ เช่น กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิ และแสงอาทิตย์ จากการศึกษาพัฒนาพบว่าสมการนี้สามารถวิเคราะห์สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างแม่นยำ

Achitpon SaSitharanuwata, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy, and Suchart Yammen [3] ได้ทำการศึกษาและทดสอบระบบสถานีผลิตไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 kW_p ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวรหลังจากติดตั้งใช้งานมาเป็นระยะเวลา 6 เดือน จากการศึกษาพบว่า ระบบฯสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 7,852 kWh และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si p-Si และ HIT มีค่าเท่ากับ 6.26% 10.48% และ13.78%

Achitpon SaSitharanuwata, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy, and Suchart Yammen [4] ได้ทำการศึกษาและทดสอบระบบสถานีผลิตไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 kW_p ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวรหลังจากติดตั้งใช้งานมาเป็นระยะเวลา 11 เดือน จากการศึกษาพบว่า ระบบฯสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เท่ากับ 14,124 kWh และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si p-Si และ HIT มีค่าเท่ากับ 6.26% 10.48% และ13.78% และสมรรถนะของระบบ เท่ากับ 0.57 - 0.79

Achitpon SaSitharanuwat, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy and Wuthipong Suponthana [5] ได้ทำการศึกษาระบบสถานีผลิตไฟฟ้ากระแสสลับด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 10 kW_p ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 แบบ คือ แบบอิสระ (stand alone system) และ แบบเชื่อมต่อเข้ากับสายส่ง เพื่อศึกษาความต้องการพลังงานไฟฟ้าของอาคารทดสอบ จากการศึกษาพบว่า พลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si p-Si และ HIT เท่ากับ 102.39, 86.34 และ 80.20 ตามลำดับ และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ HIT p-Si และ HIT เท่ากับ 13.37 10.17 และ 6.59

นิพนธ์ เกตุจ้อย และคงฤทธิ์ แม้นศิริ [6] ทำการศึกษาสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า ขนาด 6.2 กิโลวัตต์ โดยระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิด Poly Crystalline Silicon Single Junction Amorphous Silicon และ Triple Junction Amorphous Silicon เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ขนาด 2.1 กิโลวัตต์ จำนวน 3 เครื่อง จากการศึกษาพบว่าพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทฤษฎี (Y_T) เท่ากับ 4.25 kWh/kWp · d พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ (Y_a) เท่ากับ 3.60 kWh/kWp · d พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Y_f) เท่ากับ 3.23 kWh/kWp · d พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (L_c) เท่ากับ 0.64 kWh/kWp · d พลังงานที่สูญเสียในระบบ (L_s) เท่ากับ 0.37 kWh/kWp · d สมรรถนะของระบบ (PR) เท่ากับ 0.77 และประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด เท่ากับ 9.95 % 6.21 % และ 4.68 % ตามลำดับ

นิพนธ์ เกตุจ้อย ณัฐภูมิ ขาวสะอาด จูติพร เจาะจง คงฤทธิ์ แม้นศิริ [7] ทำการศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไมโครซิลิกอน (μ c-Si: H) เพื่อให้

ทราบถึงประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานภายในสวนพลังงานของวิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งข้อมูลที่ทำการบันทึก ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความเข้มรังสีอาทิตย์ทุกๆ 5 นาที โดยเครื่องบันทึกแบบอัตโนมัติตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 – เดือนกันยายน พ.ศ. 2553 หลังจากนั้นนำข้อมูลต่างๆมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบ จากผลการวิเคราะห์และประเมินผลพบว่าประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบ มีค่าประมาณ 6.25 % และ 0.75 % พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield ; Y_a) โดยเฉลี่ยจะมีค่าประมาณ 4.45 kWh/kWp · d พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield ; Y_f) โดยเฉลี่ยประมาณ 3.79 kWh/kWp · d พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Capture Losses ; L_c) โดยเฉลี่ยประมาณ 0.60 kWh/kWp · d และพลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System Losses ; L_s) มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 0.66 kWh/kWp · d

ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด และ นิพนธ์ เกตุจ้อย [8] ทำการศึกษาอัตราการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานจริง เพื่อศึกษากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่าเมื่อติดตั้งใช้งานเป็นเวลานานจะมีพฤติกรรมเป็นอย่างไรและชนิดใดที่มีอัตราการลดลงของกำลังไฟฟ้าสูงสุดมากที่สุด โดยการวิจัยในครั้งนี้มุ่งเน้นทำการศึกษา กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอสัณฐานซิลิกอน ชนิดผลึกผสมซิลิกอนและ ชนิดผสมผลึกซิลิกอน ที่ติดตั้งใช้งานผ่านมาแล้วเป็นเวลา 5 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จนถึงปี พ.ศ. 2552 โดยใช้ PV Analyzer ตรวจวัดค่าและวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูงสุด อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ทุกๆ 1 ชั่วโมง ตั้งแต่ 09.00 - 17.00 น. หลังจากนั้นนำข้อมูลต่างๆมาวิเคราะห์หากำลังไฟฟ้าสูงสุด จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์อาทิตย์ชนิดอสัณฐานซิลิกอน ชนิดผลึกผสมซิลิกอนและ ชนิดผสมผลึกซิลิกอน มีอัตราการลดลงโดยเฉลี่ยรายปีคิดเป็นร้อยละ 2.64 3.46 และ 3.75 ตามลำดับ จากผลศึกษาวิเคราะห์สามารถสรุปได้ว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์อาทิตย์ชนิดผสมผลึกซิลิกอน มีอัตราการลดลงมากที่สุด

ฐิติพร เจาะจง และนิพนธ์ เกตุจ้อย [9] ทำการศึกษารateการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากความต้านทานอนุกรมและความต้านทานชัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงไปโดยทำการศึกษาแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอน (p-Si) ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si) และไฮบริดซิลิกอน (HIT) ของระบบสาธิตสถานีผลิตไฟฟ้ากระแสสลับจากเซลล์แสงอาทิตย์ ณ มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยใช้ข้อมูลซึ่งเก็บ ปี 2550 และ 2551 เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในทั้งสองตัว จากการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si, a-Si และ HIT มีอัตราการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมประมาณ 2.12 2.19% และ 8.20% ต่อปีตามลำดับ และมีอัตราการลดลงของความต้านทานชัณฑ์ เท่ากับ 0.05% 0.00% และ 0.23 % ต่อปีตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานภายในทั้งสอง ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si, a-Si และ HIT ลดลงเฉลี่ยต่อปี 1.26% 0.41% และ 1.44% ต่อปีตามลำดับ

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

ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด และ นิพนธ์ เกตุจ้อย [11] ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การศึกษานี้ได้ทำการศึกษาค่าข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนอสัณฐาน (Amorphous Silicon Solar Cell) ของระบบสาธิตสถานีผลิตไฟฟ้ากระแสสลับจากเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร โดยใช้ข้อมูลที่บันทึกตั้งแต่ปี 2548 และปี 2550 งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขั้วต่อ เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานทั้ง 2 ชนิดว่าส่งผลต่อการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างไร จากการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอนและซิลิกอนอสัณฐานมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมประมาณ 0.0131 และ 0.0058 โอห์ม/ปี ตามลำดับและมีอัตราการลดลงของความต้านทานขั้วต่อประมาณ 0.0014 และ 0.0008 โอห์ม/ปี ตามลำดับ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานทั้ง 2 ชนิด ส่งผลทำให้กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมลดลงจาก 80 วัตต์ เป็น 73.44 วัตต์ และชนิดซิลิกอนอสัณฐานลดลงจาก 54 วัตต์ เป็น 48.12 วัตต์ ผลการศึกษารูปได้ว่าการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนอสัณฐาน มีอัตราที่สูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสม โดยมีสาเหตุมาจากการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมที่เพิ่มขึ้นและความต้านทานขั้วต่อที่ลดลง

ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒน์พงษ์ รัชวีวีเชียร [12] ทำศึกษาการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และความแตกต่างระหว่างประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อเริ่มใช้งานในระยะแรกกับประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อระยะเวลาผ่านไป จากการศึกษาพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนจะมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปีที่ 2 ที่หลังติดตั้งใช้งานประมาณร้อยละ 9.92 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ติดตั้งใช้งานในปีแรก และในปีที่ 3 ลดลงคิดเป็นร้อยละ 13.83 หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเฉลี่ยในแต่ละปีเป็นร้อยละ 7.92 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอนจะมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าในปีที่ 2 หลังติดตั้งใช้งานร้อยละ 2.51 เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพที่ติดตั้งใช้งานในปีแรก และในปีที่ 3 ลดลงคิดเป็น

ร้อยละ 2.62 หรือคิดเป็นอัตราการลดลงเฉลี่ยในแต่ละปีประมาณร้อยละ 1.71 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนมีอัตราการลดลงของประสิทธิภาพเฉลี่ยรายปีมากกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกผสมซิลิกอนประมาณร้อยละ 6.21

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

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

Takashi Minemoto [28] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการประเมินในสภาวะการใช้งานจริง เพื่อศึกษาตัวแปรของสิ่งแวดล้อมที่มีผลกระทบต่อพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ซึ่งจะทำการศึกษาสเปกตรัมของแสง อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่าผลต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si และ p-Si จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si จะขึ้นอยู่กับการกระจายตัวของสเปกตรัมและต้องสูงกว่าสเปกตรัมของสีกรามส่วนพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ

Ewan D. Dunlop [29] ได้ทำการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเทคโนโลยีซิลิกอน โดยเปรียบเทียบซิลิกอนและการเปลี่ยนแปลงของพลังงานตั้งแต่ 1982 จนถึงปัจจุบัน ซึ่งจะแสดงให้เห็นการลดลงของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ โดยเขาใช้แผงซิลิกอนผลึกเดี่ยวที่สภาวะการใช้งานจริง และเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลานาน จากการศึกษาพบว่า ผลกระทบของการลดลงของประสิทธิภาพของพลังงานขึ้นอยู่กับโครงสร้างของซิลิกอน

E.E. van Dyk , E.L. Meyer [30] ได้ทำการศึกษาการสึกกร่อนของ Parasitic resistances ทำให้มีผลต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ออกมาลดลง โดยการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับจากความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขั้ว ซึ่งจะนำเทคโนโลยีมาใช้ในการวิเคราะห์และแสดงให้เห็นค่าของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่ได้รับผลกระทบจากความต้านทานทั้ง 2 ตัวนี้ จากการวิเคราะห์การลดลงของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมของแผงขนาด 130 kWh/m^2 ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าถึง 50% และการลดลงของความต้านทานขั้ว 29 % ของแผง CuInSe_2 ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าถึง 6 % การศึกษาในครั้งนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดจากการเพิ่มขึ้นของความต้านทานอนุกรมและการลดลงของความต้านทานขั้วจะทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง

Toshiyulu Yamaguchi, Masanao Kawakami, Keiichi Kitano, Shigeyasu Nakagawa, Tetsuro Tokoro, Takumi Nakano, Kiyoteru Hayama and Hidemori Ohyama [31] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้ โดยจะศึกษาค่ารังสีดวงอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของพลังงานสำหรับระบบที่ติดตั้งในทิศเหนือกับทิศใต้เป็นเวลา 1 ปีของระบบที่ขนาด 40 kW ซึ่งทิศเหนือและทิศใต้มีค่ารังสีดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ย $3.14 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{day}$ และ $4.59 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{day}$ ตามลำดับ และอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศเหนือจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทิศใต้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตั้งแต่ 92.7 % และ 68.3 % ตามลำดับ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งลงมายังโลกโดยเฉลี่ยใน 1 เดือน จากมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 95.4 % จนถึง 32.1 % และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งลงมายังโลกโดยเฉลี่ยใน 1 ปี เท่ากับ 65.1 % จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้ต่อเดือนที่ตั้งในทิศเหนือต่ออัตราส่วนของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้ต่อเดือนที่ตั้งในทิศใต้ มีอัตราส่วนตั้งแต่ 96.4 % จนถึง 32.8 % และอัตราส่วนต่อปีเท่ากับ 66.4 %

Jinlei Ding, Xiaofang Cheng, Tairan Fu [32] ได้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นและศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติเฉพาะตัวของความต้านทานอนุกรม โดยนำคุณสมบัติเฉพาะของความต้านทานอนุกรมมาใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ อุณหภูมิ และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงที่สุด

Meena Dadu, A. Kapoor, K.N. Tripathi [33] ได้ทำการศึกษาค่าฟิลล์แฟคเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับผลกระทบจากความต้านทานอนุกรม จากการศึกษากระแสไฟฟ้า 0.01 แอมแปร์ ความต้านทานอนุกรม 1.92 โอห์ม จะทำให้ค่าฟิลล์แฟคเตอร์ที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่าความต้านทานอนุกรมที่มีค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณ เท่ากับ 4.8% และถ้ากระแสไฟฟ้า 10^{-10} แอมแปร์ ความต้านทานอนุกรม 1.41 โอห์ม จะทำให้ค่าฟิลล์แฟคเตอร์ที่วัดได้จะมีค่าน้อยกว่าความต้านทานอนุกรมที่มีค่าคงที่ที่ได้จากการคำนวณ เท่ากับ 4.85% ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานอนุกรมมีผลทำให้ค่าฟิลล์แฟคเตอร์เปลี่ยนแปลง

จากงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษามา พบว่า ประสิทธิภาพและสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดไม่เท่ากัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT มีประสิทธิภาพสูงที่สุด รองลงมา คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si และ a-Si ต่ำที่สุด แต่สมรรถนะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีค่าสูงที่สุด รองลงมา คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด HIT และ p-Si ต่ำที่สุด ซึ่งจะเห็นได้จากพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ แต่ในขณะเดียวกันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si จะมีแนวโน้มการลดลงของประสิทธิภาพและสมรรถนะสูงที่สุด เนื่องจากโครงสร้างของเซลล์มีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ทำให้ความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นและความต้านทานขนัต์ลดลง ซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถที่ผลิตได้ลดลงตามไปด้วย เป็นผลทำให้ประสิทธิภาพและสมรรถนะลดลงนั่นเอง