

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับดวงอาทิตย์ [3]

2.1.1 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์

ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลก จะประกอบด้วยพลังงานจากลำแสงที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง และพลังงานซึ่งมาจากการกระจายและการสะท้อนของแสงอาทิตย์เราสามารถกำหนดองค์ประกอบของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ได้ดังนี้

รังสีตรง (Beam Radiation หรือ Direct Radiation) เป็นการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่ผ่านมาถึงพื้นผิวโลกโดยตรง ไม่มีการเปลี่ยนทิศทางและการกระเจิงในชั้นบรรยากาศ

รังสีกระจาย (Diffuse หรือ Scattered Radiation) เป็นการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่เกิดการสะท้อนจากละอองน้ำในอากาศ ฝุ่น ตลอดจนการกระเจิงของแสงเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศ ซึ่งผลรวมของรังสีตรงกับรังสีกระจายเรียกว่า รังสีรวม (Total Radiation หรือ Global Radiation)

2.1.2 การเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์

ในการพิจารณาการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ จะเป็นการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผู้สังเกตบนโลกกับดวงอาทิตย์ ซึ่งตำแหน่งของดวงอาทิตย์สามารถบอกได้ด้วยมุมที่โลกกระทำกับดวงอาทิตย์ดังนี้

มุมชั่วโมง (Hour Angle, ω) มุมชั่วโมงเป็นการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์เทียบกับเส้นกลางฟ้า (Meridian) หรือเที่ยงวันตามเวลาสุริยะ มุมนี้ไม่ใช่มุมที่ดวงอาทิตย์กระทำจริง แต่เป็นมุมที่สอดคล้องกับเวลาสุริยะในขณะนั้น เวลาเที่ยงตรงมุมชั่วโมงจะเป็น 0 องศา โดยช่วงเช้ามุมชั่วโมงจะเป็นลบ และในช่วงบ่ายมุมชั่วโมงจะเป็นบวก ซึ่งสามารถคำนวณได้โดย

$$\omega = 15^\circ(\text{AST} - 12) \quad (1)$$

มุมเดคลิเนชัน (Declination Angle, δ) โลกโคจรรอบดวงอาทิตย์พร้อมกับหมุนรอบตัวเอง แกนหมุนรอบตัวเองของโลกไม่ได้ตั้งฉากกับระนาบโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ โดยทำมุมกับเส้นที่ตั้งฉากกับระนาบดังกล่าวอยู่ 23 องศา 27 ลิปดา (23.45 องศา) ทำให้ตำแหน่งต่างๆ บนโลกได้รับแสงแดดไม่เท่ากันในแต่ละวันเมื่อพิจารณามุมที่แกนหมุนของโลกกระทำต่อทิศที่ชี้จากโลกไปยังดวงอาทิตย์จะพบว่า มุมดังกล่าวมีค่าเปลี่ยนไปทุกวัน ดังสมการ

$$\delta = 23.45 \sin (360 / 365 (284 + n)) \quad (2)$$

มุมอัลติจูด (Altitude Angle, γ) เป็นมุมที่วัดจากระนาบที่ผิวโลกไปยังดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นมุมที่รังสีแสงอาทิตย์กระทำกับระนาบที่ผิวโลกนั่นเอง มุมนี้จะมีค่า 0 องศาเมื่อพระอาทิตย์ขึ้นหรือตกและจะมีค่าสูงสุดเมื่อตอนเที่ยงตรงตามเวลาสุริยะ บางครั้งการบอกตำแหน่งจะใช้มุมเซนิธ (Zenith Angle) แทน ซึ่งเป็นมุมที่วัดจากจุดกลางฟ้า (Zenith) ซึ่งสัมพันธ์กับมุมอัลติจูด ดังนี้

$$\text{Zenith} = 90^\circ - \gamma \quad (3)$$

โดยสามารถหาค่ามุมอัลติจูด ได้จากสมการ

$$\gamma = \sin^{-1}[\sin(\delta) \sin(\text{latitude}) + \cos(\delta) \cos(\text{latitude}) \cos(\omega)] \quad (4)$$

มุมอะซีมูท (Azimuth Angle, ϕ) เป็นมุมที่วัดจากเส้นที่ลากจากทิศใต้ไปยังตำแหน่งของดวงอาทิตย์ เป็นมุมที่บอกเฉพาะทิศทางในระนาบที่ขนานกับพื้นโลกเท่านั้น โดยไม่สนใจว่าดวงอาทิตย์จะอยู่ตำแหน่งใดบนท้องฟ้า มุมนี้จะมีค่าเป็นบวกเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ทางด้านทิศตะวันออก (ตอนเช้า) และเป็นลบเมื่อดวงอาทิตย์อยู่ทางด้านทิศตะวันตก (ตอนบ่าย) ซึ่งสามารถหาได้จากสมการ

$$\phi = \cos^{-1}[(\cos(\text{latitude}) \sin(\delta) - \cos(\delta) \sin(\text{latitude}) \cos(\omega)) / \cos(\gamma)] \quad (5)$$

2.1.3 รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิว

ปริมาณของรังสีที่ตกกระทบบนพื้นผิวจะขึ้นอยู่กับ มุมที่ตกกระทบ (Incidence Angle) บนพื้นผิวแบบติดอยู่กับที่และแบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยมุมตกกระทบ i เป็นมุมที่แนวรังสีตรง lbc ทำกับเส้นปกติของพื้นผิว ซึ่งสามารถหาค่ารังสีตรงในแนวเส้นปกติได้จาก

$$lbc = lbc \cos i \quad (6)$$

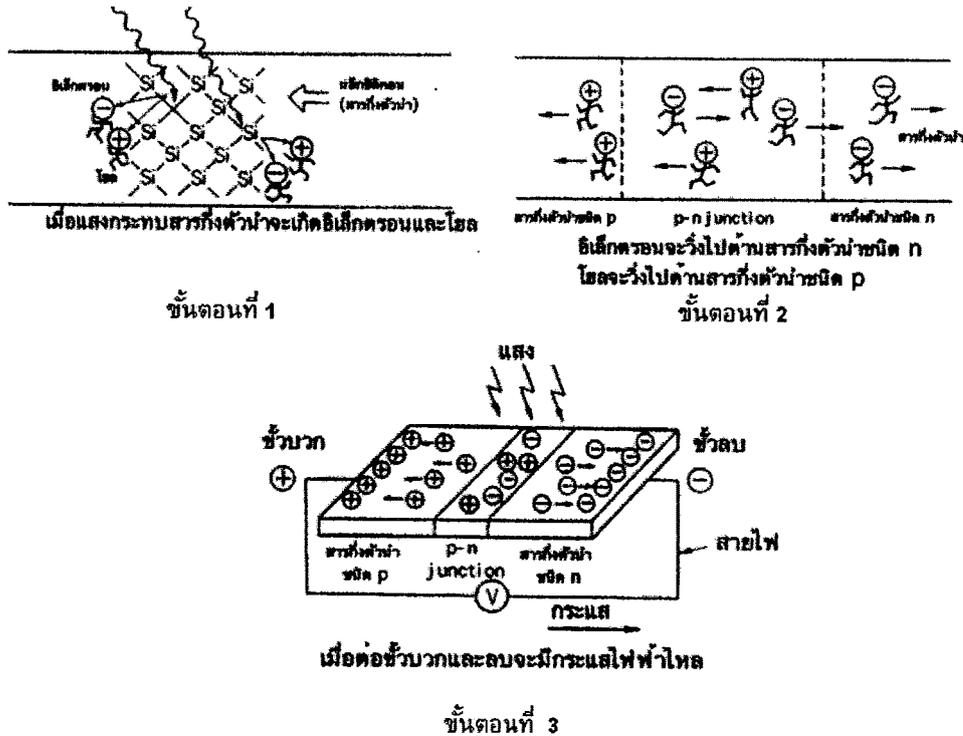
เมื่อ lbc คือ รังสีตรงที่ตกลงบนพื้นผิวในทิศทางของดวงอาทิตย์

มุม i ซึ่งเป็นมุมที่แนวรังสีตรงทำกับเส้นปกติของพื้นผิวดั้วรับรังสีสามารถคำนวณได้จากการหา $\cos i$ โดยพิจารณาจากค่าเรขาคณิตของทรงกลมท้องฟ้าโดยหาค่ามุมตกกระทบ $\cos i$ ของตัวรับรังสีแบบติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ คือ พื้นผิวที่ต้องการการรวมแสงเพื่อให้ได้อุณหภูมิสูงจะเป็นแบบเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ (Solar Tracking) ถ้าตัวติดตามดวงอาทิตย์เป็นแบบติดตามสองทิศทาง (Two-Degree of Freedom Mode) และติดตามดวงอาทิตย์ได้อย่างสมบูรณ์มุมรังสีตกกระทบ i จะมีค่าเป็นศูนย์

$$\cos i = 1 \quad (7)$$

2.2 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งมีหลักการทำงานแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

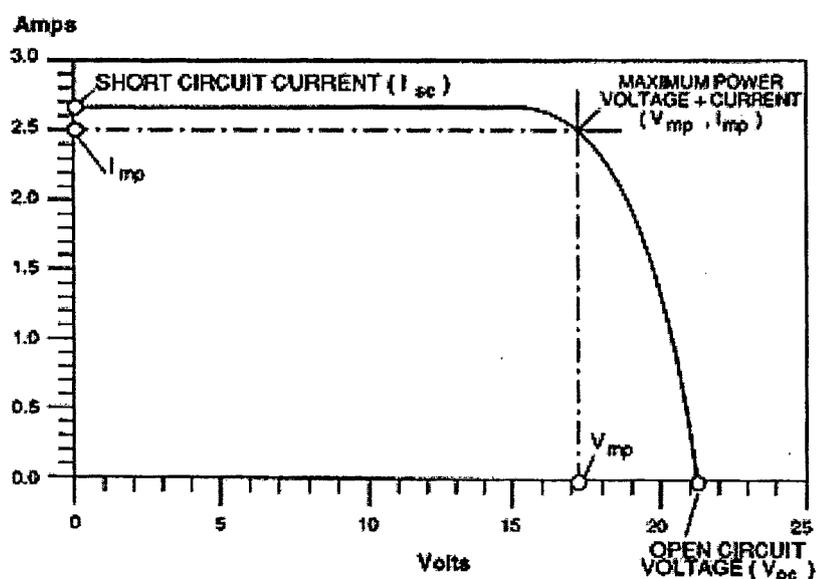
ขั้นตอนที่ (1) N - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารฟอสฟอรัสมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ P type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารโบรอนทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิดมาประกบต่อกันด้วย pn junction จึงทำให้เกิดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะที่ยังไม่มีแสงแดด N type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอนแต่ก็ยังมีโฮลปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยด้านหน้าของ N type จะมีแถบโลหะเรียกว่า (Front electrode) ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน P type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮลแต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ P type ซิลิคอน จะมีแถบโลหะเรียกว่า back electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

ขั้นตอนที่ (2) เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน และโฮลทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กันอิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น N type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น P type

ขั้นตอนที่ (3) อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front electrode และโฮลวิ่งไปรวมกันที่ back electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้า จาก Front electrode และ back electrode ให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่ง เพื่อจับคู่กัน

2.2.1 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

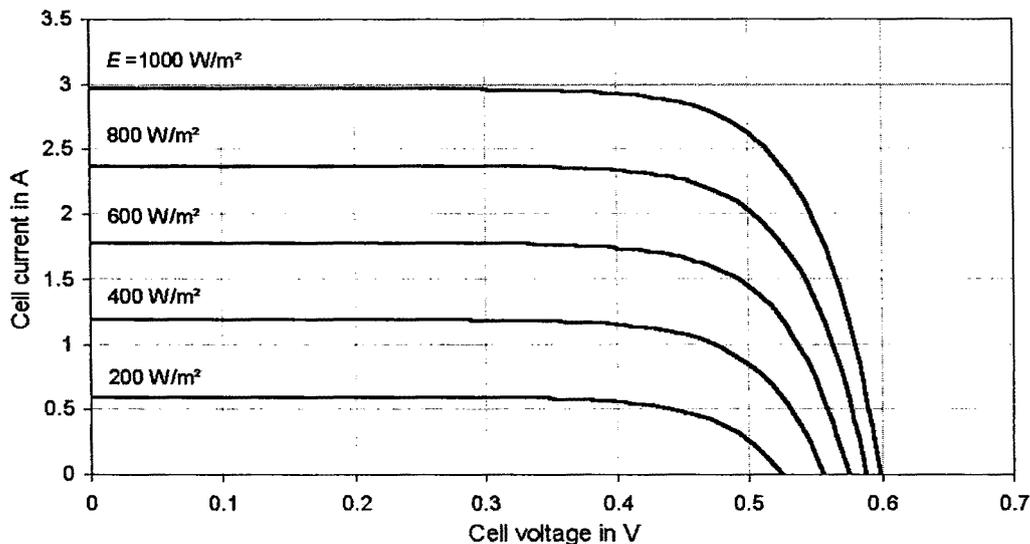
คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแสดงได้โดยใช้ I-V curve ซึ่งมีประโยชน์มากสำหรับใช้ตรวจสอบกำลังผลิตสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ หมายถึงกระแสไฟฟ้า ซึ่งแทนด้วยเส้นกราฟในแกน Y และ V หมายถึง แรงเคลื่อนไฟฟ้าแทนด้วยเส้นกราฟในแกน X



รูปที่ 6 การสร้าง I-V curve

I-V curve มาตรฐานที่ใช้สำหรับหาค่ากำลังผลิตสูงสุด หรือ W_p (peak watts) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ได้มาจากทดสอบในสภาวะมาตรฐานที่กำหนดโดยใช้แสงส่องสว่างมาตรฐาน (Solar simulator) ที่อุณหภูมิของเซลล์คงที่ $25^{\circ}C$ ในการสร้าง I-V curve สิ่งแรกที่ต้องวัดก็คือแรงเคลื่อนไฟฟ้า (V) ที่ไม่มีการต่อโหลดเราเรียกว่า Open circuit voltage เพราะไม่มีกระแสไหลผ่านจะให้ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าในแกน X เมื่อเชื่อมจุดทุกจุดเข้าด้วยกันจะเกิดเป็น I-V curve เมื่อต่อโหลดที่มีค่าต่าง ๆ กัน ค่าของกระแสและแรงเคลื่อนจะถูกบันทึกเก็บไว้ เมื่อต่อภายใต้สภาวะเฉพาะของ Irradiance และอุณหภูมิต่าง ๆ กัน สิ่งที่น่าสนใจที่สุดก็คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (maximum power) ที่ได้ในแต่ละภายใต้สภาวะต่าง ๆ กำลังไฟฟ้าที่ได้มีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) ซึ่งเกิดจากแรงเคลื่อนและกระแสไฟฟ้าสำหรับกำลังไฟฟ้าสูงสุด (maximum

power) จะถูกแทนด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีพื้นที่มากที่สุดภายใต้เส้น I-V curve โดยจุดสัมผัสที่อยู่บนเส้น curve เรียกว่า knee (รูปที่ 7) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์สูงสุด(Wp) หรือ peak watt ค่านี้จะถูกระบุไว้ในข้อกำหนด (Specification) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากบริษัทผู้ผลิต



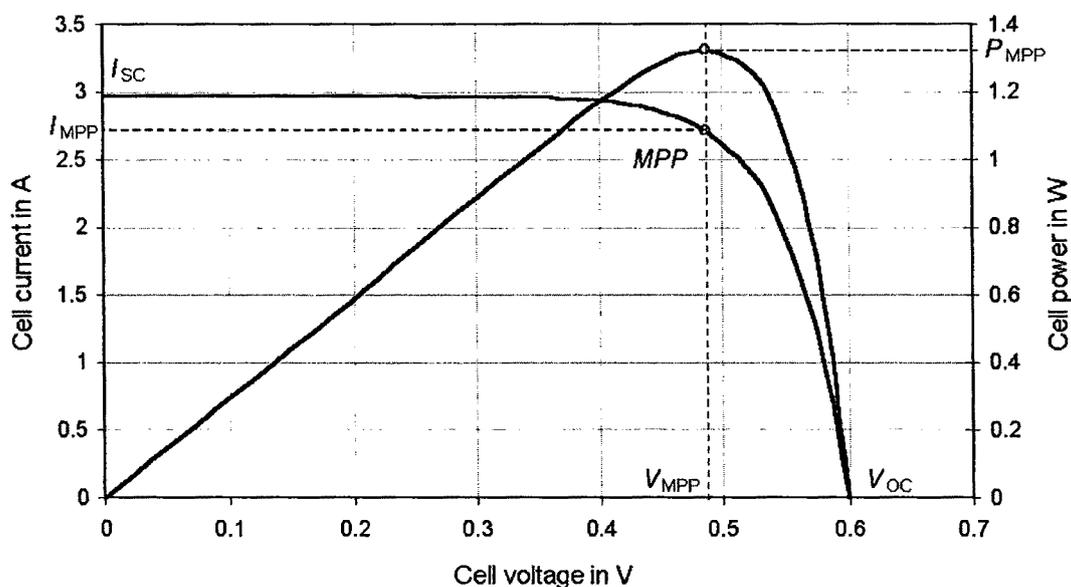
รูปที่ 7 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V curve)

ต่างกับการจ่ายไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่เป็นกระแสสลับ 230 โวลต์ ไม่มีการจำกัดจำนวนอุปกรณ์ที่ใช้ แต่ถ้าเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ยิ่งใช้กระแสมาก แรงเคลื่อนไฟฟ้าก็จะตกจึงมีข้อจำกัดในการใช้ จากการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อธิบายไว้ในตอนต้นจะเห็นได้ว่า โฟตอนในแสงแดดถูกดูดซับโดยเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้เกิดตัวพาประจุ (charge carrier) 1 คู่ ดังนั้นปริมาณกระแสไฟฟ้าจึงขึ้นกับปริมาณความเข้มของแสงอาทิตย์โดยตรงถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ถูกทำให้เกิดการลัดวงจรโดยใช้แอมป์มิเตอร์ค่าที่วัดได้เรียกว่า Short circuit current ซึ่งจะให้ค่าบนแกน Y เพราะว่าในสภาวะการณเช่นนั้นค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุด หมายเหตุ การทำให้เกิดการลัดวงจรในเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับแผงเซลล์

2.2.2 พารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

Wp หมายถึง กำลังผลิตสูงสุด (Peak Watt) กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่บริษัทผู้ผลิตแสดงไว้ที่แผงนั้นได้จาก I -V curve ที่ทดสอบในสภาวะมาตรฐานโดยกำหนดความเข้มของแสงตกกระทบที่ $1,000 \text{ W/m}^2$ ณ อุณหภูมิของเซลล์ 25°C กำลังผลิตสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะสัมพันธ์กับความเข้มของแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิของแผงเซลล์เป็นสำคัญในการใช้งานเพื่อให้เกิดกำลังงานสูงสุด (Maximum power) จึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ต่อพ่วงกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เรียกว่า Maximum Power Point Tracking (MPPT) ถือเป็นตัวที่กำหนดจุดทำงานของแผงเซลล์หรือชุดแผงเซลล์ที่จุดให้กำลังงานสูงสุดจาก I-V curve ซึ่งจุด MPPT นี้สามารถใช้งานได้โดยตรงกับปั้มน้ำประจุแบตเตอรี่และ

เครื่องแปลงกระแส (Inverter) ซึ่งเครื่องแปลงกระแสที่ออกแบบอย่างดีจะมีอุปกรณ์ MPPT อยู่ในเครื่องแล้ว



รูปที่ 8 I-V curve ที่แสดง peak power [4]

ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด (I_m)

เป็นค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้จากจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ต่อโหลด

ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด (V_m)

เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่ต่อโหลด

ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc})

เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่เกิดการลัดวงจร

แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{oc})

เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าในขณะที่เปิดวงจรหรือค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีที่ไม่มีโหลด

ค่าฟิวแฟคเตอร์ (F.F)

ฟิวแฟคเตอร์เป็นค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อผลคูณระหว่างค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$F.F = \frac{P_m}{I_{sc} \times V_{oc}} = \frac{I_m \times V_m}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (8)$$

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีมีคุณภาพนั้นควรมีค่าฟิวแฟคเตอร์มากกว่า 0.7 เพื่อให้จุดทำงานมีค่าใกล้เคียงกับจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ประสิทธิภาพสูงสุด (η_m)

เป็นค่าอัตราส่วนกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อพลังงานที่ได้รับของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งหาค่าได้จากสมการ

$$\eta_m = \left[\frac{P_m}{A_m G_t} \right] \times 100\% \quad (9)$$

เมื่อ A_m คือ พื้นที่รับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

G_t คือ ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m^2)

2.2.3 ผลของอุณหภูมิต่อพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

อุณหภูมิมีผลต่อพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด กำลังไฟฟ้าสูงสุด ดังรายละเอียดต่อไปนี้

ผลของอุณหภูมิต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจร

กระแสไฟฟ้าลัดวงจรสามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังสมการ

$$I_{sc} = \eta_e (1 - r)(1 - e^{-\alpha}) q n_{ph}(E_g) \quad (10)$$

เมื่อ η_e คือ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนคู่อิเล็กตรอน – โฮลให้เป็นกระแสไฟฟ้า

r คือ สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงที่ผิวด้านรับแสงของเซลล์

α คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของเซลล์แสงอาทิตย์ (cm^{-1})

l คือ ระยะทางที่โฟตอนในแสงอาทิตย์ที่สารกึ่งตัวนำซึ่งมีช่องว่างพลังงานเท่ากับสามารถดูดกลืนได้ ($photon/cm^2.s$)

$e^{-\alpha}$ คือ สัดส่วนของโฟตอนที่ทะลุผ่านเซลล์ต่อโฟตอนที่ตกกระทบทั้งหมด

E_g คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำ (eV)

เมื่อพิจารณาช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำจะพบว่าช่องว่างพลังงานจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดังสมการ

$$E_g(T) = E_{go} - \frac{\gamma T^2}{T + \beta} \quad (11)$$

E_{go} คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่ศูนย์องศาสัมบูรณ์เท่ากับ 1.16 (eV)

$E_g(T)$ คือ ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิใด ๆ (eV)

γ คือ ค่าคงที่เฉพาะสารกึ่งตัวนำใด ๆ สำหรับซิลิกอน

$$\gamma = 7.02 \times 10^{-4} \text{ (eV/K)}$$

β คือ ค่าคงที่เฉพาะของสารกึ่งตัวนำใด ๆ สำหรับซิลิกอน

$$\beta = 1108 \text{ (K)}$$

เมื่ออุณหภูมิของสารกึ่งตัวนำเพิ่มขึ้นช่องว่างพลังงานจะลดลงสำหรับซิลิกอนช่องว่างพลังงานจะลดลงประมาณ 2.3×10^{-4} eV/K ดังนั้นจำนวนโฟตอนที่มีพลังงานมากกว่าช่องว่างพลังงาน (η_{ph}) จะมีจำนวนเพิ่มขึ้นเป็นผลให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรมากขึ้น

ตารางที่ 1 แสดงค่าของช่องว่างพลังงานของซิลิกอนที่อุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งจะพบว่าช่องว่างพลังงานของซิลิกอนจะเปลี่ยนไปเล็กน้อยขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 25°C ถึง 70°C ด้วยเหตุนี้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรถึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยขณะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในทางปฏิบัติอาจจะถือว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อกระแสไฟฟ้าลัดวงจรก็ได้



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	
ห้องสมุดงานวิจัย	
วันที่.....	5 ส.ค. 254
เลขทะเบียน.....	241749
เลขเรียกหนังสือ.....	

ตารางที่ 1 ช่องว่างพลังงานของซิลิกอนกับอุณหภูมิ

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

ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันไฟฟ้าวงจรถัด

$$V_{oc} = qN_c N_c A_p \left[\frac{1}{N_A} \sqrt{\frac{D_n}{\tau_n}} + \frac{1}{N_D} \sqrt{\frac{D_p}{\tau_p}} \right] e^{-E_g / KT} \quad (12)$$

โดยให้เทอมของ

$$\sqrt{\tau_n} = \frac{L_n}{\sqrt{D_n}} \quad (13)$$

$$\sqrt{\tau_p} = \frac{L_p}{\sqrt{D_p}} \quad (14)$$

$$N_c = 2 \left[\frac{2\pi m_e * KT}{h^2} \right]^{3/2} \quad (15)$$

$$N_v = 2 \left[\frac{2\pi m * KT}{h^2} \right]^{3/2} \quad (16)$$

เมื่อ

- N_c คือ ความหนาแน่นประสิทธิผลของอิเล็กตรอนสเตทในแถบตัวนำ (effective density of state conduction band) (cm^{-3})
- N_v คือ ความหนาแน่นประสิทธิผลของโฮลสเตทในแถบวาเลนซ์ (effective density of state in valence band) (cm^{-3})
- D_n คือ ค่าคงที่ของการแพร่ของอิเล็กตรอน (electron diffusion constant) (cm^2/s)
- D_p คือ ค่าคงที่ของการแพร่ของโฮล (hole diffusion Constant) (cm^2/s)
- L_n คือ ระยะแพร่ของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดพี (electron diffusion length) (cm)
- N_D คือ ความหนาแน่นของคอนเนอร์ (cm^3)
- N_A คือ ความหนาแน่นของแอกเซปเตอร์ (cm^3)
- A_p คือ พื้นที่หน้าตัดของรอยต่อ m^2
- m_e คือ มวลประสิทธิภาพของอิเล็กตรอน (electron effective mass) (kg)
- m_h คือ มวลประสิทธิภาพของโฮล (hole effective mass) (kg)
- h คือ ค่าคงที่ของพลังค์ (Planck Constant) (Js)

จำนวนอิเล็กตรอนหรือโฮลในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์เป็นไปตามสมการ

$$n_i^2 = N_c N_v e^{-E/kT} \quad (17)$$

จากสมการสามารถเขียน V_{oc} ใหม่ได้ดังนี้

$$V_{oc} = q A_p n_i^2 \left[\frac{D_n}{N_A L_n} / \frac{D_p}{N_D L_p} \right] \quad (18)$$

ค่า n_i^2 สำหรับซิลิกอนมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ดังสมการ

$$n_i^2 = 1.54 \times 10^{33} T^{3/2} e^{-6080/T} \quad (19)$$

ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น n_i , L_n และ L_p จะเพิ่มขึ้นแต่การเพิ่มของ n_i จะมากกว่าการเพิ่มของ L_n และ L_p ซึ่งเป็นผลให้กระแสอิ่มตัวย้อนกลับเพิ่มขึ้นเมื่อกระแสอิ่มตัวย้อนกลับมากขึ้นค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดจะลดลง

ผลของอุณหภูมิต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุด
กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในอัตรา
ร้อยละ 0.3 ต่อ องศาเซลเซียส

$$P_m = P_m (STC) [1 - 0.003(T_{cell} - 25)] \quad (20)$$

เมื่อ

$P_m (STC)$ = กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน

T_{cell} = อุณหภูมิของเซลล์ในหน่วยองศาเซลเซียส

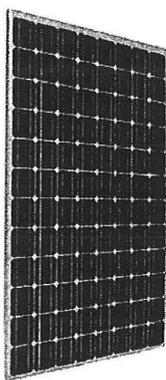
ดังนั้นถ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานมีกำลังไฟฟ้าสูงสุด 40 W เมื่อนำมาใช้งานที่
อุณหภูมิของเซลล์ 55 ° C กำลังไฟฟ้าสูงสุดจะเหลือ 37 W ทำนองเดียวกัน ประสิทธิภาพสูงสุดจะ
มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิดังสมการ

$$\eta_m = \eta_m (STC)[1 - 0.003(T_{cell} - 25)] \quad (21)$$

2.3 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์สามารถจำแนกตามวัสดุที่นำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้ 2 ประเภท คือ เซลล์
แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิคอน (Silicon) กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากสารประกอบ

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิคอน (Silicon) คือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตมาจากธาตุซิลิคอนแบ่งตาม
ลักษณะของรูปผลึกได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) แบบผลึกผสม (Poly-
Crystalline) และแบบอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งบางครั้งอาจเรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง
(Thin Film Solar Cell) ดังรูปที่ 9



(ก)



(ข)

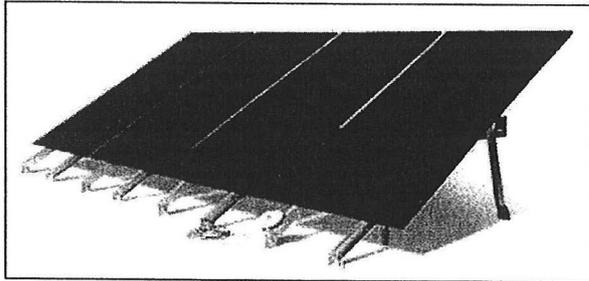


(ค)

(ก.แบบผลึกเดี่ยว ข.แบบผลึกผสม ค.แบบอสัณฐาน)

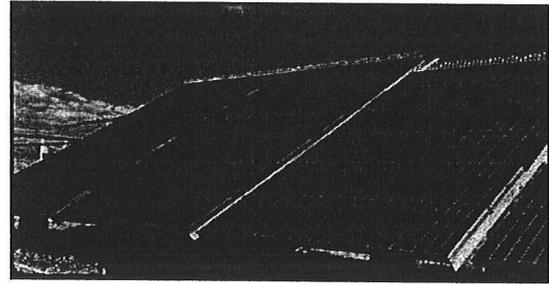
รูปที่ 9 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากซิลิคอน [5]

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากสารประกอบ คือ เซลล์แสงอาทิตย์ที่นำธาตุตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปมาผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตมาจากสารประกอบแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) คอปเปอร์อินเดียมไดอาร์เซไนด์ (CIS) ดังรูปที่ 6 เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพสูง แต่ข้อเสียของเซลล์ชนิดนี้คือ มีราคาแพง บางชนิดทำจากสารที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม และมีปัญหาเรื่องอายุการใช้งาน



(ก)

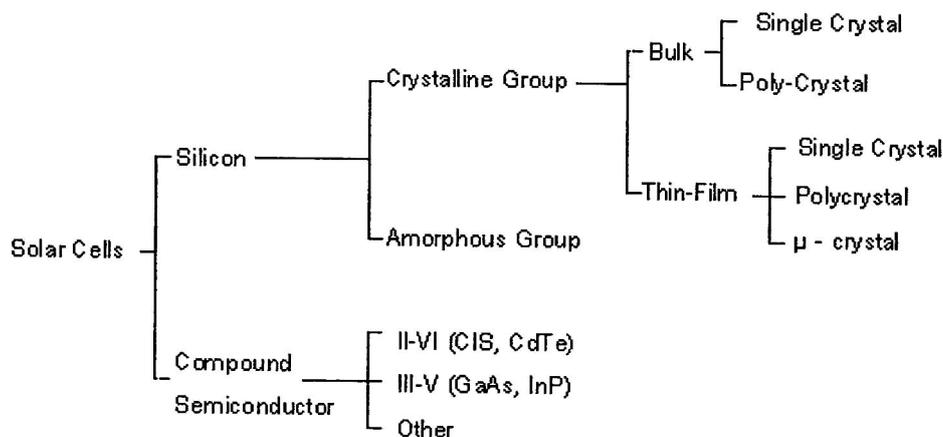
ก. คอปเปอร์อินเดียมไดอาร์เซไนด์ CIS



(ข)

ข. แคดเมียมเทลลูไรด์ CdTe

รูปที่ 10 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากสารประกอบ



รูปที่ 11 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

2.4 การประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ [5]

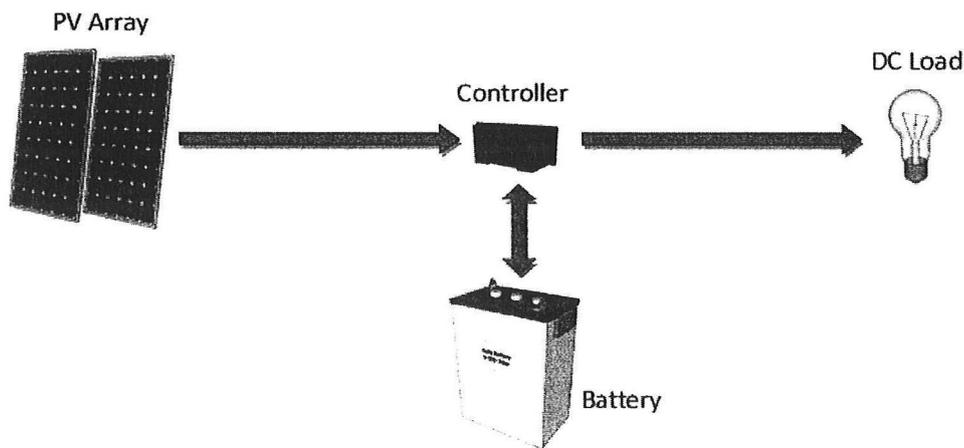
เซลล์แสงอาทิตย์สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การประยุกต์ใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System) และการประยุกต์ใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง (PV Grid Connected System)

2.4.1 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System)

เป็นระบบที่นำเซลล์แสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้ในการผลิตไฟฟ้า โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้าโดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่ใช้ภาระทางไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระใช้ภาระทางไฟฟ้าเป็นแบบไฟฟ้ากระแสสลับ และระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

2.4.2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่มีภาระทางไฟฟ้าเป็นแบบไฟฟ้ากระแสตรง

เป็นระบบที่ใช้ภาระทางไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ซึ่งส่วนประกอบหลักของระบบประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ ภาระทางไฟฟ้า ซึ่งในเวลากลางวันพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นไฟฟ้าจะถูกประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่ โดยมีเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่เป็นตัวควบคุมการประจุไฟฟ้า ในเวลาที่ต้องการใช้งานภาระทางไฟฟ้าแบตเตอรี่จะจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าโดยผ่านเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

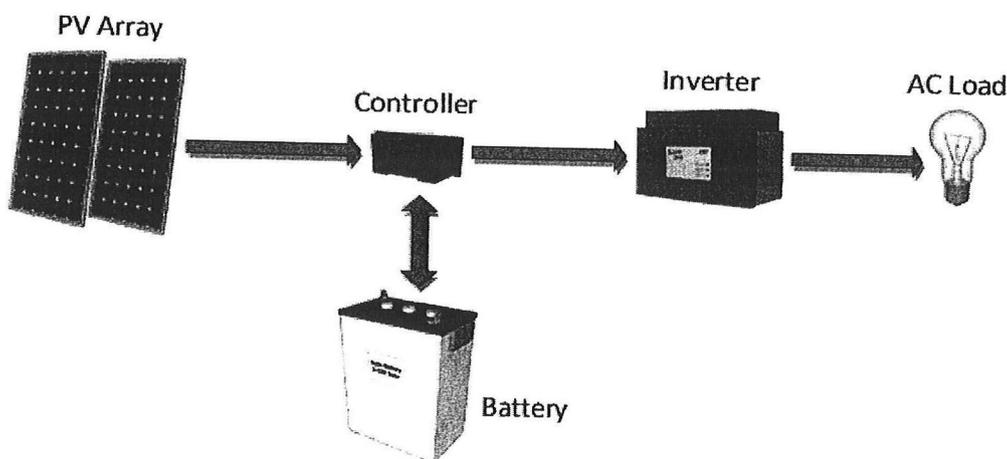


รูปที่ 12 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่ใช้ภาระทางไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสตรง

2.4.3 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระใช้ภาระทางไฟฟ้าเป็นแบบไฟฟ้ากระแสสลับ

เป็นระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีภาระทางไฟฟ้าเป็นไฟฟ้ากระแสสลับมีส่วนประกอบดังต่อไปนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 13 โดยมีหลักการทำงานของระบบคือ ในเวลากลางวันเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่โดยมีเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่

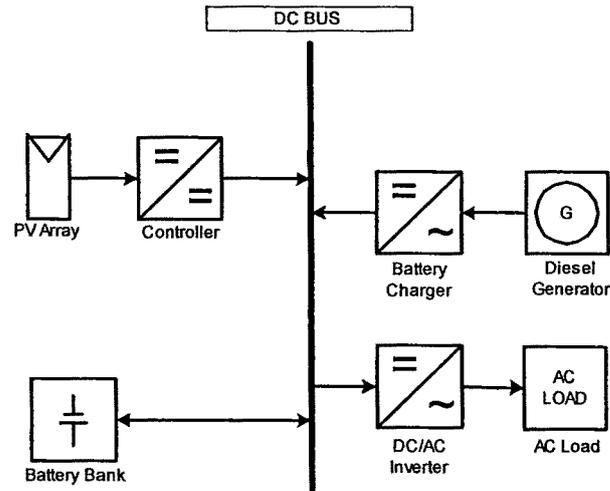
เป็นตัวควบคุมการประจุ ในขณะที่ต้องการใช้ภาระทางไฟฟ้าแบตเตอรี่จะจ่ายไฟฟ้าผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับและจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า



รูปที่ 13 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่มีภาระทางไฟฟ้าเป็นแบบไฟฟ้ากระแสสลับ

2.4.4 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน

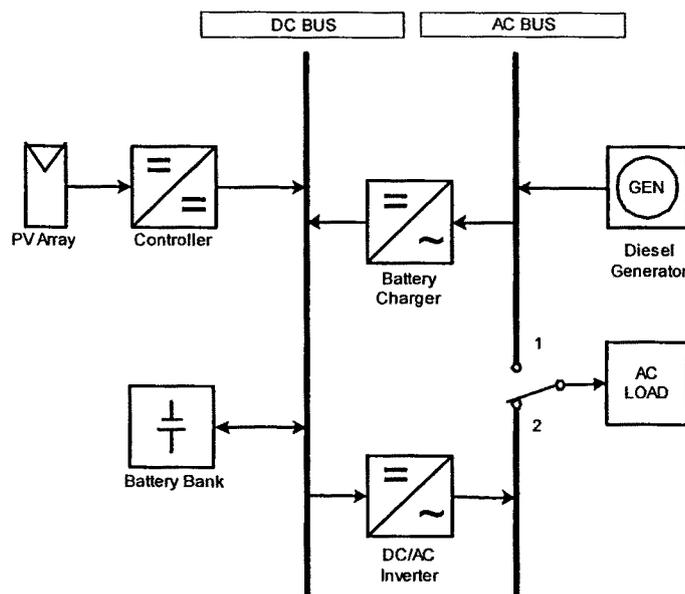
ระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้ามากกว่าสองแหล่งขึ้นไป โดยที่ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานอาจแบ่งตามลักษณะการทำงานของระบบได้ 3 แบบคือ ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบอนุกรม (Series Hybrid System) จากรูปที่ 14 การทำงานของระบบอธิบายได้ว่าไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะถูกประจุไว้ในแบตเตอรี่เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้า ในระบบนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรง ระบบลักษณะนี้ขนาดของแบตเตอรี่และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจะต้องเหมาะสมกับขนาดความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของภาระทางไฟฟ้า ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะต้องมีขนาดเหมาะสม



รูปที่ 14 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบอนุกรม [5]

2.4.5 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบสลับ (Switched Hybrid System)

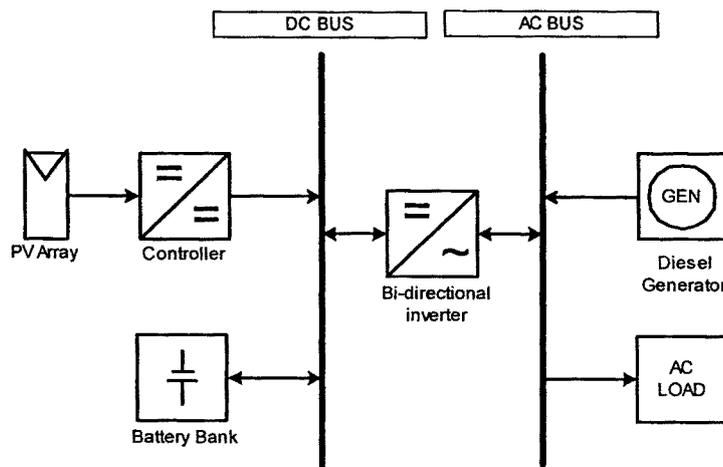
ระบบนี้แบตเตอรี่จะถูกประจุโดยทั้งไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรง ในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยระบบจะจ่ายไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลจะหยุดทำงาน ซึ่งหากมีไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มากเกินไป ไฟฟ้าที่เหลือใช้นี้ก็就会被ประจุเข้าแบตเตอรี่ ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบแบบสลับจะสูงกว่าแบบอนุกรม



รูปที่ 15 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบสลับ [5]

2.4.6 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบขนาน (Parallel hybrid system)

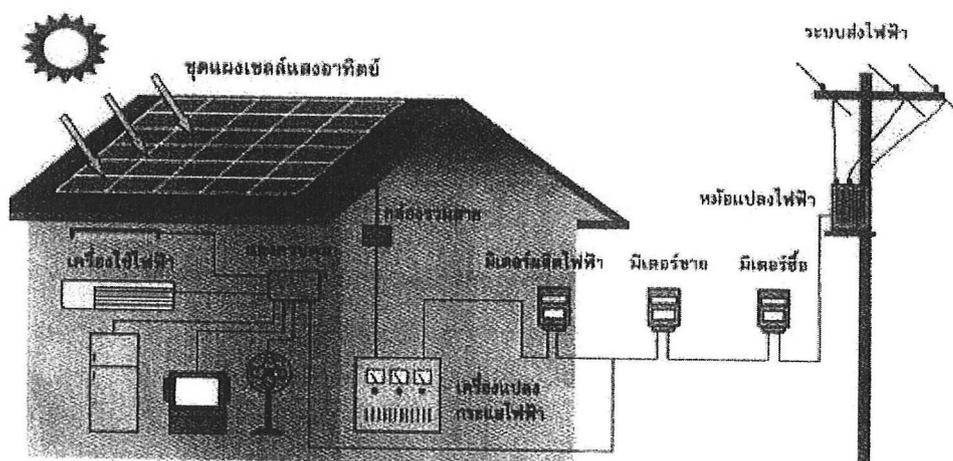
ลักษณะการทำงานคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าได้โดยตรง แผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบแบตเตอรี่ต่ออนุกรมเข้ากับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทาง (Bi-directional inverter) ซึ่งต่อเข้ากับภาระทางไฟฟ้า ในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าต่ำ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ถูกประจุให้กับแบตเตอรี่ ไฟฟ้าที่เหลือจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลถูกประจุเข้าแบตเตอรี่โดยเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทาง ระบบนี้มีข้อดีกว่าระบบแบบอนุกรมและสลัปคือมีประสิทธิภาพการทำงานที่สูงกว่าทั้งสองระบบแรก และคุณภาพของกระแสไฟฟ้าของระบบที่ดีกว่า การควบคุมระบบทำได้ง่ายกว่า



รูปที่ 16 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสานแบบขนาน [5]

2.4.7 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง (PV Grid Connected System)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แล้วจ่ายให้กับไฟฟ้าของการไฟฟ้าซึ่งการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งของการไฟฟ้าของการไฟฟ้าต้องมีข้อควรคำนึงหลายอย่างเช่น ระบบต้องหยุดทำงานเมื่อไฟฟ้าของการไฟฟ้าดับเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดกับพนักงานของการไฟฟ้าเข้ามาซ่อมระบบ และพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ระบบผลิตจากระบบจะต้องได้มาตรฐาน เช่น แรงดันไฟฟ้า ความถี่ ความเพี้ยนของรูปคลื่น (Harmonic) เป็นต้น



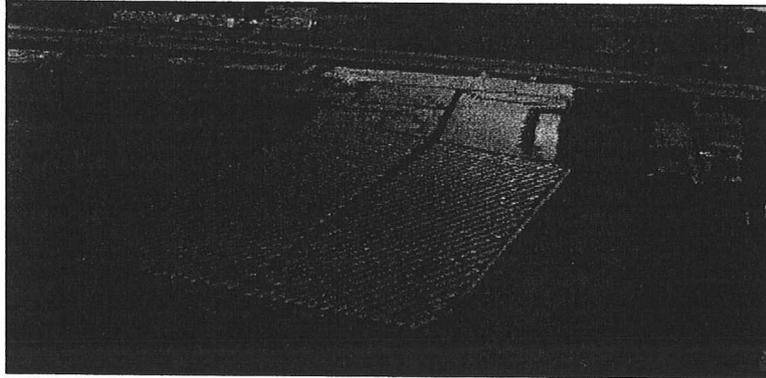
รูปที่ 17 การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง

ซึ่งการทำงานของระบบคือเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าในเวลากลางวัน ไฟฟ้าที่ผลิตได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V 50 Hz จ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าภายในบ้าน กรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าความต้องการของการใช้ภาระทางไฟฟ้าภายในบ้าน ไฟฟ้าส่วนที่เหลือจะส่งเข้าระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าโดยผ่านมิเตอร์ขายในกรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ไม่เพียงพอกับความต้องการของการใช้ภาระทางไฟฟ้าภายในบ้านหรือในเวลากลางคืนระบบก็จะนำไฟฟ้ามาจากระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระไฟฟ้าภายในบ้านอย่างเพียงพอโดยผ่านมิเตอร์ซื้อ

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งยังสามารถแบ่งการประยุกต์ใช้งานได้เป็น 3 แบบ ตามลักษณะการติดตั้ง ได้แก่

2.4.8 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งที่เป็นสถานี (PV Station)

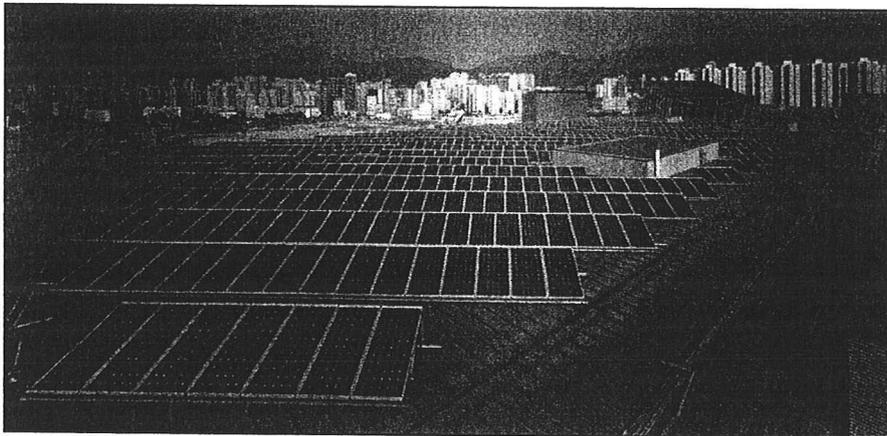
เป็นระบบขนาดใหญ่ที่ใช้พื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมากซึ่งระบบจะใช้สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าจำนวนมากๆ



รูปที่ 18 โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.267 MW จังหวัดอ่างทอง [6]

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งที่ติดตั้งกับหลังคา (PV Roof Top)

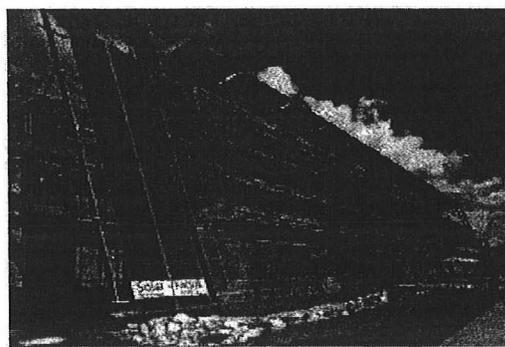
เป็นการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งร่วมกับหลังคาเพื่อผลิตไฟฟ้าใช้ภายในบ้านและช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้าน ส่วนประกอบหลักของระบบก็เหมือนกับระบบ PV Grid Connected ทั่วไป



รูปที่ 19 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งที่ติดตั้งบนหลังคา

ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งที่ติดตั้งร่วมกับอาคาร (Building Integrated Photovoltaic System: BIPV)

เป็นการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเป็นส่วนหนึ่งกับตัวอาคารเพื่อผลิตไฟฟ้า สำหรับเทคโนโลยีนี้ จำเป็นต้องมีความรู้หลายศาสตร์เข้ามารวมกัน เช่นการออกแบบ ความรู้ทางด้านวิศวกรรม สถาปัตยกรรม และความรู้ทางด้านพลังงาน



รูปที่ 20 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งที่ติดตั้งร่วมกับอาคาร [5]

2.5 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบติดตามดวงอาทิตย์

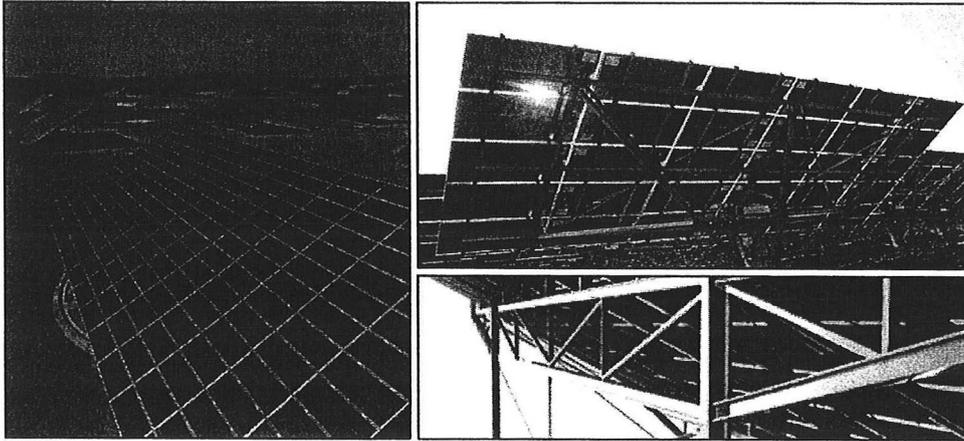
ปัจจุบันการระบบติดตามดวงอาทิตย์ (Solar Tracking) เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้เซลล์แสงอาทิตย์หันเข้าหาดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ซึ่งตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาจากตะวันออกไปตะวันตก ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงมุมกับพื้นระนาบตามฤดูกาล โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานได้ดีที่สุดเมื่อตั้งฉากกับแสงอาทิตย์ตลอดเวลา ดังนั้นระบบติดตามดวงอาทิตย์จะสามารถทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นได้เมื่อเทียบกับระบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ ดังนั้นการติดตั้งระบบติดตามดวงอาทิตย์ส่วนมากเป็นการติดตั้งให้กับโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในต่างประเทศเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ระยะเวลาคืนทุนเร็วขึ้น

2.5.1 ประเภทของระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์ [5]

ซึ่งประเภทของระบบควบคุมตำแหน่งการติดตามดวงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

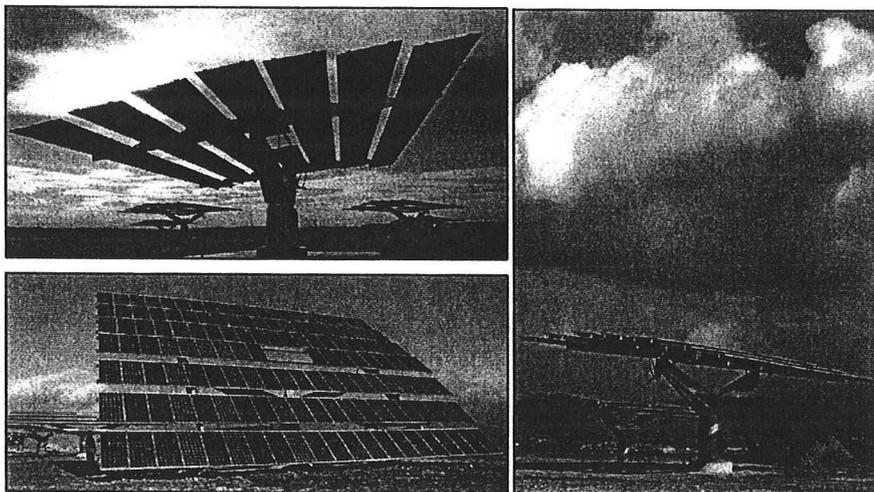
ระบบควบคุมการติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวและสองแกน

การติดตามแนวแกนเดียว (One or Single Axis Tracking) คือการติดตามดวงอาทิตย์ในแนวตะวันออกไปแนวตะวันตก การติดตามประเภทนี้จะสนใจเฉพาะทางเดินของดวงอาทิตย์ในแต่ละวัน โดยที่แนวเบี่ยงเบนของทางเดินในแต่ละวันถือว่าไม่มากนัก ซึ่งแบ่งการหมุนออกเป็นแนวตะวันออก-ตะวันตก หรือเป็นการหมุนในแนว เหนือ -ใต้ เท่านั้น ดังรูปที่ 21



รูปที่ 21 ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว [5]

การติดตามสองแนวแกน (Two Axis Tracking) เป็นการติดตามในแนวตะวันออกไปยังตะวันตก และแนวทิศเหนือไปทิศใต้ดังรูปที่ 22 ซึ่งข้อดีของระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนคือสามารถหมุนตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา แต่ก็ข้อเสียคือมีราคาแพงกว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวดังตารางที่ 2 เป็นการเปรียบเทียบข้อดี ข้อเสียของระบบติดตามดวงอาทิตย์ทั้ง 2 แบบ



รูปที่ 22 ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกน

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดี่ยวและแบบสองแกน [5]

ชนิดของระบบ	ประสิทธิภาพ	ราคา	ระยะห่าง ในการติดตั้ง
1 แกน	2	1	1
2 แกน	1	2	2

หมายเหตุ: 1 = better; 2 = worse

จากการคำนวณเปรียบเทียบปริมาณแสงที่บนระนาบของตัวรับแสงอาทิตย์ ในกรณีที่มีการติดตามตำแหน่งแบบสองแกน (ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก และแนวเหนือ-ใต้) กรณีที่มีการติดตามแบบแกนเดี่ยว (ตามตะวันออก-ตะวันตก) และกรณีที่ติดตั้งอยู่กับที่ โดยไม่คิดผลของสภาพอากาศท้องถิ่น พบว่าการใช้ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบสองแกนจะได้รับพลังงานเฉลี่ยต่อปีเพิ่มขึ้นจากกรณีที่มีการติดตามแนวแกนเดี่ยวประมาณ 5 - 10 % และได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นจากกรณีที่ติดตั้งอยู่กับที่ประมาณ 50 % จากกรณีที่คิดผลของสภาพอากาศท้องถิ่นความแตกต่างของปริมาณรังสีตรงที่ได้รับในทั้งสามกรณีจะลดลงเนื่องจากการลดลงของปริมาณรังสีตรงจากดวงอาทิตย์บนตัวรับแสง โดยความสามารถในการผลิตขึ้นอยู่กับการควบคุมตำแหน่งของระบบติดตามดวงอาทิตย์ให้มีการติดตามดวงอาทิตย์อยู่ตลอดเวลา โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด

ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบอัตโนมัติและกึ่งอัตโนมัติ [5]

การคำนวณตำแหน่งโดยอาศัยข้อมูลของทางเดินดวงอาทิตย์ในอดีตทำได้โดยการเก็บข้อมูลเป็นชั่วโมงต่อชั่วโมง ในแต่ละวันเป็นช่วงๆ ในหนึ่งปี เพื่อนำมาคำนวณตำแหน่งโดยใช้ Polynomial Curve Fitting โดยใช้ข้อมูลในอดีตเพื่อเป็นค่าประมาณให้กับตำแหน่งที่จะให้ระบบติดตามดวงอาทิตย์ หรือทำโดยการใช้สูตรคำนวณตำแหน่งปัจจุบันของดวงอาทิตย์ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่มีความถูกต้องและเชื่อถือได้ สำหรับการบอกถึงตำแหน่งปัจจุบันของดวงอาทิตย์ แต่จะต้องไม่ถูกรบกวนจากภายนอก เช่น เมฆ ซึ่งจะทำให้ตำแหน่งที่ได้รับพลังงานคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงและเนื่องจากระบบควบคุมไม่ซับซ้อน ไม่มีการป้อนกลับ จึงไม่อาจปรับแก้ตำแหน่งได้ ทำให้ต้องใช้การคำนวณหรือหน่วยความจำมาก และไม่มีการคำนึงถึงผลที่จะได้รับการหมุนก่อนการหมุนจริงการติดตามโดยใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราการเคลื่อนที่ของโลกคือ 15 องศาต่อชั่วโมง (360 องศาใน 24 ชั่วโมง) การติดตามอาจเป็นแบบลานนาฬิกา โดยใช้เฟืองทดแรงและแรงเหวี่ยงของตุ้มนาฬิกาให้มีความเร็ว 15 องศาต่อชั่วโมง โดยการติดตามดวงอาทิตย์แบบระบบเฟืองทดและขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ให้มีความเร็ว 15 องศาต่อชั่วโมงเป็นการบังคับให้หมุนในทิศทางเดียว ซึ่งเป็นการใช้ระบบควบคุมความเร็วให้คงที่ในการหมุนแรงแซลล์เพื่อให้ไปพร้อมกับความเร็วเฉลี่ยของดวงอาทิตย์จึงทำให้ระบบไม่ซับซ้อนและการบำรุงรักษาง่าย แต่ไม่มีการป้อนกลับตำแหน่ง ดังนั้นหากตำแหน่งเริ่มต้นคลาดเคลื่อนจะทำให้ค่าผิดพลาดเป็นลักษณะสะสมและเนื่องจากการหมุนในทิศทาง

เดียวและไม่มีการป้อนกลับ จึงไม่อาจลดผลกระทบเนื่องจากการรบกวนภายนอกได้และไม่มีการทำนายผลที่ได้รับเนื่องจากการหมุนก่อนการหมุนจริง

การติดตามแบบอัตโนมัติหรือกึ่งอัตโนมัติ

- โดยใช้เซนเซอร์ 1 ตัว โดยอาศัยเซนเซอร์เคลื่อนที่ต่างหากจากแผงเซลล์หลักและการป้อนกลับเพื่อควบคุมตำแหน่งแบบสัมพัทธ์
- โดยใช้เซนเซอร์ 2 ตัว แล้วทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของแรงเคลื่อนไฟฟ้าของเซนเซอร์ทั้งสองเพื่อใช้การขยายสัญญาณผลต่างดังกล่าวในการป้อนกลับให้มอเตอร์หมุนในทิศทางที่ลดผลต่างนั้น
- โดยใช้เซนเซอร์ 3 ตัว ซึ่งอาศัยการบังแสงของกระบอกรับแสงและการตรวจสอบทางตรรกะของเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว เพื่อให้สอดคล้องกับธรรมชาติของโลกกับดวงอาทิตย์ในการป้อนกลับให้มอเตอร์หมุนในทิศทางที่ให้ผลที่ต้องการ ซึ่งนี่เป็นวิธีที่มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้นเนื่องจากการควบคุมแบบป้อนกลับ จึงเป็นเป็นการเคลื่อนที่ตามตำแหน่งปัจจุบันของดวงอาทิตย์ และลดผลกระทบเนื่องจากการรบกวนภายนอกได้ แต่วิธีนี้ไม่มีการประมาณหรือทำนายผลที่ได้รับเนื่องจากการหมุนก่อนมีการหมุนจริง

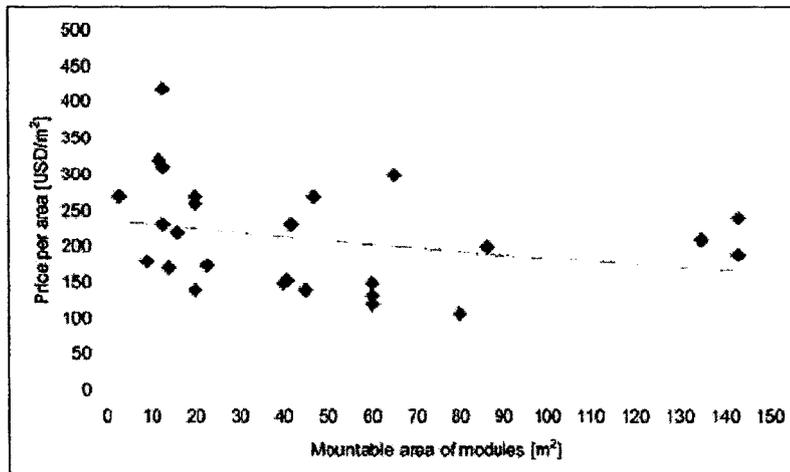
แบ่งตามรูปแบบที่ใช้ในการติดตามดวงอาทิตย์

ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบพาสซีฟ (Passive Controlled Unit) เป็นระบบที่ปราศจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่อาศัยการเปลี่ยนสถานะของของเหลว โดยที่มวลของของเหลวที่ถ่ายเทไปมาจะทำหน้าที่ยกแผงพลังงานนี้ให้เคลื่อนที่ไปเสมือนว่าแผงเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ ข้อดีของระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบนี้คือ ไม่ต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าในการเคลื่อนที่ แผงรับพลังงานต้องการการบำรุงรักษา น้อยมากเมื่อเทียบกับระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบอื่น แต่จะมีความแม่นยำที่ค่อนข้างต่ำ

ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบที่มีไมโครโพรเซสเซอร์ควบคุม (Microprocessor Controlled Unit) เป็นระบบที่มีการควบคุมตำแหน่งการติดตามด้วยไมโครโพรเซสเซอร์ อาจระบุตำแหน่งดวงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากสมการ หรืออาจทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์ที่ออกแบบมา โดยเฉพาะ ข้อดีคือมีความแม่นยำค่อนข้างสูง แต่มีค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบที่ค่อนข้างสูงเหมือนกัน

ระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบใช้อุปกรณ์ตรวจจับแสงร่วมกับวงจรควบคุม (Electro-Optically Controlled Unit) ซึ่งอาศัยอุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์โดยการตรวจจับรังสีตรง ด้วยอุปกรณ์ที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความเข้มแสงซึ่งสามารถประยุกต์เอาคุณสมบัติดังกล่าวมาใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับรังสีตรงดวงอาทิตย์ได้ เช่น โฟโตไดโอด (Photo diode) โฟโตทรานซิสเตอร์ (Photo Transistor) หรือแอลดีอาร์(LDR) เป็นต้น ส่วนสำคัญของเทคนิคการติดตามดวงอาทิตย์ในลักษณะนี้คือ อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งดวงอาทิตย์และความแม่นยำในการติดตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ ขึ้นกับความเข้มแสงเป็นส่วนใหญ่ ระบบอาจไม่ทำงานในสภาพที่มีแสงน้อย เช่น เมื่อการบังเงาของเมฆหรือในสภาพที่

ห้องฟ้ามีดคลุ้ม อย่างไรก็ตามในงานบางอย่างอาจไม่จำเป็นต้องติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา ซึ่งการติดตามดวงอาทิตย์ในลักษณะเป็นช่วงเวลาอาจได้รับประโยชน์มากกว่าในแง่ของการประหยัดพลังงาน สำหรับพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลเกี่ยวกับขนาดของระบบติดตามดวงอาทิตย์ คือจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง ยิ่งระบบสามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากทำให้น้ำหนักที่กระทำกับโครงสร้างเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้องใช้ชิ้นส่วนของโครงสร้างเพิ่มมากขึ้นทำให้ราคาของระบบสูงขึ้น แต่จากผลการศึกษาพบว่าระบบติดตามดวงอาทิตย์มีขนาดใหญ่จะมีแนวโน้มราคาของระบบต่อตารางเมตรถูกกว่าระบบที่มีขนาดเล็ก ดังรูปที่ 23



รูปที่ 23 แนวโน้มราคาของระบบติดตามดวงอาทิตย์ต่อตารางเมตร [5]

2.6 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบขับเคลื่อน

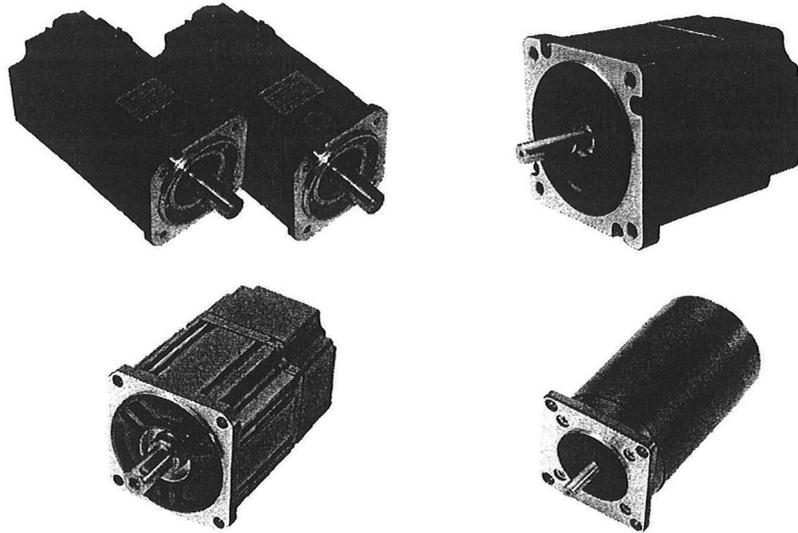
ระบบขับเคลื่อนคือสิ่งที่ใช้ในการแปลงพลังงานในการเคลื่อนไหวก็สามารถใช้ ในรูปแบบอื่น เช่น เครื่องกลไกที่ใช้พลังงานที่สร้างขึ้นจากอากาศ ของเหลวหรือไฟฟ้าและแปลงพลังงานที่ได้นี้ในรูปแบบของการเคลื่อนไหว โดยทั่วไประบบขับเคลื่อนที่ใช้จะมีหลายแบบหลายชนิด เช่น Hydraulics เป็นการใช้น้ำมันเป็นตัวขับเคลื่อนซึ่งจะไม่ได้ได้รับความนิยมนำมาใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็ก ส่วนมากจะใช้กับแขนกลที่อยู่ในโรงงาน ประตูอัตโนมัติของรถประจำทาง รถดักหรือรถขุดดินที่ใช้ในการก่อสร้าง ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ Hydraulics ในการขับเคลื่อนทั้งนั้น แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ Single Acting Cylinder หมายถึงกระบอกที่มีรูน้ำมันไหลเข้าและออกจากกระบอกสูบเพียงรูเดียว ส่วนใหญ่ก้านสูบจะเลื่อนกลับได้โดยใช้น้ำหนักของภาระและสปริงดันกลับ ส่วนกระบอกสูบอีกประเภท คือ Double Acting Cylinder หมายถึง กระบอกที่มีจำนวนรูน้ำมันไหลเข้าและออกจากกระบอกสูบเพื่อไปดันในก้านสูบเลื่อนเข้าและเลื่อนออก จำนวน 2 รู Pneumatics เป็นระบบขับเคลื่อนที่ใช้ลมอัดอากาศเข้าไปในกระบอกสูบซึ่งคล้ายกับระบบ Hydraulics

แตงบประมาณค่อนข้างสูงและระบบจะมีความซับซ้อนมากขึ้น ที่สำคัญจะต้องระวังเรื่องความปลอดภัย ด้วย เนื่องจากเกิดจากการรั่วของระบบหรือเกิดแรงดันมากเกินไป Motors ถือว่าเป็นระบบขับเคลื่อนที่ได้รับความนิยมมากที่สุด โดยเป็นระบบที่เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล สามารถนำไปใช้ได้หลายแบบไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กขนาดกลาง หรือขนาดใหญ่ก็ตาม ซึ่งแบ่งประเภทของมอเตอร์ออกเป็นสองประเภทใหญ่ๆ คือมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ Alternating current (AC Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้กับไฟกระแสสลับหรือไฟฟ้าที่เราใช้กันตามบ้านเรือนทั่วไป จะมีแรงดันไฟฟ้า 210-230 โวลต์ แต่มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับบางชนิดอาจเป็นมอเตอร์ที่ใช้ไฟสามเฟส ซึ่งมีแรงดัน 380 โวลต์ ส่วนใหญ่จะนิยมใช้กันในโรงงานมากกว่า มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับไม่เหมาะที่จะนำมาใช้งานกับอุปกรณ์ขนาดเล็กเนื่องจากมีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และต้องระมัดระวังเพราะใช้ไฟฟ้ากระแสสลับอาจเกิดอันตรายถึงเสียชีวิตได้

มอเตอร์ ไฟฟ้ากระแสตรง Direct current (DC Motor) แบ่งออกเป็นสามประเภทหลัก คือ

1. DC Motor = Gear Head / Gear Box
2. Stepper Motor = Unipolar / Bipolar
3. Servo Motor = Digital / Analog

มอเตอร์ทั้งสามชนิดส่วนใหญ่นิยมใช้กันมาก ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้ได้หลายรูปแบบ แต่จะให้เลือกใช้แบบไหนก็ต้องดูจากรูปแบบการขับเคลื่อนเป็นหลัก สำหรับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงชนิดที่มีเฟืองซึ่งทำหน้าที่ลดความเร็วลงแต่ได้แรงบิดเพิ่มขึ้น ในการที่จะออกแบบระบบนั้นสิ่งที่เราต้องคำนึงคือ องศาอิสระในการเคลื่อนที่และแรงบิดของจุดหมุน แต่ถ้าไม่ซีเพื่อความเร็วแต่เน้นในเรื่องของการกำหนดตำแหน่งและความละเอียดแม่นยำ ควรใช้มอเตอร์แบบ Servo Motor และ Stepper Motor แต่อย่างไรก็ตามในการเลือกใช้มอเตอร์ควรจะเลือกใช้ให้เหมาะสมกับงานดีที่สุด



รูปที่ 24 มอเตอร์แบบ Servo Motor (ซ้าย) และ Stepper Motor (ขวา) [7]

ข้อดีและข้อเสียระหว่างมอเตอร์กระแสตรง (DC motor) และมอเตอร์กระแสสลับ (AC motor)

ข้อดีของ DC motor

1. การควบคุมแรงบิดหรือความเร็วทำได้ง่ายและดีมาก
2. มีผลตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง (response) ได้รวดเร็ว
3. การปรับความเร็วสามารถทำได้ในช่วงกว้าง

ข้อเสียของ DC motor

1. การบำรุงรักษาสูงมากเนื่องจากมีส่วนสึกหรอของแปรงถ่าน
2. ราคาแพงมากเมื่อเทียบกับ AC motor ที่มีขนาดกำลังแรงม้าเท่ากัน
3. มีขนาดใหญ่กว่า AC motor ที่มีขนาดแรงม้าเท่ากัน
4. หาแหล่งจ่ายที่เป็นไฟกระแสตรงได้ยาก
5. ไม่สามารถนำไปใช้ในที่ที่มีสารไวไฟได้

ข้อดีของ AC motor

1. ราคาถูกกว่า DC motor ที่ขนาดพิกัดกำลังเท่ากัน เช่น ที่ 2 แรงม้า AC = 4500 บาท, DC = 20000 บาท
2. มีลักษณะโครงสร้างง่าย ไม่ซับซ้อน และเล็กกว่า DC motor ที่พิกัดเท่ากัน
3. การบำรุงรักษาน้อยมาก แข็งแรงทนทาน
4. ใช้ในสถานที่ที่มีสารไวไฟ หรือสารเคมีได้
5. มีประสิทธิภาพสูงกว่า DC motor
6. หาซื้อได้ง่าย เป็นที่นิยม

ข้อเสียของ AC motor

การควบคุมความเร็วทำได้ยากมาก จะต้องใช้อุปกรณ์ทาง Power electronics มาควบคุมคือ inverter ซึ่งค่อนข้างจะมีราคาสูงมาก

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบข้อมูลของระบบขับเคลื่อนแต่ละชนิด [5]

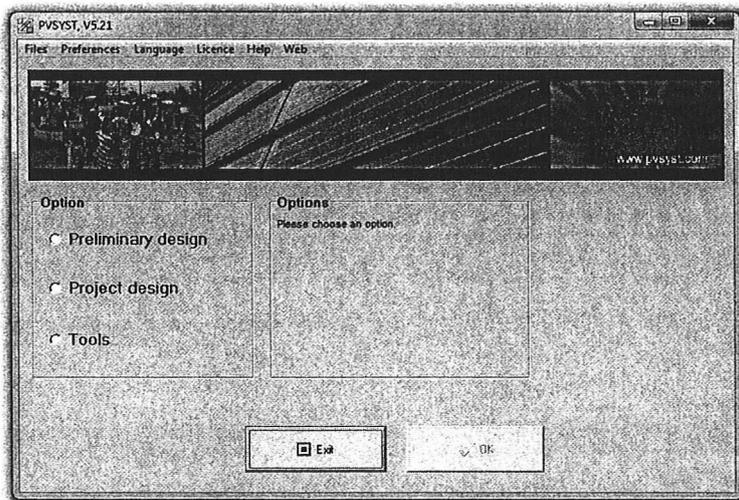
รายละเอียดของระบบ		ระบบการทำงาน		
		ไฟฟ้า/ อิเล็กทรอนิกส์	ไฮดรอลิก	นิวแมติก
ระบบขับเคลื่อน	การเคลื่อนที่แบบเส้นตรง	ยาก	ง่าย	ง่าย
	การเคลื่อนที่แบบหมุน	ง่าย	ค่อนข้างยาก	ค่อนข้างยาก
	กำลังขับ	ขนาดเล็ก-ใหญ่	ขนาดกลาง-เล็กมาก	ขนาดเล็ก-กลาง
	การปรับกำลังขับ	ยาก	ง่าย	ง่าย
	ความเร็วที่ขับได้	กลาง-สูง	ต่ำ-กลาง	ต่ำ-สูง
	ความคงที่ของความเร็ว	ดี	ดี	ไม่คงที่ที่ความเร็วต่ำ
	โครงสร้าง	ค่อนข้างซับซ้อน	ค่อนข้างซับซ้อน	ง่าย
	การรับภาระเกินพิกัด	ยาก	ค่อนข้างง่าย	ง่าย
	การตอบสนอง	ดีมาก	ดี	ดีแต่ขึ้นอยู่กับภาระ
	อิสระในการติดตั้ง	ปานกลาง	มาก	มาก ๆ
	มาตรการป้องกันเวลาไฟฟ้าดับ	ยาก	เป็นไปได้	เป็นไปได้
	การบำรุงรักษา	ต้องใช้เทคโนโลยี	ค่อนข้างยาก	ง่าย
ระบบควบคุม	การแปลงสัญญาณ	ง่ายมาก	ค่อนข้างยาก	ง่าย
	ความหลากหลายในการคำนวณ	มาก	น้อย	ปานกลาง
	ความเร็วในการคำนวณ	สูงมาก	ปานกลาง	ปานกลาง
	รูปแบบการคำนวณ	ดิจิทัล/แอนะล็อก	แอนะล็อก	ดิจิทัล/แอนะล็อก
	ผลกระทบจากอุณหภูมิ	มาก	ปานกลาง	น้อย
	ผลกระทบจากความชื้น	มาก	น้อย	ต้องระบายน้ำทิ้ง
	ความทนทานต่อการสั่นสะเทือน	ไม่ดี	ธรรมดา	ธรรมดา
	อิสระในการควบคุม	มาก	เล็กน้อย	มาก
	ความหลากหลายของสัญญาณวัด	มาก	เล็กน้อย	ปานกลาง

2.7 การเลือกใช้ระบบขับเคลื่อนให้เหมาะสมกับระบบ

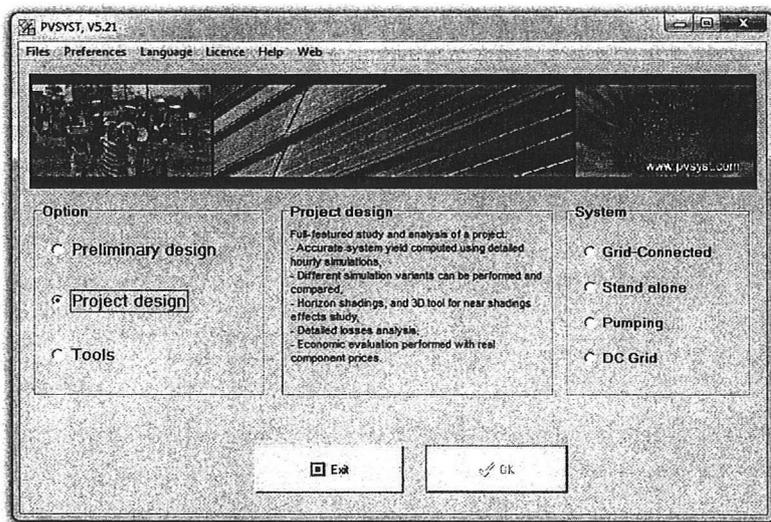
ในการเลือกใช้อุปกรณ์สำหรับระบบขับเคลื่อนสามารถทำได้โดยการหาข้อมูลของสภาพการใช้งานจริงของระบบติดตามดวงอาทิตย์ที่ออกแบบ ขนาดของระบบ พื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์ทิศทางการติดตั้ง ทิศทางของแรงที่กระทำ ระยะในการเคลื่อนที่ ความเร็วที่ต้องการ จำนวนรอบในการทำงาน ความแม่นยำในการทำงาน สภาพแวดล้อม เป็นต้น โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้ สภาพการใช้งานจริงของระบบ โดยเราต้องรู้ข้อมูลเบื้องต้นก่อนว่า ขนาดของระบบที่ออกแบบมีขนาดใหญ่โตแค่ไหน พื้นที่ที่จะใช้ในการติดตั้งอุปกรณ์มีขนาดเท่าไร ทิศทางในการติดตั้งหรือทิศทางในการทำงานของอุปกรณ์อยู่ในทิศทางใด เช่น แนวนอน แนวตั้งหรือแนวเอียง ทิศทางของแรงที่เข้ามากระทำมาจากทิศทางใด เช่น แนวด้านข้างหรือแนวด้านบน ระยะทางในการเคลื่อนที่ของระบบ ความเร็วในการเคลื่อนที่ ความแม่นยำของการเคลื่อนที่ สภาพแวดล้อมในการใช้งาน เช่น ความร้อน ความชื้น เป็นต้น เลือกชนิดของอุปกรณ์โดยจะต้องขึ้นอยู่กับพิจารณาของผู้ออกแบบและเงื่อนไขต่างๆ เช่น ความเร็ว ทิศทางในการรับแรงที่มากระทำ งบประมาณในการสร้าง พื้นที่ที่จะใช้ในการติดตั้ง ความแข็งแกร่ง (Rigidity) และค่า Preload ทั้งสองค่านี้มักจะเกิดขึ้นพร้อมกันเสมอ เพราะถ้าเราเพิ่มค่า Preload เข้าไปทำให้ค่าความแข็งแกร่งหรือค่า Rigidity มีค่าเพิ่มขึ้นด้วยเช่น เดียวกันการเพิ่มค่า Preload โดยมากมักจะใช้กับอุปกรณ์ที่อยู่ในประเภทลูกปืน (Bearing) ซึ่งความหมายของการเพิ่มค่า Preload คือ การลดช่องว่างหรือทำให้ช่องว่างภายในระหว่างเม็ดลูกปืนกับร่องเม็ดลูกปืนให้เหลือน้อยที่สุดหรืออาจจะไม่มีเลย ทั้งนี้เพื่อให้ค่าความแข็งแกร่ง (Rigidity) ของระบบมีค่าเพิ่มสูงขึ้น แต่การเพิ่มค่า Preload ที่มากเกินไปก็จะมีผลกระทบอื่นตามมาเช่นเดียวกัน เช่น ความเสียดทานจะเพิ่มสูงขึ้นและอุณหภูมิของระบบจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะทำให้อายุการใช้งานสั้นลง เป็นต้น ความสามารถในการรับแรง โดยทั่วไปแล้วการคำนวณหาความสามารถในการรับภาระของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อนเราจะใช้ทฤษฎีเดียวกันกับการคำนวณหาความสามารถในการรับภาระของความแม่นยำ ค่าของความแม่นยำนี้ หมายถึง ค่าความขนาบที่เกิดขึ้นในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ ซึ่งเกิดขึ้นทั้งในแนวด้านข้างและด้านบน และอาจจะต้องพิจารณาถึงค่าความแตกต่างทางมิติในแนวด้านข้างและด้านบนของอุปกรณ์ วิธีการหล่อลื่นและการพิจารณาเงื่อนไขอื่นในการออกแบบ จุดประสงค์ของการหล่อลื่นคือ การป้องกันการสึกหรอและลดความเสียดทานในการเคลื่อนที่ โดยปกติแล้วสามารถใช้สารหล่อลื่นได้ทั้งน้ำมันและจาระบี แต่โดยมากจะนิยมใช้จาระบี เพราะมีความหนืดคงที่มากกว่าและสามารถใช้เป็นฟิล์มเกาะยึดผิวโลหะได้ในตัว แต่อาจจะต้องดูถึง สภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้นในระบบ ความแข็งของเม็ดลูกปืนและความแข็งของร่องเม็ดลูกปืน ถ้าความแข็งของร่องเม็ดลูกปืนมีค่าต่ำกว่าเม็ดลูกปืน จะมีผลทำให้ความสามารถในการรับแรงมีค่าลดลง อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิของเม็ดลูกปืนเพิ่มขึ้นถึง 100 °C จะมีผลทำให้ความสามารถในการรับแรงลดลงค่าเผื่อความปลอดภัย (Safety factor) เมื่อมีการเคลื่อนที่หรืออยู่กับที่ จะมีแรงกระทำจากภายนอกที่ไม่คาดฝัน เช่น แรงสั่นสะเทือน แรงกระแทกหรือแรงเฉื่อย เป็นต้น ดังนั้นเราควรมีค่าเผื่อความปลอดภัย ซึ่งจะหมายถึงอัตราส่วนของภาระที่สามารถรับได้กับภาระที่รับจริงของอุปกรณ์

2.8 โปรแกรม PVsyst 5.31

ในการศึกษานี้ใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรม PVSYS 5.31 ในการเปรียบเทียบการทำนายพลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ผลิตได้



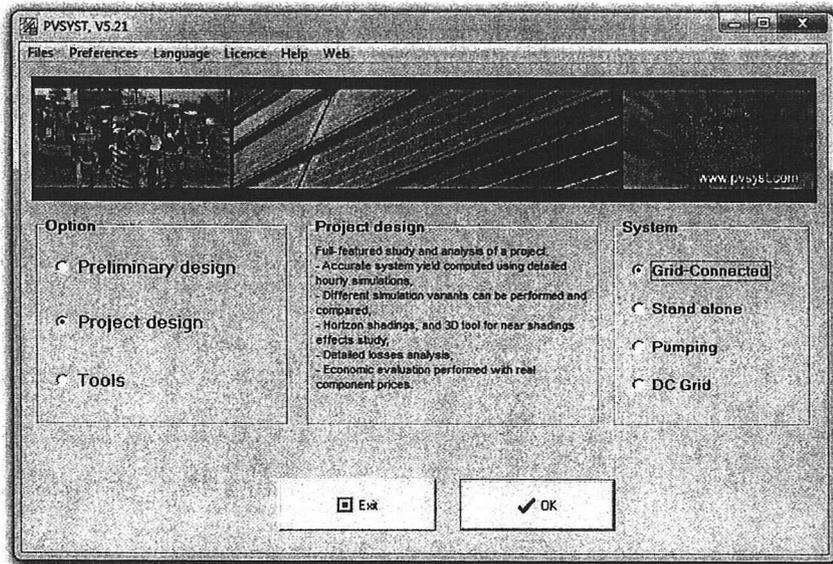
รูปที่ 25 เข้าสู่การใช้งานคอมพิวเตอร์โปรแกรม PVSYS 5.31



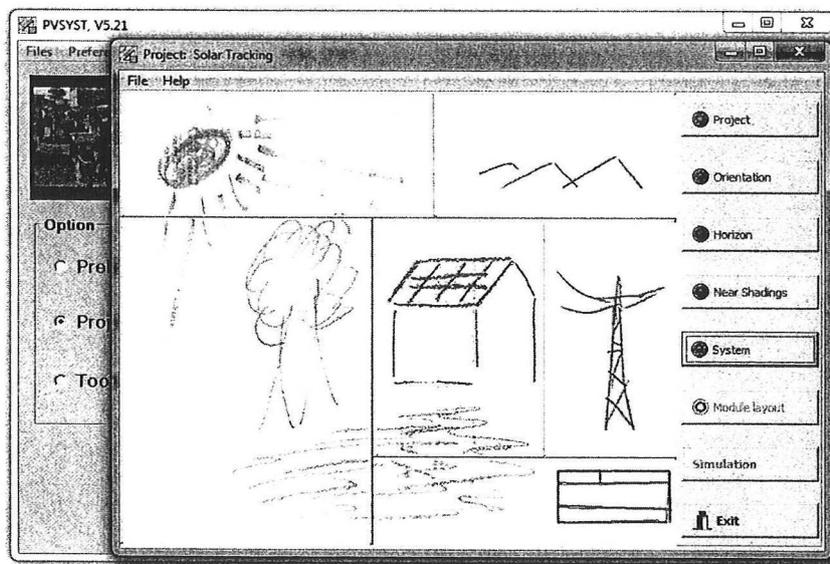
รูปที่ 26 การเลือกระบบที่จะทำการออกแบบ

การทำนายปริมาณพลังงานที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

โปรแกรม PVsyst 5.31 เป็นโปรแกรม Simulation ในการประเมินหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ในการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1 MW ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวมีฟังก์ชันการใช้งานดังต่อไปนี้



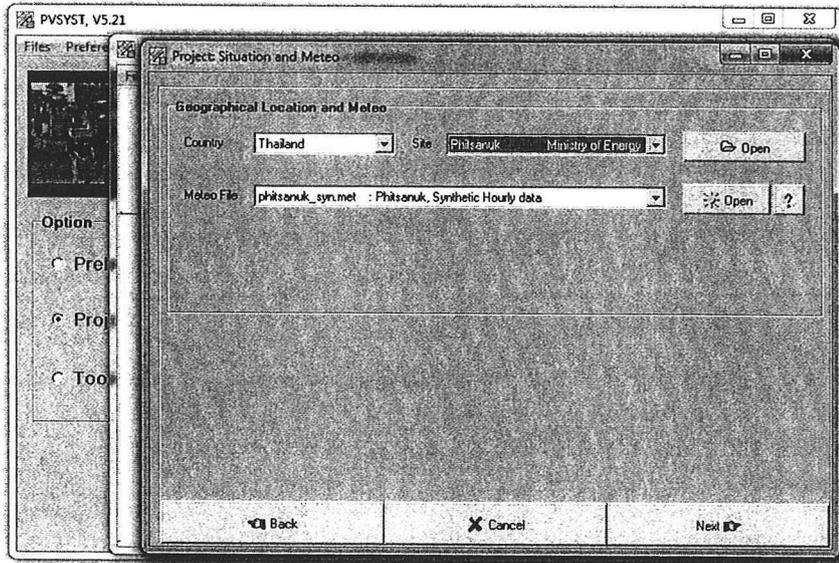
รูปที่ 27 เริ่มต้นการใช้โปรแกรม PVSYST 5.31 เพื่อทำนายปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้



รูปที่ 28 เมนูหลักของโปรแกรม PVSYST 5.31 หลังจากทำการเลือกการออกแบบเป็นแบบ

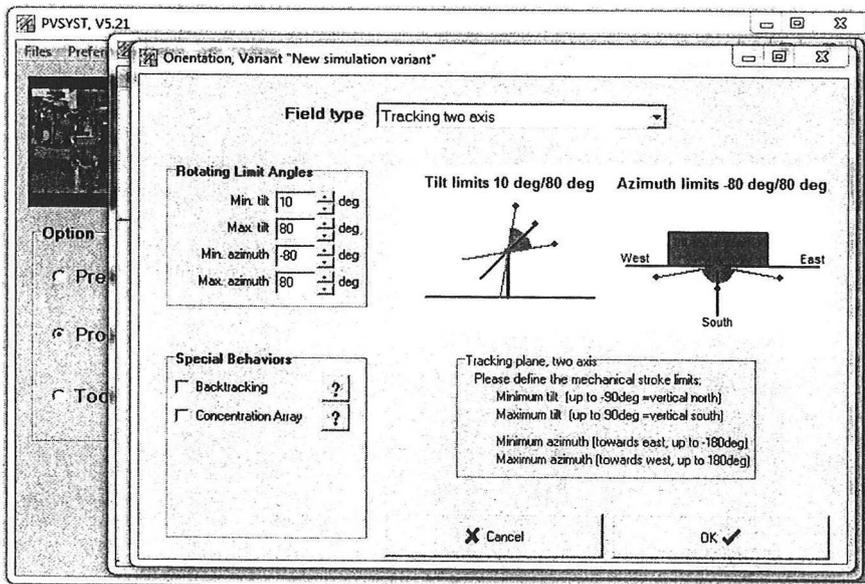
Project Design และเลือกระบบเป็น Grid connected

ทำการกำหนดสถานที่ ที่จะทำการออกแบบให้กับโปรแกรมโดยการเลือกที่ Project หลังจากนั้น เป็นการเลือกสถานที่สำหรับออกแบบระบบ และข้อมูลสภาพอากาศ ดังรูปที่ 29



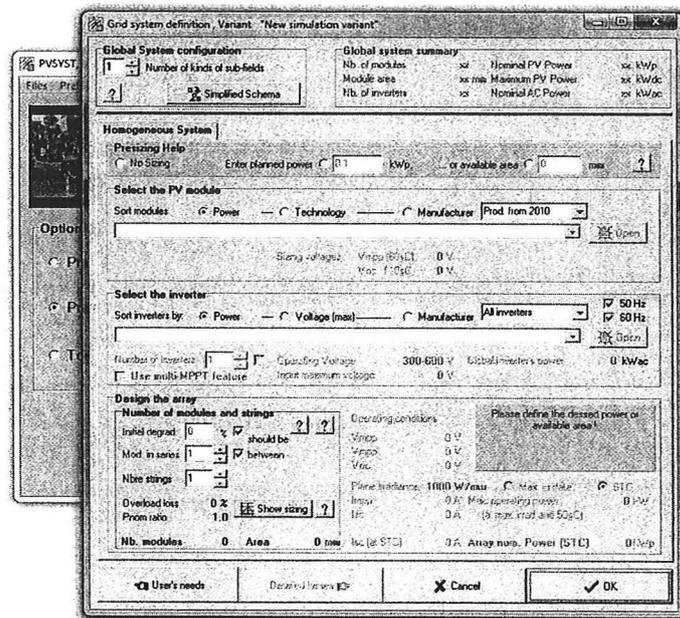
รูปที่ 29 การเลือกสถานที่ออกแบบและข้อมูลสภาพอากาศ

หลังจากนั้นไปที่เมนูหลักของโปรแกรมและทำการเลือก Orientation เพื่อกำหนดชนิดการเคลื่อนที่ของระบบทั้งสองแกน คือ Tilt Angle และ Azimuth Angle ดังรูปที่ 30



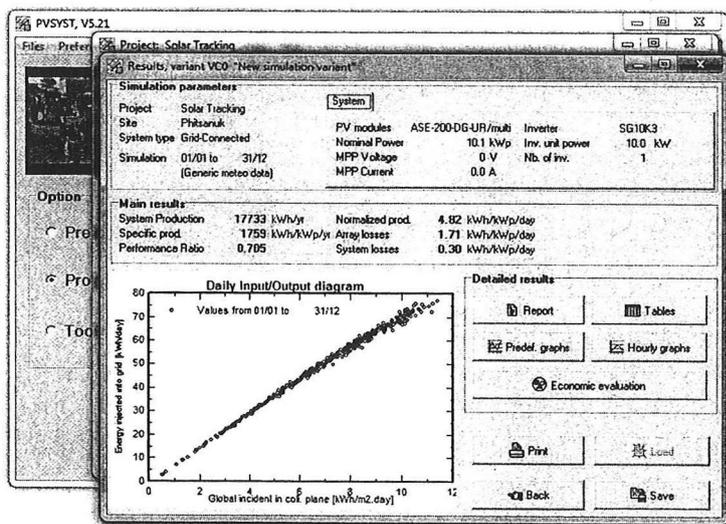
รูปที่ 30 การกำหนดลักษณะเฉพาะของระบบ

หลังจากนั้นกลับเข้าสู่เมนูหลักของโปรแกรมแล้วเลือก System เพื่อระบุอุปกรณ์ที่จะใช้ในการออกแบบระบบ ดังรูปที่ 31 หลังจากการระบุอุปกรณ์เข้าไปในระบบแล้ว กดปุ่ม OK เพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการทำนายผล



รูปที่ 31 การระบุอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบ

หลังจากเลือกอุปกรณ์สำหรับระบบแล้วทำการเลือก Simulation เพื่อทำนายผล ซึ่งแสดงผลลัพธ์ดังในรูปที่ 32 สามารถดูผลจากการออกแบบโดยใช้โปรแกรม PVSYST 5.21 ได้โดยการเลือกที่ปุ่ม Report



รูปที่ 32 ผลลัพธ์จากโปรแกรม PVSYST 5.31

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mazen M. Abu-Khader และ คณะ [8] ได้ทำการศึกษาวิจัยเรื่อง "Evaluating multi-axes sun-tracking system at different modes of operation in Jordan" โดยได้ศึกษาระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ พบว่า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์จะมีสมรรถนะดี และเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ด้วยมุมเอียง 32 องศา พบว่า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีระบบตามดวงอาทิตย์จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าประมาณ 30 – 40 %

Ali Al-Mohamand [9] ได้ศึกษาการเปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งแบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์และแบบติดตั้งอยู่กับที่ผลจากการวิจัยพบว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งอยู่กับที่ถึง 20 %

B.J. Huang and F.S. Sun [10] ได้ทำการศึกษาเรื่อง "Feasibility Study of One axis Three Position tracking solar PV with low Concentration ratio reflector" ผลของการวิจัยพบว่า การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบ low Concentration สามารถเพิ่มพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ถึง 23 % และเขายังได้ทำการศึกษาทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าราคาของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลง 20 %

ธีรยุทธ์ เจนวิทยา [11] ได้มีการเปรียบเทียบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกนและระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 1 แกน สำหรับผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีการเก็บค่าพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ตั้งแต่เวลา 9:30-16:00 น.

อนุชา ตีผาง, สิงห์ทอง พัฒนเศรษฐานนท์ และ เจริญพร เลิศสถิตชนกร [12] ได้ศึกษาการออกแบบระบบติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน โดยมีการควบคุมตำแหน่งการติดตามด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ โดยใช้หลักการบังเงาของฉากกัน มีโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับรังสีอาทิตย์ ทำให้สามารถกำหนดช่วงเวลาในการติดตามดวงอาทิตย์เป็นช่วงได้



Ibrahim sefa, Mehmet Demirtas, and ilhami Colak [13] ทำการวิจัยเรื่อง “Application of one-axis sun tracking system” ซึ่งเนื้องานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียวโดยได้ทำการศึกษาค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบยังระบบ tracking ในประเทศ ตุรกี ระบบที่สร้างขึ้นได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องโดยใช้ RS 485 ในการรับส่งข้อมูล โดยตัวแปรที่เขาสนใจจะประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และ กำลังไฟฟ้า จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ ผลที่ได้พบว่า ระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าแบบที่ติดตั้งอยู่กับที่ระบบเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ที่ถูกพัฒนาขึ้นง่ายต่อการติดตั้งและมีระบบที่ง่ายต่อการเดินระบบและบำรุงรักษา

Tokoro, Takumi Nakano, Kiyoteru Hayama and Hidemori Ohyama [14] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้ โดยจะศึกษาค่ารังสีอาทิตย์และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของพลังงานสำหรับระบบที่ติดตั้งในทิศเหนือกับทิศใต้เป็นเวลา 1 ปีของระบบที่ขนาด 40 kW ซึ่งทิศเหนือและทิศใต้มีค่ารังสีดวงอาทิตย์โดยเฉลี่ย 3.14 kWh/m²·day และ 4.59 kWh/m²·day ตามลำดับ และอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศเหนือจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทิศใต้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิตั้งแต่ 92.7 % และ 68.3 % ตามลำดับ ค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งลงมายังโลกโดยเฉลี่ยใน 1 เดือน จากมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 95.4 % จนถึง 32.1 % และค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่งลงมายังโลกโดยเฉลี่ยใน 1 ปี เท่ากับ 65.1 % จากการศึกษาจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้ต่อเดือนที่ตั้งติดในทิศเหนือต่ออัตราส่วนของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้ต่อเดือนที่ตั้งติดในทิศใต้ มีอัตราส่วนตั้งแต่ 96.4 % จนถึง 32.8 % และอัตราส่วนต่อปีเท่ากับ 66.4 %