

บทที่ 2

ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์

2.1 บทนำ

มนุษย์เราได้ใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์มานานแล้ว แต่ส่วนใหญ่จะใช้กันตามธรรมชาติ เช่น ใช้โดยตรงในการตากแห้งเนื้อสัตว์ และผลไม้ หรือการทำเกลือจากน้ำทะเลที่ทำกันในประเทศไทยเป็นต้น นอกจากนี้ยังได้รับประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์โดยทางอ้อมเป็นจำนวนมหาศาล กล่าวคือ ก่อให้เกิดพลังงานน้ำ ซึ่งใช้จากการระเหยของน้ำในมหาสมุทร และทำให้เกิดพลังงานลม ซึ่งได้จากการหมุนเวียนของบรรยากาศ เมื่อได้รับความร้อน

ในปัจจุบันแหล่งพลังงานต้นกำเนิดประเภทใช้หมดเปลือง (Fund Energy Source) ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มีปริมาณทั้งหมดในโลก เมื่อเปรียบเทียบกับพลังงานความร้อน แยกตามชนิดต่าง ๆ ได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบปริมาณพลังงานสำรองประเภทต่างๆ เมื่อเทียบเป็นพลังงานความร้อน

ชนิดของพลังงานต้นกำเนิด (Primary Energy)	ปริมาณสำรองที่นำมาใช้ได้คือ เทียบเป็นพลังงานความร้อน (หน่วยเป็น Joules : จูล)
ถ่านหิน	30×10^{21}
ปิโตรเลียม	6×10^{21}
แก๊สธรรมชาติ	5×10^{21}
ยูเรเนียม	2×10^{21}
รวม	43×10^{21}

สำหรับพลังงานแสงอาทิตย์นั้น ประมาณว่าในปีหนึ่ง ๆ จะมีพลังงานที่ผ่านบรรยากาศมาตกกระทบบนผิวโลก (ทั้งพื้นดินและผิวน้ำ) ทั้งหมด $1,000 \times 10^{21}$ จูล ซึ่งมากกว่าปริมาณสำรองของแหล่งพลังงานต้นกำเนิด ทั้งหมดในโลกดังกล่าวข้างต้นประมาณ 23 เท่า จะเห็นว่าโลกเรามีพลังงานรูปนี้ที่จะนำมาใช้ประโยชน์อย่างเหลือเฟือ ถ้าวิวัฒนาการทางด้านเทคนิคได้มีการปรับปรุงให้สามารถทำได้โดยใช้เงินลงทุนน้อยลงและให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพราะการที่จะนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง และกว้างขวางทั้งในอุตสาหกรรมและครัวเรือนนั้น ต้องประสบกับปัญหาต่าง ๆ มากมาย เช่น ทางด้านดินฟ้าอากาศ (Climatological problems) ซึ่งทำ

ให้อัตราการตกกระทบบนผิวโลกไม่สม่ำเสมอ ในแต่ละวันและแต่ละฤดูกาล และทางด้านเทคนิค (Technical problems) ซึ่งทำได้ยากต่อการแปรรูปและพลังงานรูปอื่น ยากต่อการเก็บไว้ใช้ และความหนาแน่นของพลังงานรูปนี้ ต่อหน่วยพื้นที่มีอัตราต่ำ (Low area density of Energy incidence) ปัญหาทั้งหมดที่กล่าวนี้ทำให้การลงทุนทั้งพลังงานรูปนี้มาใช้ประโยชน์ยังอยู่ในเกณฑ์สูงมาก[2]

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าการลงทุนนำพลังงานรูปนี้มาใช้ประโยชน์ยังอยู่ในเกณฑ์สูงมาก แต่ก็อาจเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าในอนาคต เพราะเป็นแหล่งพลังงานที่ไม่หมดสิ้นเปลือง และสามารถนำมาทดแทนพลังงานประเภทหมดเปลืองที่จะหมดไปในอนาคต ซึ่งทำให้ประเทศที่พัฒนาแล้วหลายประเทศได้พยายามศึกษา วิจัย และทดสอบนำเทคโนโลยีต่าง ๆ มาพัฒนาการนำพลังงานรูปนี้มาใช้ประโยชน์ ซึ่งพอสรุปแยกประเภทของการนำพลังงานไปใช้ได้ดังนี้

2.1.1 การใช้ประโยชน์เชิงความร้อน (Thermal Application) ซึ่งแยกได้ดังนี้

- 1) เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ เพื่อใช้ต้มน้ำ ถนอมอาหาร และหมนมอเตอร์ปั้มน้ำ เป็นต้น
- 2) เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิสูง เพื่อใช้หมนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การหุงต้ม และเตาเผา เป็นต้น
- 3) เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนที่อุณหภูมิสูงมาก (Ultra-high Temperature) เพื่อหลอมเหล็ก และอุตสาหกรรมอื่น ๆ เป็นต้น

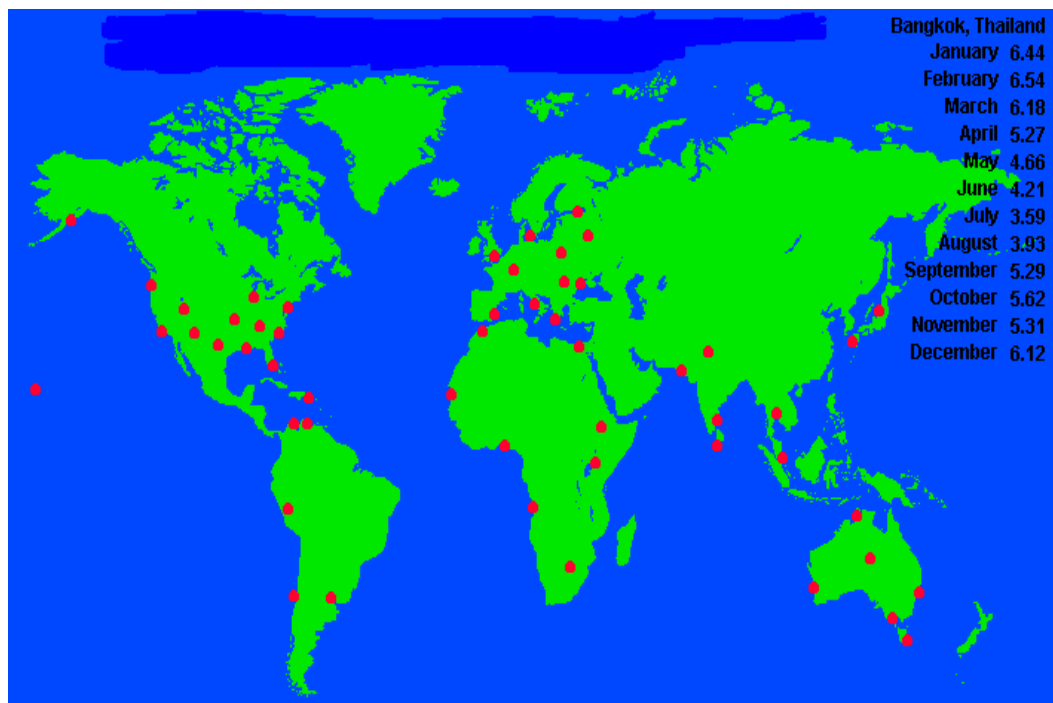
2.1.2 การใช้ประโยชน์เชิงไฟฟ้าโดยตรง (Direct Electric Conversion) ได้แก่การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยผ่านเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic generator) ดังเช่น ในยานอวกาศสกายแล็ปจะติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสามารถให้กำลังไฟฟ้าขนาด 25 kW. เพื่อใช้ในยานอวกาศ และในการสื่อสารส่งมายังโลก

2.1.3 การใช้ประโยชน์เชิงเคมี (Photochemical Conversion) ได้แก่การผลิตเชื้อเพลิง โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางเคมีของสารอินทรีย์

ปัจจุบันประเทศที่พัฒนาแล้วหลายประเทศได้ทำการวิจัย และพัฒนาการใช้ประโยชน์พลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งบางอย่างถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์แล้ว เช่น เครื่องทำน้ำร้อนแบบ Flate – Plate Collector และ Solar cell สำหรับวัตถุประสงค์เฉพาะอย่างเช่น เครื่องมือสื่อสาร เป็นต้น

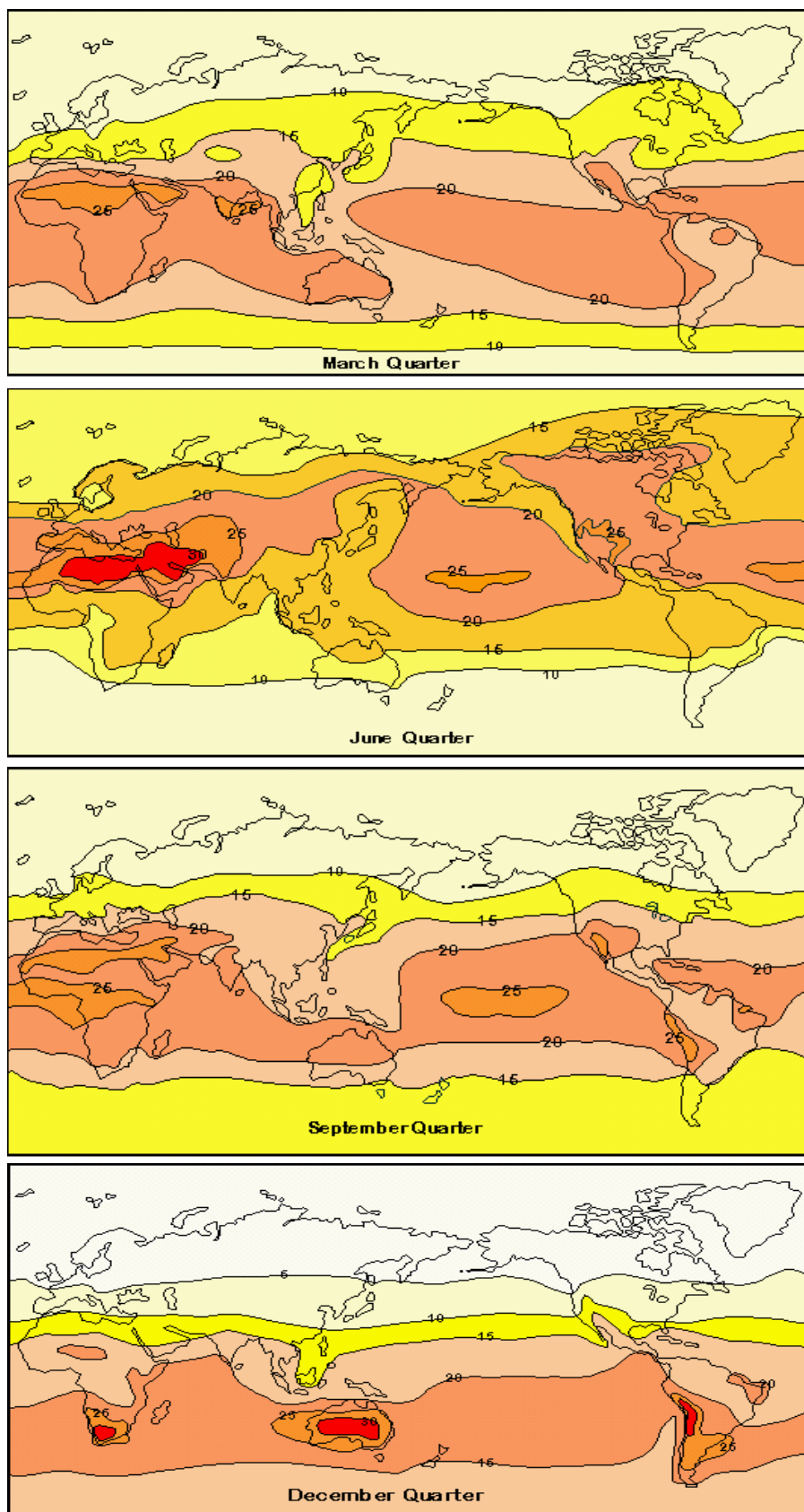
ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตที่นับว่า สามารถใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ได้อย่างดี (latitude 5° - 21° N, longitude 91° - 106° E) โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของปริมาณรังสีแสงอาทิตย์บนแผ่นระนาบแต่ละเดือนที่กรุงเทพฯ ดังรูปที่ 2.1 และ รูปที่ 2.2 ได้แสดงปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่แต่ละช่วงฤดูกาลในแต่ละพื้นที่บนโลก แต่ทั้งนี้ยังคงไม่มีการใช้งานหรือมีการพัฒนาการ

ใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์อย่างจริงจังเท่าที่ควร นอกจากใช้ประโยชน์ตามธรรมชาติเท่านั้น เช่น ใช้ในการทำนาเกลือ อบหรือตากผลิตผลทางการเกษตร เช่น ไม้ ผลไม้ เนื้อสัตว์ เป็นต้น ซึ่งเป็นการใช้ประโยชน์ในวงจำกัด



รูปที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยของการวัดปริมาณรังสีแสงอาทิตย์บนแผ่นระนาบแต่ละเดือนที่กรุงเทพฯ ในหน่วย kWh/m².day

การพัฒนานำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้ได้อย่างจริงจัง และกว้างขวางจำเป็นต้องมีหน่วยงานปฏิบัติงานและรับผิดชอบโดยตรง ซึ่งในการกำหนดความเหมาะสมในการใช้ประโยชน์ในแต่ละพื้นที่ และฤดูกาลนั้น จำเป็นจะต้องศึกษาข้อมูล เช่น ความเข้มและอัตราเฉลี่ยที่พื้นที่หนึ่งมีพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบเท่าใดต่อปี เพื่อให้ทราบและจะได้นำไปศึกษาต่อไปว่า ตามสถิติข้อมูลทางพลังงานแสงอาทิตย์ที่เป็นอยู่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ประโยชน์ (Application) แบบใดที่ประเทศต่าง ๆ กำลังค้นคว้าพัฒนากันอยู่มาใช้ได้ในอนาคต ยกตัวอย่างเช่น บางพื้นที่ในประเทศไทยอาจมีแสงอาทิตย์เข้ม และปริมาณตกกระทบปานกลาง ซึ่งอาจเหมาะสมสำหรับนำมาใช้ประโยชน์ในทาง High temperature thermal application เช่น ใช้ให้พลังงานความร้อนใน Steam Electric Generator หรือใช้เป็นพลังงานกลหมุนปั๊มน้ำ และถ้ามีปริมาณตกกระทบต่ำ อาจใช้ประโยชน์ในทางต้มน้ำ หรือทำความเย็นภายในบ้านและอาคาร เป็นต้น



รูปที่ 2.2 ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ ในแต่ละพื้นที่ของโลกในแต่ละช่วงเวลาในรอบปี

2.2 สรุปสถานการณ์ของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในปัจจุบัน และแนวโน้มการใช้งานในอนาคต

2.2.1 สารสำคัญของนโยบาย แผน และแนวทางการวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน : พลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ พ.ศ. 2540-2544

เทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่เป็นแบบซิลิกอนผลึกเดี่ยว ขณะเดียวกันก็มีการวิจัยและพัฒนาการผลิตเซลล์เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและราคาถูกลง ปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกมีกำลังการผลิตรวมทั้งหมดไม่ต่ำกว่า 100 เมกะวัตต์ต่อปี และคาดว่าในปี พ.ศ. 2553 กำลังผลิตจะเพิ่มเป็น 800 เมกะวัตต์ต่อปี แต่ในกรณีที่ภาวะตลาดเกิดการเปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้นจากปัจจัยบางอย่าง เช่น ราคาน้ำมันสูงขึ้น หรือปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม คาดว่าในปี พ.ศ. 2553 กำลังผลิตจะเพิ่มเป็น 4,000 เมกะวัตต์

เท่าที่รวบรวมได้ขณะนี้มีการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกไปแล้วไม่ต่ำกว่า 760 เมกะวัตต์ (ข้อมูลถึงปี พ.ศ. 2538) โดยการติดตั้งขนาดใหญ่ที่สุดคือ 7 เมกะวัตต์ ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา

ประเทศไทยอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ค่อนข้างสูงและสม่ำเสมอตลอดปี แต่การวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันยังคงจำกัดอยู่เฉพาะในสถาบันการศึกษา บางแห่ง สำหรับโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 3 แห่ง ที่มีอยู่ในปัจจุบันก็เป็นเพียงผู้นำเข้าเซลล์สำเร็จรูป และวัสดุจากต่างประเทศเพื่อประกอบเป็นแผงเท่านั้น โรงงานทั้ง 3 แห่ง มีกำลังผลิตประมาณ 3,000 กิโลวัตต์ปี

ในด้านการใช้งานมีการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วประเทศไปแล้วทั้งหมดประมาณ 3,700 กิโลวัตต์ ซึ่งมากกว่า 85% จำกัดอยู่ในส่วนของราชการและรัฐวิสาหกิจ

ปัญหาและอุปสรรคสำคัญของการใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศ คือ ขาดมาตรการจูงใจในด้านการลดหย่อนภาษีที่จะให้มีการผลิตอุปกรณ์และการใช้พลังงานทดแทน ถึงแม้การใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในหลายกรณีจะมีการคุ้มทุนในระยะยาวก็ตาม แต่ก็ยังได้รับความสนใจน้อยเนื่องจากการลงทุนขึ้นต้นสูงและไม่มีความจูงใจ

โดยเหตุที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถติดตั้งและใช้งานได้ง่าย รวมทั้งมีขนาดที่ยืดหยุ่นตามความต้องการของผู้ใช้ จึงควรเป็นทางเลือกทางหนึ่งสำหรับการพัฒนาชนบทให้มีความเป็นอยู่และรายได้ดีขึ้น โดยสามารถใช้ในการสูบน้ำเพื่อการอุปโภคบริโภค และการสูบน้ำเพื่อบรรเทาปัญหาภัยแล้งที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยเฉพาะในชนบทที่อยู่ห่างไกลและกันดาร นอกจากนั้นยังเป็นทางเลือกที่สำคัญในการผลิตไฟฟ้าเพื่อแสงสว่างสำหรับหมู่บ้านในชนบทและชุมชนที่มีความต้องการไฟฟ้าในปริมาณต่ำ (ปั๊มน้ำกักเก็บน้ำ) นอกเหนือจากใช้กับระบบโทรคมนาคม และระบบวิทยุเพื่อการศึกษาในชนบท

จากศตวรรษที่ 21 เป็นต้นไปมีเหตุผลให้เชื่อได้ว่าจะมีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีราคา การลงทุนใกล้เคียงโรงไฟฟ้าพลังความร้อน เนื่องจากราคาของเชื้อเพลิงจะสูงขึ้น และมาตรการทาง มลภาวะจะเข้มงวดขึ้น การผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ในเชิงพาณิชย์จะเป็น ทางเลือกที่ดี และมีการใช้งานมากขึ้นในอนาคต โดยมีแนวทางในการวิจัยพัฒนาและสาธิตเซลล์ แสงอาทิตย์ระหว่างช่วงปี พ.ศ. 2540-2544 มีดังนี้

- 1) แผนการวิจัยและพัฒนการผลิตตัวเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) แผนการวิจัยและพัฒนากระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์
- 3) แผนการวิจัยและสาธิตการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
- 4) แผนการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์
- 5) แผนการส่งเสริมอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับงานด้านเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศ
- 6) แผนการพัฒนาศักยภาพ
- 7) แผนงานส่งเสริม เผยแพร่และแลกเปลี่ยนข้อมูล/เทคโนโลยี
- 8) แผนการแก้ไขปรับเปลี่ยนกฎหมายและระเบียบสำหรับรองรับการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์

โดยมีนโยบาย เพื่อส่งเสริมภาครัฐบาลและเอกชนให้มีการวิจัย พัฒนา สาธิต และผลิต ตลอดจนการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์ให้เกิดขึ้นอย่างกว้างขวาง เนื่องจากแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานที่สะอาดไม่มีมลภาวะ และเป็นการลดการพึ่งพาการใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิลใน อนาคต

2.2.2 นโยบาย แผน และสถานภาพของการวิจัยพัฒนาและการใช้เซลล์แสงอาทิตย์

จากวิกฤตการณ์ด้านพลังงานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2516 เป็นต้นมา ได้มีการศึกษาและวิจัยการ พัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนกันอย่างต่อเนื่อง ซึ่งรวมถึงพลังงานแสงอาทิตย์ และจากปี พ.ศ. 2534 ทั่วโลกเริ่มตระหนักถึงปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นซึ่งเป็นการช่วยกระตุ้นการพัฒนาหาแหล่งพลังงานที่ สะอาด เพื่อทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้าในบางส่วน การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์ แสงอาทิตย์นับเป็นทางเลือกที่เหมาะสมทางหนึ่ง เนื่องจากการนำพลังงานธรรมชาติที่ปราศจาก มลภาวะและมีอยู่อย่างมหาศาลมาใช้ให้เกิดประโยชน์

การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีจุดเด่น และมีความสำคัญแตกต่างจากวิธีอื่นหลาย ประการดังต่อไปนี้

- 1) ไม่มีการเผาไหม้ จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านอากาศและน้ำ
- 2) ไม่มีการเคลื่อนไหวยในขณะใช้งาน จึงไม่ก่อให้เกิดมลภาวะด้านเสียง
- 3) มีการบำรุงรักษาน้อยและใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย
- 4) ประสิทธิภาพคงที่ไม่ขึ้นกับขนาด

- 5) เป็นลักษณะโมดูลที่สามารถประกอบได้ตามขนาดที่ต้องการ
- 6) เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติและไม่หมดสิ้นให้เกิดประโยชน์
- 7) ผลิตไฟฟ้าได้ทุกแห่งแม้บนเกาะเล็ก ๆ กลางทะเล บนยอดเขา และในอวกาศ
- 8) ได้พลังงานไฟฟ้าโดยตรง การนำมาใช้งานสะดวกที่สุด เพราะการส่งและเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานแสง เสียง ความร้อน พลังงานจลน์กระทำได้ง่าย
- 9) เป็นการปูพื้นฐานเทคโนโลยีที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในศตวรรษที่ 21

2.2.3 สถานภาพและแนวโน้ม

2.2.3.1 สถานภาพของการวิจัย พัฒนา และใช้เซลล์แสงอาทิตย์

■ สถานภาพในต่างประเทศ

ปัจจุบันเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตเป็นเชิงการค้าส่วนใหญ่เป็นแบบซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline) และผลึกโพลี (Poly Crystalline) รวมกำลังผลิตทั่วโลกไม่ต่ำกว่า 100 เมกะวัตต์ต่อปี ผู้เกี่ยวข้องได้ให้ความสนใจและพยายามทำการวิจัยตลอดจนพัฒนาการผลิตให้ได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพเพื่อขยายตลาดของเซลล์ให้กว้างขวางขึ้น งานต่าง ๆ ที่ดำเนินการอยู่มีหลายด้าน อาทิ :-

เทคโนโลยีแบบซิลิกอนขณะนี้มีการทำวิจัยเพื่อลดต้นทุนการผลิต อันได้แก่ขั้นตอนการเตรียมวัสดุแบบต้นทุนต่ำ เช่น การผลิตแบบผลึกโพลี หรือริบบอนซิลิกอน (หรือเทคโนโลยีที่ใกล้เคียง เช่น Dendritic Web) แทนผลึกเดี่ยว นอกจากนี้การผลิตแบบปริมาณมากก็สามารถลดต้นทุนได้อีกด้วย

เทคโนโลยีการผลิตเซลล์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมาก เพราะเป็นเซลล์ที่คาดว่าจะสามารถผลิตให้มีราคาถูกที่สุด ปัจจุบันอยู่ในขั้นการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่ถาวรและสูงขึ้น

เทคโนโลยีที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพอีกแบบหนึ่งซึ่งมีการวิจัยและพัฒนาอย่างกว้างขวางคือ Multijunction Thin-Film นอกจากนี้ยังมีการศึกษาและวิจัยวัสดุสารประกอบกึ่งตัวนำอย่างอื่นที่จะนำมาใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น Cadmium Telluride, Copper Indium Diselenide และ Gallium Arsenide เป็นต้น[3]

มีการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ไปแล้วทั่วโลกไม่ต่ำกว่า 760 เมกะวัตต์ การติดตั้งที่ขนาดใหญ่ที่สุดในโลก คือ 7,000 กิโลวัตต์ ที่ San Louis รัฐแคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา และ 2,000 กิโลวัตต์ ที่ Saijo ประเทศญี่ปุ่น ตามลำดับ

■ สถานภาพในประเทศไทย

1) สถาบันการศึกษา

ประเทศไทยมีสถาบันการศึกษา 4 แห่ง ที่ทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ ปัจจุบัน คือ ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้ทำการวิจัยการผลิตเซลล์แบบผลึกเดี่ยว และผลึกโพลีซิลิกอน มาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 สถาบันการศึกษาอีก 3 แห่ง ได้แก่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย มีอุปกรณ์หรือห้องทดลองในการทดสอบแผงและระบบ นอกจากนี้สถาบันการศึกษาทั้งหมดดังกล่าว ยังมีโครงการวิจัยและพัฒนาเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กอีกด้วย เช่น ใช้ในการสูบน้ำเพื่ออุปโภคและบริโภค และเพื่อการเกษตร ให้แสงสว่าง ดักแมลง และใช้สำหรับตู้เย็น (เก็บวัคซีน) เป็นต้น

2) โรงงานประกอบเซลล์แสงอาทิตย์

โรงงานประกอบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกัน 3 แห่ง โดยร่วมกับบริษัทต่างประเทศในลักษณะของการร่วมทุน และการให้ความช่วยเหลือทางด้านเทคโนโลยี โดยได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงงานทั้ง 3 แห่ง ดังกล่าว ใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำเร็จรูป และวัสดุส่วนใหญ่ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศแล้วนำมาประกอบในโรงงาน

ถึงแม้ว่าความสามารถในการผลิตรวมทั้งหมดในประเทศไทยจะมีปริมาณ 3,000 กิโลวัตต์ต่อปี ก็ตาม แต่ความต้องการของตลาดในประเทศก็ยังมีไม่มากนัก และการส่งออกก็มีเพียงเล็กน้อย จึงทำให้ต้องผลิตเป็นช่วง ๆ ตามความต้องการของตลาดเท่านั้น อย่างไรก็ตามในช่วงปี พ.ศ. 2535 นี้ ผลสืบเนื่องจากโครงการอีสานเขียวทำให้บริษัทผู้ผลิตในประเทศจำนวนสองแห่งมียอดขายเพิ่มขึ้นสูงมาก

3) ตลาดเซลล์แสงอาทิตย์

สำหรับตลาดในประเทศเท่าที่ผ่านมามีส่วนใหญ่เป็นหน่วยงานราชการ และรัฐวิสาหกิจ ซึ่งมีอยู่ประมาณ 85% อีก 1% เป็นของมหาวิทยาลัย และวิทยาลัย นอกนั้นเป็นตลาดเอกชน ยอดรวมติดตั้งทั้งหมดภายในประเทศจนถึงปี พ.ศ. 2539 มีประมาณ 3,700 กิโลวัตต์

2.2.3.2 แนวโน้มของการวิจัย พัฒนา และการใช้เซลล์แสงอาทิตย์

■ แนวโน้มในต่างประเทศ

1) สหรัฐอเมริกา

สหรัฐอเมริกาคือประเทศที่ใช้พลังงานมากที่สุดในโลก และเป็นประเทศที่มีความกว้างขวางทั้งทางด้านการวิจัย การผลิต และการใช้งาน ปัจจัยสำคัญที่ทำให้อุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ของสหรัฐอเมริกาก้าวไปไกลสืบเนื่องมาจากการที่มีแผนและนโยบายที่มีเป้าหมายอย่างแน่ชัดที่จะลดราคาเซลล์แสงอาทิตย์ให้ถูกลง เพื่อแข่งขันกับราคาไฟฟ้าในตลาดปัจจุบัน โดยกระทรวง

การพลังงาน (Department of Energy, DOE) เป็นผู้รับผิดชอบโดยตรงต่อการวางนโยบายการผลิตพลังงานทดแทนต่าง ๆ โดยมอบหน้าที่ให้ Solar Energy Research Institute (SERI) เป็นผู้วางแผนและทำวิจัยพื้นฐานเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ และ Jet Propulsion Laboratories (JPL) เป็นผู้ทำวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีภาคเอกชนและรัฐวิสาหกิจเข้ามามีบทบาทร่วมด้วย โดยอัตราส่วนของงบประมาณที่ใช้มาจากภาครัฐบาล และภาคเอกชนประมาณ 50 ต่อ 50

สำหรับเป้าหมายในอนาคตระหว่างปี พ.ศ. 2538-2543 มีแผนการที่จะติดตั้งโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีกำลังผลิตระหว่าง 200-1,000 เมกะวัตต์ และพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ถึง 10-20% นอกจากนี้แผนระยะยาว (ระหว่างปี พ.ศ. 2553-2573) มีเป้าหมายที่จะเพิ่มประสิทธิภาพเป็น 15-25% และจะให้กำลังผลิตติดตั้งประมาณ 1,000-15,000 เมกะวัตต์ คาดว่าราคาค่ากระแสไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบนี้จะลดลงด้วยเช่นกัน

2) ญี่ปุ่น

ญี่ปุ่นซึ่งนับเป็นประเทศที่ได้รับความสำเร็จในด้านเซลล์แสงอาทิตย์มากที่สุด ได้จัดทำ Sunshine Project ขึ้นเพื่อให้เป็นแกนกลางการวิจัยพลังงานทดแทน ซึ่งมีพลังงานแสงอาทิตย์เป็นหลัก เมื่อปี พ.ศ. 2524 ได้จัดตั้งองค์การ New Energy Development Organization (NEDO หรือ New Energy & Industrial Technology Development Organization ในปัจจุบัน) ขึ้นรับผิดชอบ Sunshine Project โดยตรง มีหน่วยงานที่เข้าร่วมโครงการ ซึ่งมีทั้งสถาบันการศึกษาระดับมหาวิทยาลัย องค์การวิจัยของรัฐ/บริษัทเอกชนกว่า 20 แห่ง และบริษัทผลิตไฟฟ้าชั้นนำในประเทศ ญี่ปุ่น 8 แห่ง มีการตั้งเป้าหมายการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดให้ได้ไม่ต่ำกว่า 2,000 กิโลวัตต์ ระหว่างปี พ.ศ. 2534-2538

NEDO คาดว่าต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเรื่อย ๆ จนมีความคุ้มค่าในการลงทุนเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เครื่องยนต์ดีเซลในพื้นที่ห่างไกล เช่น เกาะ และภูเขา สำหรับเป้าหมายระยะยาว NEDO จะส่งเสริมการวิจัยเพื่อลดต้นทุนการผลิตลงให้เหลือ 20-40 บาทต่อวัตต์ ซึ่งจะสามารถแข่งขันได้กับการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ทั่วไป

3) ประเทศอื่น ๆ

ในยุโรปตะวันตกมีหลายประเทศที่มีการวิจัย พัฒนา ผลิต และติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนไม่น้อยเช่นกัน เช่น เยอรมนี อิตาลี ฝรั่งเศส สหราชอาณาจักร เป็นต้น ในทวีปเอเชียนอกจากประเทศญี่ปุ่นแล้วยังมีประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน และอินเดีย ซึ่งผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ในประเทศเป็นส่วนใหญ่อีกด้วย

ประเทศที่กำลังพัฒนาอีกหลาย ๆ ประเทศในทวีปแอฟริกาและเอเชีย มีการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ใช้งานขนาดเล็ก ซึ่งยังไม่สามารถรวบรวมเป็นตัวเลขอีกเป็นจำนวนมาก ซึ่งส่วนใหญ่มักจะได้รับความช่วยเหลือจากประเทศอุตสาหกรรม

4) แนวโน้มด้านการผลิต

ระหว่างปี พ.ศ. 2543-2553 คาดว่าอุตสาหกรรมการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกจะมีการขยายเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 190-800 เมกะวัตต์ต่อปี ซึ่งจะเพิ่มขึ้นประมาณ 2-8 เท่าของกำลังผลิตในปัจจุบัน และมากกว่า 50% ของการผลิตนี้เป็นของสหรัฐอเมริกา โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริษัท Texas Instruments, Inc. กำลังสร้างโรงงานผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Spherical Silicon ขนาด 15-20 เมกะวัตต์ต่อปี มีกำหนดแล้วเสร็จในปี พ.ศ. 2537

■ แนวโน้มในประเทศ

ประเทศไทยยังไม่มีหน่วยงานใดของรัฐบาลที่จัดสรรงบประมาณ เพื่อการทำวิจัยและพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง ดังเช่น SERI ในประเทศสหรัฐอเมริกาหรือ NEDO ในประเทศญี่ปุ่น และอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีลักษณะเป็นการนำเข้าเซลล์แสงอาทิตย์จากต่างประเทศเพื่อนำมาประกอบและจำหน่าย

ซึ่งยังมีหมู่บ้านอีกจำนวนเกือบ 2,000 แห่ง (คิดเป็นประมาณ 5% ของหมู่บ้านทั้งหมดทั่วประเทศ) ที่ระบบจำหน่ายไฟฟ้ายังขยายไปไม่ถึง หากต้องการขยายระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้ทั่วถึงครบทุกหมู่บ้านตามแผนการพัฒนาตามปกติจะใช้เวลามาก และเงินลงทุนสูง โดยเฉพาะหมู่บ้านเล็ก ๆ ในถิ่นทุรกันดารและอยู่ห่างไกลมาก

2.2.4 แนวโน้มที่ควรจะเป็นในประเทศไทย

โดยที่ประเทศไทยอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตร สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันได้สูงถึง 165,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางกิโลเมตร ถ้าจะใช้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าสนองความต้องการไฟฟ้าปัจจุบันทั่วประเทศในขณะนี้จะใช้พื้นที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 1,000 ตารางกิโลเมตร เท่านั้น ในขณะที่การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและมีปริมาณแหล่งพลังงานฟอสซิลในประเทศสำรองจำกัด และคงจะต้องนำเข้าเพื่อสนองความต้องการไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในอนาคตอันใกล้

ตั้งแต่ปี พ.ศ.2536 เป็นต้นมา ประเทศไทยประสบปัญหาภัยแล้งซ้ำซากมาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการพัฒนาชนบทให้มีคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นตามนโยบายการขยายความเจริญสู่ชนบทของรัฐบาลและเพื่อบรรเทาปัญหาภัยแล้งนั้น การใช้เทคโนโลยีที่มีอยู่เดิมจะล่าช้าและขยายไปได้ไม่ทั่วถึง โดยเฉพาะอย่างยิ่งชนบทที่อยู่ห่างไกลในเขตทุรกันดารและแห้งแล้ง ซึ่งต้องการความช่วยเหลือในการพัฒนามากที่สุด เมื่อพิจารณาประกอบกับปัจจัยพื้นฐานอื่น ๆ ในประเทศแล้ว การสนับสนุนการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตไฟฟ้าควรเริ่มและเป็นไปตามแนวทางต่อไปนี้

- เพิ่มการใช้ไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในหมู่บ้านชนบทห่างไกลส่วนที่เหลือ (เช่น แสงสว่าง ระบบสูบน้ำขนาดเล็ก โทรศัพท์) ให้มากยิ่งขึ้น

- เพิ่มอุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อรองรับความต้องการภายในประเทศ และประเทศกลุ่มอินโดจีน และอาเซียน ซึ่งกำลังต้องการไฟฟ้าเพื่อพัฒนาชนบท
- สาธิต ติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก (1-5 กิโลวัตต์) แบบต่อเข้าระบบ สำหรับบ้านที่อยู่อาศัยเพื่อจำหน่ายไฟฟ้าส่วนเหลือใช้เข้าระบบจำหน่ายในลักษณะเดียวกับ Co-generation ซึ่งคาดว่าจะมีความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์
- สาธิตติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ (1-10 เมกะวัตต์) แบบต่อเข้าระบบ เพื่อใช้งานในลักษณะ Peak Shaving ในตอนกลางวัน
- ส่งเสริมการค้นคว้าวิจัยให้กว้างขวาง และต่อเนื่องสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้มีเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และราคาถูกลงด้วย

นับว่าเป็นโอกาสอันดีที่จะส่งเสริมการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ให้กว้างขวางขึ้น โดยควรมีแผนดำเนินการทั้งระยะสั้นและระยะยาวดังนี้

■ แผนระยะสั้น

- 1) เสนอรัฐบาลให้มีมาตรการจูงใจ เช่น การลดภาษีนำเข้า หรือนำมาลดหย่อนภาษีเมื่อมีการใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) สาธิตและเผยแพร่การใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้กว้างขวางขึ้น และสนับสนุนให้มีการร่วมมือในการติดตั้งอุปกรณ์บันทึกข้อมูล
- 3) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในหมู่บ้านชนบทห่างไกลที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคขยายสายส่งไฟฟ้าไปไม่ถึง
- 4) ศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อการประยุกต์ใช้งานในรูปแบบใหม่ ๆ เพิ่มขึ้น

■ แผนระยะยาว

ในแง่ของการจัดสรรงบประมาณเพื่อใช้ในการดำเนินการต่าง ๆ มีความจำเป็นที่จะต้องได้รับการช่วยเหลือและสนับสนุนจากรัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างมาก

- 1) ส่งเสริมการวิจัยให้กับทางภาครัฐบาลและเอกชนในการผลิตเซลล์ และอุปกรณ์ประกอบขึ้นในประเทศ ซึ่งจะส่งผลให้ราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ถูกลง
- 2) ส่งเสริมการตลาด สนับสนุนให้มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย โดยกำหนดให้หน่วยงานรัฐบาลเป็นแกนนำในการส่งเสริมการใช้ ซึ่งหากราคาของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ถูกลงจะเป็นการส่งเสริมมาตรการการประหยัดไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง
- 3) ส่งเสริมให้มีการใช้งานอย่างจริงจังในชนบท เพื่อทดแทนการเดินสายส่งเข้าไป ซึ่งจะต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง

2.2.5 ปัญหาในการพัฒนา และแนวทางแก้ไข

■ ด้านกำลังคน

ปัจจุบันประเทศไทยอยู่ในช่วงการเปลี่ยนแปลงเศรษฐกิจและสังคมอย่างเด่นชัด ปัญหาทางด้านบุคลากรซึ่งมีจำนวนจำกัดเป็นอุปสรรคต่อการดำเนินกิจการในทุกสาขาอย่างไม่อาจปฏิเสธได้ แต่การวิจัยทางด้านระบบเซลล์แสงอาทิตย์ปัจจุบันดำเนินการอยู่ในกลุ่มของบุคลากรซึ่งมีความสนใจเป็นพิเศษในสถาบันการศึกษาเพียงไม่กี่แห่ง หากรัฐบาลได้เพิ่มสิ่งจูงใจให้เกิดขึ้นแล้ว คาดว่าบุคลากรซึ่งมีความสามารถจะหันมาให้ความสนใจมากขึ้น

■ ด้านงบประมาณ

ที่ผ่านมาในแต่ละปี การจัดสรรงบประมาณให้มีการวิจัย พัฒนา และสาธิตการใช้งาน ยังไม่ได้รับการสนับสนุนจากทางรัฐบาลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเท่าที่ควร ดังนั้นรัฐบาลและหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องควรมีการจัดสรรงบประมาณเพื่อการนี้โดยเฉพาะ

■ การถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท

การนำเทคโนโลยีเข้ามาและการรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีจะเป็นวิธีที่ช่วยให้ประหยัดเวลาในการวิจัยและพัฒนา การแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและประสบการณ์ในหมู่นักวิจัยด้วยกัน ทั้งในภาครัฐบาลและเอกชนจะช่วยให้การวิจัยและพัฒนาดำเนินไปในแนวทางที่ถูกต้อง จึงควรที่จะมีการขอรับความช่วยเหลือจากองค์การระหว่างประเทศในการจัดฝึกอบรม/สัมมนา/ดูงาน ให้กับผู้วิจัยโดยตรง

■ มาตรการการเงินการคลัง

แม้ว่าการใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในหลายกรณีจะมีความคุ้มค่าในระยะยาวดีกว่าระบบการผลิตไฟฟ้าซึ่งใช้อยู่ในปัจจุบัน แต่ยังไม่ได้รับความสนใจ โดยทั่วไปเนื่องจากค่าลงทุนขั้นต้นของระบบเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่ามาก จึงควรได้รับการสนับสนุน/การจูงใจในรูปแบบต่างๆ จากรัฐบาล เช่น การลดหย่อนภาษีแก่ผู้ประกอบการ การลดภาษีเงินได้แก่ผู้ใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สนับสนุนเงินทุนบางส่วน ซึ่งเป็นแนวทางที่ต่างประเทศนำมาใช้อย่างได้ผลแล้ว รวมทั้งการสนับสนุนด้านเงินทุนบางส่วน

เนื่องจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีค่อนข้างใหม่ และยังมีแนวทางสำหรับการวิจัยและพัฒนาอีกมาก จึงสามารถจัดลำดับความสำคัญให้มีการทำวิจัยพื้นฐานอันจะนำมาสู่การผลิตระบบเซลล์ที่มีราคาถูก และมีประสิทธิภาพสูงในอนาคตเป็นอันดับหนึ่ง

ลำดับรองลงมา ควรสนับสนุนให้มีการติดตามและประเมินผลของงานระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ติดตั้งไปแล้ว ซึ่งรวมถึงการเก็บข้อมูลทางเทคนิคด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล การเก็บข้อมูลความเป็นอยู่ และข้อคิดเห็นของประชาชนผู้ใช้ ตลอดจนข้อมูลผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น เพื่อนำมาวิเคราะห์และประเมินผล อันจะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและพัฒนาในอนาคต

สำหรับงานสาธิต การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ตามความเหมาะสมของประเทศ รวมทั้งการพัฒนาบุคลากร อันจะเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานที่สะอาด ช่วยเพิ่มรายได้และคุณภาพชีวิต อีกทั้งยังเป็นการทดแทนการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในอนาคต ก็ควรได้รับการสนับสนุนเช่นกัน

ผลที่คาดว่าจะได้รับจากการพัฒนาอันจะเกิดประโยชน์ต่อประเทศชาติโดยรวมเป็นดังนี้

- ระดับประเทศ

หากมีการใช้ประโยชน์จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างจริงจังแล้ว ตามแนวโน้มการใช้ตามโครงการที่จะเกิดขึ้นรวมกำลังผลิตประมาณ 7,960 กิโลวัตต์ คาดว่าจะเกิดผลดีดังนี้

- จะสามารถลดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าลงได้ประมาณ 4.38 ล้านลิตร/ปี
- จะลดมลพิษ CO₂ ประมาณ 1,000-12,000 ตัน/ปี
- จะลด SO₂ ประมาณ 625-716 ตัน/ปี

- ระดับหมู่บ้าน

เป็นการช่วยพัฒนาชนบทให้มีความเป็นอยู่และรายได้ดีขึ้น และเป็นการช่วยบรรเทาปัญหาภัยแล้งได้อีกทางหนึ่งด้วย โดยเฉพาะในชนบทที่ห่างไกล

- ระดับผู้ประกอบการ

เป็นการก่อให้เกิดพื้นฐานด้านอุตสาหกรรมการผลิตระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นในประเทศ อันจะก้าวไปสู่การส่งออก โดยเฉพาะประเทศกลุ่มอินโดจีน และอาเซียน ซึ่งเป็นการสร้างงานได้อีกทางหนึ่ง

ตารางที่ 2.2 การใช้ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในประเทศไทย จนถึงปี พ.ศ.2540

ลักษณะงาน/ผู้ใช้	กิโลวัตต์สูงสุดติดตั้ง										
	จพ	กฟผ	กท	สช	สช	มท	พพ	กฟภ	ทสท	พอสว	อื่นๆ
- หมู่บ้านพื้นที่ห่างไกล								(60+60+30)			2
- สื่อสาร (สถานีทวนสัญญาณ)		8	10						100		30
- สูบน้ำ						40	10				(5+10)
- สถานีเดิมประเภทเตอรี						51					2
- ประถมศึกษาพื้นที่ห่างไกล				15							3
- สาธารณสุขพื้นที่ห่างไกล					1-2					7	5
- ไฟสัญญาณ ฯ		8									
- ระบบผลิตไฟฟ้าร่วม/ต่อเข้าระบบ (โครงการสาธิต)		27									
		+14									20
- เบ็ดเตล็ด เช่น แสงสว่าง/ทีวี	1-2	12		5			5				

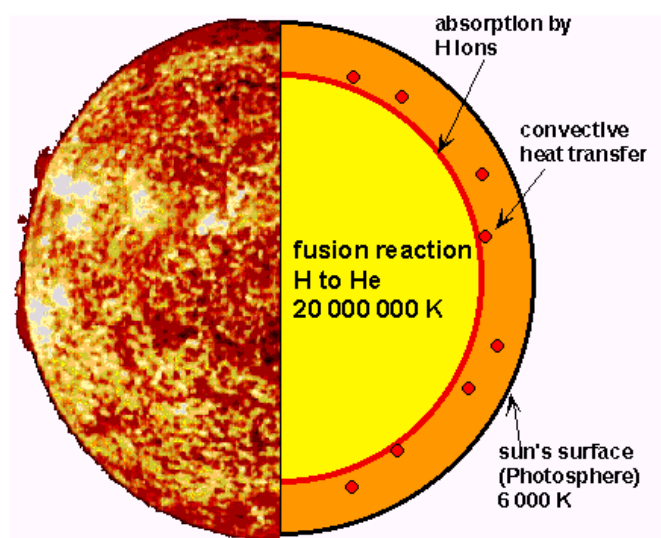
หมายเหตุ :

จพ	=	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
กฟผ	=	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
กท	=	กระทรวงกลาโหม
ศธ	=	กระทรวงศึกษาธิการ
สธ	=	กระทรวงสาธารณสุข
มท	=	กระทรวงมหาดไทย
พพ	=	กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน
กฟภ	=	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
ทศท	=	องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย
พอสว	=	มูลนิธิแพทย์อาสาในสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชชนนี
อื่น ๆ	=	อื่น ๆ (รวมโครงการอีสานเขียว)

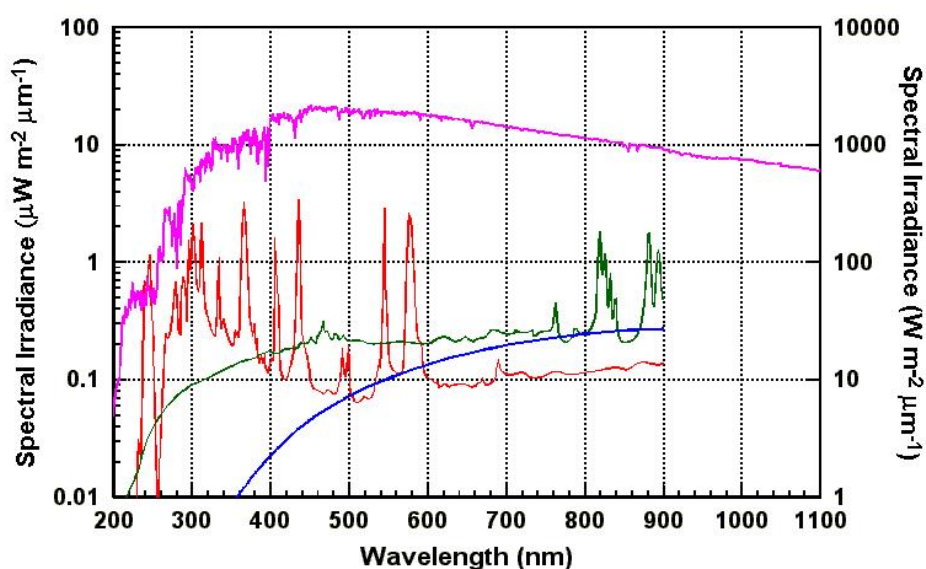
2.3 การวิเคราะห์รังสีแสงอาทิตย์

2.3.1 การศึกษาข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นต้นกำเนิดของพลังงานมหาศาล และสำคัญที่สุดของมวลมนุษยชาติ โดยมีโครงสร้าง และสเปกตรัมของรังสีแสงอาทิตย์ เป็นดังรูปที่ 2.3. และ รูปที่ 2.4 ตามลำดับ เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเทคโนโลยีหนึ่ง ซึ่งสามารถเปลี่ยนรังสีดวงอาทิตย์เป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยปราศจากการเผาไหม้และการเคลื่อนไหวอันจะก่อให้เกิดมลภาวะใด ๆ



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของดวงอาทิตย์



รูปที่ 2.4 สเปกตรัมของรังสีแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงความยาวคลื่น

การศึกษาข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์นั้นอาจแบ่งแยกประเภทได้ตามวัตถุประสงค์และชนิดของเครื่องมือ ดังนี้

- 1) ศึกษาทางด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยา โดยใช้เครื่องบันทึกช่วงเวลาที่มืด (Sunshine Duration Recorder)
- 2) ศึกษาทางการนำมาใช้ประโยชน์ทางพลังงาน โดยใช้เครื่องมือวัดและบันทึกอัตราตกกระทบของรังสี ประเภท Pyranometer, Solarimeter และ Actinometer ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ Mechanical Type (Bimetallic) และ Thermoelectric Type

อย่างไรก็ตามในการใช้เครื่องมือเพื่อศึกษาตามวัตถุประสงค์ในข้อ 2 นั้น ก็จะสามารถให้ข้อมูล เพื่อการศึกษาตามวัตถุประสงค์ในข้อ 1 ได้อย่างดีด้วย สำหรับประเทศไทยนั้น กรมอุตุนิยมวิทยาได้มีข่าวดำเนินการวัดหาข้อมูลของแสงอาทิตย์ โดยติดตั้งเครื่องมือแบบ Solarimeter 2 เครื่อง ที่กรุงเทพฯ และเชียงใหม่ แต่ข้อมูลจากการวัดและบันทึกได้ใช้ไปเพื่อประโยชน์ทางอุตุนิยมวิทยาเท่านั้น อย่างไรก็ตามสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ได้เคยพยายามศึกษาการกระจายรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยโดยใช้การคำนวณประมาณค่าจากข้อมูลที่ได้จาก Sunshine recorder ของกรมอุตุนิยมวิทยา ดังปรากฏในรายงาน “The availability of solar Energy in Thailand” February 1976 by Dr.R.H.B. Excell ซึ่งค่าประมาณที่คำนวณได้ในจังหวัดต่าง ๆ เช่น เชียงราย เป็นสถานที่ที่มีเครื่องมือวัดและบันทึกจริงของสำนักงานพลังงานแห่งชาติติดตั้งอยู่ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับแล้ว ค่าที่คำนวณได้ในรายงานจะมีค่าสูงกว่าค่าที่วัดได้จริงโดยเฉลี่ยทั้งปีถึงร้อยละ 17 ฉะนั้นเพื่อศึกษาความเหมาะสมที่จะนำแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานอย่างจริงจัง ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวัด (Measuring Network) เพื่อข้อมูลที่แท้

จริง ด้านการตกกระทบของรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy radiation) ด้วยเครื่องมือดังกล่าวในข้อ 2

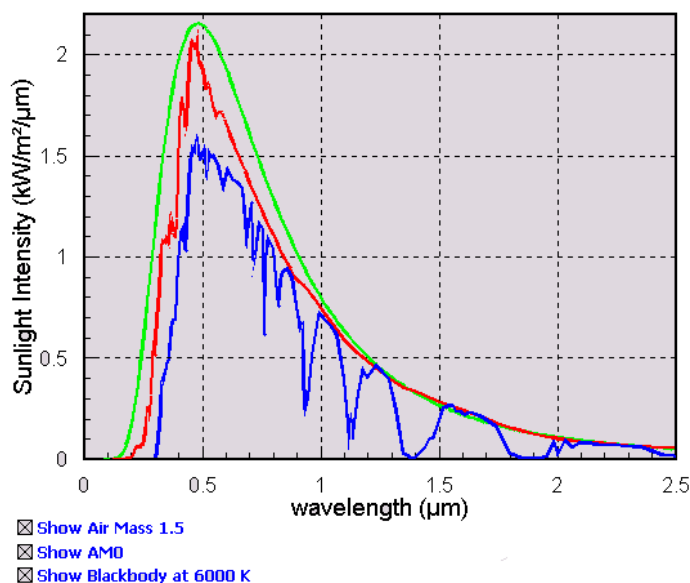
จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นสำนักงานพลังงานแห่งชาติ จึงได้จัดตั้งข่ายการวัดเพื่อศึกษาข้อมูลด้านการกระจายรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ภายในประเทศ โดยในระยะเริ่มแรกได้ทำการติดตั้งสถานีวัดและบันทึกพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเครื่องมือวัด และบันทึกแบบ Mechanical Pyranograph “bi-metallic” โดยติดตั้งเครื่องวัดฯ เหนือระดับพื้นดินประมาณ 1.30 เมตร ซึ่งในปี 2518 ได้ติดตั้งและวัดข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 4 สถานี ที่กรุงเทพฯ อุบลราชธานี อุดรธานี และเชียงราย ส่วนในปี 2519 ได้ติดตั้งเครื่องวัดหาข้อมูลอีกจำนวน 3 สถานี ที่จังหวัดสุราษฎร์ธานี กระบี่ และขอนแก่น ในปี 2520 ได้ติดตั้งอีก 3 สถานี

การสำรวจศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์จะแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 : การศึกษาเบื้องต้น โดยติดตั้งเครื่องมือวัดตามภูมิภาคต่าง ๆ เพื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ และจัดทำรายงานประจำปี

ระยะที่ 2 : การศึกษาโดยละเอียด เป็นการศึกษาหาข้อมูลเพิ่มเติมเฉพาะภูมิภาคที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้น แสดงว่ามีความเหมาะสมเพียงพอที่จะจะมีการพัฒนาการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ การศึกษาในขั้นนี้รวมถึงการรวบรวมข้อมูล และศึกษาลักษณะและความต้องการใช้พลังงานรูปต่างๆ ในปัจจุบันตามภูมิกษณนั้น ๆ

ปริมาณความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบตามข้อมูลที่ได้จากสถานีวัดจะมีค่าเฉลี่ยประจำเดือน ประมาณ $300-400 \text{ Cal.cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ จากรูปที่ 2.5 ซึ่งระดับความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาดนี้มากเพียงพอที่จะนำไปใช้ประโยชน์ด้านพลังงานได้ เช่น การต้มน้ำร้อน (Solar Water Heater) การทำน้ำกลั่น (Desalination) และการทำความเย็น (Solar Cooling) เป็นต้น ในประเทศไทยได้มีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ทำน้ำร้อนใช้ในโรงพยาบาล และสระว่ายน้ำบางแห่งบ้างแล้ว นอกจากนี้ระดับความเข้มฯ ดังกล่าวก็ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตรได้อีก เช่น การสูบน้ำโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ขับเคลื่อนกำลัง เป็นต้น การริเริ่มนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างมากในอนาคตสำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมและกำลังพัฒนา เพราะจะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้อยู่ในปัจจุบันได้ส่วนหนึ่ง และสามารถนำพลังงานที่สงวนได้นั้นไปใช้ประโยชน์กับงานอื่นได้อีกด้วย อีกทั้งยังทำให้ประหยัดเงินตราต่างประเทศที่ต้องจัดซื้อพลังงานเข้ามา หากได้มีการพัฒนาการใช้ประโยชน์ โดยจัดตั้งเป็นรูปโครงการอย่างจริงจังแล้วก็จะอาจนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้รวดเร็วขึ้น



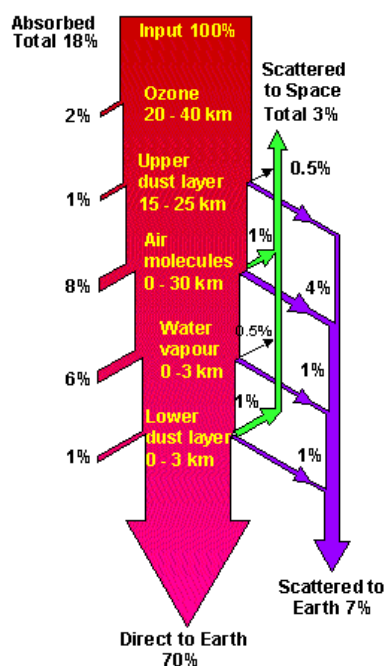
รูปที่ 2.5 การเปรียบเทียบความเข้มแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่นที่ค่าความรับอาบรังสีต่างๆ

งานศึกษาวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไปในประเทศที่เจริญและพัฒนาแล้วว่ามีค่าความสำคัญมากอย่างหนึ่ง และถือว่ามีค่าจำเป็นอย่างยิ่งในการวางแผน การพัฒนานำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ต่อประเทศ สำหรับประเทศไทย ซึ่งตั้งอยู่ในเขตที่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์พลังงานแสงอาทิตย์ จึงควรมีข่ายการวัด (measuring network) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ละเอียดยิ่งขึ้นในทุกภูมิภาค และพร้อมที่จะนำมาใช้ประโยชน์ให้ได้รวดเร็ว และทันต่อสถานการณ์ในปัจจุบัน

โดยทั่วไปแล้วข่ายการวัดควรประกอบด้วย เครื่องวัดและบันทึกที่เป็นมาตรฐาน ซึ่งได้ปรับค่าคลาดเคลื่อน (calibrate) ในการวัดกับเครื่องวัดอื่น ๆ ตามสถานีวัด การกำหนดตำแหน่งสถานีวัดควรให้กระจายอยู่ทั่วประเทศ และติดตั้งในพื้นที่ที่คาดว่าจะควรมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในพื้นที่นั้น ๆ ได้ในอนาคต ข้อมูลที่ได้จากแต่ละสถานีควรครอบคลุมได้โดยเฉลี่ยไม่มากกว่า 3 จังหวัด โดยสรุปก็คือข่ายการวัดของประเทศไทยควรมีสถานีวัดทั้งหมดประมาณ 24 สถานี

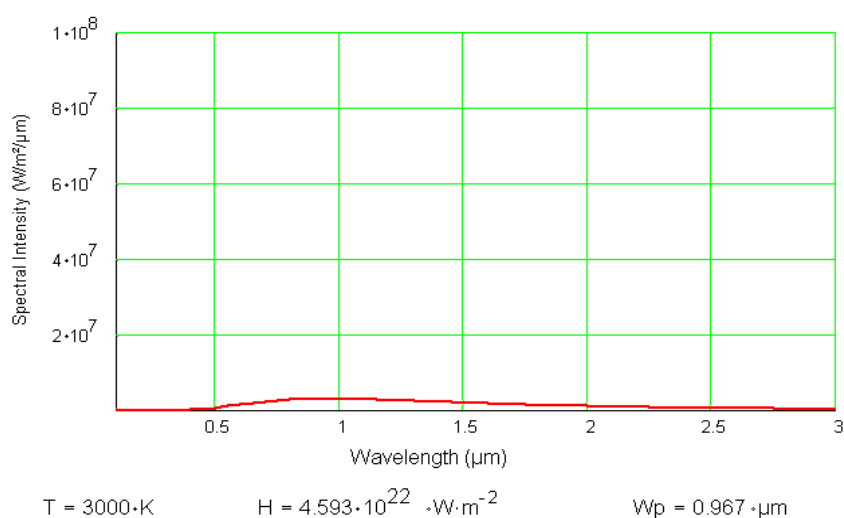
2.3.2 การวัดและการเก็บข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์

ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมายังพื้นโลกจะถูกกลดทอน และดูดกลืนจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชั้นโอโซน ไอน้ำ และฝุ่นละอองในอากาศ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ส่วนที่เหลือจะสามารถส่งผ่านมายังผิวโลกได้ โดยสามารถพิจารณาเปรียบเทียบค่าความเข้มการรับอาบรังสีแสงอาทิตย์ของวัตถุค่าเมื่อเปลี่ยนที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ จากรูปที่ 2.7

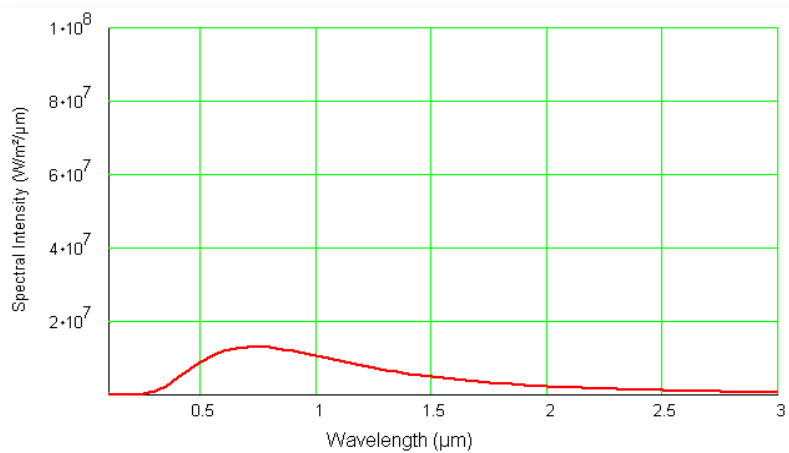


รูปที่ 2.6 ผลการลดทอนปริมาณรังสีแสงอาทิตย์จากปัจจัยต่างๆ

พลังงานแสงอาทิตย์ส่วนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ แบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามความยาวคลื่น คือชนิดความยาวคลื่นสั้น ได้แก่ รังสีตรง และชนิดคลื่นยาว ได้แก่ รังสีกระจาย รวมทั้งการกระทอนซึ่งมีผลมากในบริเวณที่มีภูมิประเทศปกคลุมด้วยหิมะ เป็นต้น[4] ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ที่ละเอียดและถูกต้องจำเป็นมาก เพราะจะทำให้การวิเคราะห์และประเมินศักยภาพ การใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานรูปแบบต่าง ๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด



2.7 (ก)

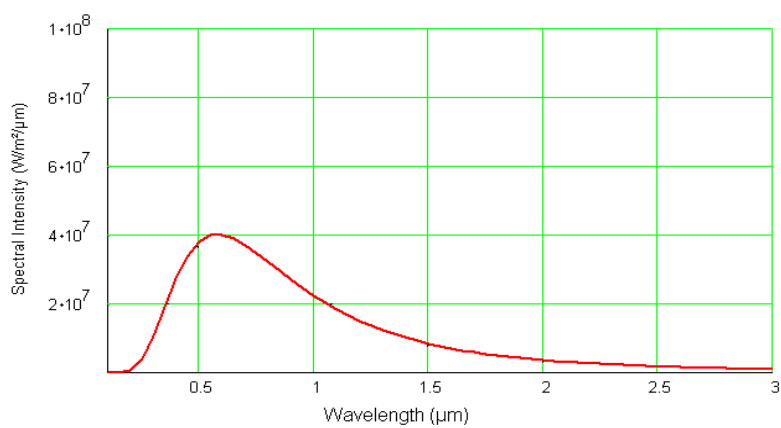


$$T = 4000 \cdot K$$

$$H = 1.452 \cdot 10^{23} \cdot W \cdot m^{-2}$$

$$Wp = 0.725 \cdot \mu m$$

2.7 (ข)

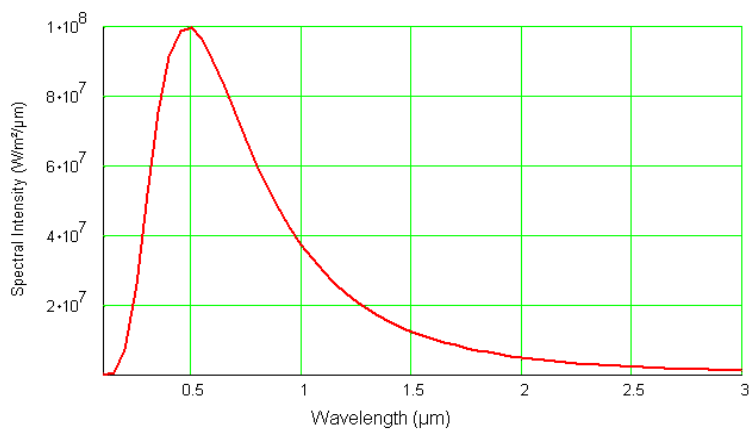


$$T = 5000 \cdot K$$

$$H = 3.544 \cdot 10^{23} \cdot W \cdot m^{-2}$$

$$Wp = 0.58 \cdot \mu m$$

2.7 (ค)



$$T = 6000 \cdot K$$

$$H = 7.349 \cdot 10^{23} \cdot W \cdot m^{-2}$$

$$Wp = 0.483 \cdot \mu m$$

2.7 (ง)

รูปที่ 2.7 ผลการลดทอนปริมาณรังสีแสงอาทิตย์จากปัจจัยต่างๆ

ก) ที่อุณหภูมิ 3,000 K ค) ที่อุณหภูมิ 5,000 K

ข) ที่อุณหภูมิ 4,000 K ง) ที่อุณหภูมิ 6,000 K

2.3.2.1 เครื่องมือวัดความเข้มและพลังงานแสงอาทิตย์

เครื่องมือวัดความเข้มและพลังงานแสงอาทิตย์ที่สำคัญ แบ่งออกได้ 2 แบบ

1) ไพร์เฮลิโอมิเตอร์ (pyrheliometer) เป็นเครื่องมือวัดความเข้มรังสีตรงที่ตกกระทบบนตั้งฉาก ส่วนประกอบมีกระบอกหน้าต่างแคบสวมอยู่เพื่อกันรังสีกระจายเวลาหันไปที่ดวงอาทิตย์ ตัวรับแสงเป็นเทอร์โมโพลี นอกจากนี้จะต้องมีอุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์ตลอดเวลา เพื่อรับรังสีตรงไพร์เฮลิโอมิเตอร์ที่นิยมใช้กันเช่น Angstrom pyrheliometer, Abbot water flow pyrheliometer, Abbot silver disc pyrheliometer เป็นแบบ Kipp & Zonen

2) ไพราโนมิเตอร์ (pyranometer) ใช้วัดฟลักซ์ของรังสีรวม (global solar irradiance or solar flux) คือรังสีตรง + รังสีกระจายที่ตกกระทบบนราบจากครึ่งทรงกลมหนึ่ง (มุมตัน = 180°) อาจใช้ไพราโนมิเตอร์วัดเฉพาะรังสีกระจายเท่านั้น โดยการใช้แถบจานวงกลมบังแสงอาทิตย์ คือบังรังสีตรงเกิดเงาบังตัวรับแสงของเครื่อง และต้องแก้ความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการบังรังสีกระจายบางส่วน

เครื่องไพราโนมิเตอร์ที่นิยมใช้กันมากเป็นแบบเอฟเพลย์ (Eppley pyranometer) วัดรังสีในช่วงความยาวคลื่น 280–2800 nm มีครอบแก้วใสรูปครึ่งทรงกลม 2 อันซ้อน ภายในที่เป็นฐานประกอบด้วยวงแหวนสองวงหนาประมาณ 0.25 มิลลิเมตร วางซ้อนในระดับเดียวกัน วงหนึ่งทาสีดำส่วนอีกวงทาสีขาว วงแหวนทั้งสองเชื่อมติดกับเทอร์โมโพลี (thermopile) ซึ่งประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 10–50 รอยต่อ อาศัยหลักการว่า ความต่างกันของอุณหภูมิระหว่างผิวดำกับผิวขาว (วงแหวนสีดำดูดกลืนความร้อน ส่วนสีขาวไม่ดูดกลืนความร้อน) ทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างปลายของเทอร์โมคัปเปิล เกิดกระแสไฟฟ้าในเทอร์โมโพลีจากนั้นก็เปรียบเทียบความต่างศักย์เป็นความเข้มหรือฟลักซ์ของรังสีแสงอาทิตย์ และอาจรวมในช่วงเวลาติดต่อกันเป็นพลังงานแสงอาทิตย์ได้ (Wh/m^2) อีกแบบที่นิยมใช้คือของ Kipp and Zonen ในช่วงความยาวคลื่น 305–2800 nm เป็นเทอร์โมโพลีแลต Moll – Gorczycki ประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล 100 รอยต่อฝังในกระเบื้องเซรามิกส์[5] ใช้หลักการให้เทอร์โมโพลีตัวร้อนรับรังสีแสงอาทิตย์ ส่วนขั้วเย็นทาสีขาวซ่อนไว้ใต้โคมบังแดด

นอกจากนี้ก็มีไพราโนมิเตอร์แบบ Robitsch อาศัยหลักการขยายตัวของโลหะคู่ (ที่อุณหภูมิเดียวกันขยายและหดต่างกัน) แบบของ Yellott Solarimeter ใช้เซลล์สุริยะซิลิกอนหรือแคดเมียมซัลไฟด์ ซึ่งมีกระแสเป็นปฏิภาคโดยตรงกับรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบน แต่การตอบสนองที่ความยาวช่วงคลื่นค่อนข้างจำกัดต้องมีการเทียบปรับค่ามาตรฐาน เครื่องไพร์เฮลิโอมิเตอร์ และไพราโนมิเตอร์จะต่อเข้าเครื่องนับเรียกว่าอินทิเกรเตอร์ เพื่อนับปริมาณรังสีติดต่อกันตลอดวัน สามารถอ่านความเข้มรังสี และฟลักซ์สุริยะในขณะเวลาใด ๆ หรืออินทิเกรตรวมแต่ละชั่วโมง หรือตลอดวันได้ พลังงานแสงอาทิตย์ (Wh/m^2 , $\text{Wh/m}^2/\text{day}$)



รูปที่ 2.8 เครื่องมือวัดปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนพื้นโลก

นอกจากอุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์ที่กล่าวมาแล้วยังมีเครื่องมือที่สำคัญอีกชิ้นหนึ่งคือ เครื่องวัดระยะนานของแสงแดดจ้ารายน (sunshine duration) ได้แก่ Campbell-Stokes recorder มีลักษณะเป็นลูกแก้วทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 96 มิลลิเมตร เพื่อโฟกัสแสงลงบนแถบกระดาษเคมี กระดาษจะมีรอยไหม้เมื่อความเข้มแสงอาทิตย์สูงเกินกว่าระดับที่กำหนดไว้ ความยาวของรอยไหม้แสดงช่วงเวลามีแดด ตัวเลขที่นำไปใช้ประโยชน์คือจำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงจ้า (bright sunshine hour) สำหรับกระดาษเคมีเป็นแผ่นภูมิแบ่งเสกสจิดละ $\frac{1}{2}$ ชั่วโมง แผ่นภูมิมี 4 แบบใช้กับฤดูร้อน ฤดูหนาว ฤดูใบไม้ร่วง และฤดูใบไม้ผลิต โดยข้อมูลการวัดค่าดังกล่าวได้มีการแสดงไว้ในภาคผนวก ค.

หมายเหตุ : คำนิยามของ “ความเข้มรังสี” (radiation intensity) คือพลังงานที่ผ่านพื้นราบสมมุติต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลาต่อมุมตัน ซึ่งมีเส้นแบ่งครึ่งตั้งฉากกับพื้นราบนั้น หน่วย $\text{MJ/m}^2/\text{s}$ หรือ W/m^2 “ฟลักซ์รังสี (radiation flux)” หรือ “ความรับอาบรังสีสุริยะ (solar irradiance) คือพลังงานที่ผ่านพื้นราบสมมุติต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา และในทุกทิศทางของด้านหนึ่งของพื้นราบสมมุติ มุมตัน = 180° หน่วยเป็น W/m^2 เช่นกัน

2.4 เซลล์แสงอาทิตย์ และการประยุกต์ใช้งาน

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกเป็นอย่างมาก โดยมนุษย์เองได้มีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งในทางตรงและทางอ้อม รวมถึงการนำมาผลิตไฟฟ้า อันได้แก่ การผลิตไฟฟ้าจากเขื่อนพลังน้ำเมื่อน้ำได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ก็จะมีการระเหยขึ้นสู่ท้องฟ้า และตกกลับลงมาสู่พื้นดินในรูปของฝน

เมื่อเราเก็บน้ำนั้นไว้ในเขื่อนและปล่อยออกมาผ่านเครื่องจักรกลไฟฟ้า ก็จะทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าออกมาใช้งานได้ ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในทางอ้อม ส่วนการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ในทางตรง อันได้แก่ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (Photovoltaic System หรือ PV System) และเป็นหัวข้อที่จะนำกล่าวในวิทยานิพนธ์นี้โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงจากพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับนำไปใช้งานได้โดยตรง[6]

ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (Photovoltaic System) เป็นกระบวนการใช้ประโยชน์จากการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นไฟฟ้าได้โดยตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ ณ วันนี้อันการใช้งานระบบดังกล่าวมีการขยายตัวเป็นอย่างมาก นับได้ว่าเป็นการใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทนในรูปแบบหนึ่งที่มีความคุ้มค่าและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเหมือนพลังงานที่ได้จากรูปแบบอื่น ๆ ที่เกิดจากการแปรสภาพของซากพืชซากสัตว์ ที่ใช้งานกันอยู่ เช่น น้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์มีการเริ่มใช้งานมาเป็นระยะเวลานานโดยมีรายงานเกี่ยวกับการใช้ระบบดังกล่าวตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1950 เป็นต้นมา และในปี ค.ศ. 1960 มีการวิจัยและพัฒนาให้นำไปใช้งานเพื่อเป็นแหล่งพลังงานในอุตสาหกรรมด้านอวกาศ ส่วนการใช้งานตามบ้านเรือนทั่ว ๆ ไป และในงานด้านอื่น ๆ ขณะนั้นยังไม่แพร่หลายนัก เนื่องจากมีต้นทุนค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในรูปแบบอื่น ๆ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการนำเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งานในลักษณะต่างๆ

- ก) นาฬิกาข้อมือ ค) รถไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์
ข) เครื่องคิดเลข ง) ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง และอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ

การใช้เซลล์แสงอาทิตย์อย่างเป็นรูปธรรมส่งผลให้เทคโนโลยีทางด้านสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำจำพวก ซิลิกอน มีการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว อีกทั้งยังมีบทบาทสำคัญและเป็นทางเลือกของการใช้พลังงานในรูปแบบหนึ่ง ช่วงที่เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันในปี ค.ศ. 1970 อีกด้วยการใช้งานที่แพร่หลายของเซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรก ๆ คือใช้เป็นแหล่งพลังงาน สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็กเช่น เครื่องคิดเลข และนาฬิกา เป็นต้น จากนั้นจึงได้มีการพัฒนาใช้กับงานประเภทอื่นๆ ดังตัวอย่างที่แสดงในรูป 4.9

นอกจากนี้ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ยังถูกนำไปใช้งานอย่างแพร่หลายในพื้นที่ห่างไกลบริเวณที่เป็นป่าไม้และภูเขา รวมทั้งตามหมู่เกาะต่าง ๆ ในท้องทะเล ที่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าไม่สามารถเข้าไปถึงได้ อันเนื่องจากการลงทุนเดินสายไฟและติดตั้งระบบที่สูงมากนั่นเอง จากการสำรวจข้อมูลของการไฟฟ้าพบว่าประเทศไทยยังมีบ้านเรือนประชาชนในพื้นที่ห่างไกลที่ยังไม่มีไฟฟ้าใช้อีกหลายพันหลังคาเรือน ดังรูป 2.10 ที่ได้แสดงภาพถ่ายจากดาวเทียมในระยะไกล เปรียบเทียบให้เห็นพื้นที่บริเวณที่เป็นประเทศไทย ทั้งตอนกลางวัน และตอนกลางคืน จะเห็นได้ว่าในช่วงเวลากลางคืน จุดที่มีแสงสว่างเกิดขึ้นหรือบริเวณที่มีการใช้ไฟฟ้า ยังมีเฉพาะตำแหน่งที่เป็นแหล่งชุมชน และตัวเมืองใหญ่ ๆ ของแต่ละจังหวัดเท่านั้น ด้วยเหตุนี้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องได้เล็งเห็นประโยชน์ที่จะนำระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์แบบติดตั้งเดี่ยว มาใช้งานในพื้นที่ห่างไกล ที่ระบบไฟฟ้าปกติเข้าไปไม่ถึงเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและวางระบบไฟฟ้า ทั้งยังตอบสนองต่อความต้องการและอำนวยความสะดวกให้แก่ประชาชนได้อย่างทั่วถึงอีกด้วย



(ก)



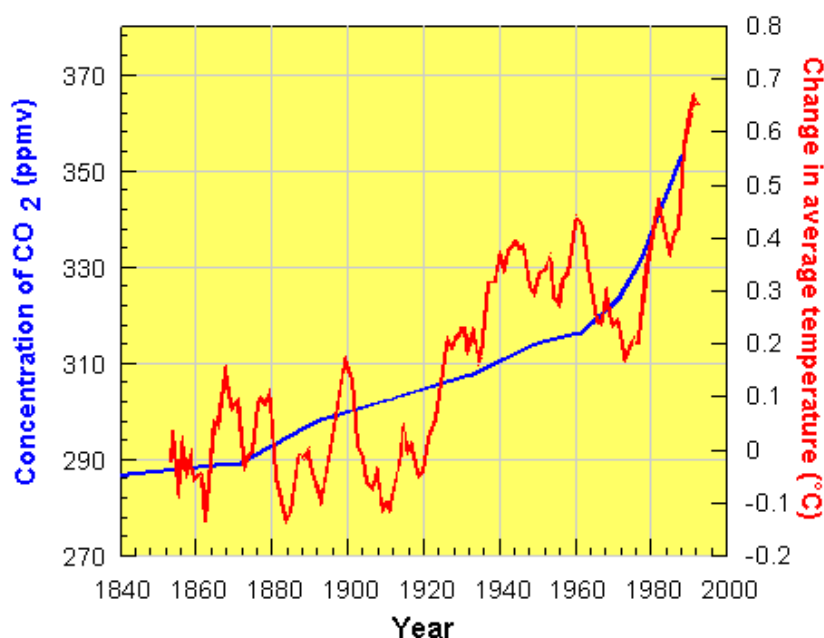
(ข)

รูปที่ 2.10 การใช้ไฟฟ้าแสงสว่าง ในบริเวณที่เป็นพื้นที่ของประเทศไทยด้วยภาพถ่ายจากดาวเทียมในระยะไกล

ก) ภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงเวลากลางวัน ข) ภาพถ่ายดาวเทียมในช่วงเวลากลางคืน

ในอดีตการใช้ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ที่มีพิกัดกำลังสูง ๆ ยังไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากมีประสิทธิภาพต่ำ (ประมาณ 10-15 %) และต้นทุนต่อหน่วยพลังงานยังสูงมากเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานในรูปอื่น แต่เมื่อเทคโนโลยีทางด้านสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำมีการพัฒนาสูงขึ้นจากเดิมมาก ส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์สูงขึ้นเป็นลำดับ (โดยเฉลี่ยมากกว่า 15% ในปี ค.ศ. 1999) ทำให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายขึ้น รวมทั้งได้รับความไว้วางใจจากหน่วยที่รับผิดชอบดูแลด้านพลังงานโดยมีการสนับสนุนและผลักดันให้มีการใช้งานอย่างจริงจังในฐานะพลังงานทดแทนที่สำคัญรูปแบบหนึ่ง

ภาวะเรือนกระจก (Greenhouse effect) เป็นแรงจูงใจอย่างหนึ่งที่ทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ได้รับความนิยม มากกว่าแหล่งพลังงานในรูปอื่นนั่นคือ เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เหมือนกับแหล่งเชื้อเพลิงอื่นๆ เช่น ถ่านหินหรือน้ำมัน เป็นต้น มีการตั้งสมมุติฐานและลงความเห็นว่าผลของภาวะเรือนกระจกทำให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกสูงขึ้น เนื่องจากมลภาวะและการใช้สารเคมีบางประเภทที่ส่งผลต่อชั้นบรรยากาศในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา เป็นผลให้ปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์สู่โลกมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างมาก ทำให้อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของโลกเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะเพิ่มสูงขึ้นทุก ๆ ปี “พลังงานสะอาดและได้เปล่า” จากคำกล่าวนี้เป็นการยืนยัน จุดเด่น และความน่าสนใจของการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อเป็นพลังงานทดแทน และจัดได้ว่าเป็นพลังงานทางเลือกที่น่าสนใจอย่างยิ่ง



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ของการเพิ่ม CO₂ ในชั้นบรรยากาศ กับอุณหภูมิเฉลี่ยของโลกที่เพิ่มขึ้น

ปัญหามลภาวะของโลกที่ทำลายสมดุลของระบบนิเวศและชั้นบรรยากาศทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทางระบบนิเวศวิทยายบนพื้นโลกอย่างมาก และอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงขึ้นในทุก ๆ ปี ยังส่งผลต่อธารน้ำแข็งบริเวณขั้วโลก ที่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและเคลื่อนตัวออกห่างกัน ดังรูปที่ 2.12



(ก)



(ข)

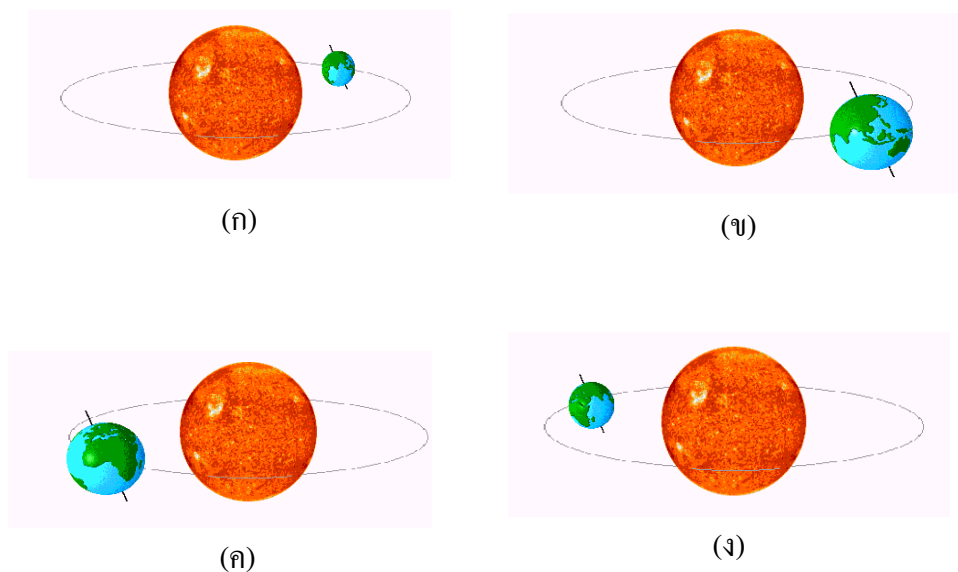
รูปที่ 2.12 การลดปริมาณลงของธารน้ำแข็งบริเวณขั้วโลกจากผลการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อม

2.4.1 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับแสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับโลก (Sun Positions in Relation To the Earth) ตลอดระยะเวลา 1 ปี ขณะที่โลกหมุน แสดงดังรูปที่ 2.13 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์เป็น รูปวงรี โดยแกนหมุนของโลกจะเอียงทำมุม 23.45 องศา กับแนวตั้งฉากของระนาบวงโคจรในการอ้างอิงระนาบของการโคจร ทำให้ได้โดย ถ้าซีกโลกเหนือเอียงไปทางดวงอาทิตย์ในฤดูร้อน และในทางกลับกันถ้าซีกโลกใต้เอียงไปทางดวงอาทิตย์จะเป็นฤดูหนาว นอกจากระยะห่างระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่โลกจะได้รับ[7] โดยสามารถดูการเปรียบเทียบค่าคงตัวสุริยะ (solar constant) ของดาวเคราะห์แต่ละดวงได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ค่าคงตัวสุริยะของดาวเคราะห์แต่ละดวงที่ระยะห่างต่างๆ กัน

Planet	Distance ($\times 10^8$ m)	Solar Constant (W/m^2)
Mercury	57	8908.0
Venus	108	2481.3
Earth	150	1286.3
Mars	227	561.7
Jupiter	778	47.8
Saturn	1426	14.2
Uranus	2868	3.5
Neptune	4497	1.4
Pluto	5806	0.9



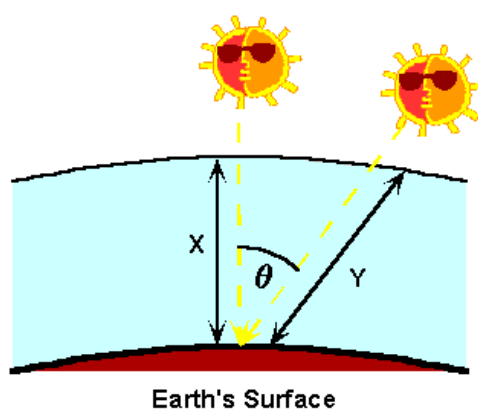
รูปที่ 2.13 ลักษณะการโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

- ก) ช่วงเดือนมีนาคม ค) ช่วงเดือนกันยายน
ข) ช่วงเดือนมิถุนายน ง) ช่วงเดือนธันวาคม

เพื่อความสะดวกในการพิจารณาความเข้ม และผลการตอบสนองทางความถี่ของแสงอาทิตย์ จึงได้มีการกำหนดค่า แอร์แมสเอ็ม (Air Mass m หรือ AMm) ขึ้น โดยค่าแอร์แมส คืออัตราส่วนระหว่างระยะทางเดินของแสงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ ต่อ ระยะทางเดินของแสงเมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ[8] ซึ่งสามารถแสดงการพิจารณาค่าดังกล่าวได้ดังรูปที่ 2.14 และสมการคำนวณแสดงได้ดังนี้

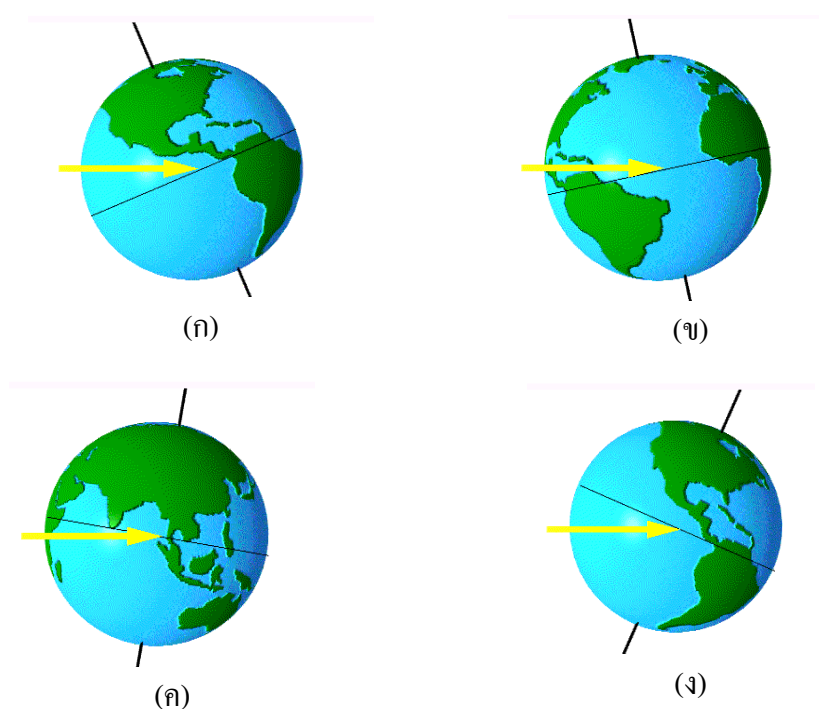
$$\text{Air Mass} = \sec(\theta) = \frac{l}{\cos(\theta)} \quad (2.1)$$

โดยที่ θ คือ มุมระหว่างแนวของลำแสงที่กระทำกับแนวตั้ง



รูปที่ 2.14 มุมของลำแสงจากดวงอาทิตย์ที่ทำกับแนวตั้งฉากกับระดับพื้นโลก

แสงอาทิตย์ที่อยู่นอกบรรยากาศโลกจะเรียกว่า แอร์เมสซีโร่ (AM0) จะถือว่ามีค่าพลังงาน 138 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร สำหรับแสงบริเวณผิวโลกที่ระดับน้ำทะเลในตอนเที่ยงวันจะเรียกว่า แอร์เมสวัน (AM1) จะถือว่ามีค่าพลังงาน 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ในปัจจุบันการวัดเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นโลกจะใช้ค่า แอร์เมส อยู่ที่ 1.5 (AM1.5) ซึ่งจะมีค่าพลังงานอยู่ที่ 83.2 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร ปริมาณพลังงานแสงนี้ได้นำไปใช้เป็นค่าเปรียบเทียบความสามารถของเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ ในการเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งก็คือประสิทธิภาพของเซลล์นั่นเอง



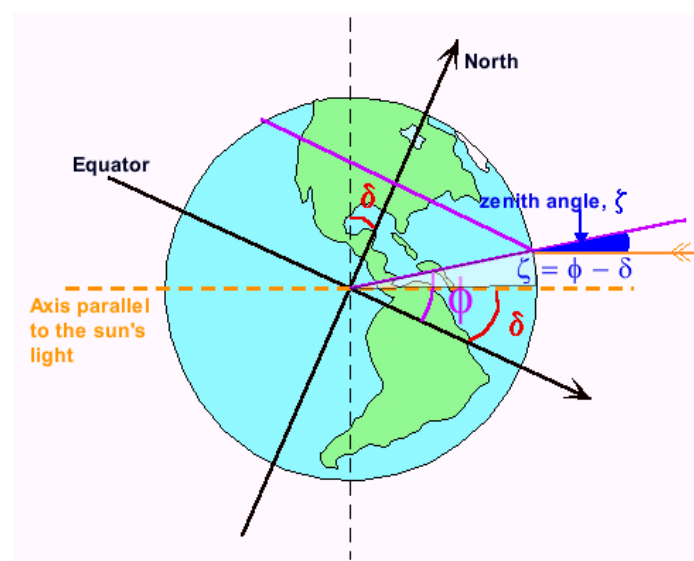
รูปที่ 2.15 ผลของรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลก จากการโคจรรอบดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา

- ก) ช่วงเดือนมีนาคม ค) ช่วงเดือนกันยายน
 ข) ช่วงเดือนมิถุนายน ง) ช่วงเดือนธันวาคม

เส้นอาร์กติก (Arctic Circle) และเส้นแอนตาร์กติก (Antarctic Circle) เส้นทรอปิกออฟแคนเซอร์ (Tropic Cancer) และเส้นทรอปิกออฟแคพริคอน (Tropic of Capricorn) มีความสัมพันธ์กับดวงอาทิตย์ใน 4 ฤดู โดยในฤดูหนาวดวงอาทิตย์จะอยู่ห่างจากโลกที่สุด และเป็นช่วงที่ขั้วโลกเหนือจะเอียงหนีจากดวงอาทิตย์ 23.5 องศา ด้วยเหตุนี้บริเวณเหนือเส้นอาร์กติกจะมีดโดยสมบูรณ์และบริเวณใต้เส้นแอนตาร์กติกจะสว่างโดยตลอด ส่วนในฤดูร้อนดวงอาทิตย์จะอยู่ห่างจากโลกที่

สุดเช่นกัน ซึ่งขั้วโลกเหนือจะเอียงเข้าหาดวงอาทิตย์ 23.5 องศา ด้วยเหตุนี้บริเวณเหนือเส้นอาร์คติกจะสว่างโดยตลอด และบริเวณใต้เส้นแอนตาร์คติกจะมีโดยสมบูรณ์ ส่วนในฤดูใบไม้ร่วงจะมีกลางวันเท่ากับกลางคืน ซึ่งขั้วโลกเหนือและขั้วโลกใต้จะมีระยะห่างจากดวงอาทิตย์เท่ากัน ซึ่งแสดงดังรูป 2.15

ด้วยเหตุนี้รังสีที่ส่องลงมาบนโลกจึงเป็นฟังก์ชันทางเลขาคณิต มุมพื้นฐานต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นดังแสดงได้เป็นความสัมพันธ์ระหว่างดวงอาทิตย์กับผิวโลกดังรูปที่ 2.16 โดยกำหนดให้พิจารณา ณ จุดอ้างอิงที่อยู่บนผิวโลก



รูปที่ 2.16 การพิจารณามุมตกกระทบของรังสีแสงอาทิตย์บนโลก

ละติจูด (Latitude) คือ มุมจากระนาบเส้นศูนย์สูตรถึงจุดอ้างอิงบนผิวโลก ละติจูดที่อยู่เหนือเส้นศูนย์สูตรจะกำหนดให้มีค่าเป็นบวก และละติจูดที่อยู่ต่ำกว่าเส้นศูนย์สูตรลงมาจะกำหนดให้มีค่าเป็นลบ

Declination (δ) คือ มุมที่รังสีของดวงอาทิตย์กระทำกับระนาบของเส้นศูนย์สูตร กำหนดให้มุมเดคลิเนชันที่เอียงไปทางขั้วโลกเหนือมีค่าเป็นบวก จากรูปที่ 2.16 มุมเดคลิเนชันเป็นมุมระหว่างเส้นจากจุดศูนย์กลางโลก ถึงจุดศูนย์กลางของดวงอาทิตย์กระทำกับโปรเจกชันของเส้นนี้บนระนาบเส้นศูนย์สูตร ค่าของมุมเดคลิเนชันจะมีค่าตั้งแต่ศูนย์องศา ในฤดูใบไม้ผลิ (วันที่มีกลางวันเท่ากับกลางคืน) ถึง + 23 องศา ในฤดูร้อน (วันที่ดวงอาทิตย์อยู่ใกล้โลกที่สุด) และจากศูนย์องศา ในฤดูใบไม้ร่วง (วันที่มีกลางวันเท่ากับกลางคืน) ถึง - 23.5 องศา ในฤดูหนาว (วันที่ดวงอาทิตย์อยู่ไกลโลกที่สุด) โดยที่ค่าการเปลี่ยนแปลงของมุมเดคลิเนชันตลอดปีจะสามารถคำนวณได้จาก

$$\delta = 23.45^\circ \sin \left(\left(\frac{284 + N}{365} \right) * 360 \right) \quad (2.2)$$

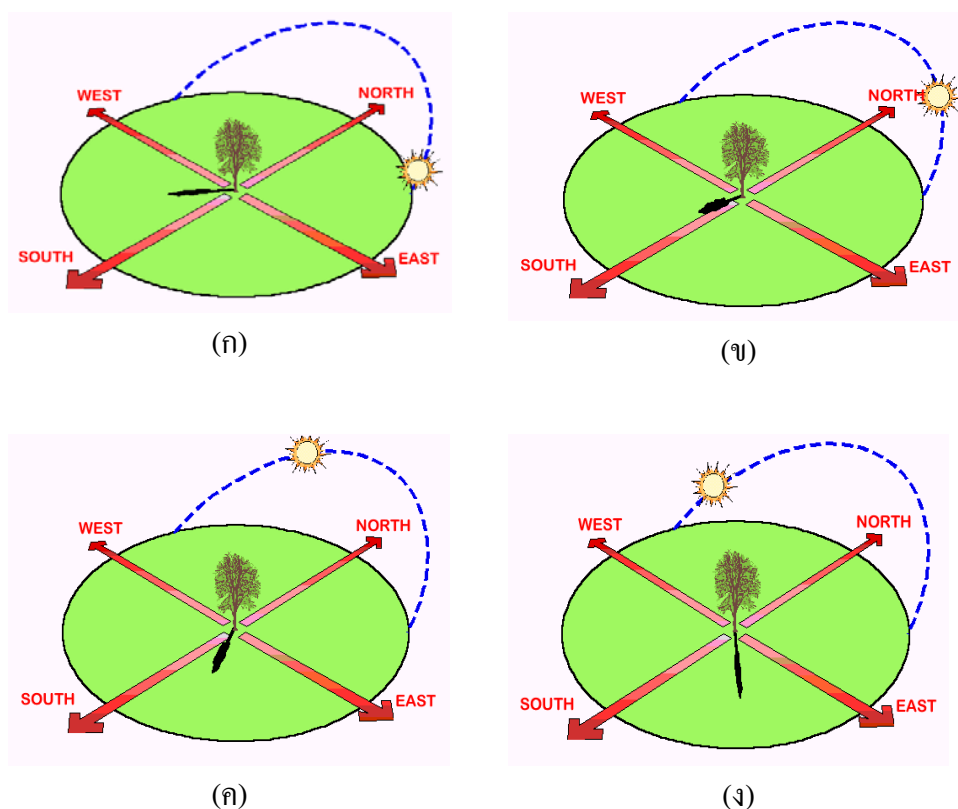
เมื่อ N คือเลขวันในรอบปี

ในการคำนวณเราจะใช้ค่า declination ที่ตลอดทั้งวัน โดยค่า n หาจากตารางดังนี้

ตารางที่ 2.4 การหาค่าเลขประจำวัน ในรอบ 1 ปี

Month	n for I th Day of Month	For the Average Day of the Month		
		Date	N, day of the Year	δ Declination
มกราคม	I	17	17	-20.9
กุมภาพันธ์	31+I	16	47	-13.0
มีนาคม	59+I	16	75	-2.4
เมษายน	90+I	15	105	9.4
พฤษภาคม	120+I	15	135	18.8
มิถุนายน	151+I	11	162	23.1
กรกฎาคม	181+I	17	198	21.2
สิงหาคม	212+I	16	228	13.5
กันยายน	243+I	15	258	2.2
ตุลาคม	273+I	15	288	-9.6
พฤศจิกายน	304+I	14	318	-18.9
ธันวาคม	334+I	10	344	-23.0

Hour Angle (h) คือมุมระหว่างจุดใด ๆ บนเส้นแวงกับทิศทางของดวงอาทิตย์บนโลก โดยที่ ณ solar noon ของแต่ละท้องถิ่นจะมีค่ามุมชั่วโมงเป็นศูนย์ โดยที่มุมจะหมุนเปลี่ยนไป 15 องศาต่อชั่วโมง (มุมช่วงเช้าจะเป็นลบ และมุมช่วงบ่ายจะเป็นบวก) ตัวอย่างเช่นที่เวลา 11:00 น. มุมจะเท่ากับ - 15 องศา ส่วนที่เวลา 13:30 น. มุมจะเท่ากับ + 15 องศา คูณกับ 15 ชั่วโมง เท่ากับ 22.5 องศา แต่สำหรับการคิดมุมที่ sunset hour angle (ω_s) คือมุมเมื่ออาทิตย์ขึ้น โดยที่ $\theta = 90$ องศา รูปที่ 2.17 ได้แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ เมื่อพิจารณาจากจุดอ้างอิงบนโลก

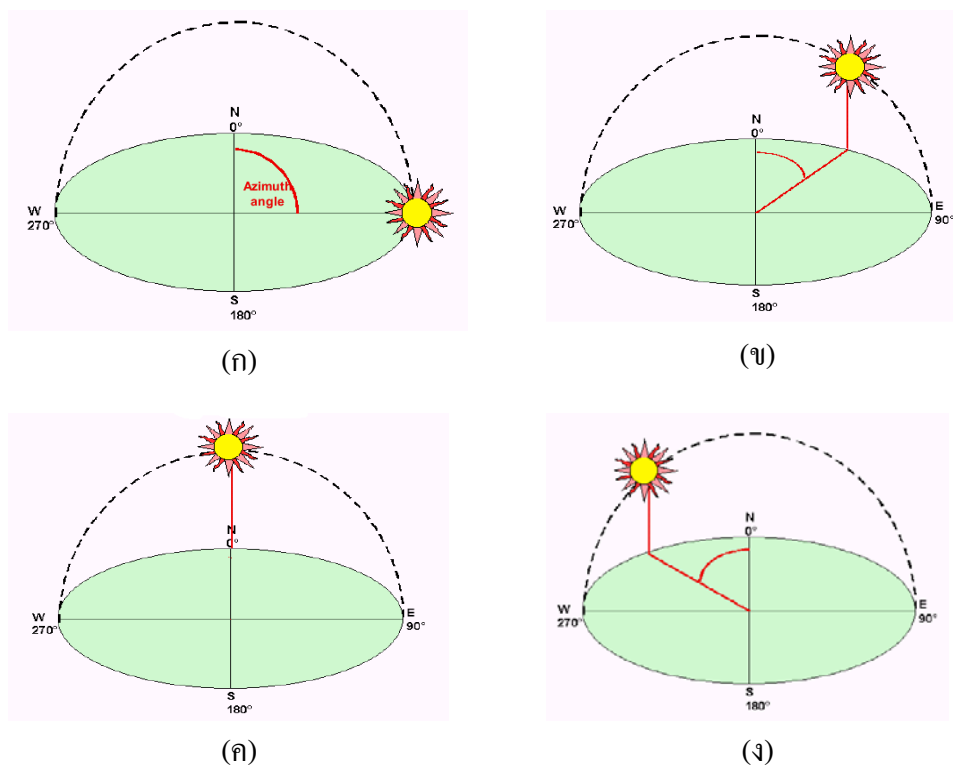


รูปที่ 2.17 ลักษณะการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ เมื่อพิจารณาจากจุดอ้างอิงบนโลก

- ก) ช่วงที่ดวงอาทิตย์เริ่มปรากฏ ค) ช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน
 ข) ช่วงเวลาก่อนเที่ยงวัน ง) ช่วงเวลาใกล้ค่ำ

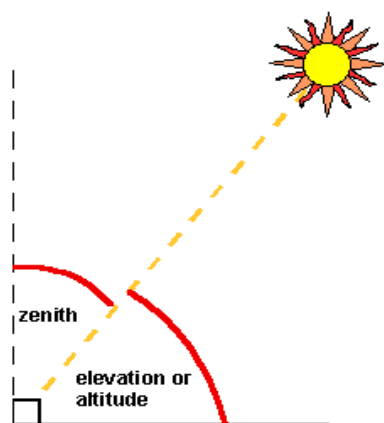
ส่วนในการบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะต้องใช้มุมใหม่เพิ่มขึ้น 3 มุม จากมุมพื้นฐานข้างต้นเป็นตัวบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.18 และ รูปที่ 2.19 โดยโลกจะหมุนไปทางทิศตะวันออก ส่วนดวงอาทิตย์จะปรากฏโดยการสังเกตบนโลกจะเห็นว่าดวงอาทิตย์จะเคลื่อนที่ไปบนท้องฟ้าในลักษณะเป็นเส้นโค้งโดยจะค่อย ๆ ขึ้นจากทิศตะวันออก หลังจากนั้นจะเคลื่อนไปทางทิศตะวันตก มุมที่เพิ่มขึ้นมาใหม่ได้แก่

1. Zenith angle (θ_z) คือ มุมระหว่างรังสีดวงอาทิตย์กระทำในแนวตั้ง หน่วยเป็นองศา
2. Altitude angle (α) คือ มุมระหว่างรังสีดวงอาทิตย์กระทำในแนวนอน หน่วยเป็นองศา
3. Azimuth angle (ψ) คือ มุมของรังสีดวงอาทิตย์ที่วัดจากทิศใต้ไปทางทิศตะวันตกในแนวระนาบแนวนอน จะมีค่าเป็นบวกสำหรับซีกโลกเหนือ ส่วนสำหรับซีกโลกใต้จะวัดจากทิศเหนือไปทางทิศตะวันออกในแนวระนาบแนวนอนมีค่าเป็นบวก หน่วยเป็นองศา



รูปที่ 2.18 การเปลี่ยนมุม Azimuth angle (ψ) ตามการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ ในช่วงเวลาต่างๆ

- ก) ช่วงที่ดวงอาทิตย์เริ่มปรากฏ ค) ช่วงเที่ยงวัน
ข) ช่วงเวลาก่อนเที่ยงวัน ง) ช่วงเวลาหลังเที่ยงวัน



รูปที่ 2.19 ตำแหน่งของมุม Zenith angle (θ_z) และ Altitude angle (α)

สำหรับรังสีของดวงอาทิตย์บนพื้นผิวเอียง จำเป็นที่จะต้องกำหนดมุมมากกว่า 3 มุม ให้สัมพันธ์กับพื้นผิว ดังแสดงในรูปที่ 2.20 อันได้แก่

1. Slope (β) คือ มุมระหว่างพื้นผิวกับระนาบแนวนอน (Horizontal) โดยมุมเอียงจะมีค่าระหว่าง 0 ถึง 180 องศา

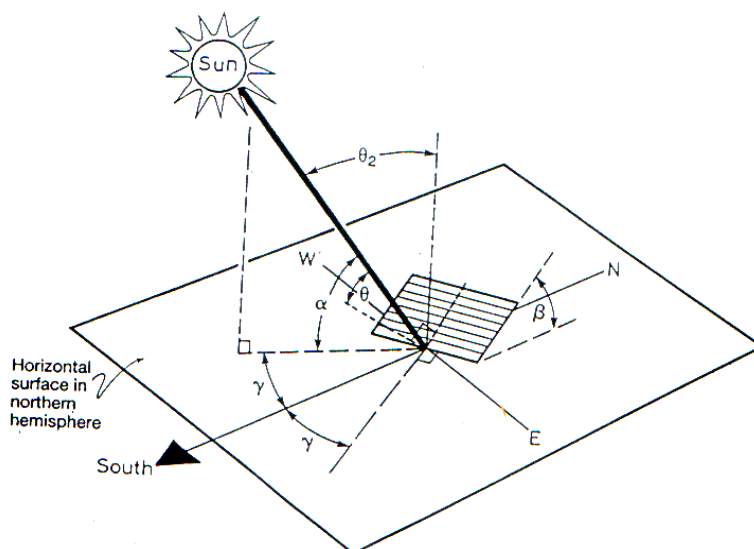
2. Surface angle (ϕ) คือ มุมระหว่างเส้นตั้งฉากกับพื้นผิวกับทิศใต้วัดในแนวระดับ โดยมีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศตะวันตก

3. Incident angle (θ) คือ มุมระหว่างรังสีดวงอาทิตย์กับเส้นตั้งฉากพื้นผิว ถ้าพื้นผิวกับระนาบแนวระดับวางทับกันจะได้ว่ามุม Incident angle (θ) และมุม Zenith angle (θ_z) จะเท่ากัน โดยนี้มีความสำคัญในการคำนวณปริมาณแสงที่จะตกลงบนแผง ถึงมีการตั้งค่าให้มีความสัมพันธ์กับมุมอื่น ๆ โดย

$$\cos\theta = \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\phi \sin\delta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega \quad (2.3)$$

และสำหรับระนาบแนวนอน มุม incidence คือมุม Zenith ของดวงอาทิตย์ (θ_z) โดยค่าของมุมจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 90 องศา เมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือแนวระนาบ สำหรับที่สถานะนี้ ค่า Slope (β) เท่ากับ 90 องศา ดังนั้นจากสมการจึงเป็น

$$\cos\theta_z = \cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta \quad (2.4)$$



รูปที่ 2.20 แสดงมุมที่เกิดจากพื้นผิว ได้แก่มุม Tile angle β , Surface Azimuth angle ψ และ Incident angle θ

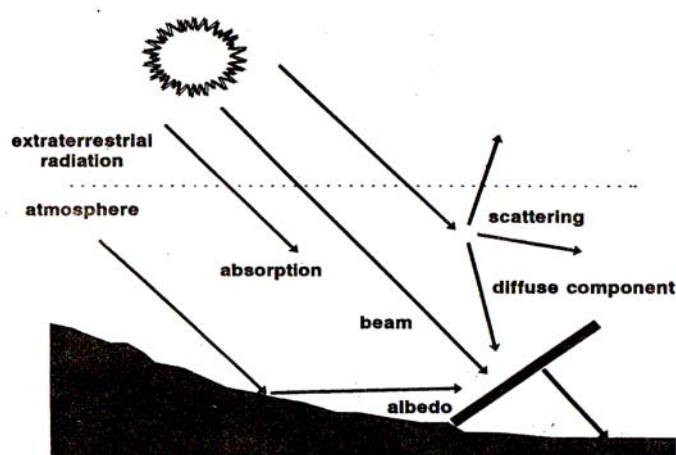
2.4.2 การพิจารณาค่าแห่ง และมุมในการติดตั้งที่เหมาะสม

2.4.2.1 มุมเอียง และ ปริมาณแสงที่ตกลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

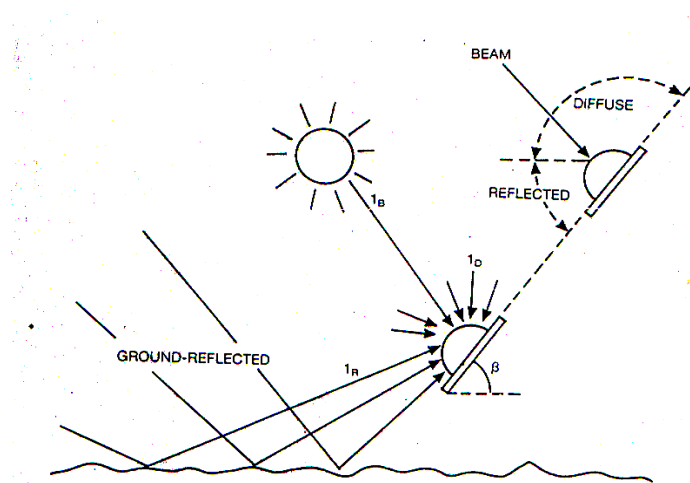
รังสีแสงอาทิตย์ เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ [9] สามารถแบ่งออกเป็น

1. Direct or Beam Radiation
2. Diffuse Radiation
3. Reflected Radiation

- การแผ่รังสีของทั้ง 3 แบบนี้ ขึ้นอยู่กับวันและเวลา receiving angle และสถานะแวดล้อมของบริเวณรอบ ๆ เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.21 ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันออกไป ส่งผลให้ค่าเอ้าท์พุทที่ได้รับนั้นแตกต่างกันด้วย จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาข้อมูลองค์ประกอบการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ บนพื้นเอียง ในส่วนต่างๆ เพื่อการเลือกระบบที่เหมาะสมที่สุด



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.21 การวัด และพิจารณาองค์ประกอบการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ บนพื้นเอียง

ก) องค์ประกอบของรังสีส่วนต่างๆ ข) การวัดรังสีองค์ประกอบของรังสีส่วนต่างๆ

พิจารณาการแผ่รังสีที่ค่ามุมของแสงที่ต่าง ๆ กัน ค่าปริมาณรังสีตรงที่มุมแสงค่าต่างกัน $G(\beta)$ มีสมการที่ใช้พิจารณาคือ

$$G(\beta) = B(\beta) + D(\beta) + R(\beta) \quad (2.5)$$

โดยหาค่า B_0 ได้จาก

$$B_0 = (24/\pi) S \{1 + 0.33 \cos(2\pi d_n / 365)\} (\cos\phi \cos\delta \sin\omega_s \sin\phi \sin\delta)$$

ϕ = ตำแหน่งละติจูดที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

β = ค่ามุมเอียงของแผงเซลล์

δ = มุมเดคลิเนชัน ซึ่งหาได้จาก $23.45 \sin\{360/(284 + n)/365\}$

n = เลขวันในรอบปี โดยวันที่ 1 มกราคม มีค่าเป็น 1 และ 31 ธันวาคม มีค่าเป็น 365

ω = มุมชั่วโมงตามตำแหน่งดวงอาทิตย์ สำหรับที่ตึ้นนั้นๆ

หมายเหตุ มุมที่ใช้ในการคำนวณมีหน่วยเป็นเรเดียน

โดยค่า B_0 คือค่า irradiance ที่อยู่นอกบรรยากาศโลกโดยเป็นค่าที่อยู่ในช่วงประมาณ -3% ถึง +3% ของวงโคจรของโลก

ค่า clearness index (K_T) ค่านี้อาจถูกคำนวณทุกๆ เดือนในหนึ่งปีจาก

$$K_T = G / B_0 \quad (2.6)$$

โดยค่า G เป็น ปริมาณรังสีรวมบนระนาบแนวนอน (สำหรับข้อมูลของค่าตัวนี้ได้จากปริมาณพลังงานแสงจากกรมอุตุนิยมวิทยา) และค่าดัชนี K_T จะใช้ในการคำนวณค่าของรังสีกระจาย ดังนั้น

$$D/G = 1 - 1.13 K_T \quad (2.7)$$

ส่วนการคำนวณ B ได้จาก

$$B = G - D \quad (2.8)$$

โดยค่า B เป็นค่ารังสีตรงที่แนวระนาบ ถ้าจะหาค่ารังสีตรงที่ตกบนระนาบใดๆ หาได้จาก

$$B(\beta) = B^* R_b \quad (2.9)$$

การหาค่ามุมและค่า $\cos\theta$ ของรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แบบต่าง ๆ[9]

กรณีที่ 1 :

สำหรับอุปกรณ์ที่มีการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แบบสองแกนค่า slope และ มุม incidence จะเป็นดังนี้

$$\beta = \arccos(\sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega) \quad (2.12)$$

และ $\theta = 0$

กรณีที่ 2 :

สำหรับกรณีระบบที่มีการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แบบหนึ่งแกน (เหนือ-ใต้, หมุนอย่างต่อนื่องที่ความเร็วคงที่) ค่า slope และค่ามุม incidence จะเป็น

$$\beta = \arccos(\cos\omega \cos\varphi) \quad (2.13)$$

และ $\theta = \delta$

กรณีที่ 3 :

ในกรณีระบบที่มีการติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ แบบหนึ่งแกน(ตามแนวตะวันออก-ตะวันตก)

$$\beta = \arctan\{(\cos\delta \sin\varphi \cos\omega - \sin\delta \cos\varphi) / (\sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega)\} \quad (2.14)$$

$$\theta = \arccos[\sin\delta \sin\varphi \cos\beta - \sin\delta \cos\varphi \sin\beta + \cos\delta \cos\varphi \cos\beta \cos\omega + \cos\delta \sin\varphi \sin\beta \cos\omega] \quad (2.15)$$

กรณีที่ 4 :

สำหรับการออกแบบกรณีที่ไม่มี การติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ (ไม่มีอุปกรณ์ TRACKING) ค่าของ slope และมุม incidence จะเป็นดังนี้

$\beta = \varphi$ หรือให้ติดตั้งที่ $\varphi + 15$ องศา หรือ $\varphi - 15$ องศา

$$\theta = \arccos(\cos\theta_z \cos\beta + \sin\theta_z \sin\beta) \quad (2.16)$$

ดังนั้น เมื่อหาค่าของ slope(β) และ มุม incidence (θ) จึงทำให้หาค่า $B(\beta), D(\beta), R(\beta)$ ได้ ฉะนั้นแล้วจึงหาค่ารังสีรวมที่ $G(\beta)$ ได้

2.4.2.2 การพิจารณามุมเอียงที่เหมาะสม

การพิจารณามุมเอียงที่เหมาะสม มีความจำเป็นที่จะต้องมีการพิจารณามุมเดคลิเนชัน(δ) หรือมุมการเอียงปรากฏของแกนหมุนของโลกเข้าหาดวงอาทิตย์เทียบกับแกนตั้งฉากของระนาบสุริยะวิถีประกอบด้วย[10] โดยมีสูตรในการคำนวณหาค่ามุมเดคลิเนชันเป็นดังสมการที่ 1 ข้างต้น

นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องพิจารณาถึงมุมประกอบอื่นๆ ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.22 อีกด้วย อันได้แก่ อัลติจูดสุริยะ(α) และมุมแอซิมูทสุริยะ(ψ) ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีมุมเอียงเป็น β และ มุมแอซิมูทของแผงเป็น γ และมุมตกกระทบจากดวงอาทิตย์ทำกับระนาบตั้งฉากกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นมุม θ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถรับรังสีในช่วงเวลาหนึ่งได้สูงสุดเมื่อมุม $\theta(t)$ ในเวลาใด ๆ มีขนาดเล็กที่สุด หรือ $\cos\theta(t)$ มีค่ามากที่สุด[11]

$$\begin{aligned}\cos\theta &= \sin\delta \sin\varphi \cos\beta - \sin\delta \cos\varphi \sin\beta \cos\gamma + \cos\delta \cos\varphi \cos\beta \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin\varphi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega\end{aligned}\quad (2.17)$$

เมื่อ φ เป็นมุมเส้นรุ้งของสถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

และ ω คือมุมชั่วโมง (hour angle)

โดยถ้ามุมอื่นๆคงที่ค่า $\cos\theta$ จะแปรค่าตามมุม β และจะมีค่าสูงที่สุดเมื่อ $\frac{d\cos\theta}{d\beta} = 0$ ซึ่งจะทำให้สามารถหาค่ามุมเอียงที่เหมาะสม(β_{opt})ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ นอกจากนี้ถ้าทำการพิจารณาค่ามุมเอียงที่เหมาะสมในตอนเที่ยงวันก็สามารถที่จะพิจารณาได้ดังนี้

$$\tan\beta_{opt} = \cos\gamma \tan(\varphi - \delta) \quad (2.18)$$

เมื่อพิจารณาค่ามุมเอียงที่เหมาะสม ณ ตำแหน่งเที่ยงวัน คือ $\omega = 0$ และ $\gamma = 0$ จะส่งผลให้การหาค่ามุมเอียงที่เหมาะสมเปลี่ยนไปเป็น

$$\beta_{opt} = \varphi - \delta \quad (2.19)$$

นอกจากนี้เพื่อให้ได้รับแสงจากดวงอาทิตย์สูงสุดในแต่ละวันค่าของ β_{opt} จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าไปอีกด้วย สำหรับกรณีแผงรับแสงวางอยู่ในแนวตะวันออก-ตะวันตก และหันหน้าเข้าหาเส้นศูนย์สูตร ($\gamma = 0$) β_{opt} จะแปรตาม ω ดังนี้

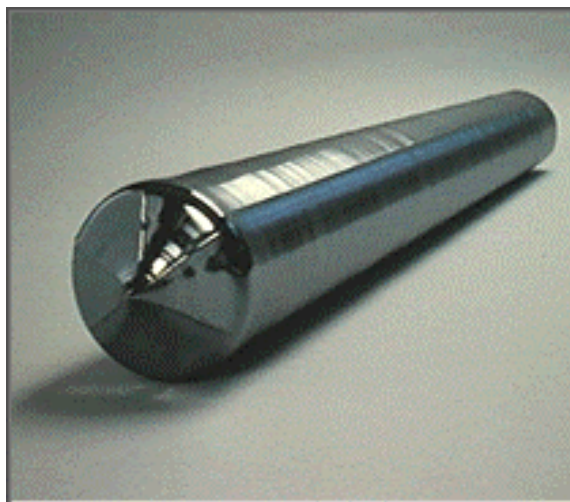
$$\tan\beta_{opt} = \frac{\cos\delta \sin\varphi \cos\omega - \sin\delta \cos\varphi}{\sin\delta \sin\varphi + \cos\delta \cos\varphi \cos\omega} \quad (2.20)$$

สำหรับในวันที่ $N = 81$ และ 264 ที่อิกวินอกซ์ ดวงอาทิตย์อยู่บนเส้นศูนย์สูตรพอดี ($\delta=0$) มุม $\beta_{opt} = \varphi$ นั่นคือมุมเอียงมีค่าคงที่ตลอดวันจะเท่ากับมุมเส้นรุ้งของสถานที่นั้นๆ โดยไม่ขึ้นกับมุมชั่วโมง ω

2.4.3 ทฤษฎีของเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด โดยแบ่งออกได้หลายชนิดดังนี้ คือ

1. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน
2. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน
3. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัส
4. เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารประกอบกึ่งตัวนำ



รูปที่ 2.23 ลักษณะแท่งผลึกซิลิกอน ก่อนการตัดเพื่อทำเป็นแผ่นผลึกสารกึ่งตัวนำ

2.4.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ปัจจุบันมีการผลิตใช้งานกันมากที่สุด เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนนั้นทำมาจากซิลิกอนที่มีระนาบเดียวกันตลอดทั้งชิ้นงาน โดยที่ความหนาของแผ่นซิลิกอนนั้นมีค่าน้อย ทำให้น้ำหนักเบาและเป็นวัสดุที่ทนต่อแรงเค้นแม้จะมีความหนาเพียง $50 \mu\text{m}$ ก็ยังคงสภาพเป็นแผ่นได้ดี เซลล์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าเซลล์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน และแบบอะมอร์ฟัส โดยที่ลักษณะสมบัติการผลิตพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามอายุการใช้งานน้อย

มาก อายุการใช้งานนานถึง 20 ปี ข้อเสียของเซลล์ชนิดนี้จะมีบ้างก็คือ เนื่องจากผลึกซิลิกอนมีช่องว่างแถบพลังงานชนิดไม่ตรง (indirect band gap) ดังนั้นสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงมีค่าน้อย การผลิตจึงต้องผลิตให้หนาพอสมควร ซึ่งความหนาจะอยู่ประมาณ μm ขึ้นไป โดยที่การผลิตนั้นทำได้ง่าย ซึ่งใช้เทคโนโลยีการสร้าง IC ในการทำรอยต่อพี-เอ็น ซึ่งมีความก้าวหน้าไปมากในปัจจุบัน โดยในทางทฤษฎีแล้วเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงถึง 44 % แต่ในทางปฏิบัติจริงเซลล์ชนิดนี้จะมีการสูญเสียต่างๆ เกิดขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์มีค่าต่ำลง

2.4.3.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน

เซลล์ชนิดนี้ทำมาจากซิลิกอนที่อยู่ในผลึกจะมีระนาบของผลึกหลายชนิดปนอยู่ในระนาบเดียวกัน เช่น (111), (112) และ (330) เป็นต้น เมื่อดูด้วยตาเปล่าจะเห็นความแตกต่างของสีของแต่ละระนาบอย่างชัดเจน อาณาเขตของผลึกเรียกว่า “เกรน” (grain) เทคโนโลยีปัจจุบันนี้สามารถผลิตโพลีซิลิกอนให้มีเกรนที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่หลายสิบลไมครอนถึงหลายพันไมครอน ถ้าเกรนมีขนาดใหญ่กว่าความหนาของเซลล์ พาหะโฟโตที่เกิดจากแสงสามารถเดินทางผ่านรอยต่อพี-เอ็น ออกสู่วงจรภายนอกเซลล์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสียของเซลล์ชนิดนี้ก็จะมีพันธะของซิลิกอนที่มีแขนขาอยู่มาก ซึ่งไม่มีซิลิกอนอะตอมอื่นมาเกาะพันธะด้วย ซึ่งพันธะแขนขานี้จะเป็นตัวทำให้เกิดสถานะจุดบกพร่อง (defect state) ซึ่งสถานะจุดบกพร่องนี้จะเป็นตัวกักจับพาหะซึ่งน้อยจากแสงไม่ให้เดินทางออกสู่วงจรภายนอก และส่งผลทำให้เวลาอายุ (life time) ของพาหะข้างน้อยลดลง และที่ขอบของเกรนจะทำให้เกิดแถบพลังงานที่ขอบของเกรนเกิดเส้นโค้งขึ้น

2.4.3.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะเป็นแบบฟิล์มบาง ซึ่งสร้างมาจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน ซึ่งเป็นซิลิกอนที่เรียงตัวกันแบบไม่เป็นระเบียบหรือเป็นระเบียบในช่วงระยะสั้นของอะตอมแต่ไม่เป็นระเบียบในช่วงระยะยาวของอะตอม ซึ่งการเรียงตัวของอะตอมอย่างเป็นระเบียบในช่วงระยะสั้นของอะตอมจะทำให้มีคุณสมบัติคล้ายผลึก แต่ในขณะที่การเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบในช่วงระยะยาวของอะตอมนี้จะทำให้มีคุณสมบัติต่าง ๆ แปลกออกไปเช่น ค่าคงที่ต่าง ๆ ทางฟิสิกส์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ และคุณสมบัติทางฟิสิกส์จะเหมือนกันตลอดทุกทิศทางของวัสดุ ข้อดีของอะมอร์ฟัสซิลิกอน ก็คือ มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี สามารถผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส โดยสามารถสร้างบนพื้นผิวฐานรองอะไรก็ได้ ราคาถูกและประหยัดพลังงาน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ถูกผลิตครั้งแรกในปี ค.ศ.1977 โดย Carlson และ wronski ต่อมา Dr Hamakawa มหาวิทยาลัยโอซาก้า ได้ออกแบบเป็นเซลล์แสงอาทิตย์เป็นลักษณะของ (a-Su:H) p-I-

n ซึ่งใช้กันอยู่ทุกวันนี้ประสิทธิภาพโดยรวมของเซลล์ชนิดนี้มีค่าอยู่ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์[12] และเซลล์ชนิดนี้สามารถประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์อย่างอื่นอีกเช่น ตัวตรวจจับแสงสีต่าง ๆ

2.4.3.4 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารประกอบกึ่งตัวนำ

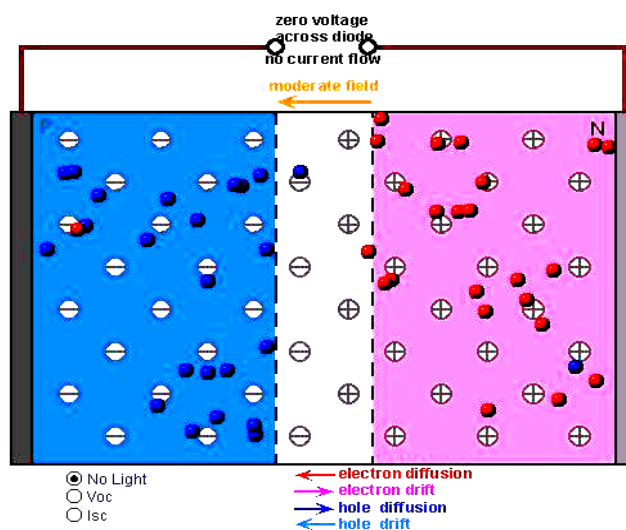
เซลล์ชนิดนี้สร้างจากสารประกอบกึ่งตัวนำตระกูล III-V เช่น GaAs และ InP และสารประกอบกึ่งตัวนำตระกูล II-VI เช่น CdS, DdTe ซึ่งผลิตขายในเชิงอุตสาหกรรมแล้ว โดยมากเซลล์ที่สร้างจาก GaAs และ InP จะใช้กันมากในอวกาศ โดยเฉพาะ InP นั้นจะมีคุณสมบัติทนต่อรังสีได้ดี ข้อดีของเซลล์จำพวกนี้คือ เซลล์มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากสารที่นำมาทำเซลล์มีค่าช่องว่างพลังงานที่สูงประมาณ 1.4-1.5 eV และมีค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูงเนื่องจากเป็นแสงที่มีช่องว่างแถบพลังงานแบบตรง (direct band gap) ซึ่งสามารถทำเป็นแบบฟิล์มบางได้ โดยถ้าเทียบเป็นประสิทธิภาพที่ 15 % จะต้องใช้ซิลิกอนที่มีความหนาถึง 100 μ m ในขณะที่ใช้ GaAs จะใช้ความหนาเพียง 10 μ m เซลล์ชนิดนี้มีความทนทานต่อรังสีสูง และทำงานได้ดีในความเข้มสูงๆ คุณสมบัติเด่นอีกข้อหนึ่งก็คือ สามารถสร้างเป็นหลายๆ ชั้นได้จะทำให้สามารถมีศักยภาพในการดูดกลืนคลื่นแสงในลักษณะสเปกตรัมที่กว้างได้ดี

โดยที่กล่าวยกตัวอย่างชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์มาทั้ง 4 ชนิดนั้น สารแต่ละชนิดที่นำมาทำเซลล์นั้นจะมีช่องว่างแถบพลังงานที่ค่าอยู่ระหว่าง 0.4-2.0 eV ซึ่งช่องว่างแถบพลังงานนี้เองจะเป็นตัวกำหนด "แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร" V_{OC} ซึ่งถ้า E_g มีค่ามากค่าของ V_{OC} ก็จะมีค่ามากตามไปด้วย แต่ถ้า E_g มีค่าน้อยก็จะได้ V_{OC} น้อยเช่นกัน

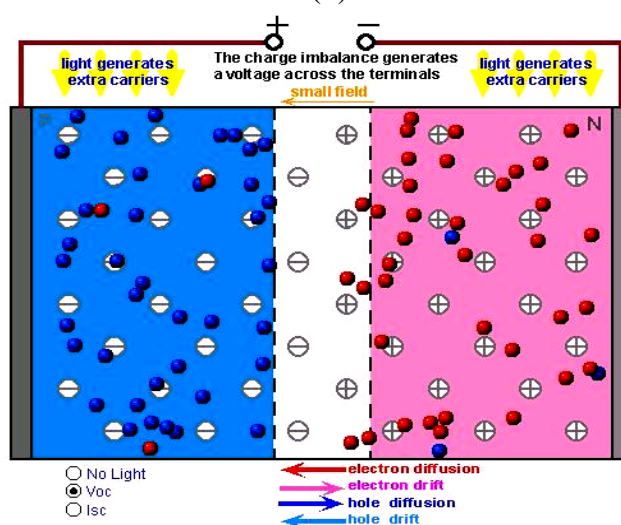
ตัวกำหนดค่าของ V_{OC} นอกจากจะเป็นค่า E_g แล้วยังมีอีกอย่างหนึ่งก็คือ "กระแสไฟฟ้าย้อนกลับอิ่มตัวของไดโอด" I_S (saturated reverse current) ซึ่งค่าของ I_S มีค่าน้อยก็จะทำให้ค่าของ V_{OC} มีค่ามากเพราะค่าของ I_S จะขึ้นอยู่กับค่าของ E_g โดยที่ค่าของ E_g มาก I_S จะมีค่าน้อย โดยสามารถแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน และโฮล ในกรณีต่างๆ ดังรูปที่ 2.24

ปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าต่ำลงก็คือ อุณหภูมิ โดยที่อุณหภูมิจะมีผลอย่างมากกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารที่มีค่า E_g ต่ำๆ มาทำ เพราะว่าอุณหภูมิจะทำให้ "กระแสไฟฟ้าลัดวงจร" (I_{SC}) สูงขึ้นแต่ไม่มากนัก แต่ค่าของ V_{OC} และค่าฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) จะมีค่าลดลง จึงทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำลง

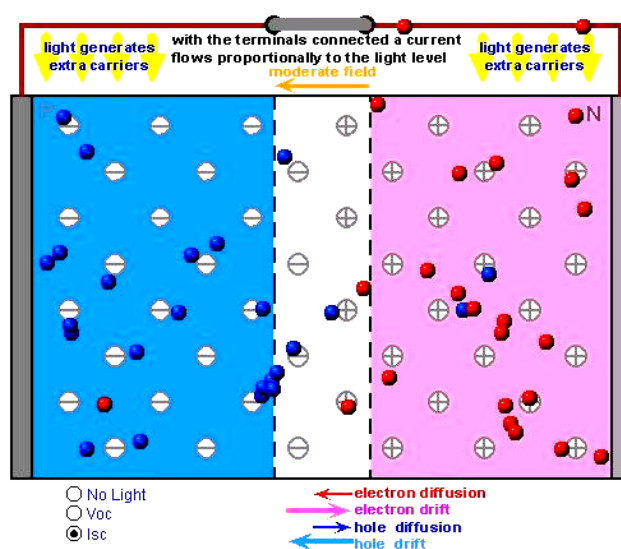
ซึ่งกล่าวโดยสรุปก็คือค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เป็นตัวกำหนดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ในตอนนี้ก็คือ ค่าของ V_{OC} และ I_{SC} ต้องมีค่ามาก ส่วนค่าของ I_S จะต้องมีค่าน้อย โดยที่อุณหภูมิจะต้องไม่สูงจนเกินไป ส่วนปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพของเซลล์มีค่าเปลี่ยนแปลงนั้นเราจะไปวิเคราะห์ในบทต่อไป



(ก)



(ข)



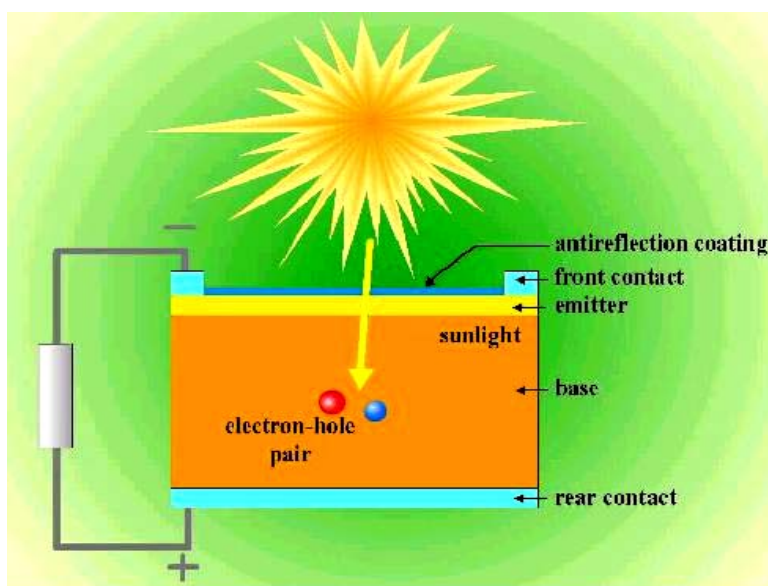
(ค)

รูปที่ 2.24 ลักษณะการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะต่างๆ

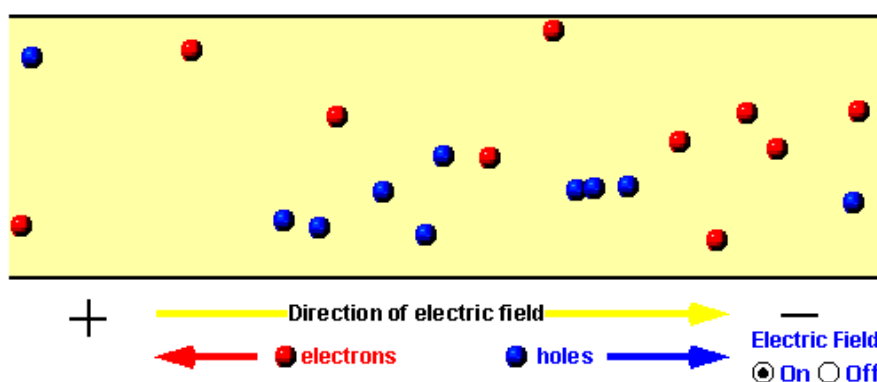
ก) กรณีไม่มีแสงตกกระทบบนแผงเซลล์ ข) เมื่อเกิดการเปิดวงจร ค) เมื่อเกิดการลัดวงจร

2.4.4 หลักการทำงานโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

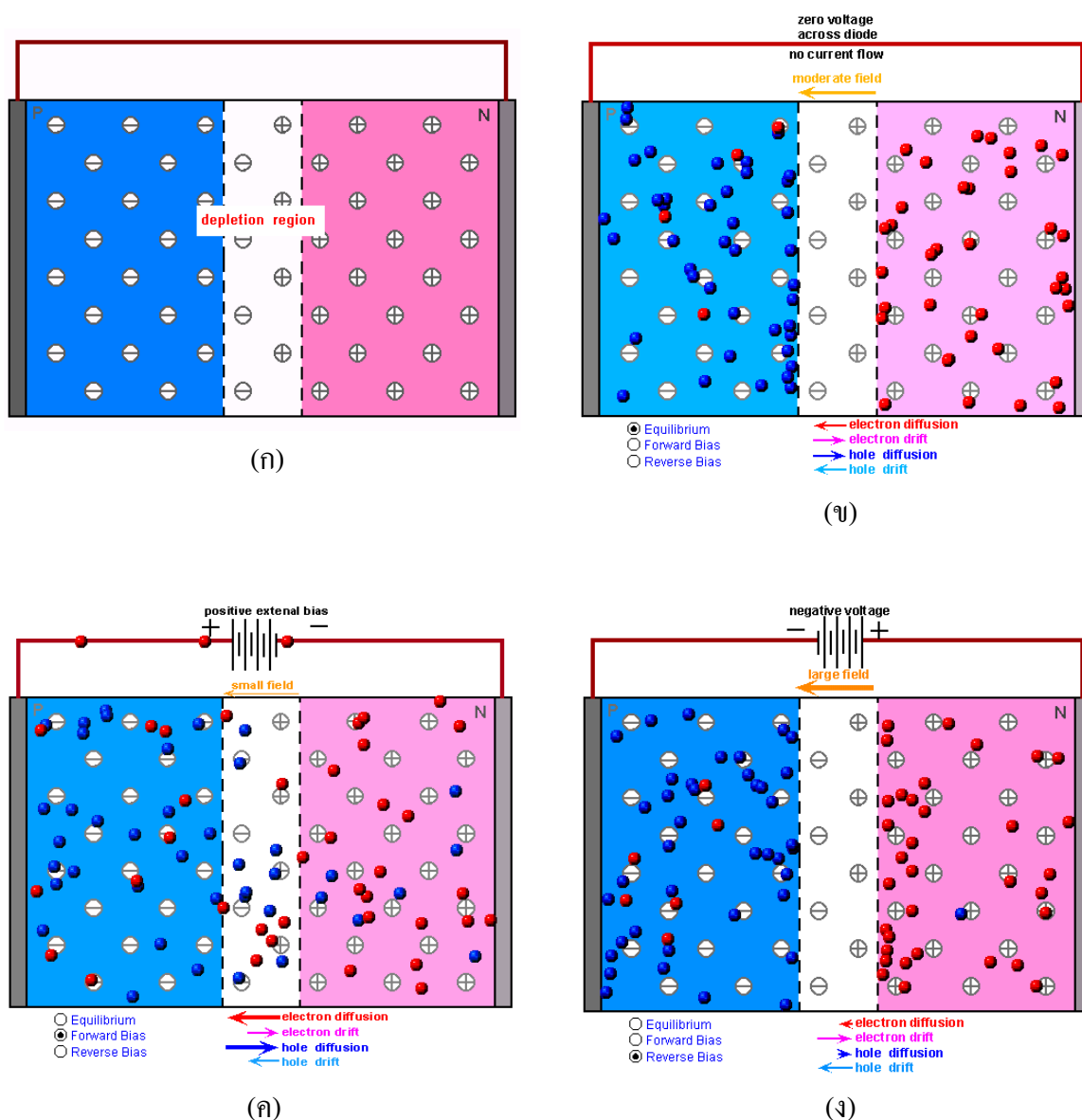
เมื่อสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นและชนิดพีมาต่อเข้าด้วยกันนั้น จะได้ลักษณะของแถบพลังงานซึ่งอยู่ในสถานะของสมดุลความร้อน และเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่บริเวณปลดพาหะนั้นจะทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอนโฮลขึ้น ดังรูปที่ 2.25 ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับพลังงานแสงด้วยว่าจะเพียงพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนสามารถที่จะเปลี่ยนระดับพลังงานขึ้นไปยังแถบความนำได้หรือไม่ ถ้าพลังงานมากพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนเปลี่ยนระดับพลังงานขึ้นไปยังแถบความนำได้และจะเหลือโฮลไว้ที่แถบวาเลนซ์ ที่บริเวณปลดพาหะนั้นจะมีสนามไฟฟ้าอยู่ ซึ่งมีทิศทางจากสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นไปยังสารกึ่งตัวนำชนิดพี สนามไฟฟ้านี้เองจะเป็นตัวทำให้อิเล็กตรอนที่เกิดจากแสงให้เคลื่อนที่ไปยังด้านเอ็น ในขณะที่โฮลก็จะเคลื่อนที่ไปยังด้านพี โดยการเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลภายใต้สนามไฟฟ้าได้แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.25 การเกิดคู่อิเล็กตรอน และโฮลขึ้นเมื่อมีแสงอาทิตย์มาตกกระทบลงบนเซลล์



รูปที่ 2.26 การเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลภายใต้สนามไฟฟ้า

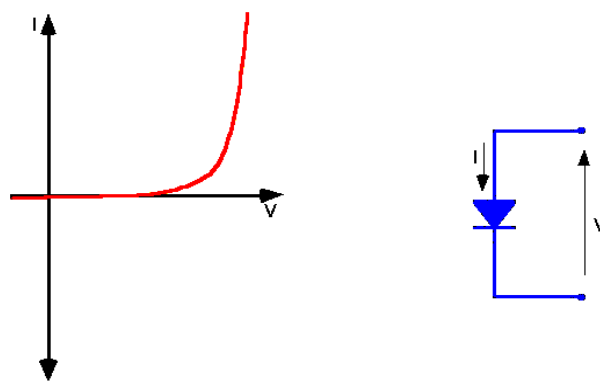


รูปที่ 2.27 ลักษณะการเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำที่สภาวะต่างๆ

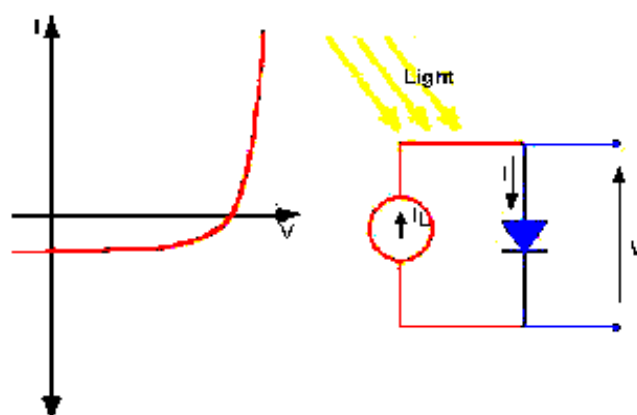
- ก) สภาพปกติ ค) การกระตุ้นแบบ forward bias
ข) ที่สภาวะสมดุล ง) การกระตุ้นแบบ reverse bias

2.4.4.1 คุณสมบัติความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

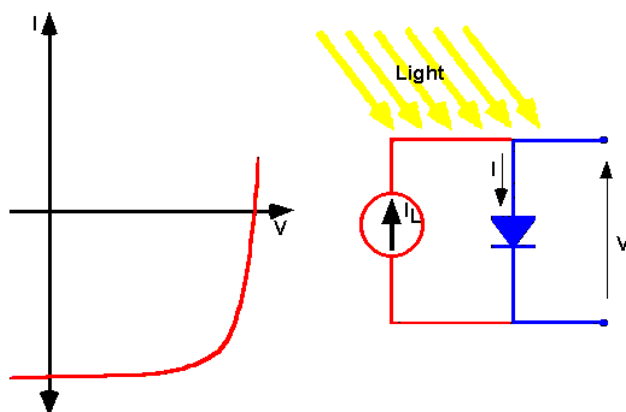
เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์มีโครงสร้างเป็นแบบรอยต่อพี-เอ็น เพียงรอยต่อเดียวเหมือนไดโอด ดังนั้นคุณสมบัติทางแสงของเซลล์ในขณะที่ยังไม่ได้รับแสงจึงเหมือนกับไดโอดทั่วไป เพียงแต่มีกระแสรั่วไหลที่รอยต่อมากกว่าเท่านั้นดูได้จากรูป 2.27 ซึ่งแสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของประจุพาหะอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำที่สภาวะต่างๆไว้ นอกจากนี้เซลล์แสงอาทิตย์ยังมีพื้นที่รอยต่อมากกว่า ในขณะที่เซลล์ได้รับแสงทิศทางการไหลของกระแสที่ผ่านรอยต่อของเซลล์จะตรงกันข้ามกับขณะที่ยังไม่ได้รับแสง โดยที่แรงดันยังมีลักษณะเหมือนเดิมดังรูปที่ 2.28



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.28 การเปลี่ยนคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะต่างๆ

- ก) เมื่อไม่มีแสงตกกระทบ
- ข) เมื่อมีแสงตกกระทบเพียงเล็กน้อย
- ค) เมื่อแสงที่ตกกระทบมีปริมาณมาก

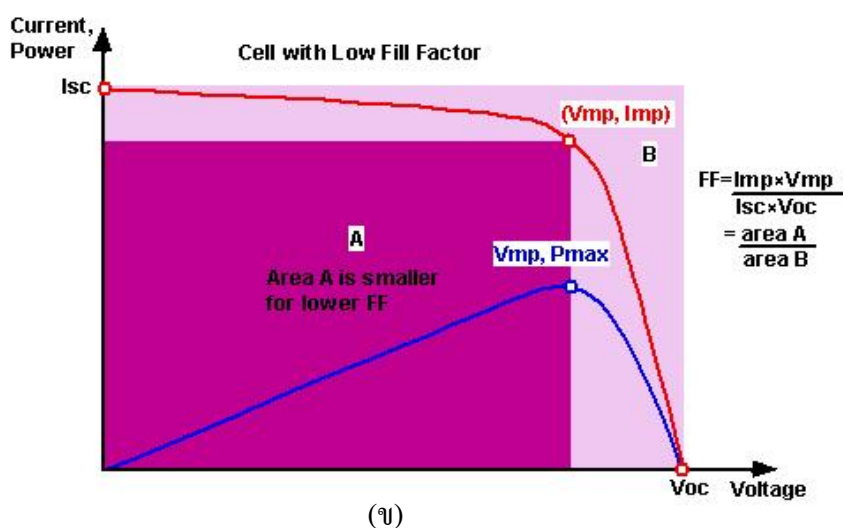
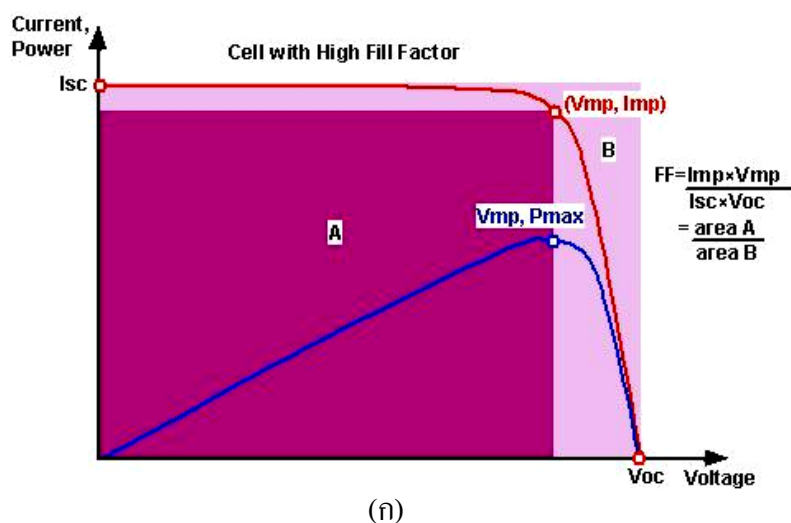
เซลล์จะจ่ายกระแสออกมามากที่สุดเมื่อเซลล์ถูกัดวงจรซึ่งให้ค่าเป็น I_{sc} และ เซลล์จะจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้มากที่สุด เมื่อเซลล์ถูกเปิดวงจรออก ซึ่งให้ค่าเป็น V_{oc} เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์ ซึ่งเป็นผลคูณระหว่างกระแสและแรงดันแล้ว จะพบว่ากราฟคุณสมบัติของเซลล์ในขณะที่ได้รับแสงในรูปที่ 2.28 จะมีอยู่จุดหนึ่งที่มีค่าผลคูณของกระแสและแรงดันมีค่าสูงสุด จุดนี้จะเรียกว่าจุดพลังงานสูงสุดของเซลล์ กระแสและแรงดันที่จุดนี้มีค่าเป็น I_m และ V_m ตามลำดับถ้าเรานำไปให้กับแหล่งรับพลังงานหรือโหลด ที่มีความต้านทานพอดีกับจุดนี้ เซลล์จะจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับโหลดมีค่าสูงสุด ค่าความต้านทานของโหลดที่เหมาะสมนี้จะคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่าง V_m ต่อ I_m เพราะฉะนั้นค่าความต้านทานโหลด V_m / I_m

ผลคูณของกระแสและแรงดันที่จุดพลังงานสูงสุดจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความชันในกราฟ คือ ถ้ากราฟมีความชันมากลักษณะกราฟที่ได้จะใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมมาก ผลคูณของกระแสและแรงดันก็จะมีค่ามากตามไปด้วย การที่กราฟของเซลล์แสงอาทิตย์มีความชันแตกต่างกันนั้นเป็นผลมาจากความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละเซลล์นั้นมีความแตกต่างกัน จากกราฟคุณสมบัติของเซลล์นี้จะมีค่าๆ หนึ่งที่แสดงให้เห็นว่าเซลล์สามารถจะจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับค่าในอุดมคติมากเท่าใด ค่านี้จะเรียกว่าค่า "ฟิลแฟกเตอร์" (F.F. : Fill Factor) ของเซลล์ ซึ่งคิดมาจากอัตราส่วนระหว่างพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์จริงๆ ต่อพลังงานสูงสุดที่ได้จากเซลล์ในทางอุดมคติ

$$F.F. = \frac{P_m}{P_o} = \frac{I_m * V_m}{I_{sc} * V_{oc}} \quad (2.21)$$

เมื่อ	$F.F.$	คือ	ค่าฟิลแฟกเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์
	P_m	คือ	พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์จริงๆ
	I_m	คือ	กระแสสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์
	V_m	คือ	แรงดันสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์
	P_o	คือ	พลังงานสูงสุดที่ได้รับจากเซลล์ในทางอุดมคติ
	I_{sc}	คือ	ค่ากระแสลัดวงจร
	V_{oc}	คือ	แรงดันขณะวงจรเปิด

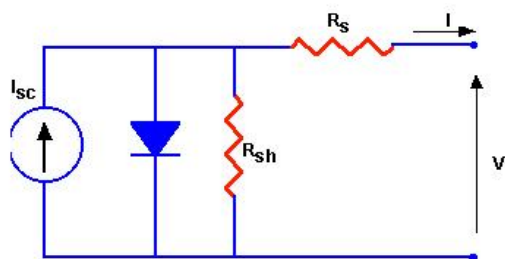
จะเห็นว่าค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าสูงสุดไม่เกิน 1 ถ้าค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าใกล้เคียง 1 แสดงว่า เซลล์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าออกมาใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์ทางอุดมคติมาก โดยพลังงานจะอยู่ในฟังก์ชันของแรงดันภายใต้ I-V curve ค่ากำลังที่ได้สูงสุดนั้นจะอยู่ภายในสี่เหลี่ยมผืนผ้าของพื้นที่ใต้โค้งนั้นที่จุดกำลังสูงสุด (P_{mp}), กระแสสูงสุด (I_{mp}) และแรงดันสูงสุด (V_{mp}) ในอุดมคติเซลล์ควรจะทำงานภายใต้ค่า ณ. จุดกำลังสูงสุดนี้



รูปที่ 2.29 การพิจารณารูปคุณลักษณะเฉพาะ เพื่อดูผลการเปลี่ยนแปลงค่าฟิลแฟกเตอร์ และจุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์

ก) เมื่อค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าสูง ข) เมื่อค่าฟิลแฟกเตอร์มีค่าต่ำ

เพื่อที่จะเข้าใจคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ เราจะพิจารณาจากวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ดังแสดงในรูปที่ 2.30 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบไปด้วย แหล่งจ่ายกระแสที่ นั่นก็คือ กระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดจากแสง (I_L) ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ (R_s) ความต้านทานขนาน (R_{sh}) และรอยต่อพี-เอ็นของไดโอด กระแส I_L ที่เกิดเนื่องจากแสงนี้จะถูกแบ่งไหลผ่านไดโอด และ R_{sh} แล้วจึงไหลมายังโหลด (R_L) กระแสที่ไหลผ่าน R_s และ R_L ให้มีค่าเป็น I_o



รูปที่ 2.30 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาผลของความต้านทานอนุกรม และความต้านทานขนาน

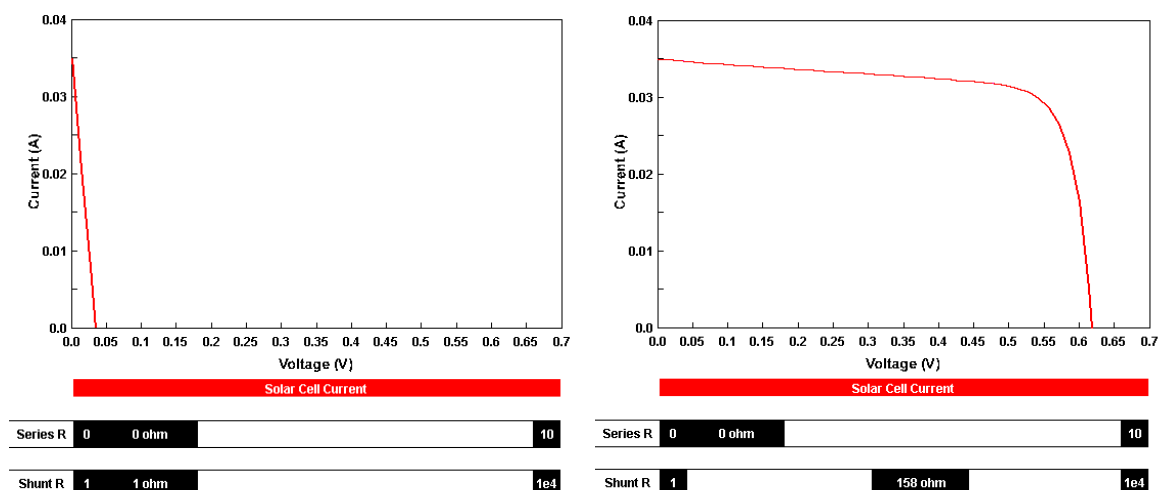
2.4.4.2 ผลของความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนานในเซลล์แสงอาทิตย์

1) ผลของค่าความต้านทานอนุกรม

ความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์แสงอาทิตย์ (R_s) เกิดขึ้นจากความต้านทานภายในเนื้อสารกึ่งตัวนำ และความต้านทานที่รอยสัมผัส (Contact) ความต้านทานภายในเซลล์แสงอาทิตย์นี้เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อพลังงานที่ได้มาจากเซลล์แสงอาทิตย์มาก ซึ่งถ้า $R_s \neq 0$ แล้ว แรงดัน V_o ที่วัดได้จะเป็นผลต่างของแรงดันที่ตกคร่อมรอยต่อและแรงดันที่ตกคร่อม R_s ซึ่งเท่ากับ $I_o \cdot R_s$

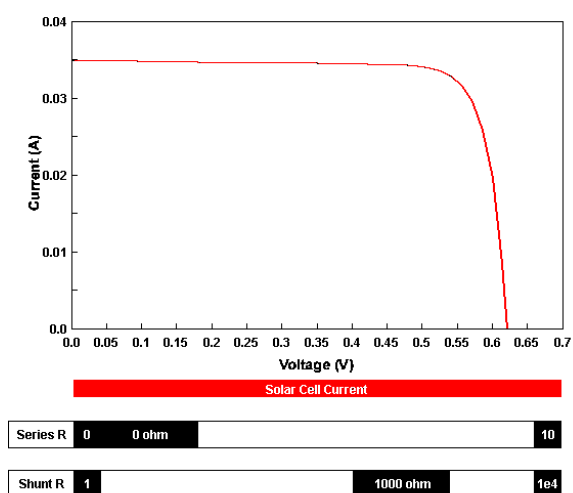
2) ผลของค่าความต้านทานขนาน

ส่วนความต้านทานขนานนั้นอาจจะเกิดจากกระแสรั่วที่บริเวณขอบของเซลล์แสงอาทิตย์ หรือเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของผลึก ในเซลล์แสงอาทิตย์นั้นความต้านทานขนานควรจะมีค่าสูงมากๆ แต่ความต้านทานขนานอาจจะมีค่าลดลงได้ ส่งผลต่อคุณสมบัติ และกราฟคุณลักษณะเฉพาะของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะเปลี่ยนค่าไป โดยสามารถพิจารณาผลดังกล่าวได้จากรูปที่ 2.31

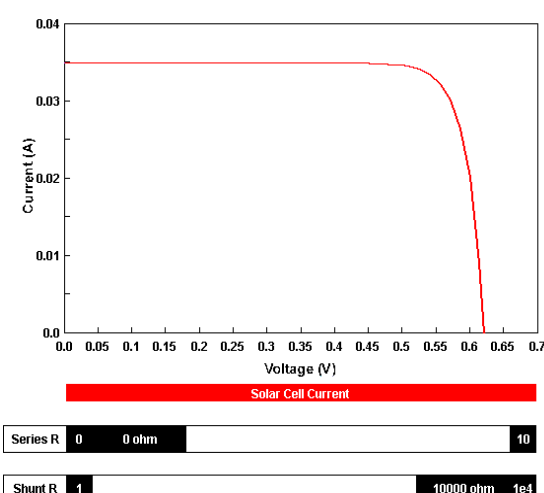


2.31 (ก)

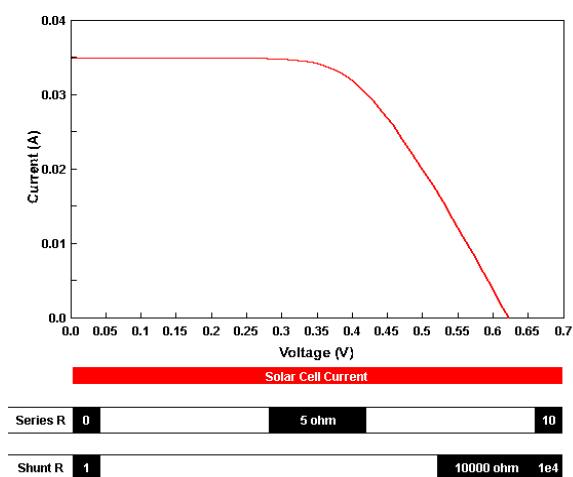
2.31 (ข)



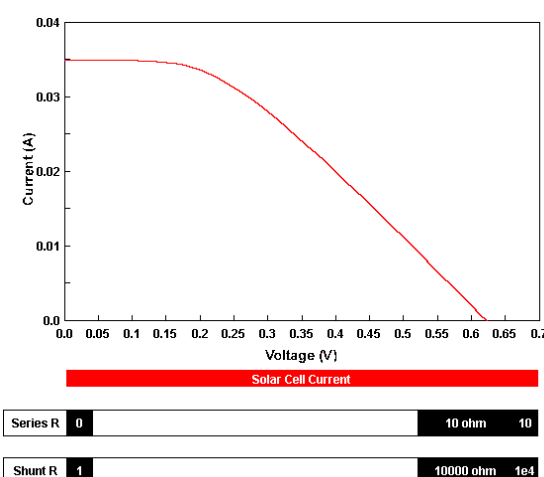
2.31 (ค)



2.31 (ง)



2.31 (จ)



2.31 (ฉ)

รูปที่ 2.31 ผลการเปลี่ยนแปลงกราฟคุณลักษณะเมื่อค่าความต้านทานอนุกรม (R_s) และความต้านทานขนาน (R_{sh}) เปลี่ยนแปลงค่าไป

ก) $R_{sh} = 1 \quad \Omega$ และ $R_s = 0 \quad \Omega$

ข) $R_{sh} = 158 \quad \Omega$ และ $R_s = 0 \quad \Omega$

ค) $R_{sh} = 1,000 \quad \Omega$ และ $R_s = 0 \quad \Omega$

ง) $R_{sh} = 10,000 \quad \Omega$ และ $R_s = 0 \quad \Omega$

จ) $R_{sh} = 10,000 \quad \Omega$ และ $R_s = 5 \quad \Omega$

ฉ) $R_{sh} = 10,000 \quad \Omega$ และ $R_s = 10 \quad \Omega$

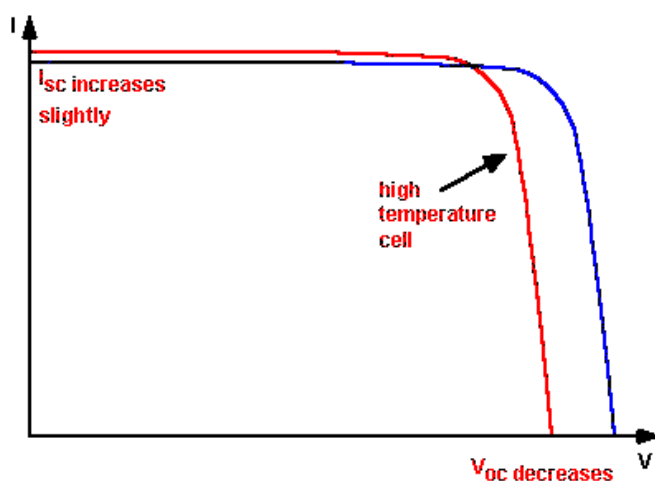
2.4.4.3 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ในการนำเซลล์ไปใช้งานจริงๆ นั้น เซลล์จะต้องได้รับความร้อนอันเนื่องมาจากแสงอาทิตย์ ด้วย ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอันเนื่องมาจากร้อนนี้ก็มีผลต่อกระแสและแรงดันที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย ผลดังกล่าวได้จากรูป 2.32

การคาดคะเนอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้ค่าของปริมาณแสง อุณหภูมิโดยรอบ และความเร็วลม สามารถพิจารณาได้ดังนี้

$$T_c = T_a + \theta_G (1 + \theta_{Ta} T_a) (1 - \theta_{Vm} V_m) G \quad (2.22)$$

สมการ 2.22 ซึ่ง T_c เป็นอุณหภูมิของอาร์เรย์ และ T_a เป็นอุณหภูมิโดยรอบ V_m เป็นความเร็วลม G เป็นปริมาณแสง $\theta_G = 0.0138$, $\theta_{Ta} = 0.031$ และ $\theta_{VW} = 0.042$ เป็นค่าคงที่ ซึ่งหาได้จากข้อมูลการทดลอง



รูปที่ 2.32 ผลของอุณหภูมิต่อการเปลี่ยนคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

2.4.4.4 คุณสมบัติและรูปแบบการกำเนิดไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์

การออกแบบระบบและการทำงานของ เซลล์แสงอาทิตย์ อยู่บนรากฐานของคุณสมบัติทางไฟฟ้า เช่น ความสัมพันธ์ระหว่าง แรงดันและกระแสเซลล์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเซลล์ (Cell Temperature) ค่าต่าง ๆ สำหรับจุดประสงค์ในการออกแบบระบบ รูปแบบจะถูกจัดให้อยู่ในการคำนวณค่าเฉลี่ยของกระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้าของเซลล์ ภายใต้ช่วงสภาวะการใช้งานที่ถูกระบุไว้และคุณสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้ต้องการข้อมูลจากผู้ผลิต เซลล์แสงอาทิตย์ นั้น ๆ ด้วย

ในรูปที่ 2.30 เป็นวงจรสมมูลที่ถูกใช้ในการคำนวณสำหรับเซลล์แต่ละตัว และใช้ในการประกอบโมดูลของหลาย ๆ เซลล์ และในการประกอบแถวลำดับเซลล์ (array) ของหลายๆ โมดูล โดยต้องทำการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ 5 ตัวอันได้แก่ I_L , I_O , R_S , R_{sh} และพารามิเตอร์การปรับโค้งของเซลล์ที่อุณหภูมิและปริมาณแสงที่ระบุไว้ โดยคุณสมบัติของกระแสและแรงดัน เป็นดังสมการต่อไปนี้

$$I = I_L - I_D - I_{sh} = I_L - I_O \left\{ \exp \left[\frac{V + IR_S}{a} \right] - 1 \right\} - \frac{(V + IR_S)}{R_{sh}} \quad (2.23)$$

และพลังงานจะเป็นดังสมการ

$$P = IV \quad (2.24)$$

ลักษณะกระแส และแรงดันของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ เป็นดังรูป 2.29 แกนของกระแส (ซึ่ง $V=0$) คือกระแสลัดวงจร และจุดตัดที่แกนแรงดัน (ซึ่ง $I=0$) เป็นแรงดันเปิดวงจร ซึ่งในช่วงนี้ กระแสจะเกือบคงที่ถึงประมาณ 15 V และที่จุดนี้กระแสไดโอด (I_D) จะเริ่มเพิ่มขึ้นอย่างมาก สำหรับที่สถานะเปิดวงจร ที่ประมาณ 20 V กระแส I_L ทั้งหมด (I_L คือ กระแสที่เกิดจากแสง) จะผ่านตัวไดโอด และความต้านทานแบบขนาน (ความต้านทานแบบสั้น) สำหรับการเปรียบเทียบเซลล์ซิลิกอนขนาด 1 ตารางเซนติเมตร ที่ปริมาณแสง 1000 W/m^2 แรงดันเปิดวงจรจะอยู่ประมาณ 0.6 V และกระแสลัดวงจรจะอยู่ประมาณ 20-30 มิลลิแอมป์

2.5 การศึกษาผลการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์

2.5.1 การจัดสมดุลพลังงานของระบบ

โดยการออกแบบระบบนั้นอยู่บนรากฐานของความสมดุลระหว่างพลังงานที่ผลิตได้จากแสงแต่ละปี กับพลังงานที่โหลดต้องการ ข้อมูลในการหาขนาดของระบบเป็นดังนี้

- พิจารณาจากข้อมูลของปริมาณแสงของพื้นที่นั้น และมุมเอียงของแผงเข้าด้วยกัน โดยใช้การวิเคราะห์ปริมาณแสงที่ตกในแต่ละวันในทุกเดือนของปี
- การพิจารณาความต้องการของโหลดที่ถูกระบุ หรือชนิดของโหลดที่เหมือนกันในระบบจะถูกใช้ในการพิจารณาความต้องการของโหลดในแต่ละวัน

1) การหาจำนวนโมดูลที่ต่อกันแบบอนุกรม

แรงดันกระแสตรง (V_{DC}) ที่ใช้งานของระบบจะถูกกำหนดมาให้ ดังนั้นจำนวนโมดูล (N_S) ซึ่งถูกต่อกันแบบอนุกรมจะหาได้จากค่าแรงดันของระบบ โดยสามารถเขียนได้เป็น

$$N_S = \frac{V_{DC}}{V_m} \quad (2.25)$$

ซึ่ง V_m เป็นแรงดันที่ผลิตได้ของโมดูล หนึ่ง โมดูล

2) จำนวนของแผงเซลล์ที่จะถูกต่อกันแบบขนาน

จำนวนแผงเซลล์ที่นำมาต่อขนานนี้จะเกี่ยวข้องกับกระแสที่ต้องการของโหลดภาระ โดยกระแสของโหลดภาระนี้ สามารถคำนวณได้จาก

$$I_L (A) = \frac{E_L}{(24V_{DC})} \quad (2.26)$$

ซึ่ง E_L (W_h/day) เป็นค่าพลังงานที่โหลดภาระต้องการ

ตอนนี้เราสามารถหาค่ากระแสปกติ (I_P) ซึ่งได้จากการผลิตของแผงที่ทำงาน ณ จุดกำลังสูงสุด และปริมาณแสงที่มาตรฐาน A.M. 1.5 (ปริมาณแสงที่ 1 kW/m^2) ซึ่งสมมูลของพลังงานในแต่ละวันสามารถเขียนได้ดังนี้

$$E_L (W_h / day) = PSH * I_P * V_{DC} \quad (2.27)$$

เมื่อเรานำปริมาณแสงที่หาได้แล้วบนแผงทำให้อยู่ในรูปของ peak solar hours (PSH) ซึ่งเท่ากับจำนวนของชั่วโมงที่ปริมาณแสงมาตรฐาน (1 kW/m^2) ดังนั้นจึงชัดเจนว่าค่า PSH เป็นค่าที่เท่ากับปริมาณแสงในรูปของ $\text{kWh/m}^2\text{day}$ โดยใช้สมการที่ 2.26 และ 2.27 จะได้

$$I_P = \frac{(24 I_L)}{PSH} \quad (2.28)$$

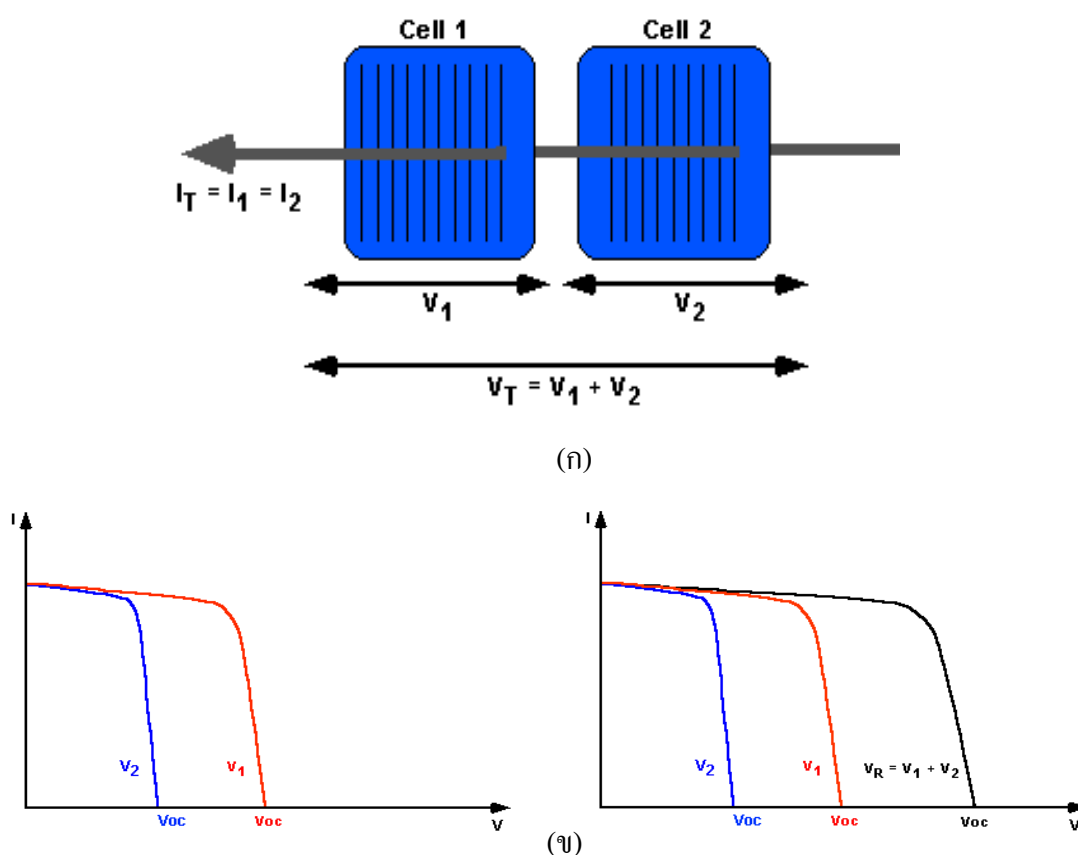
จากสมการที่ 2.28 สามารถแปลงค่าง่าย ๆ คือ กระแสเฉลี่ยของโหลดภาระ คูณกับจำนวนชั่วโมงในหนึ่งวันต้องเท่ากับ กระแสปกติ(peak)ของแผงเซลล์ คูณกับจำนวนชั่วโมงของ PSH ดังนั้นจำนวนโมดูล ที่ต่อแบบขนานจะสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$N_P = \frac{(SF) I_P}{I_m} \quad (2.29)$$

ซึ่ง I_m เป็นค่ากระแสปกติ ที่ผลิตได้จากโมดูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ละตัวเมื่อแสงตกกระทบภายใต้สภาวะมาตรฐาน และ SF เป็นค่า sizing factor ซึ่งค่าตัวนี้เป็นค่าขนาดของการเผื่อของปริมาณกระแสที่ผลิตได้สำหรับอาร์เรย์ โดยค่า sizing factor ตัวนี้จะอยู่ในช่วง 1-1.6

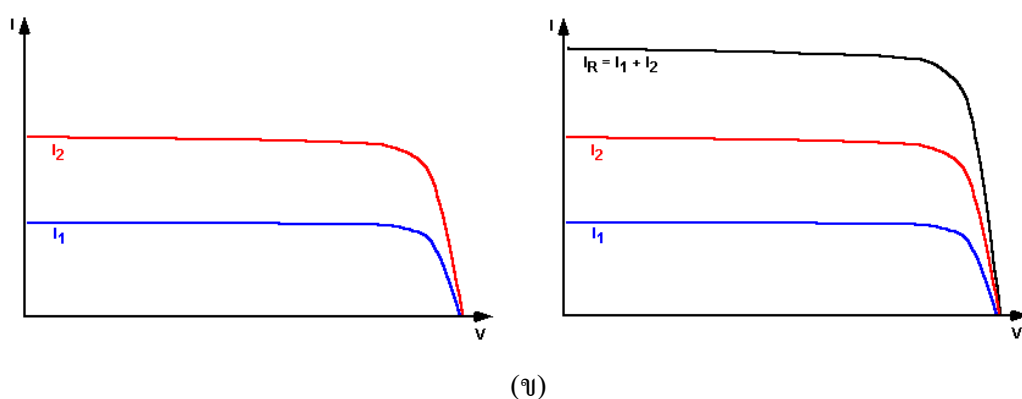
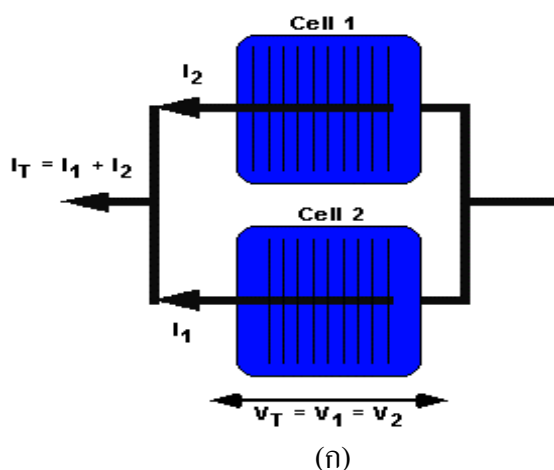
การต่อเซลล์ในลักษณะเป็นโมดูลมาตรฐานทำให้สะดวกในการใช้งาน และการผลิตเป็นอุตสาหกรรมก็สามารถควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้มาตรฐานแน่นอน โมดูลจะถูกนำมาประกอบโดยการเชื่อมต่อเซลล์ดังที่ได้กล่าวมาแล้วและต่อสายไฟออกมาภายนอก ตัวโมดูลถูกประกบด้วยชั้นพลาสติกกับกระจกปิดทับพร้อมกับการนำไปใช้งานได้ การต่อเซลล์ในรูปแบบอนุกรม/ขนาน (หรือขนาน/อนุกรม) นั้นจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดที่สำคัญอันหนึ่ง คือความน่าเชื่อถือ อาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า จะต้องแน่ใจว่าแผงเซลล์มีความปลอดภัยและใช้งานได้แน่นอน ถึงแม้จะใช้งานสนามเซลล์ในกรณีที่เลวร้าย เช่น เซลล์บางตัวเกิดชำรุด (เซลล์มีการเปิดวงจรหรือลัดวงจร) หรือเกิดเงบังเซลล์บางส่วนส่วนของแถวลำดับเซลล์แสงอาทิตย์

ในวงจรที่มีเซลล์ต่อแบบอนุกรมและขนาน ชุดของเซลล์ที่ต่อดังในรูป 2.33 เมื่อนำมาต่ออนุกรมเพิ่มขึ้นจำนวนหนึ่งจนได้แรงดันมาตรฐานดังที่กล่าวมาแล้ว เรียกว่า โมดูลจัดเข้าแผงได้ ก็เช่นเดียวกันเซลล์จำนวนหนึ่งต่อขนานกันเรียกว่า ชับโมดูล เอาชับโมดูลจำนวนหนึ่งต่ออนุกรมกันจนได้แรงดันมาตรฐาน เรียกว่า โมดูล หรือสตริง (Strings) ดังในรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.33 คุณลักษณะของการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม

- ก) การต่อเซลล์ร่วมกันแบบอนุกรม
- ข) การเปลี่ยนแปลงกราฟคุณลักษณะจากผลการต่อร่วมเซลล์แบบอนุกรม



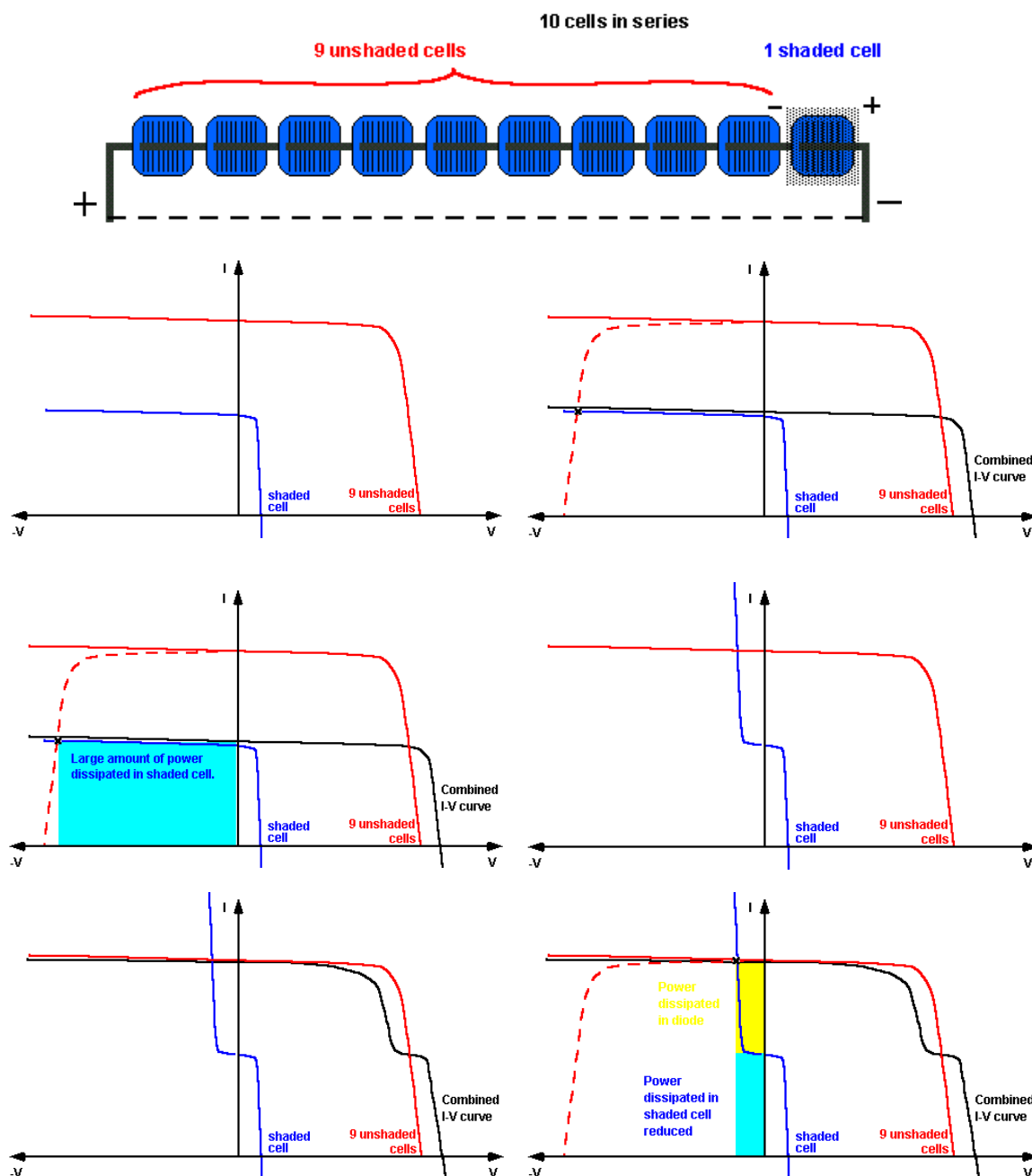
รูปที่ 2.34 คุณลักษณะของการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน

ก) การต่อเซลล์ร่วมกันแบบขนาน

ข) การเปลี่ยนแปลงกราฟคุณลักษณะจากการต่อร่วมเซลล์แบบขนาน

2.5.2 ความสิ้นเปลืองกำลังสูงสุดของเซลล์หนึ่งตัวในแผงเซลล์

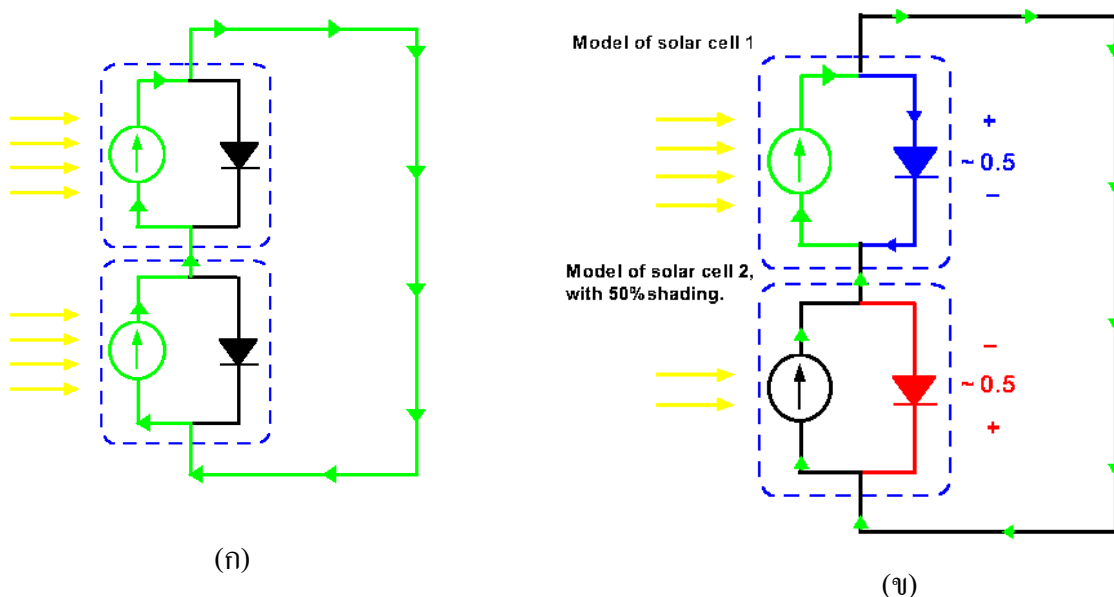
เซลล์ตัวเดียวเมื่อต่อเข้ากับโหลดภาระ ถ้าเซลล์ถูกเงาบังหรือโหลดเปลี่ยนแปลงก็ไม่เกิดความเสียหายใดๆ ต่อเซลล์นั้น เพราะว่ามันเป็นกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในวงจรนั้น เซลล์ยังทนทานต่อการเกิดวงจรเปิดหรือลัดวงจรได้ดีอีกด้วย แต่ถ้าเซลล์นี้ต่อกับเซลล์อื่นๆ อีกหลายตัวเป็นแถวลำดับ ตอนนี้จะมีตัวกำเนิดไฟฟ้าจำนวนมากซึ่งบางกรณีอาจจะไปไบอัสเซลล์ตัวที่ถูกเงาบัง ทำให้เซลล์พังเนื่องจากกำลังไฟฟ้าจำนวนมากจ่ายเข้าไปในเซลล์เกิดความร้อนสูง โดยพิจารณาจากผลการเปลี่ยนกราฟคุณลักษณะเมื่อมีการบังเงาบางส่วนบนแผงเซลล์ดังรูปที่ 2.35 ถึงแม้ในเซลล์จะทนอุณหภูมิสูงได้ถึง $150^{\circ} - 200^{\circ}\text{C}$ ก็ตาม จึงควรกำหนดมิให้เซลล์เกิดความร้อนสูงเกิน 100°C เพราะถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ ส่วนที่ใช้เคลือบเซลล์อาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพ (มักไปในทางเลว) เป็นผลให้ประสิทธิภาพและการทำงานของแผงเซลล์เลวลง อายุการใช้งานจะสั้น



รูปที่ 2.35 ผลการเปลี่ยนกราฟคุณลักษณะเมื่อมีการบังเงาบางส่วนบนแผงเซลล์

การไบอัสตรงของเซลล์

เซลล์ที่ถูกเงาบังจะถูกไบอัสตรง ถ้ามีเซลล์อีกจำนวนหนึ่ง (ได้รับแสงและกำลังผลิตไฟอยู่) ต่อขนานกับมัน สมมุติแยกขั้วโมดูลออกจากแถวลำดับดังรูป 2.36 กระแสทั้งหมดที่ผลิตจากเซลล์ (ต่อขนาน) ที่ถูกแสงจะผ่านเข้าไปยังเซลล์ที่ถูกเงาบัง เหตุการณ์นี้มักเกิดในตอนซ่อมบำรุงหรือเปลี่ยนเซลล์ในแผงกลางแดด ดังนั้นถ้าคำนึงถึงความแตกต่างที่เป็นไปได้ของ V_{OC} สำหรับเซลล์ในกลุ่มเดียวกันนี้ จะช่วยให้สามารถกำหนดจำนวนจำกัดของเซลล์ที่ควรจะนำมาต่อขนานกันและมีความปลอดภัยได้

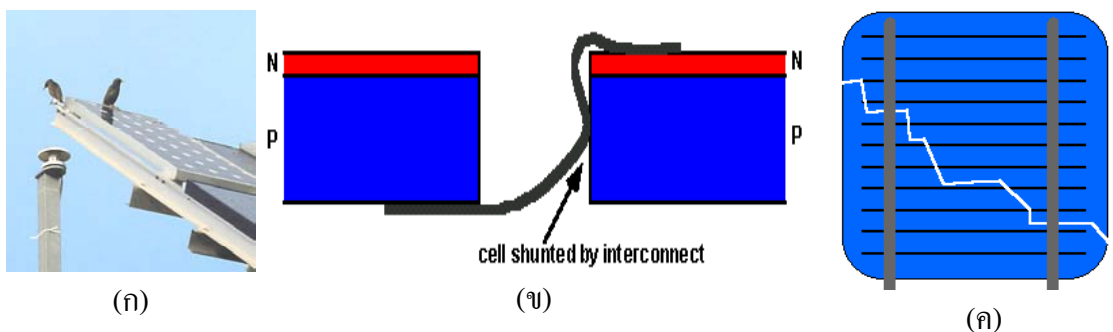


รูปที่ 2.36 ผลการทำงานของชุดเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้การรับอาบรังสีแสงอาทิตย์ที่ต่างกัน

- ก) ได้รับปริมาณแสงเท่าๆ กัน
- ข) ได้รับปริมาณแสงที่ไม่เท่ากันเนื่องจากการบังเงา

การไบอัสกลับของเซลล์

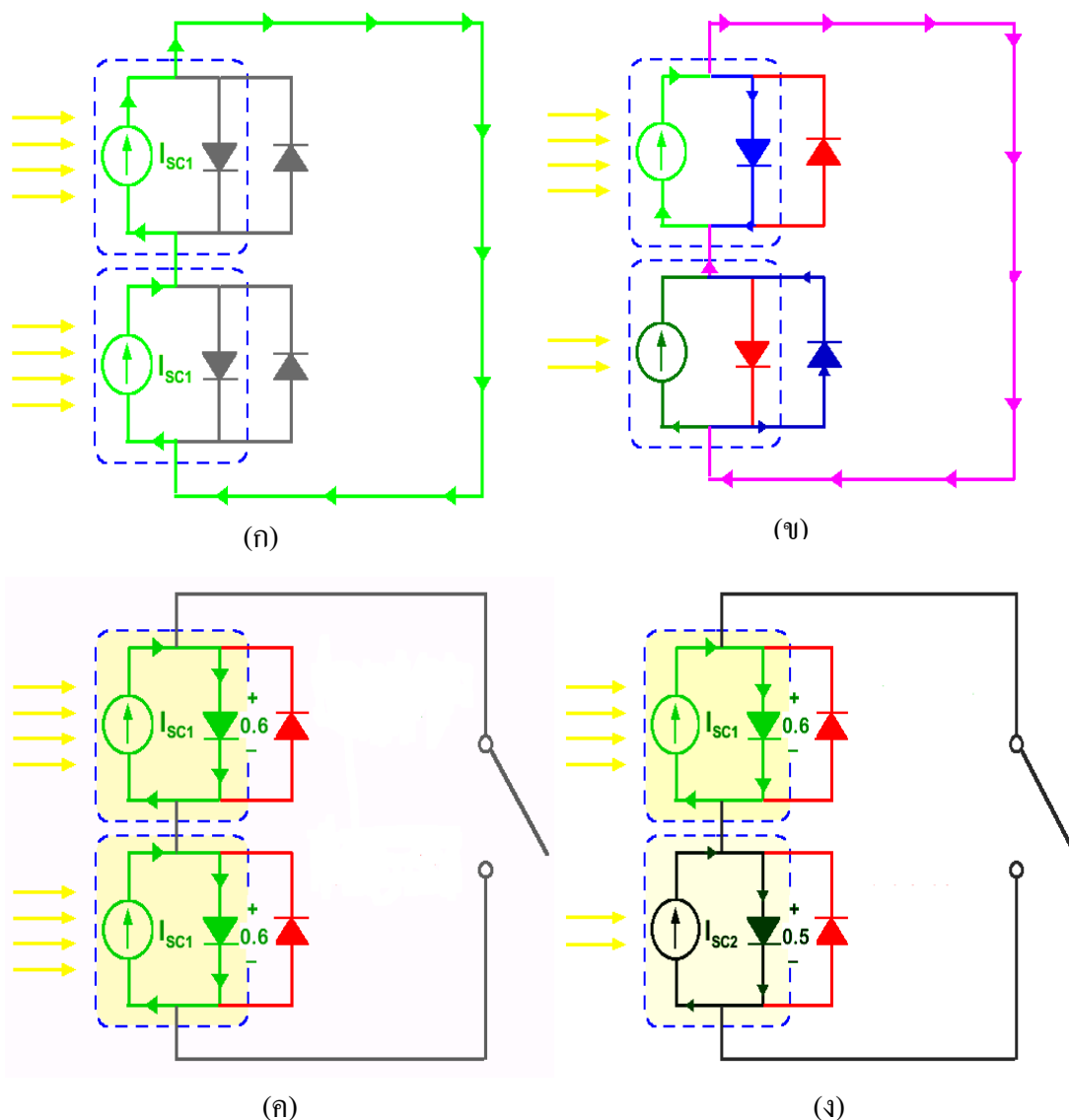
การไบอัสกลับของเซลล์มักทำความเสียหายแก่เซลล์ (ผลที่ตามมาอาจทำให้เซลล์ทั้งหมดในแผงเสื่อมคุณภาพ) เนื่องจากเกิดความร้อนในตัวเซลล์สูงเกินไป เมื่อเซลล์ 1 ตัวมีกระแสต่างจากเซลล์ตัวอื่นที่ต่ออนุกรมอยู่ อาจมีสาเหตุมาจากการถูกเงาบังหรือเกิดการชำรุด โดยดูได้จากตัวอย่างสาเหตุของการบกพร่องได้จากรูปที่ 2.37 เช่น กริดหัก เซลล์แตก และจากความไม่สมบูรณ์ต่างๆ เป็นต้น สิ่งเหล่านี้ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงกำลังในตัวเซลล์ เนื่องจากแรงดันของเซลล์อื่นๆ จะไปไบอัสกลับต่อเซลล์ตัวนั้น จุดไบอัสของเซลล์ตัวที่มีปัญหาได้จากจุดตัดระหว่างเส้นลักษณะเฉพาะ $I-V$ - กลับของมันกับเงาของลักษณะเฉพาะตรงของ $I-V$ อื่นที่ต่ออนุกรมอยู่และโหลดภายนอก



รูปที่ 2.37 ผลกระทบต่างๆ ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์

- ก) มวลของนกที่เกาะตามแผงเซลล์
- ข) การต่อรวมเซลล์ที่ไม่สมบูรณ์
- ค) การแตกร้าวบนแผงเซลล์

ในภาวะลัดวงจรเงาเส้น I-V ที่กล่าวถึงคือเส้น I-V ของเซลล์ (n-1) ตัว ส่วนในกรณีมีโหลดต่ออนุกรมอยู่จะต้องกำหนดหาเงาของเส้น I-V โดยเอาแรงดันที่ตกคร่อมโหลดหักออกจากเส้น I-V เดิมเสียก่อน รูป 2.38 แสดงให้เห็นผลจากภาวะลัดวงจร อันเป็นผลจากแรงดันรวมทั้งหมดของเซลล์ที่ถูกแสงจะไปไบอัส (กลับ) เซลล์ตัวเงาบัง กำลังสิ้นเปลืองอาจสูงมาก ดังนั้นในแถวลำดับแรงดันสูง (high voltage arrays) จึงควรระมัดระวังการออกแบบโมดูลให้มีการป้องกันที่เหมาะสม เพื่อความปลอดภัยของเซลล์ในขณะทำงาน

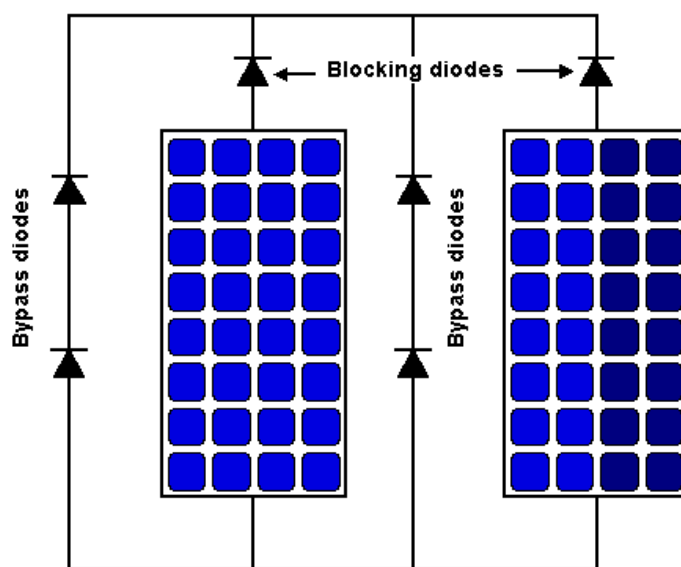


รูปที่ 2.38 สถานะการทำงานของชุดเซลล์เมื่อมีการลัดวงจร และเปิดวงจรภายใต้การรับอาบรังสีที่ต่างกัน

- ก) สถานะการลัดวงจรเมื่อได้รับแสงเท่ากัน ข) สถานะการลัดวงจรเมื่อปริมาณแสงต่างกัน
ค) สถานะการเปิดวงจรเมื่อได้รับแสงเท่ากัน ง) สถานะการเปิดวงจรเมื่อปริมาณแสงต่างกัน

2.5.3 รูปแบบการต่อเซลล์อย่างอนุกรม และขนาน

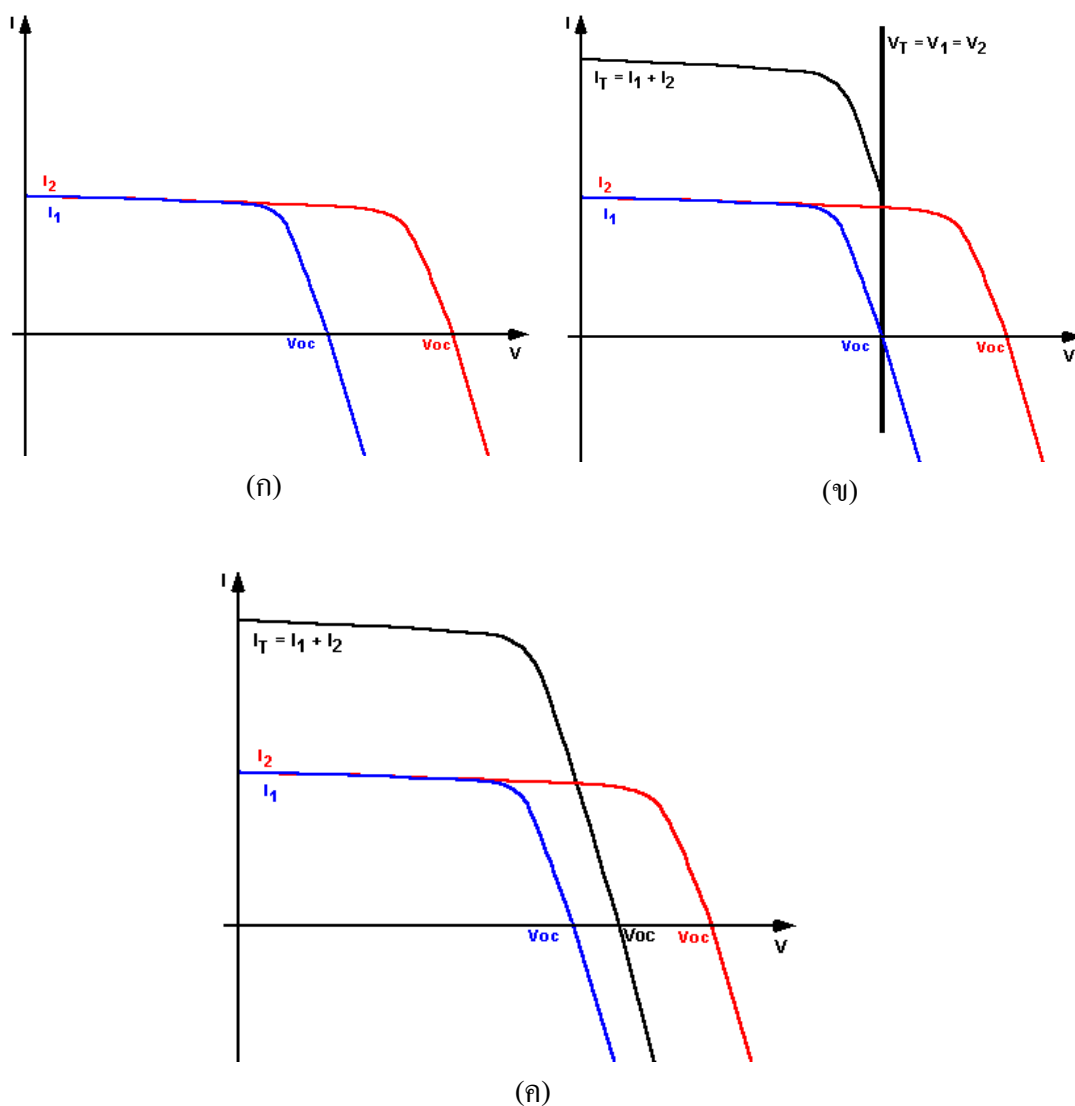
ในการต่อเซลล์ขนาน m ตัว (1 ชับโมดูล) และต่ออนุกรม n ชับโมดูล ถ้าเซลล์ 1 ตัวถูกเงาบัง (หรือไม่คู่ควร) ความรุนแรงของการไปอัสกลับต่อตัวมันจะน้อยเพราะว่าเซลล์ตัวอื่นทุกตัวที่ต่อขนานกับมันจะต้องถูกแรงดันไปอัสตัวเดียวกันในกรณีนี้เซลล์ตัวอื่นๆ (ที่ถูกแสง) ที่ขนานกันจะสิ้นเปลืองกำลังสูงกว่าเซลล์ตัวถูกเงาบังเสียอีกเพราะที่แรงดันเดียวกัน มันจำเป็นต้องเฉลี่ยกันรับภาระกระแสที่ดังรูป 2.39 สมมุติต่อบายพาสไดโอดคล่อม n ชับโมดูลที่อนุกรมกัน ขณะนี้กำลังพิจารณาในแง่เมื่อเกิดภาวะการไปอัสกลับสำหรับเซลล์เงาบัง 1 ตัว ในกลุ่มเซลล์ขนาน (ในชับโมดูลอันหนึ่งอันใด) โดยชับโมดูลที่มีเซลล์เงาบังจะถูกไปอัสกลับเมื่อชับโมดูลที่เหลือซึ่งอยู่ในสตริงอนุกรมเดียวกัน พยายามดันกระแสซึ่งมากกว่าให้ผ่านชับโมดูลที่มีเซลล์เงาบัง (กระแสสูงกว่า I_{SC} ของมันที่ควรจะมีตามปกติ) สำหรับบายพาสไดโอดมันจะถูกไปอัสตรงทันทีที่ชับโมดูลนี้ถูกไปอัสกลับเลยกระแสไม่ให้อ่านสตริงนี้ พิจารณาจากรูป 2.39 ในการใช้งานจะมีบล็อกกิ้งไดโอดต่ออนุกรมที่หัวของสตริงแต่ละชุด ลักษณะการต่อให้ไปอัสถูกไปอัสตรงขณะใช้งานปกติ ถ้าเซลล์หนึ่งตัวในสตริงใดชำรุดหรือเงาบัง



รูปที่ 2.39 ลักษณะการต่อใช้งานของบายพาสไดโอด และบล็อกกิ้งไดโอด

เซลล์แสงอาทิตย์เมื่อถูกนำไปใช้งานจะถูกต่อรวมกันเป็นโมดูล และหลายๆ โมดูลจะถูกต่อเป็นอาร์เรย์ โมดูลแต่ละโมดูล จะประกอบด้วยเซลล์ที่ต่อแบบขนานและอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันที่ต้องการ และอาร์เรย์จะประกอบด้วยหลายๆ โมดูลที่นำมาต่ออนุกรมและขนานกัน สำหรับการบังชี้อโมดูลหรือเซลล์ที่จะต่อแบบอนุกรมจะถูกกำหนดด้วยค่าแรงดัน และเมื่อต่อแบบขนานกระแสจะเป็นตัวกำหนด ถ้าไม่มีการระบุลักษณะเฉพาะของเซลล์ และโมดูลจะเป็นการยากมากในการวิเคราะห์

ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ตามความต้องการของโหลดภาระ รูป 2.40 แสดงคุณสมบัติ กระแสและแรงดันของโมดูล ที่ต่อ 1 และ 2 ตัว ทั้งในแบบที่ต่ออนุกรมและขนาน



รูปที่ 2.40 การเปลี่ยนกราฟคุณลักษณะเฉพาะเมื่อนำเซลล์ที่มีคุณสมบัติต่างกันมาต่อร่วมกันแบบขนาน

- ก) กราฟคุณลักษณะของแต่ละเซลล์
- ข) เมื่อมีการนำเซลล์มาต่อขนาน
- ค) ผลที่ได้รับเมื่อต่อร่วมกันแบบขนาน

โดยเส้นโค้งของ กระแสและแรงดันทั้งหมดในส่วนนี้จะถูกดำเนินการภายใต้สมการ 2.23 โดยพารามิเตอร์ทั้ง 5 ตัว ในโมเดลจะหาได้โดยตรง ด้วยการวัดคุณสมบัติ แรงดันและกระแสของโมดูลที่สภาวะอ้างอิง โดยการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะกระทำภายใต้ปริมาณแสงอ้างอิงที่ 1000 W/m^2 และอุณหภูมิโดยรอบ(ambient temperature)ที่ 25 องศาเซลเซียส

สำหรับการวัดกระแสและแรงดันที่สภาวะอ้างอิงนี้มักจัดอยู่ภายใต้สภาวะเปิดวงจร, ลัดวงจร และสภาวะกำลังสูงสุด แต่มันเป็นไปได้ที่จะหาพารามิเตอร์ทั้ง 5 ตัว โดยใช้การวัดแค่ 3 สภาวะนี้เท่านั้น อย่างไรก็ตามความต้านทานขนานของเซลล์ใหม่ๆ ที่ผลิตได้ตอนนี้จะสูงมากดังนั้นเทอมสุดท้ายของสมการ 2.23 มักจะถูกตัดทิ้งไป แต่ที่สภาวะแรงดันต่ำจำเป็นที่จะต้องพิจารณาความต้านทานขนานด้วย เพราะถ้าไม่พิจารณาความต้านทานตัวนี้ความชันที่ได้จะผิด เมื่อความต้านทานขนานถูกทำให้เป็นค่าอนันต์ ก็ยังเหลือ พารามิเตอร์อีก 4 ตัวที่ต้องหาภายใต้การวัดจุด 3 จุด ที่อยู่บนเส้นโค้งของ กระแสและแรงดัน เพื่อใช้สำหรับการวิเคราะห์ พารามิเตอร์ ทั้ง 4 ตัวนี้ ที่สภาวะลัดวงจร กระแสไดโอด (I_D) จะน้อยมาก และ กระแสเนื่องจากแสง (I_L) จะเท่ากับกระแสที่ลัดวงจร

$$I_L = I_{sc} \quad (2.30)$$

ที่สภาวะเปิดวงจร กระแสจะถูกทำให้เป็นศูนย์ และค่า 1 ที่อยู่ทีสมการ 2.23 จะน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับในเทอมของเอ็กโพเนนเชียล ดังนั้น

$$I_0 = I_L \exp\left(\frac{-V_{oc}}{a}\right) \quad (2.31)$$

การพิจารณาเส้นโค้งของ กระแสและแรงดันที่สภาวะกำลังสูงสุด จะถูกแทนที่ลงไปในสมการ 2.23 , ค่า I_O จากสมการ 2.31 และค่า I_L จากสมการ 2.30 โดยตัด 1 ทิ้งไป ผลจะเป็นดังนี้

$$R_s = \frac{\{ a \ln(1 - I_{mp} / I_L) - V_{mp} + V_{oc} \}}{I_{mp}} \quad (2.32)$$

สมการ 2.32 R_s จะสัมพันธ์กับ a แต่ค่าสูงสุดที่เกิดขึ้นจะถูกจำกัด โดยค่า R_s สูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อ a เข้าใกล้ศูนย์ และค่าของ a จะสูงสุดเมื่อ R_s เข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งตามปกติผู้ผลิตจะไม่ได้วัดพารามิเตอร์ของทั้งคู่ที่สภาวะต่างไว้ ดังนั้นค่าที่เราจะเลือกใช้ได้คือการที่สภาวะที่จุดกำลังสูงสุด ซึ่งอนุพันธ์ของพลังงาน (แรงดันมีค่าเท่ากับศูนย์) และจากการคำนวณในกรณีนี้ ในบางครั้งผลของสมการก็ให้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าลบสำหรับความต้านทานอนุกรม เมื่อนำค่าที่ได้ไปแทนในสมการ 2.23 ผลที่ได้ไม่สามารถนำไปใช้ได้ โดยปรากฏการณ์ที่ยุ่งยากทั้งหมดเกิดขึ้นจากโปรตอนทำงานร่วมกับสารกึ่งตัวนำ

จากรูป 2.32 แสดงผลของอุณหภูมิบนโมดูลในลักษณะเส้นโค้งของ กระแสและแรงดันที่ระดับปริมาณแสงคงที่ ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าแรงดันเปิดวงจรลดลง และเพิ่มกระแสลัดวงจรเล็กน้อย เพื่อที่ว่าโมดูลจะสามารถบ่งชี้ผลกระทบได้ มันจำเป็นต้องรู้โมเดลของพารามิเตอร์

อันได้แก่ I_o , I_L และ a ซึ่งแปรผันตามอุณหภูมิ สำหรับค่าความต้านทานอนุกรม (R_s) ได้ถูกระบุค่าให้เป็นอิสระจากอุณหภูมิในโมเดลนี้ สมการต่อไปนี้จะแสดงค่าประมาณการที่ถูกต้องสำหรับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ หลาย ๆ โมดูล

$$\frac{a}{a_{ref}} = \frac{T_c}{T_{c,ref}} \quad (2.33)$$

$$I_L = \left(\frac{G_T}{G_{T,ref}} \right) [I_{L,ref} + \mu_{L,sc} (T_c - T_{c,ref})] \quad (2.34)$$

$$\frac{I_o}{I_{o,ref}} = \left(\frac{T_c}{T_{c,ref}} \right)^3 \exp \left[\frac{\mathcal{E} N_s}{a_{ref}} * \left(1 - \frac{T_{c,ref}}{T_c} \right) \right] \quad (2.35)$$

ซึ่ง $\mathcal{E}$ เป็นค่าพลังงานในช่องว่างแถบพลังงานของวัสดุ โดยมีค่าเป็น 1.12 eV สำหรับซิลิกอน และ 1.35 eV สำหรับแกเลียมอาร์เซไน ค่า N_s เป็นจำนวนของเซลล์ที่ต่ออนุกรมในโมดูล คู่กับจำนวนโมดูลที่ต่อเป็นอนุกรม ซึ่งปริมาณต่างๆ เหล่านี้จะถูกระบุไว้ในรูปของค่าอ้างอิง (REFERENCE = REF) ซึ่งจะทำให้การวัดที่สภาวะอ้างอิงมาตรฐาน โดยสัมพันธ์ของกระแสลัดวงจร จะถูกหาจากการวัดที่สภาวะแสงอ้างอิงจากสมการดังนี้

$$\mu_{L,sc} = \frac{dI_{sc}}{dT} = \frac{\{I_{sc}(T_2) - I_{sc}(T_1)\}}{(T_2 - T_1)} \quad (2.36)$$

ที่ T_2 และ T_1 ถูกวัด ณ. สภาวะอุณหภูมิอ้างอิงและในทำนองเดียวกัน สัมประสิทธิ์ของแรงดันเปิดวงจรหาได้จาก

$$\mu_{V,oc} = \frac{dV_{oc}}{dT} = \frac{\{V_{oc}(T_2) - V_{oc}(T_1)\}}{(T_1 - T_2)} \quad (2.37)$$

จากข้างต้นจึงทำให้สามารถจะระบุสมการของโมเดลได้ ถ้าเรารู้สัมประสิทธิ์ของกระแสลัดวงจร และสัมประสิทธิ์ของแรงดันเปิดวงจร เป็นการแสดงว่าสมการอิสระที่เพิ่มเข้ามาจะถูกหาได้จากการทดลองหาค่าของ $\mu_{V,oc}$ โดยค่านี้ถูกหามาจากการวิเคราะห์ของ dV_{oc}/dT ดังนั้น V_{oc} ที่

ถูกอนุพัทธ์แล้วในสมการ 2.31 ซึ่งอยู่ในรูปของค่า T จะถูกใช้ในสมการ 2.33 และ 2.35 และใช้ในการหาของ $\mu_{L,sc}$ ซึ่งสามารถแสดงได้ว่า

$$a_{REF} = \frac{(\mu_{V,oc} T_{oc,ref} + \varepsilon N_S)}{(\mu_{L,sc} T_{C,ref} / I_{L,ref} - 3)} \quad (2.38)$$

ถ้าค่า a_{REF} ที่หาได้จากสมการ 2.38 มากกว่าศูนย์ แต่น้อยกว่าค่าสูงสุดที่ได้จากสมการ 2.32 (ตัวอย่าง เช่น ความต้านทานอนุกรมมีค่า เท่ากับศูนย์) ดังนั้นรูปแบบของเซลล์โมดูลจะสมบูรณ์ซึ่งค่าของ $V_{OC}, I_{SC}, I_{MP}, V_{MP}, \mu_{L,SC}$ และ μ_{voc} ถูกวัด ณ. สภาวะอ้างอิง จากสมการ 2.30 , 2.32 และ 2.38 ถูกใช้เพื่อหาค่า I_L, I_O, R_S และ a ที่สภาวะอ้างอิง และสมการ 2.33 - 2.35 ถูกใช้เพื่อหาค่า I_O, I_a และ a ที่อุณหภูมิเซลล์ใด ๆ ซึ่งขบวนการนี้จะสามารถหาค่า I_L ที่สภาวะอ้างอิง จากสมการ 2.30 และสามารถหาค่า a_{REF} จากสมการ 2.23 หาค่า $I_{O,REF}$ จากสมการ 2.31 และหาค่า $R_{S,REF}$ จากสมการ 2.32 และสามารถหา a, I_L และ I_O ที่อุณหภูมิใด ๆ โดยใช้สมการ 2.33 - 2.35 ดังนั้นคุณสมบัติของค่ากระแส แรงดัน และกำลังไฟฟ้า จะสามารถหาได้จากสมการ 2.23 และ 2.24 ซึ่งค่าความต้านทานขนานถูกกำหนดค่าให้เท่ากับอนันต์ ถ้าค่าของ a_{REF} ที่หาจากสมการ 2.23 เป็นค่าติดลบหรือมากกว่าค่าสูงสุดที่ได้รับจากสมการ 2.32 แล้ว ทางเลือกที่จะใช้ค่า(ค่าซึ่งเพียงพอกับการคาดเดาคุณสมบัติเซลล์ที่พิจารณา) หรือเพื่อค้นหาโมเดล โดยมีความเป็นไปได้อย่างหนึ่งที่จะเปลี่ยนค่าเฉลี่ยของ N_S ในสมการ 2.38 และให้ปรากฏอยู่ในพารามิเตอร์ของโมเดลตัวอื่นๆ ดังนั้น สภาวะอื่นๆ ก็มีความจำเป็นเช่นกัน ค่าประสิทธิภาพ ณ. จุดกำลังสูงสุดของโมดูล เป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่มีความสำคัญประมาณคุณสมบัติลักษณะของระบบ ซึ่งประสิทธิภาพ ณ. จุดกำลังสูงสุดของโมดูลเป็นดังต่อไปนี้

$$\eta_{mp} = \frac{I_{mp} V_{mp}}{A_c G_I} \quad (2.39)$$

ค่าของประสิทธิภาพนี้อยู่ในค่าเทอมของค่าสัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิ ณ. จุดกำลังสูงสุด โดย μ_{PMP}

$$\eta_{mp} = \eta_{mp,ref} + \mu_{P,mp} (T_C - T_{ref}) \quad (2.40)$$

ค่าของ μ_{Pmp} ถูกระบุจากการแก้ปัญหามอดูลเซลล์ของประสิทธิภาพ ณ.จุดกำลังสูงสุดที่เกินช่วงอุณหภูมิ ผลของการคำนวณสำหรับโมดูล ที่ใช้เป็นตัวอย่างสัมประสิทธิ์ที่จุดกำลังสูงสุด

จะเห็นเป็นฟังก์ชันเส้นตรงของอุณหภูมิ และมันยังอิสระจากปริมาณแสงใด ๆ การประมาณค่า $\mu_{P,mp}$ สำหรับสมการ 2.39 แสดงได้ดังนี้

$$\mu_{P,mp} = \frac{d\eta_{mp}}{dT} = \left(\frac{I_{mp}}{dT} \frac{dV_{mp}}{dT} + \frac{V_{mp}}{dT} \frac{dI_{mp}}{dT} \right) / A_c G_I \quad (2.41)$$

สำหรับโมดูลจำนวนมากๆ μ_{ISC} มีค่าน้อยมาก ซึ่งผลของมันนี้ส่งผลกระทบโดยตรงกับค่า dV_{mp}/dT ซึ่งประมาณค่าคร่าว ๆ ได้เท่ากับศูนย์ และค่า dV_{mp}/dT ประมาณค่าอย่างคร่าว ๆ ได้เท่ากับ dV_{oc}/dT ซึ่งการประมาณค่านี้ สัมประสิทธิ์ของอุณหภูมิที่จุดกำลังสูงสุดประมาณดังนี้

$$\mu_{P,mp} = \frac{I_{mp}}{A_c G_T (dV_{oc}/dT)} = \frac{\eta_{mp,ref} \mu_{Voc}}{V_{mp}} \quad (2.42)$$

2.6 แบตเตอรี่

2.6.1 ชนิดของแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์

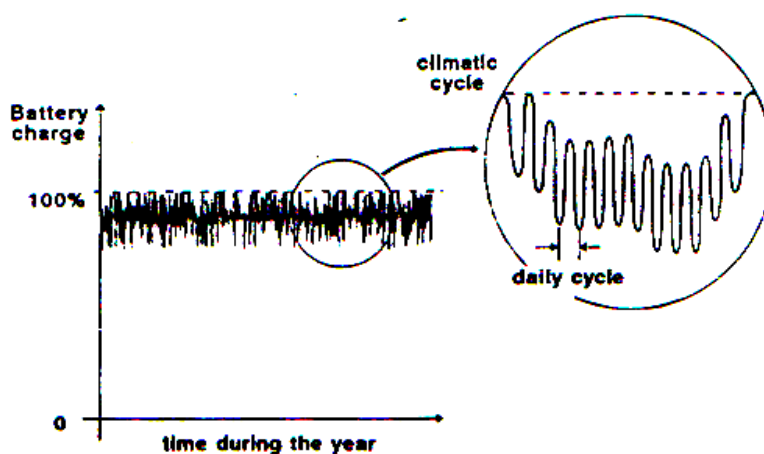
แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด แบตเตอรี่ถือเป็นอุปกรณ์สะสมพลังงานที่สำคัญสำหรับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ และมีขนาดใหญ่ เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ที่ใช้งานในรถยนต์ทั่วไป แบตเตอรี่แบบนี้ถูกผลิตขึ้นสำหรับงานที่หลากหลายโดยผู้ผลิตจะบอกคุณสมบัติต่างๆ ได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่แบบนี้ก็มีข้อจำกัดหลายอย่าง เช่น ต้องการการดูแลรักษาบ่อย, ต้องคอยดูระดับน้ำกรดที่หายไประหว่างการใช้งาน, น้ำหนักมากจึงขนย้ายลำบากและเสียค่าก่อสร้างสำหรับวางแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น แต่ที่แบตเตอรี่แบบนี้มีใช้งานกันมากในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์[13] เนื่องจากมีความแข็งแรงทนทาน, อายุการใช้งานนาน และราคาไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่แบบแห้ง

Advanced Batteries แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นระบบ zin/bromine ข้อได้เปรียบของแบตเตอรี่แบบนี้คือ มีราคาต่ำ, น้ำหนักเบาเนื่องจากหลอมจากพลาสติกทำให้ขนย้ายง่าย, ทนทาน, ใช้งานได้หลายรูปแบบ แต่ข้อด้อยคือ ต้องการการดูแลรักษาสูงซึ่งต้องบำรุงรักษาปั๊มที่ใช้สำหรับหมุนเวียนสารละลายที่ใช้ทำปฏิกิริยา, และประสิทธิภาพใช้งานต่ำ

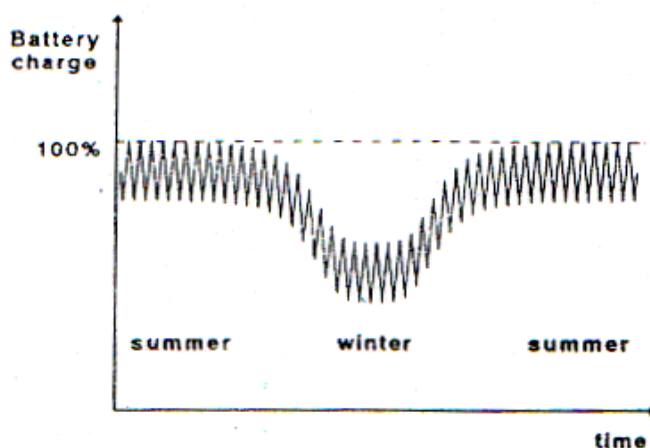
Nickel-Cadmium Battery(Ni-Cd) ถ้าพิจารณาเฉพาะคุณสมบัติของแบตเตอรี่แล้ว แบตเตอรี่แบบนี้เป็นแบตเตอรี่ที่เหมาะสมอย่างยิ่งในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์อย่างมาก เนื่องจากไม่มีปัญหาจากการใช้ที่ deep cycle เลย แต่ข้อเสียคือ มีราคาแพง และหาได้ยาก จึงถูกจำกัดการใช้งานในระบบเล็กๆ เท่านั้น

2.6.2 การใช้งานของแบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์

แบตเตอรี่จะใช้งานได้ในสภาวะที่จำกัด ณ การออกแบบแต่ละชนิดจะมีผลต่อประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่จะถูกอัดประจุในช่วงเวลากลางวัน และจะปล่อยประจุในเวลากลางคืน โดยค่าอัตราการคายประจุในแต่ละวัน ต้องไม่สูงมากนักสำหรับระบบที่ไม่มี การสำรองพลังงานแบบอื่นร่วมด้วย



รูปที่ 2.41 วิถีการทำงานของแบตเตอรี่แต่ละวันในรอบปี



รูปที่ 2.42 การทำงานของแบตเตอรี่ในแต่ละช่วงเวลาตามสภาพภูมิอากาศที่ต่างกัน

การเลือกใช้และการออกแบบแบตเตอรี่

คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์[14]

1. มี Cycle life สูง สำหรับการใช้งานแบบ Deep cycle
2. ต้องการการบำรุงรักษาค่ำ
3. ประสิทธิภาพในการชาร์จสูง
4. มีความสามารถที่จะดำรงอยู่ในสภาวะที่ถูกปล่อยประจุจนหมด

5. อัตรา self-discharge ต่ำ
6. มีความเชื่อถือได้สูง (reliable)
7. อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงมีผลให้การทำงานของแบตเตอรี่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

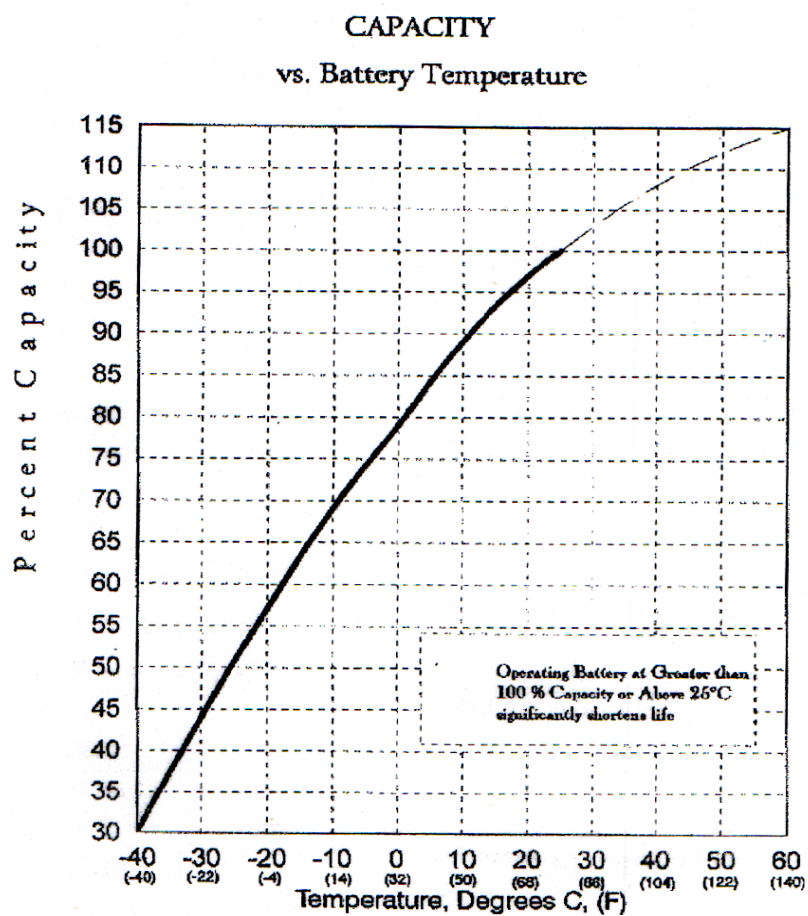
ปัจจัยที่จำเป็นสำหรับการพิจารณาเลือกแบตเตอรี่สำหรับการสร้างระบบจริง

1. หาง่าย หรือมีเพียงพอให้นำไปใช้งานได้
2. ระยะทาง เวลา และราคาในการขนส่งไปยังบริเวณที่ติดตั้ง (ในกรณีระบบมีขนาดใหญ่)
3. การบำรุงรักษาระหว่างใช้งาน
4. น้ำหนัก
5. ราคาและความยากง่ายในการหาซื้ออุปกรณ์ควบคุม ถ้าหากจำเป็นต้องใช้

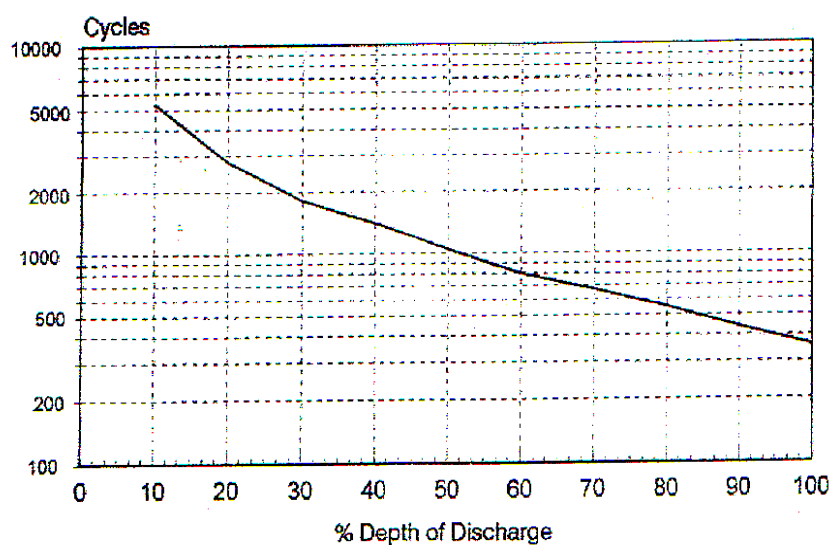
สำหรับในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์นั้นส่วนใหญ่ที่ใช้จะใช้แบตเตอรี่แบบ Deep Cycle Lead Acid เพราะความจุของแบตเตอรี่ที่สูงเพื่อลดจำนวนแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ส่วนใหญ่จะแบ่งตามขนาด 2 โวลต์, 6 โวลต์, 12 โวลต์ และ 24 โวลต์ สำหรับการเลือกขนาดแรงดันของเซลล์นั้น ควรจะเลือกขนาด 2 โวลต์ มากกว่าเซลล์ขนาด 6 โวลต์ หรือ 12 โวลต์ เพราะว่าแผ่นธาตุจะหนากว่า โดยปกติอายุการใช้งานของเซลล์ขนาด 2 โวลต์ จะประมาณ 2750 deep cycle เมื่อเปรียบเทียบกับ 700 deep cycle ของเซลล์ขนาด 6 โวลต์ และ 12 โวลต์ อีกทั้งแบบ 2 โวลต์ ยังต้องการการบำรุงรักษาที่น้อยกว่า เพราะไม่ต้องเติมน้ำบ่อยๆ สำหรับการตรวจสอบแบตเตอรี่นั้นทำได้โดยตรวจดูที่แรงดันเซลล์แต่ละเซลล์ได้ โดยแรงดันเซลล์ควรอยู่ภายใน 0.05 โวลต์ เช่น ค่าที่อ่านได้สูงสุดเป็น 2.15 โวลต์ ค่าที่อ่านได้ต่ำสุดเป็น 2.10 โวลต์ โดยถ้ามีค่าแตกต่างกันมากกว่านี้ควรจะเปลี่ยนแบตเตอรี่ แต่สำหรับการตรวจสอบโดยทั่วไปที่ใช้กับแบบ 6 โวลต์ และ 12 โวลต์ ทำได้โดยใช้ hydrometer อ่านค่าถ้ามีการประจุเต็มค่าที่อ่านได้ควรจะเป็น 1.270 จุด (specific gravity)

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของแบตเตอรี่มีความสำคัญในการพิจารณาออกแบบใช้งานในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยแรงดันเซลล์อยู่ในฟังก์ชันของอุณหภูมิ, อายุ, อัตราปล่อยประจุ, และชนิดของเซลล์ ในช่วงของการปล่อยประจุ แรงดันจะหล่นลงมาจากค่าเริ่ม 1.98 โวลต์ต่อเซลล์ ไปที่ 1.85 และ 1.65 โวลต์ต่อเซลล์ ขึ้นอยู่กับอายุและการใช้งาน ดังนั้นผู้ผลิตจะต้องระบุแรงดันต่ำสุดในการหยุดใช้งาน สำหรับการปล่อยประจุแบบก้ำกึ่งที่คงที่นั้นกระแสของแบตเตอรี่จะต้องเพิ่มขึ้นเพื่อให้เข้ากับแรงดันที่ลดลง โดยค่ากระแสสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ค่า end of discharge ส่วนในระหว่างช่วงเวลาในการอัดประจุแรงดันจะอยู่ในช่วง 2.2 โวลต์ต่อเซลล์ (ตอนเริ่มต้น) และสูงเท่ากับ 2.65 โวลต์ต่อเซลล์ ที่ end of charge โดยขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ การระบุขนาดความจุของแบตเตอรี่จะอยู่ในรูปของ amp-hours (Ah) หรือ kilowatt-hours (kWh) โดยค่านี้จะบ่งบอกว่าเร็วแค่ไหนในการ ปล่อยประจุของแบตเตอรี่ที่ในรูปของค่า depth of discharge (DOD) โดยค่า depth of discharge ที่สูงๆ (มาก 70-80%) จะทำให้ส่งพลังงานได้สูงแต่จะมีผลต่ออายุการใช้งานของ

แบตเตอรี่ดังรูปที่ 2.44 และการอัดประจุที่ไม่สมบูรณ์ก็เป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่ลดลง ดังนั้นผู้ออกแบบจึงควรออกแบบให้มีการอัดประจุ และนำไปใช้งานที่เหมาะสม



รูปที่ 2.43 ผลของอุณหภูมิต่อค่าความจุของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.44 ค่าเปอร์เซ็นต์ Depth of Discharge

คำนิยามต่างๆ เกี่ยวกับแบตเตอรี่

1. Capacity หมายถึง ความจุของแบตเตอรี่
2. Ah units of capacity หมายถึง หน่วยที่ใช้ในการวัดค่าความจุของแบตเตอรี่ คือหน่วย ampere-hour(Ah) ซึ่งวัดได้โดยขณะที่ปล่อยประจุให้กระแสไหลออกคงที่ค่าหนึ่ง แล้วนับเวลาจนกระทั่งปล่อยประจุหมด แล้วนำค่ากระแสคูณกับเวลา จะได้ค่า Ah เช่นแบตเตอรี่ที่มีความจุ 80 Ah สามารถจ่ายกระแส 8 A เป็นเวลา 10 h หรือ สามารถจ่ายกระแสได้ 4 A เป็นเวลา 20 h จะเห็นว่า ความจุที่วัดได้ จะขึ้นอยู่กับกระแสตอนปล่อยประจุ ซึ่งจะมีผลกับว่าแบตเตอรี่จะถูกใช้ไปเร็วแค่ไหน เมื่อกระแสปล่อยประจุเพิ่มขึ้น ความจุที่ได้รับจริงๆ จะเสมือนว่ามีค่าลดลง ดังนั้น ค่าความจุ จึงถูกเจาะจงไว้เรียกว่า ค่า C rate ของกระแสปล่อยประจุซึ่งก็คือค่าความจุ(Ah)หารด้วยค่า discharge time (n) ซึ่งจะถูกเขียนด้วยตัวเล็ก เช่น แบตเตอรี่มีฟักัด 30 Ah ที่ C/10 หมายความว่า แบตเตอรี่นี้สามารถจ่ายกระแส 3A ได้ในเวลา 10 ชม.
3. Cycle depth หมายถึง เปอร์เซนต์ที่ใช้บอกว่า แบตเตอรี่ถูกใช้ไปมากเท่าไร ก่อนจะถูกชาร์จใหม่
 - shallow cycle หมายถึง แบตเตอรี่ที่ปล่อยประจุออกไป น้อยกว่า 50 % ก่อนถูกชาร์จใหม่
 - deep cycle หมายถึง แบตเตอรี่ที่ปล่อยประจุออกไป ตั้งแต่ 50% ขึ้นไปก่อนจะถูกชาร์จใหม่
4. Cell life เมื่อใช้แบตเตอรี่ไปสักระยะหนึ่ง ความจุของการชาร์จจะลดลงเหลือ 80% ของแบตเตอรี่ตอนที่ซื้อใหม่ ซึ่ง 20% ที่สูญเสียไปนั้น มีสาเหตุมาจากวงจรรอบการใช้งาน และอายุการใช้งาน จำนวนวงจรรอบที่ชาร์จก่อนที่ความจุจะลดลงเหลือ 80 % จะเรียกว่า cycle life ซึ่งขึ้นอยู่กับ cycle depth, discharge current และอุณหภูมิ ในงานบางประเภทแบตเตอรี่จะถูกใช้น้อยมาก เช่น นำไปใช้เป็น standby battery ซึ่งถูกชาร์จอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งเกิดกรณีฉุกเฉินขึ้นจึงจะมีการปล่อยประจุ แต่แบตเตอรี่เหล่านี้ จะมีความจุลดลงอย่างถาวร โดยอายุของมัน ซึ่งเราเรียกว่า calender life หรือ standby life ซึ่งวัดอยู่ในหน่วยปี และมีค่าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และสภาวะแวดล้อมที่ใช้งานด้วย

2.6.3 การป้องกันผลกระทบของแบตเตอรี่ที่เกิดจากการปล่อยประจุเกิน

Low Voltage Cutoff Unit (LVCU)

เป็นอุปกรณ์ตัดต่อชนิดหนึ่งซึ่งจะใช้ควบคุมการตัดต่อระหว่างแบตเตอรี่กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และระหว่างแบตเตอรี่กับโหลดภาระ เมื่ออยู่ในสภาวะที่กำหนด โดยอาศัยการทำงานของชุดรีเลย์ตัดตอน

หน้าที่หลักของ Low Voltage Cutoff Unit มีอยู่ 2 ประการด้วยกัน คือ

1. ทำหน้าที่ตัดโหลดภาระออกจากแบตเตอรี่ เมื่อสถานะการปล่อยประจุของแบตเตอรี่มาถึงจุด Maximum Depth Of Discharge (MDOD) คือ สภาวะที่แบตเตอรี่จ่ายไฟออกไป

จนถึงขั้นต่ำสุดที่กำหนดแล้ว และจะต่อโหลดเข้ากับแบตเตอรี่อีกครั้งหนึ่งเมื่อแบตเตอรี่มีการอัดประจุกลับจนถึงระดับที่สูงกว่า maximum depth of discharge แล้ว

2. LVCU จะตัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ออกจากชุดแบตเตอรี่ เมื่อแรงดันขาออกของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่าน้อยกว่าค่าที่สามารถอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ได้

คุณลักษณะอื่นของ LVCU มีดังนี้

- ในขณะทำงานนั้น LVCU จะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในการทำงานโดยจะต่อถาวรกับแบตเตอรี่เลย
- โดยทั่วไปแบตเตอรี่ ที่ใช้ LVCU จะมีการตัดโหลดการะออกเมื่อแรงดันของแบตเตอรี่ต่ำลงเหลือประมาณ 11.1 ± 0.1 โวลท์ ที่ 25 องศาเซลเซียส และจะทำการต่อกลับเมื่อแบตเตอรี่อัดประจุใหม่จนระดับแรงดันถึงประมาณ $12.3 \pm 5\%$ ที่ 25 องศาเซลเซียส
- LVCU จะมีกลไกที่สามารถป้องกันกระแสไหลจากแบตเตอรี่ ย้อนกลับสู่ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่ได้ใช้บล็อกกิ้งไดโอดในการป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ แต่จะมีอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจและควบคุมปริมาณและทิศทางของกระแส และนำข้อมูลนี้ไปสั่งการทำงานของชุดรีเลย์ตัดคอนต่อไป
- อุปกรณ์รีเลย์ที่ใช้ใน LVCU นั้น อย่างน้อยที่สุดต้องสามารถทนกระแสได้ 3 เท่า ของกระแสลัดวงจรที่ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- เพื่อจะลดเสียงที่จะเกิดขึ้นเนื่องจากการทำงานของรีเลย์ เราจะใช้รีเลย์หน่วงเวลาใน โดยตั้งการหน่วงเวลาการทำงานของรีเลย์ ไว้ประมาณ 5-10 วินาที เพื่อที่จะลดความบ่อยครั้งในการตัดต่อของรีเลย์ลง เพราะการตัดต่อบ่อยเป็นสาเหตุหนึ่งของการทำให้เกิดเสียงขึ้นได้
- LVCU จะต้องมีความสามารถที่จะสามารถทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมได้ไม่เกิน 0.05 โวลท์
- อุณหภูมิในการปฏิบัติงานของ LVCU อยู่ระหว่าง 0-55 องศาเซลเซียส
- ความชื้นในการปฏิบัติงานควรอยู่ที่ 0-95 %
- LVCU จะมีไฟแสดงสถานะบอกสถานะการทำงานของอุปกรณ์ โดยทั่วไปจะมี LED อย่างน้อย 4 หลอด ที่บอกสถานะ เช่น
 - ไฟบอกสถานะเมื่อแรงดันจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดมากกว่าหรือเท่ากับแรงดันที่แบตเตอรี่ต้องการ ในการอัดประจุ
 - ไฟที่บอกสถานะเมื่อกำลังมีการอัดประจุของแบตเตอรี่อยู่
 - ไฟที่บอกว่าแบตเตอรี่มีระดับแรงดันที่ใกล้ถึงจุดสูงสุดของมันแล้ว โดยจะมีลักษณะเป็นไฟกระพริบ
 - ไฟที่บอกว่าขณะนี้ระดับแรงดันของแบตเตอรี่ ถึงจุดต่ำแล้ว

ชุดควบคุมการอัดประจุของแบตเตอรี่

ชุดควบคุมการอัดประจุของแบตเตอรี่จะอาศัยหลักการทำงานของ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ในการตัดต่อ โดยจะไม่ใช้อุปกรณ์จำพวกรีเลย์

หน้าที่หลักของชุดควบคุมการอัดประจุของแบตเตอรี่มีดังนี้

1. จะคอยตรวจสอบระดับแรงดันของแบตเตอรี่ ไม่ให้เกิดแรงดันเกินขึ้น โดยจะทำการตัดแบตเตอรี่ ออกจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อสถานะการประจุของแบตเตอรี่ถึงจุดสูงสุดหรือประจุเต็มแล้วนั่นเอง
 2. จะควบคุมการตัดต่อวงจรระหว่าง แบตเตอรี่กับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อแรงดันที่ออกมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยมากจนไม่สามารถทำการอัดประจุให้แบตเตอรี่ได้
- คุณลักษณะอื่นๆ ของชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่ มีดังนี้
- ในการทำงานนั้น ชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่ จะนำพลังงานจากแบตเตอรี่ มาใช้
 - ใช้รีเลย์หน่วงเวลาเพื่อที่จะลดความบ่อยครั้งในการตัดต่อของอุปกรณ์สวิตซ์ลง โดยตั้งการหน่วงเวลาการทำงานไว้ประมาณ 5-10 วินาที
 - อุปกรณ์สวิตซ์สามารถทนกระแสไฟได้ประมาณ 2 เท่า ของกระแสลัดวงจรของชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.6.4 การพิจารณาขนาดของแบตเตอรี่ ในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์

แบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ จะจ่ายพลังงานเมื่อโหลดภาระของระบบเกินกว่า พลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับการออกแบบแบตเตอรี่ของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์นี้เพื่อให้เพียงพอต้องมีแฟกเตอร์ต่างๆ ในการพิจารณาหลายตัว ต้องพิจารณาถึงความจุ และจำนวนของเซลล์ที่จะใช้ในแบตเตอรี่ โดยจะมีแฟกเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการพิจารณาดังนี้

1. การพิจารณาพลังงานสำรอง คือช่วงเวลาที่โหลดภาระ ควรจะถูกจ่ายพลังงานโดยแบตเตอรี่ที่ติดตั้งไว้ ด้วยการออกแบบที่เหมาะสม
2. การพิจารณาลักษณะของโหลดภาระ โดยปริมาณกระแส ณ. ช่วงเวลาหนึ่งนั้นจะถูกจ่ายโดยแบตเตอรี่ กระแสสูงสุด และแรงดันของระบบ จะขึ้นกับลักษณะของโหลดภาระ การพิจารณาความจุของแบตเตอรี่ และอัตราการคายประจุ จะถูกพิจารณาโดยลักษณะจำเพาะของโหลด, จำนวนวันที่ต้องการให้แบตเตอรี่สำรองพลังงาน และชนิดของแบตเตอรี่
3. การพิจารณาจำนวนของเซลล์ที่ต่อแบบอนุกรม แรงดันของระบบจะเป็นตัวกำหนดจำนวนของเซลล์ที่จะนำมาต่ออนุกรม

4. การพิจารณาความจุ และจำนวนของแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรม จะถูกพิจารณาในการเลือกขั้นสุดท้าย โดยจะขึ้นอยู่กับลักษณะจำเพาะของเซลล์และขนาดของแบตเตอรี่ที่จะใช้
5. ตารางพิจารณาขนาดของแบตเตอรี่ จะเป็นตารางในการหาและวิเคราะห์ขนาดของแบตเตอรี่ที่จะใช้ในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์
6. ลักษณะคุณสมบัติของแบตเตอรี่ รูปแบบการใช้งานของระบบ, อายุการใช้งาน, การดูแลรักษา และราคา จะเป็นปัจจัยสำคัญในการเลือกชนิดของแบตเตอรี่ที่จะใช้กับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์

การพิจารณาแบตเตอรี่สำรอง

ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ใช้กับงานบางประเภท อาจต้องการแบตเตอรี่สำรองไว้ เพื่อการรักษาเสถียรภาพของโหลดภาระ และเพื่อจัดหากระแสไฟฟ้าเมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิด เช่น เกิดสภาวะอากาศแปรปรวนหรือเกิดความผิดพลาดในของอุปกรณ์ต่อร่วม ทำให้ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ จึงควรพิจารณาออกแบบระบบโดยมีปัจจัยต่างๆที่สำคัญ ดังต่อไปนี้

- 1.1 ความน่าเชื่อถือของระบบ เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ของช่วงเวลาที่ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์จะจ่ายให้เพียงพอกับความต้องการของภาระโหลด
- 1.2 ปริมาณแสง โดยค่าปริมาณแสงตัวนี้จะเป็นตัวแปรของวันแต่ละวัน และของฤดูกาล ที่มีผลกระทบต่อจำนวนวันที่ต้องสำรองพลังงานไว้ในแบตเตอรี่
- 1.3 ความต้องการของเสถียรภาพของระบบ ระบบแต่ละระบบมีความต้องการความเสถียรภาพต่างกัน ดังนั้นเมื่อปริมาณพลังงานที่สำรองไว้มีค่ามากก็ยิ่งเป็นการเพิ่มเสถียรภาพของระบบมากขึ้น
- 1.4 การจัดหากำลังไฟสำรอง ถ้าระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์มีระบบไฟฟ้าสำรองไว้ใช้งาน ก็มีความจำเป็นที่จะต้องมีการพิจารณา ความถี่ของการใช้งาน และช่วงเวลาในการใช้งานของแหล่งกำลังสำรองดังกล่าวให้มีความเหมาะสมด้วยเช่นกัน
- 1.5 ราคาของระบบ ราคาของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์จะขึ้นกับ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้งานเป็นหลัก

2.6.5 การพิจารณาลักษณะของโหลดภาระ

การพิจารณาโหลดภาระของระบบโดยทั่วไป สามารถระบุได้ในรูปแบบของตารางและแบบกราฟฟิก ทั้ง 2 ฟอรม์นี้จะเริ่มต้นด้วยตารางขนาดของโหลดภาระ และช่วงเวลาที่ใช้ของโหลดแต่ละอัน รูปแบบของตารางจะมีความง่ายกว่า ซึ่งขนาดของโหลดภาระทั้งหมดจะถูกคาดการณ์อยู่ระหว่างช่วง 24 ชั่วโมงของวัน และร่วมกับระยะเวลาที่ถูกใช้งาน แผนผังการใช้งานของโหลดนี้

เป็นส่วนช่วยอย่างมากในการตัดสินใจว่าพื้นที่การใช้งานของโหลดภาระจะเพียงพอกับความ ต้องการหรือไม่ สำหรับลำดับขั้นในการสร้างแผนผังโหลดเป็นดังนี้

ให้เขียนตารางลักษณะจำเพาะของโหลดภาระแต่ละตัวจนครบทุกตัวในระบบ ซึ่งต้อง ประกอบไปด้วยเวลาในการเริ่มต้นและเวลาในการหยุดทำงาน รวมทั้งให้พิจารณาการใช้งานร่วมกันของโหลดภาระด้วย

1. ผลรวมของโหลดภาระที่ใช้งานพร้อมกันในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ
2. ทำการพล็อตผลรวมของโหลดภาระทั้งหมดตามช่วงเวลา ในแต่ละวัน

การพิจารณาข้อมูลคุณลักษณะจำเพาะของโหลดที่สำคัญ มีดังนี้

MOMENTCON CURRENT LOAD เป็นโหลดจำพวกที่ต้องการกระแสทันทีทันใดเพียง ช่วงหนึ่งเท่านั้น (ใช้เวลาในการคงอยู่ 1 นาที หรือน้อยกว่านั้น) โดยค่าแอมแปร์- ชั่วโมง ที่ โหลดจำพวกนี้ต้องการของจะมีค่าน้อยมาก แต่จะมีผลต่อคุณสมบัติของแบตเตอรี่โดยตรง และการ ทำงานของโหลดจำพวกนี้สามารถเกิดขึ้นได้หลาย ๆ ครั้งใน 1 วัน จึงควรพิจารณาเป็นพิเศษ เช่น กระแสเริ่มต้นในของการสตาร์ทมอเตอร์ หรือกระแสกระชากของอินเวอร์เตอร์ เป็นต้น

RUNNING CURRENT เป็นกระแสที่ต้องการสำหรับโหลดภาระหลังจากช่วงกระแสเริ่มต้นผ่านไปแล้ว สำหรับอุปกรณ์ที่ต้องการกำลังงานคงที่ ค่ากระแสที่ต้องการจะเพิ่มขึ้นถ้าแรงดัน ของแบตเตอรี่ตกลง

หมายเหตุ สำหรับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ขนาดเล็กๆ (1 กิโลวัตต์ -5 กิโลวัตต์) ควรจะพิจารณาค่า กระแสช่วง และกระแสใช้งานปกติด้วย แต่สำหรับระบบขนาดใหญ่ค่ากระแสเหล่านี้จะถูกคิด รวมในรูปของกำลังไฟฟ้า

2.6.5.1 คาบเวลาของโหลดภาระ

เป็นช่วงเวลาในการทำงานของโหลดภาระแต่ละตัว สำหรับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์มีความ เป็นไปได้สูงที่คาบการทำงานของโหลดจะเกิดขึ้นในลักษณะซ้ำๆ กันของแต่ละวัน ซึ่งช่วงเวลาใน การเริ่มต้นทำงานของโหลดส่วนใหญ่เราสามารถทราบได้ แต่ช่วงเวลาในการหยุดของโหลดภาระ นั้นเป็นการยากที่จะระบุค่าได้แน่นอน การพิจารณาค่ากระแสของโหลดภาระแต่ละตัว (MOMENTARY หรือ RUNNING) ควรจะมีการจัดลำดับ และดูว่าโหลดภาระแต่ละตัวนั้นจะทำการ ใช้งานพร้อมกันหรือไม่ ซึ่งข้อมูลนี้จะช่วยในการเลือกแบตเตอรี่และใช้ในการตรวจสอบอัตรา การคายประจุของแบตเตอรี่ด้วย

นอกจากนี้ค่าแรงดันสูงสุด และต่ำสุดของโหลดภาระแต่ละตัวควรจะถูกพิจารณาด้วยเช่น กัน สำหรับค่าแรงดันตกคร่อมในสายเคเบิล และแรงดันตกคร่อมในไดโอดแต่ละตัวระหว่าง แบตเตอรี่กับโหลดภาระ มักจะไม่นำมาพิจารณาในระบบขนาดใหญ่เพราะถือว่ามีค่าน้อยมากเมื่อ

เทียบกับแรงดันของแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามค่าแรงดันตกคร่อมเหล่านี้ควรถูกนำมาพิจารณาด้วยในกรณีที่ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

2.6.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลประกอบของโหลดภาระ

เราสามารถหาความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโหลดภาระในแต่ละวันได้ โดยคำนวณจากผลคูณของกระแสของโหลดภาระแต่ละตัว กับช่วงเวลาการทำงานของมันในแต่ละวัน ผลรวมทั้งหมดนี้ถ้าเป็นโหลดแบบชั่วขณะ สามารถคำนวณได้โดยเป็นผลคูณของช่วงเวลาการทำงานกับค่ากระแสชั่วขณะโดยประมาณ และถ้ากรณีที่ไมทราบค่าช่วงเวลาในการทำงานของโหลดแบบชั่วขณะ ให้สมมุติว่าเวลาที่ใช้เป็น 1 นาที

ค่ากระแสชั่วขณะและค่ากระแสใช้งานปกติสูงสุด จะถูกนำมาพิจารณาในการหาค่ากระแสคายประจุสูงสุดของแบตเตอรี่ ถ้าค่ากระแสในการคายประจุของแบตเตอรี่สูงสุดมากกว่า ค่าอัตราการคายประจุที่ 20h (C/20) จำเป็นต้องใช้วิธีการพิจารณาขนาดของแบตเตอรี่ตามที่มาตรฐาน IEEE (IEEE STANDARD 485-1983) ได้กำหนดไว้ [14]

2.6.6 การพิจารณาความจุของแบตเตอรี่

การพิจารณาค่าความจุของแบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ สามารถพิจารณาได้จากจำนวนวันของแบตเตอรี่ที่จะใช้สำรองพลังงาน, คุณลักษณะจำเพาะของโหลดภาระแต่ละตัว, ชนิดของแบตเตอรี่ และการติดตั้ง เป็นต้น

UNADJUSTED CAPACITY จะอยู่ในรูปของแอมแปร์-ชั่วโมง ซึ่งคำนวณจากผลคูณของเวลาที่สำรองพลังงานของแบตเตอรี่ กับค่ากระแสของโหลดภาระในแต่ละวันโดยเฉลี่ย ซึ่งค่าความจุนี้อาจเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่ และสภาวะในการใช้งาน

สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ความจุของแบตเตอรี่จะถูกปรับเปลี่ยนค่าไปตามผลของพารามิเตอร์ต่างๆ อันได้แก่

- ค่า MAXIMUM DEPTH OF DISCHARGE (MDOD)
- ค่า MAXIMUM DAILY DEPTH OF DISCHARGE (MDDOD)

และ ค่า END OF LIFE (EOL) CAPACITY โดยสามารถพิจารณาแฟกเตอร์ต่างๆ ได้ดังนี้

1. ความจุของแบตเตอรี่ที่ถูกปรับค่าสำหรับ MDOD คำนวณได้จาก UNADJUSTED CAPACITY หารกับ MDOD
2. ความจุของแบตเตอรี่ที่ถูกปรับค่าสำหรับ MDDOD คำนวณได้จากค่า MAXIMUM DAILY AMPERE-HOUR หารกับ MDDOD
3. ความจุของแบตเตอรี่ที่ถูกปรับค่าสำหรับอายุการใช้งาน จะถูกคำนวณจาก UNADJUSTED CAPACITY หารด้วย END OF LIFE CAPACITY

โดยปกติค่าความจุแบตเตอรี่ที่ระบุมา จะเป็นค่าที่อุณหภูมิมาตรฐานคือ 25°C (77°F) และค่าความจุนี้จะเสมือนว่ามีค่าเพิ่มขึ้นถ้าอุณหภูมิมากกว่า 25 องศา และจะลดลงที่อุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศา โดยค่าความจุมักจะไม่ถูกปรับแก้ค่าถ้าใช้งานที่อุณหภูมิสูง แต่จะถูกปรับแก้ค่าถ้าใช้งานที่อุณหภูมิต่ำๆ โดยทางผู้ผลิตแบตเตอรี่จะต้องระบุสัมประสิทธิ์การปรับแก้ค่าจากผลการเปลี่ยนของอุณหภูมิมาให้ โดยแสดงค่าตัวอย่างได้ดังตาราง

ตารางที่ 2.5 สัมประสิทธิ์การปรับแก้ค่าอันเนื่องจากการเปลี่ยนของอุณหภูมิ

Electrolyte (°F)	Temperature (°C)	Cell Size Correction Factor	Electrolyte (°F)	Temperature (°C)	Cell Size Correction Factor
25	-3.9	1.52	80	26.7	.98
30	-1.1	1.43	85	29.4	.96
35	1.7	1.35	90	32.2	.94
40	4.4	1.30	95	35.0	.93
45	7.2	1.25	100	37.8	.91
50	10.0	1.19	105	40.6	.89
55	12.8	1.15	110	43.3	.88
60	15.6	1.11	115	46.1	.87
65	18.3	1.08	120	48.9	.86
70	21.1	1.04	125	51.7	.85
77	25.0	1.00			

การออกแบบโดยทั่วไปจะมีการปรับเพื่อค่าของความจุให้สูงกว่าปกติ (มากกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ) สำหรับสถานะที่ไม่แน่นอน หรือรองรับการขยายตัวของโหลดภาระที่เพิ่มขึ้น โดยค่าการเผื่อนี้จะบวกไปประมาณ 10-25 % ของความจุ

เพื่อให้ได้ขนาดของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับอัตราการคายประจุของแบตเตอรี่ ควรมีการพิจารณาเงื่อนไขประกอบการเลือกความจุของแบตเตอรี่ โดยการเปรียบเทียบผลรวมของกระแสใช้งานปกติ เมื่อใช้งานร่วมกัน กับค่ากระแสใช้งานสูงสุดของแต่ละภาระโหลด โดยให้เลือกค่าที่ใหญ่กว่า

2.6.6.1 การหาจำนวนแบตเตอรี่ที่จะต่ออนุกรมกัน

ตามปกติแบตเตอรี่จะประกอบไปด้วยจำนวนเซลล์หลายๆ เซลล์ที่ต่ออนุกรม โดยค่าแรงดันสูงสุดของระบบจะหาได้จากจำนวนของแบตเตอรี่ที่ต่ออนุกรมกัน

ระดับแรงดันใช้งานของระบบ สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดจะส่งจ่ายกำลังด้วยแรงดันประมาณ 2 โวลต์ต่อเซลล์ ดังนั้นการหาจำนวนของเซลล์อาจจะคำนวณง่ายๆ ได้จากค่าแรงดันที่ระบบต้องการหารด้วย 2 ตัวอย่าง เช่น ในระบบ 12 โวลต์ จะใช้เซลล์ 6 ตัวต่ออนุกรมกัน หรือสำหรับระบบ 24 โวลต์ ก็จะใช้เซลล์ 12 ตัว ต่ออนุกรมกัน เป็นต้น แต่ทั้งนี้ยังคงต้องมีการพิจารณาถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ที่ใช้งานร่วมด้วยถ้ามีความจำเป็นต้องใช้งานที่ระดับแรงดันสูงๆ

อุปกรณ์ในระบบบางประเภทจะทำงานได้ภายในแรงดันที่ถูกจำกัดไว้สำหรับอุปกรณ์นั้นๆ ถ้าอุปกรณ์ได้รับแรงดันที่สูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าที่จำกัดของอุปกรณ์นั้นๆ อาจจะทำให้เกิดความเสียหาย หรือมีการทำงานที่ผิดปกติไป ดังนั้นค่าแรงดันสูงสุดหรือต่ำสุดที่ถูกจำกัดไว้สำหรับระบบจะถูกเรียกว่า voltage window ซึ่งขนาดของวินโดว์ นี้จะมีผลโดยตรงกับจำนวนและความจุของแบตเตอรี่ที่ถูกเลือกใช้งาน โดยถ้าวินโดว์ นี้แคบค่าของความจุนี้ก็จะมากขึ้น แต่ถ้าวินโดว์ นี้กว้างค่าของความจุก็จะน้อยลง โดยค่า voltage window นี้จะถูกปรับให้ใช้ได้กับโหลดภาระทุกตัวในระบบเพื่อดำเนินการได้อย่างสมบูรณ์ ถ้าใช้มีการใช้ชุดควบคุมการประจุ การปรับตั้งค่าก็ควรจะอยู่ภายใน voltage window นี้

จำนวนเซลล์มากที่สุดที่ยอมรับได้ เป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการคำนวณหาจำนวนสูงสุดของแบตเตอรี่ที่นำมาต่อแบบอนุกรม ต้องให้แน่ใจว่าจำนวนนั้นเหมาะสมและปลอดภัยสำหรับการอัดประจุครั้งต่อไป โดยการคำนวณหาค่ามากที่สุดของจำนวนเซลล์ที่อนุญาตของระบบหาได้จาก

$$\frac{V_{MAX}}{\text{cell recharge voltage}} = \text{Maximum number of cells (round off)} \quad (2.43)$$

เช่น แบตเตอรี่ขนาด 2.4 โวลต์ต่อเซลล์เป็นค่าที่แนะนำสำหรับการอัดประจุกลับ ค่าแรงดันสูงสุดที่ระบบยอมรับได้คือ 58 V_{dc} ดังนั้น 58 โวลต์ หารด้วย 2.4 โวลต์ต่อเซลล์ มีค่าเท่ากับ 24.16 หรือเท่ากับ 24 เซลล์นั่นเอง

เพื่อให้แน่ใจว่าระดับแรงดันใช้งานต่ำสุดของระบบ มีค่าไม่น้อยกว่าค่าแรงดันต่ำสุดที่ถูกระบุมาโดยผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องมีการคำนวณค่าดังกล่าว ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสูตรดังนี้

$$\frac{V_{min}}{\text{Number of cells}} = \text{Calculated EOD cell voltage} \quad (2.44)$$

เช่น สมมุติระบบให้ค่าแรงดันต่ำสุดได้ที่ 42 V_{DC} ฉะนั้น 42 โวลต์ หารด้วย 24 เซลล์จะเท่ากับ 1.75 โวลต์ต่อเซลล์ ถ้าผลการคำนวณค่าแรงดันเซลล์ต่ำกว่าค่าแรงดันต่ำสุดที่ถูกระบุมาโดยผู้ผลิต (ต่ำกว่าค่า EOD ที่ผู้ผลิตกำหนด) ควรปรับค่าแรงดันต่ำสุดของระบบเสียใหม่ หรือเปลี่ยนขนาดของ

แบตเตอรี่ไปเป็นขนาดอื่นที่เหมาะสมกว่า ถ้าระบบประกอบด้วยหลายๆ หน่วยย่อย และต้องการใช้จำนวนเซลล์ที่แตกต่างกัน ก็สามารถคำนวณหาจำนวนของหน่วยย่อยได้

$$\text{Total number of Multi - cell Units} = \frac{V_{\max}}{\text{max imum multi - cell recharge voltaage}} \quad (2.45)$$

โดยเศษที่เหลือการผลการคำนวณจะถูกปัดลง ซึ่งเมื่อคำนวณเสร็จแล้วจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องกลับไปดูค่า voltage window ที่คำนวณไว้ว่าเพียงพอกับความต้องการของระบบหรือไม่

การคำนวณที่ผ่านมาจะเป็นการคำนวณจำนวนของเซลล์ที่มากที่สุดที่อนุญาตที่ให้ต่ออนุกรมได้ ซึ่งจำนวนนี้จะทำให้ระบบสามารถปฏิบัติงานได้อย่างสมบูรณ์ เราสามารถที่จะลดจำนวนเซลล์ที่จะต่อแบบอนุกรมนี้โดยที่ยังสามารถใช้งานได้อย่างเหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด(OPTIMIZATION)นี้ ควรจะมีการเผื่อค่าไว้สำหรับปัญหาซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง

การหาขนาดของแบตเตอรี่สามารถพิจารณาได้จากการใช้ผลของค่าความจุ และผลของจำนวนแบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรม นำมาใช้เลือกขนาดแบตเตอรี่เพื่อให้เหมาะสมกับความต้องการของโหลดภาระนั้นๆ

การเลือกขนาดของเซลล์นั้นจะใช้ข้อมูลของผู้ผลิตที่ให้มาประกอบการตัดสินใจ โดยการเลือกเซลล์นั้นควรพิจารณาค่าแรงดันต่ำสุดของแบตเตอรี่หลังการใช้งานแล้วควรจะมีมากกว่าหรือเท่ากับค่าแรงดัน EOD ที่ผู้ผลิตกำหนดมา ซึ่งค่าความจุที่ต้องการอาจไม่ตรงกับค่าที่ผู้ผลิตมีขายอยู่ ดังนั้นควรเลือกค่าความจุที่ใหญ่ขึ้น (ตามขนาดของผู้ผลิตมีขายอยู่ในท้องตลาด)

จำนวนแถวของการต่อขนาน โดยปกติแล้วการใช้งานที่มีการต่ออนุกรมของเซลล์แค่แถวเดียวจะดีกว่าการที่มีการต่อขนานหลายๆแถว แต่ถ้าค่าของความจุของระบบไม่เพียงพอสำหรับการจัดหาเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของโหลดภาระได้ ดังนั้นจึงต้องมีการเพิ่มจำนวนแถวเป็น 2 แถว หรือมากกว่านั้น ซึ่งการเพิ่มจำนวนแถวจึงเป็นการเพิ่มค่าความจุ และจำนวนของแบตเตอรี่ เพราะหนึ่งแถวจะเท่ากับแบตเตอรี่หลายๆ ตัวต่ออนุกรมกันอยู่ แต่การต่ออนุกรมกันนั้นควรจะพิจารณาจากค่าของผู้ผลิตที่แนะนำมาด้วยว่าไม่เกินจำนวนที่ผู้ผลิตระบุไว้ โดยจำนวนแถวที่จะต่อแบบขนานนั้นคำนวณได้จากค่าความจุรวมของระบบหารด้วยค่าความจุของเซลล์แต่ละแถวที่ถูกต่อไว้ โดยเศษจะถูกปัดขึ้น

จำนวนแบตเตอรี่ที่จะใช้ทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากผลคูณของ แบตเตอรี่ที่ต่อแบบอนุกรมในแต่ละแถว คูณกับ จำนวนแถวที่ต่อใช้งานในระบบ ค่าความจุรวมของระบบทั้งหมดสามารถคำนวณได้จาก ค่าความจุในแต่ละแถว คูณกับจำนวนแถวที่ต่อขนาน

ในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์นั้นมีปัจจัยต่างๆ ที่ควรใช้ในการพิจารณา ซึ่งจะมีผลกระทบกับลักษณะคุณสมบัติของแบตเตอรี่มีดังต่อไปนี้

การประจุเกิน อัตราการประจุที่สูงเกินไป หรือการที่ไม่มีการจำกัดแรงดันอัดประจุสูงสุด นั้น จะทำให้เกิดการประจุเกิน ซึ่งผลของกระแส จาการประจุเกินนี้จะทำให้เกิดสภาวะที่อันตรายต่อแบตเตอรี่ (สำหรับแบตเตอรี่บางชนิด) คือทำให้เกิดความร้อนเกินค่าที่กำหนดไว้ และจะทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลง สำหรับอัตราการประจุที่น้อย หรือแรงดันในการประจุที่ต่ำเกินไป ก็จะมีผลทำให้แบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายไฟได้เช่นกัน

สำหรับโหลดภาระที่มีการกระชากของกระแส นั้นถ้ามันเกิดขึ้นโดยเฉพาะในช่วงเวลาของตอนที่ไม่มีแสง หรือช่วงเวลาวินาทีสุดท้ายของแบตเตอรี่ที่ถูกสำรองไว้จะเป็นเหตุให้แรงดันของแบตเตอรี่นั้นต่ำกว่าค่าต่ำสุดของแรงดันระบบได้ ถ้าโหลดภาระที่มีการกระชากของกระแสมีค่ามากกว่าค่าของกระแสเฉลี่ยของโหลดโดยรวมมาก แนะนำให้ใช้การหาค่าความจุของแบตเตอรี่ตามข้อกำหนดของ IEEE Std 485-1983 ประกอบการพิจารณา[14] ซึ่งจะไม่ทำให้แรงดันแบตเตอรี่ต่ำกว่าค่าของแรงดันต่ำสุดของระบบ

ในแบตเตอรี่ทุกตัวจะได้รับผลจากการสูญเสียค่าประจุภายในตัวเอง ที่รู้จักกันในชื่อของ self-discharge โดยปริมาณของการคายประจุภายในตัวเองนี้ (Ah ต่อ เดือน) จะอยู่ในฟังก์ชันของอุณหภูมิใช้งานของแบตเตอรี่, ชนิดของแบตเตอรี่ และอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ สำหรับแบตเตอรี่ที่ถูกเลือกภายใต้สภาวะการใช้งานต่างๆ กัน ควรมีการคำนวณเพื่อค่าความจุ ที่สูญเสียไป เพื่อชดเชยค่าให้เพียงพอกับ ความต้องการของภาระโหลด สำหรับค่า self-discharge ควรจะพิจารณาเป็นพิเศษสำหรับการใช้งานกับระบบที่มีการสำรองแบตเตอรี่ไว้มากๆ หรือระบบที่มีอุณหภูมิของแบตเตอรี่ที่สูงๆ

2.7 อุปกรณ์ประกอบสำหรับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์

2.7.1 BOS (Balance of system)

Balance of system คือชื่อที่ใช้เรียกอุปกรณ์ประกอบต่างๆ ที่ใช้กับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์อันประกอบไปด้วย

1. Mechanical BOS
2. Electrical BOS
3. Electronic BOS

Mechanical BOS ประกอบไปด้วยพวกโครงสร้างรองรับแผง ซึ่งสิ่งสำคัญของอุปกรณ์จำพวกนี้คือความแข็งแรงทนทาน เพราะอุปกรณ์เหล่านี้ส่วนมากจะใช้งานนอก ดังนั้นจะต้องทนแดดทนฝนได้

Electrical BOS ประกอบไปด้วยพวกเซอร์กิตเบรกเกอร์ ฟิวส์ สวิตช์เกียร์ เป็นต้น

Electronic BOS ประกอบไปด้วยพวก ชุดควบคุมการประจุแบตเตอรี่, อินเวอร์เตอร์ และชุดควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งอุปกรณ์จำพวกนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบมากกว่า Mechanical BOS และ Electrical BOS

ซึ่งในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ จะต้องอาศัยการทำงานของ BOS ประกอบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปแล้วค่าใช้จ่ายของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ จะประกอบไปด้วย 3 ส่วนดังนี้

1. PV Module/Array → มีผลต่อราคาของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ มากที่สุด
2. Battery → มีผลทางด้านราคารองลงมา
3. BOS System → มีผลทางด้านราคาน้อยที่สุด

เนื่องจากอุปกรณ์ BOS เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของระบบ เพราะฉะนั้นถ้าหากเราสามารถทำการเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ BOS ได้ ก็เท่ากับว่าเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ด้วย ซึ่งจะทำให้เราสามารถลดขนาดของระบบลงได้ เนื่องจากประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น

เนื่องจาก Electronic BOS มีความสำคัญและมีผลต่อระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ มากกว่า Mechanical BOS และ Electrical BOS เพราะฉะนั้นต่อไปจะเป็นการกล่าวเน้นถึงรายละเอียดของ Electronic BOS เป็นหลัก

Electronic BOS

Electronic BOS ที่ใช้กันทั่วไปในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ประกอบด้วย

1. Power Conditioning System (PCS)
2. Maximum Power Point Tracker
3. Inverter
4. Control Unit ที่มี Low Voltage Cut off Unit (LVCU)

สำหรับการเลือก Electronic BOS เพื่อนำไปใช้งานให้ได้ประสิทธิภาพควรคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้ประกอบการพิจารณา อันได้แก่

- จะต้องใช้งานภายนอก → เพราะฉะนั้น Electronic BOS ที่เลือกจะต้องสามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้
- ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ → เนื่องจาก Electronic BOS มีผลต่อการทำงานของระบบ เพราะฉะนั้นจึงมีความจำเป็นที่อุปกรณ์ Electronic BOS จะต้องมีประสิทธิภาพ
- การป้องกัน → เนื่องจากในการทำงานอาจจะเกิดสิ่งที่มีผลกับระบบได้ เช่น ในระบบ Grid-Connect อุปกรณ์ที่ต่อระหว่าง PV กับ Grid จะต้องทำงานร่วมกันกับ

อุปกรณ์ป้องกันชนิดอื่นๆ เพื่อที่จะสามารถตัดตัวมันออกจากระบบได้ในกรณีที่เกิดมีพลังงานไหลย้อนกลับมาเข้าในระบบ

- เนื่องจากการใช้งานของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ จะใช้งานในระยะยาว ดังนั้น อุปกรณ์ Electronic BOS ที่ใช้จะต้องได้รับการทดสอบแล้วว่าสามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมในระยะยาวได้

2.7.2 Power Conditioning System (PCS)

ในการใช้งาน Electronic BOS นั้นโดยทั่วไปจะเป็นการใช้งานในรูปแบบของ Power Conditioning System (PCS) เป็นหลัก ซึ่งจะเป็นหน่วยที่รวมอุปกรณ์ Electronic BOS ไว้ด้วยกัน เช่นในระบบที่มีการต่อร่วมกับระบบของการไฟฟ้าแล้ว PCS จัดว่าเป็นสมองในการทำงานเลยทีเดียว

หน้าที่เบื้องต้นของ PCS

หน้าที่เบื้องต้นของ PCS คือการแปลงพลังงานที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในรูปของไฟฟ้ากระแสตรง ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งจะคล้ายคลึงกับหน้าที่ของอินเวอร์เตอร์ ในระบบ Stand alone และยังสามารถเรียงกระแสจากไฟฟ้ากระแสสลับ (utility network) ไปเป็นไฟฟ้ากระแสตรง เพื่ออัดประจุเข้าไปในแบตเตอรี่ ดังนั้น PCS จึงเหมาะกับระบบที่มีการต่อร่วมกับระบบของการไฟฟ้า และ PCS นั้นมีความซับซ้อนมากกว่าในด้านหน้าที่การทำงาน โดยมันจะคอยปรับค่ากระแสและแรงดันที่ได้ให้อยู่ ณ. จุดที่มีการส่งผ่านพลังงานได้สูงที่สุด และเมื่อเปลี่ยนจากไฟฟ้ากระแสตรง ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แล้ว PCS จะทำการปรับค่าไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ผลิตได้ให้เข้ากับไฟฟ้ากระแสสลับที่โครงข่ายของการไฟฟ้า (utility network) และการป้องกันของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์จะขึ้นกับ PCS เพราะฉะนั้นพฤติกรรมของ PCS ก็จะเป็นตัวแสดงให้เห็นพฤติกรรมของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ด้วยเช่นกัน

หน้าที่อีกอย่างหนึ่งที่น่าสนใจของ PCS ก็คือ เมื่อระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกำลังงานได้ตามที่กำหนดไว้แล้ว เช่น หลังจากที่เกิดดวงอาทิตย์ตกแล้ว PCS ก็จะทำการตัดระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ออกจาก Grid และเมื่อถึงเวลาที่ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานได้ตามที่กำหนด PCS ก็จะต่อชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับของการไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง

นอกจากนี้ PCS จะทำหน้าที่เป็นตัวกันชนระหว่าง Grid line กับ ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ในกรณีที่เกิดสิ่งต่างๆ ที่จะกระทบกับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ เช่น Over Voltage transient เนื่องจาก lightning เป็นต้น ลักษณะรูปสัญญาณด้านขาออกของ PCS จะขึ้นอยู่กับทางเลือกใช้งานว่าเหมาะสมกับระบบไฟฟ้า และอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทใด ซึ่ง PCS ที่สัญญาณด้านขาออกเป็นแบบรูปคลื่นไซน์ จะมีราคาสูงที่สุด

ระดับแรงดันด้านอินพุทของPCS ส่วนมากอยู่ในช่วงระหว่าง 118-660 โวลท์ ซึ่ง PCS นั้นสามารถต่ออินพุท กับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้เลย ในกรณีที่เรามีระบบของแบตเตอรี่มาเกี่ยวข้อง ซึ่งระดับแรงดันทางด้านอินพุทนั้นสามารถแปรค่าได้ $\pm 30\%$ ของค่าที่พิกัด

ประสิทธิภาพโดยทั่วไปของ PCS ในการแปลงพลังงานมักจะมากกว่า 90 % แต่ต้องทำงานอยู่ในระหว่าง 50-100% ของค่าที่พิกัดกำลังที่ระบุไว้ ซึ่งถ้าน้อยกว่านี้ประสิทธิภาพก็จะลดลง

สำหรับส่วนองค์ประกอบอื่นๆ ทางด้านเอาต์พุทของPCSนั้น ควรจะเป็นดังนี้

- กระแสด้านขาออก ควรจะมีค่าการกระเพื่อม ไม่ควรเกิน 10% ของพิกัดกระแส และกระแสไฟฟารีแอคทีฟ ควรจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.95 lagging-0.95 leading
- การลดทอนอันเนื่องมาจากกระแสฮาร์มอนิกส์ ควรจะน้อยกว่า 5% rms
- ผลรวมของการลดทอนอันเนื่องมาจากฮาร์มอนิกส์ของแรงดันไม่ควรเกิน 2%
- ในส่วนของความถี่นั้น PCS ยังคงทำงานได้ดีในความถี่ที่ผิดเพี้ยนในช่วง $\pm 1\text{Hz}$
- อุณหภูมิรอบข้างควรอยู่ระหว่าง 0-55 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิของแบตเตอรี่ควรอยู่ในช่วง -10 ถึง +70 องศาเซลเซียส

การป้องกันต่างๆ ที่ของอุปกรณ์ PCS ควรมี ประกอบด้วย

- การป้องกันความถี่สูง และต่ำเกินไป
- การป้องกันแรงดันสูง และต่ำเกิน ด้านไฟฟ้ากระแสตรง
- การป้องกันแรงดันสูง และต่ำเกิน ด้านไฟฟ้ากระแสสลับ
- การป้องกันการทำงานที่ความผิดปกติของชุดแปลงไฟ
- การปรับการทำงานของระบบในกรณีที่ ระบบของการไฟฟ้าทำงานผิดปกติ
- กระแสเกินที่เกิดจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- อุณหภูมิที่สูงเกินของชุดอินเวอร์เตอร์
- ผลกระทบจากค่าเสิร์จฟ้าผ่า

2.7.3 ชุดควบคุมจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ชุดควบคุมจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ DC to DC converter โดยจะควบคุม ค่า V_{DC} และ I_{DC} ที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีค่าที่เหมาะสมกันระหว่าง แบตเตอรี่ และชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อจะหาจุดที่ใช้งานได้สูงสุดในการดำเนินงาน ซึ่งโดยปกติแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อได้รับแสงมาอย่างไรก็จะให้กำลังงานเป็นไปตามความเข้มแสงที่ตกกระทบ ตัวอย่างเช่น แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระบุพิกัดไว้ 75 วัตต์ แต่กำลังไฟที่เกิดขึ้นจริงไม่ได้เท่ากับ 75 วัตต์ ซึ่งความเข้มแสงในขณะนั้นแผงเซลล์สามารถจ่ายกระแสออกมาได้ 4.4 แอมแปร์ แต่แบตเตอรี่ดึงค่าไว้ที่ 13 โวลท์ (ภายใต้สภาวะการอัดประจุ) กำลังจะเป็น 4.4 คูณกับ 13 เท่ากับ 57.2 วัตต์ ดังนั้นพลังงานจะหายไป 20% และในกรณีที่เกิดสภาวะที่มีเมฆมากหรืออุณหภูมิสูง ค่าแรงดันที่ได้จะไม่ถึง 17

โวลท์ (เป็นค่าแรงดันโดยประมาณสำหรับแผงเซลล์ขนาด 75 วัตต์) จะลดลงมาเหลือแค่ 14-15 โวลท์เท่านั้น ซึ่งอาจไม่เพียงพอในการอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่ได้

2.7.4 อินเวอร์เตอร์

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ผลิตออกมาได้จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง แต่โหลดภาระโดยทั่วไปจะถูกออกแบบมาให้ใช้งานกับไฟฟ้ากระแสสลับ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมียุทธการแปลงไฟหรืออินเวอร์เตอร์ไว้คอยแปลงระบบไฟฟ้าเพื่อให้สามารถใช้งานกับโหลดภาระที่เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับได้

การจำแนกประเภทของอินเวอร์เตอร์ ตามการเรียงกระแส ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ สามารถจำแนกได้ดังนี้

1. Line commutated inverter (LCI) เป็นอินเวอร์เตอร์แบบสองทาง ดังนั้นจะจ่ายไฟได้เมื่อได้รับสัญญาณที่เป็นรูปคลื่นไซน์จากระบบของการไฟฟ้า
2. Self commutated inverter (SCI) เป็นอินเวอร์เตอร์แบบทางเดียวโดยจะแปลงแรงดันด้วยตัวมันเองให้เป็นรูปคลื่นไซน์เพื่อจ่ายให้กับโหลดภาระ

สำหรับกรณีที่เป็นอินเวอร์เตอร์แบบเฟสเดียว จะมีคุณสมบัติต่างๆ ที่เป็นไปได้ดังนี้

- สามารถใช้ในระบบ stand-alone ได้โดยไม่ต้องต่อกับ grid line
- ประสิทธิภาพจะมีค่าไม่น้อยกว่า 90% ที่พิกัดโหลด แต่ถ้ารับโหลดประมาณ 40-90% ประสิทธิภาพจะมีค่าไม่ต่ำกว่า 87%
- อินเวอร์เตอร์จะถูกออกแบบโดยใช้อุปกรณ์โซลิตสเทททั้งหมด ไม่มีการใช้พวก electro mechanical relay หรือพวกสวิตช์ต่างๆ
- อินเวอร์เตอร์บางรุ่นจะใช้ IGBT ในตัวอินเวอร์เตอร์ เพื่อที่จะสามารถแปลงพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูง โดยตัว IGBT นี้จะมีส่วนช่วยลดปัญหาที่เกิดจากกระแสฮาร์มอนิกส์ที่สูงและค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ที่ต่ำได้
- สามารถปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพได้ตั้งแต่ 20% ของพิกัดกำลัง จนถึงค่าที่พิกัด โดยสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ในช่วง 0.95 lagging-0.95 leading
- %THD ของกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 5% และ %THD ของแรงดันไม่เกิน 2%
- สามารถรับค่าการกระเพื่อมของกระแสขาเข้าได้ $\pm 10\%$
- ในระบบที่ใช้แบตเตอรี่ อินเวอร์เตอร์จะทำงานร่วมกับ Low Voltage Cutoff ซึ่งจะตัดโหลดภาระออกเมื่อสถานะของการประจุลดต่ำลงจนถึง Maximum depth of discharge (MDOD) ซึ่งจะเป็นค่าที่กำหนดของแบตเตอรี่แต่ละรุ่น แต่ละยี่ห้อ ซึ่งโดยทั่วไประดับแรงดันตัดวงจรจะอยู่ประมาณ 1.85 ± 0.02 V ที่ 25 องศาเซลเซียสสำหรับเซลล์ 2 โวลท์

โดยอุณหภูมิจะมีผลต่อแรงดัน แรงดันของแบตเตอรี่ด้วย โดยค่าแรงดันของแบตเตอรี่จะลดลง $-4\text{mV} \pm 1 \text{ mV}$ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 องศาเซลเซียส สำหรับเซลล์ขนาด 2 โวลต์

- อุณหภูมิในการปฏิบัติงานของอินเวอร์เตอร์ อยู่ตั้งแต่ 0-155 องศาเซลเซียส
- ความชื้นในการปฏิบัติงานควรอยู่ที่ 0-90%

การป้องกันที่มีในอินเวอร์เตอร์แบบเฟสเดียวโดยทั่วไป เช่น

- การป้องกันการเปิดวงจรที่ชั่วต่อของระบบ
- การป้องกันการลัดวงจรทั้งทางด้านอินพุต และเอาต์พุต
- การป้องกันการสลับขั้วของอินพุตที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง
- การป้องกันแรงดันที่สูง และต่ำเกิน

กรณีที่อินเวอร์เตอร์แบบ 3 เฟส จะสามารถมีคุณสมบัติต่างๆ ที่เป็นไปได้ดังนี้

- ความถี่ทางด้านขาออกจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วง $\pm 0.01 \%$
- ประสิทธิภาพโดยทั่วไปไม่ต่ำกว่า 92 % ที่ 100% ของพิกัดกำลัง และจะมีค่าไม่ต่ำกว่า 90% ที่ประมาณ 40-90% ของพิกัด
- ในการออกแบบและใช้อุปกรณ์โซลิตสเทททั้งหมด จะไม่ใช้พวกรูปกรณ์รีเลย์ใดๆเลย
- %THD ของกระแสส่วนใหญ่จะน้อยกว่า 5% ส่วน %THD ของแรงดันโดยทั่วไปจะไม่เกิน 2%
- ในการทำงานของอินเวอร์เตอร์ มักใช้ไฟจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยตรง
- อินเวอร์เตอร์จะอยู่ในช่วง On-line condition (ช่วงปฏิบัติงาน) ก็ต่อเมื่อกำลังงานที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องไม่น้อยกว่า 2% ของขนาดพิกัดของอินเวอร์เตอร์
- กระแสด้านขาออกของอินเวอร์เตอร์ จะมีการกระเพื่อมอยู่ในช่วง $\pm 10\%$
- สามารถทนแรงดันทั้งด้านอินพุต และเอาต์พุตได้ถึง 2000 Vrms

การป้องกันที่มีในอินเวอร์เตอร์ 3 เฟส โดยทั่วไป เช่น

- การป้องกันการเปิดวงจรที่ชั่วต่อของระบบ
- การป้องกันการลัดวงจรทั้งทางด้านอินพุต และเอาต์พุต
- การป้องกันการสลับขั้วของอินพุตที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง
- การป้องกันแรงดันที่สูง และต่ำเกิน ทั้งทางด้านอินพุต และเอาต์พุต
- การปรับการทำงานของระบบในกรณีที่ ระบบของการไฟฟ้าทำงานผิดปกติ
- การป้องกันอุณหภูมิที่สูงเกินของชุดอินเวอร์เตอร์
- การป้องกันผลกระทบจากค่าเสิร์จฟ้าผ่า

2.7.5 อุปกรณ์ควบคุม

สำหรับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่ที่มีการประจุกลับได้นั้น จำเป็นต้องมีการป้องกันสำหรับปัญหาเหล่านี้

1. ความเสียหายของสายไฟหรือการเกิดไฟไหม้สายไฟ ที่เกิดจากการลัดวงจร
2. การเกิดปล่อยประจุที่มากเกินไปของแบตเตอรี่
3. การชาร์จที่มากเกินไปของแบตเตอรี่

CONTROL UNIT (CU) คืออุปกรณ์ที่ใช้สำหรับป้องกันแบตเตอรี่ นอกจากนี้ยังสามารถแสดงสถานะการทำงานของระบบทั้งหมด และสามารถตัดต่อวงจรได้ด้วย การตัดสินใจเลือกอุปกรณ์ควบคุมมาใช้ สิ่งที่สำคัญที่จะต้องคำนึงถึงคือ ราคา ความเชื่อถือได้ และความง่ายในการใช้งาน

ความปลอดภัยเบื้องต้นที่ระบบควรมี อันได้แก่

1. การป้องกันสายไฟ

ทำได้โดยการใส่ฟิวส์ใกล้กับแบตเตอรี่ เพื่อป้องกันสายไฟ หลีกเลี่ยงการเกิดสายไฟไหม้ หรืออาจจะใช้ miniature circuit-breaker (MCB) แทนฟิวส์ก็ได้ ซึ่ง MCB มีคุณสมบัติในการเปิดวงจรได้เร็วกว่าฟิวส์เมื่อเทียบกับที่กระแสเท่ากัน เนื่องจากฟิวส์ต้องอาศัยการหลอมตัว

2. การป้องกันเครื่องใช้ไฟฟ้าและแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในเครื่องใช้บางชนิดอาจจะใช้ฟิวส์ต่างหากเพื่อป้องกันการลัดวงจรภายในอุปกรณ์ แต่ต้องตระหนักด้วยว่า ฟิวส์จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อม เล็กน้อยสำหรับอุปกรณ์นั้นๆ หรือใช้ฟิวส์แบบพิเศษ (extra fuse) แต่ควรจะใช้สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้ามีความเสี่ยงในการเกิดการลัดวงจรสูงเท่านั้น ส่วนบล็อกกิ้งไดโอด ต่อไว้เพื่อป้องกันไม่ให้กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลย้อนกลับเข้าไปสู่แผงเซลล์ได้

3. การป้องกันความเสียหายซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการเกิดฟ้าผ่า

เมื่อเกิดฟ้าผ่าใกล้ๆ สายไฟ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำขึ้นในสายไฟ ซึ่งสามารถทำลายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในชุดควบคุม และ อินเวอร์เตอร์ได้ MOV (Metal Oxide Varistor) เป็นอุปกรณ์ให้สำหรับป้องกันกระแสบกวนในวงจร ซึ่งเกิดจากการเกิดฟ้าผ่าได้

4. ข้อควรระวังในการต่อขั้วแบตเตอรี่

การต่อขั้วของแบตเตอรี่และเครื่องใช้ไฟฟ้า ต้องระวังการต่อสลับขั้วกัน เพราะถ้ามีการต่อสลับขั้วกัน เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงบางชนิดจะไม่ทำงาน หรือบางชนิดอาจจะเสียหายได้ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะไม่สามารถอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ได้

2.8 บทสรุป

พลังงานแสงอาทิตย์นับวันจะมีความสำคัญต่อรูปแบบการใช้พลังงานในอนาคต เพราะเป็นพลังงานที่ใช้ไม่หมดเปลือง สามารถใช้แก้ปัญหาวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน ซึ่งแทบทุกประเทศกำลังประสบปัญหาอยู่ทั้งทางด้านการขาดแคลนพลังงาน และราคาค่าพลังงานสูงขึ้นได้ หากได้รับการร่วมมือ สนับสนุน ศึกษาค้นคว้าอย่างจริงจังแล้ว ก็อาจนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ในบางส่วน อีกทั้งพลังงานแสงอาทิตย์นับว่าเป็น พลังงานสะอาด (Clean Energy) สามารถแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ อันเกิดจากการผลิตและการใช้พลังงานที่ทั่วโลกกำลังวิตกอยู่ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ประเทศไทยยังตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมต่อการใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นอย่างยิ่ง

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างเป็นแบบรอยต่อพี-เอ็น เหมือนกับโฟโตไดโอด และใช้หลักการโฟโตโวลตาอิกเหมือนกัน โดยเมื่อมีแสงตกกระทบที่เซลล์แสงอาทิตย์แล้วจะทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาได้ โครงสร้างโดยทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์จะเหมือนกับไดโอดทั่วไปทุกประการแตกต่างกันเพียงแต่ ชั้นของสารกึ่งตัวนำทางด้านที่รับแสง ต้องมีความบางมากๆ จนแสงส่องทะลุไปถึงรอยต่อและสารกึ่งตัวนำด้านที่เป็นฐานรองได้ เพราะฉะนั้นกราฟคุณสมบัติกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังไม่ถูกแสงจะมีลักษณะเหมือนไดโอดทุกประการ

การสร้างระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่จากเซลล์แสงอาทิตย์ จะไม่ใช่แผงเซลล์ใหญ่เพียงแผงเดียว แต่จะใช้โมดูลย่อยซึ่งมีระดับแรงดันมาตรฐานมาต่ออนุกรม/ขนาน หรือขนาน/อนุกรม เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าตามที่ระบบต้องการ นอกจากนี้ยังมีการนำเซลล์จำนวนหนึ่งมาต่ออนุกรม และขนานอยู่ในแผงเซลล์ขนาดเล็กๆ เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าสูงเพียงพอการใช้งานในระบบขนาดเล็กสำหรับโหลดภาระที่มีพิกัดไม่สูงมากนัก