

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกที่สุดแลพบมากที่สุดบนโลก มาผ่านกระบวนการผลิตทางวิทยาศาสตร์เพื่อให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และพื้นที่ที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงอาทิตย์ที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และมีการเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2556)

2.1.2 ประวัติความเป็นมาของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ด้วยขบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic) ปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกนี้ได้ถูกค้นพบครั้งแรกโดย Edmund Becquerel ในปี ค.ศ. 1839 ต่อมาในปี ค.ศ. 1905 Albert Einstein ได้เสนอทฤษฎีที่จะนำไปอธิบายการเกิดปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก เซลล์แสงอาทิตย์นั้นถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 (พ.ศ. 2497) โดยแชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) แห่งเบลล์เทเลโฟน (Bell Telephone) โดยทั้ง 3 ท่านนี้ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ พี-เอ็น (P-N) แบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปในผลึกของซิลิกอน จนได้เซลล์แสงอาทิตย์อันแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15% ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียม หรือยานอวกาศที่ส่งจากพื้นโลกไปโคจรในอวกาศ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ต่อมาจึงได้มีการนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้บนพื้นโลกดังที่เห็นในปัจจุบัน เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่จะมีสีเทา-ดำ แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีสีต่างๆ กันไป เช่น แดง

น้ำเงิน เขียว ทอง เป็นต้น เพื่อความสวยงาม (กองพัฒนาทดแทน ฝ่ายพัฒนาพลังงานทดแทน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2550)

ในขณะที่ความต้องการพลังงานมีมากขึ้นและราคาเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแต่แหล่งพลังงานหลักที่ใช้กันอยู่ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ถ่านหินหรือแก๊สธรรมชาติได้ลดจำนวนลงอย่างรวดเร็ว นักวิทยาศาสตร์จึงได้พยายามหาแหล่งพลังงานทดแทนมาเสริมแหล่งพลังงานหลักที่ได้กล่าวมาข้างต้น พลังงานแสงอาทิตย์จึงได้รับความสนใจในการที่จะนำมาเป็นมาเป็นแหล่งพลังงานทดแทน ด้วยเหตุนี้นักวิทยาศาสตร์จึงมีความสนใจที่จะนำเซลล์แสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้กับภาคพื้นดิน โดยเฉพาะในชนบทห่างไกลของประเทศที่กำลังพัฒนาซึ่งไม่มีระบบการส่งจ่ายไฟฟ้า ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้ได้แก่ ระบบแสงสว่างในหมู่บ้าน วิทยุสื่อสาร โทรทัศน์เพื่อการศึกษา ไฟสัญญาณ ประภาคารในทะเลและตู้เย็นสนามสำหรับเก็บยารักษาโรค องค์ประกอบหลักของระบบต่างๆ ที่ได้กล่าวมาแล้วจะประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวเก็บพลังงานและอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งาน

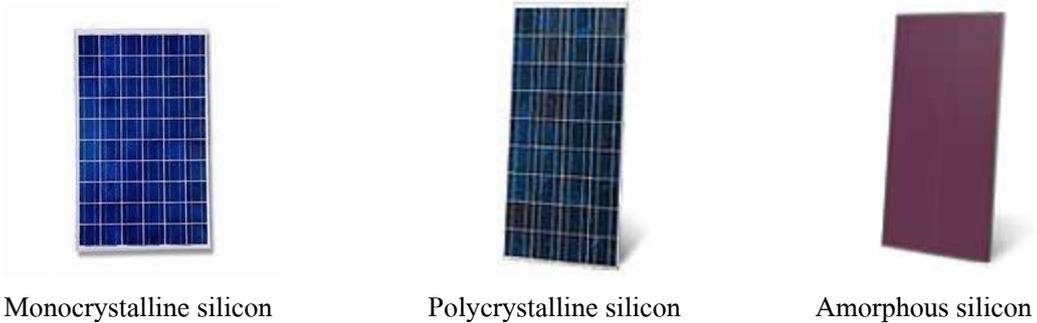
2.1.3 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.3.1 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Monocrystalline silicon solar cell หรือ c-Si)
ซิลิกอนเป็นวัสดุสารกึ่งตัวนำที่มีราคาถูกที่สุด เนื่องจากซิลิกอนเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลกชนิดหนึ่ง สามารถถลุงได้จากหินและทราย เรานิยมใช้ธาตุซิลิกอนในงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เช่น ใช้ทำทรานซิสเตอร์และไอซี เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ได้รับความนิยมนำใช้งานกันอย่างแพร่หลาย นิยมใช้งานในพื้นที่เฉพาะได้แก่ ในชนบทพื้นที่ที่ไม่มีสายส่งไฟฟ้าใช้เป็นหลัก

2.1.3.2 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน (Polycrystalline silicon solar cell หรือ pc-Si)
จากความต้องการในการที่จะลดต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน (c-Si) จึงทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน ขึ้นเป็นผลให้ต้นทุนการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน ต่ำกว่าชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน อย่างไรก็ตาม เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน ก็ยังได้รับความนิยมและมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายเช่นกัน

2.1.3.3 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน (Amorphous silicon solar cell หรือ a-Si)
เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ธาตุซิลิกอนเช่นกัน แต่จะไม่ใช่ผลึกแต่ผลของสารอะมอร์ฟัสจะทำให้เกิดเป็นฟิล์มบางของซิลิกอน ซึ่งมีความบางประมาณ 300 นาโนเมตร ทำให้ไม่สิ้นเปลืองเนื้อวัสดุ น้ำหนักเบา การผลิตทำได้ง่าย และข้อดีของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน คือไม่ทำให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม จึงเหมาะที่จะประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่กินไฟฟ้าน้อย เช่น เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ เป็นต้น

นอกจากซิลิกอนแล้ว ยังมีวัสดุสารกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้เช่นกัน ได้แก่ แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs : Gallium Arsenide) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe : Cadmium Telluride) คอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CIS : Copper Indium Diselenide) โดยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจาก แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) จะมีประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานได้สูงที่สุด จึงเหมาะกับงานด้านอวกาศ ซึ่งราคาจะแพงมากเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากซิลิกอน นอกจากนี้ยังมีการคาดหมายกันว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตจากคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CIS) จะมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพสูง



รูปที่ 2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างๆที่มา : LEONICS CO.LTD, 2556

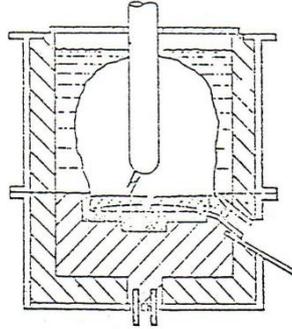
2.1.4 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

วัสดุสำคัญที่ใช้ทำเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้มากที่สุดในปัจจุบันได้แก่ สารซิลิกอน (Si) ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำชิพในคอมพิวเตอร์และเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ ซิลิกอนเป็นสารซึ่งไม่เป็นพิษมีการนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีราคาถูก คงทน นอกจากนี้ยังมีวัสดุชนิดอื่นที่สามารถนำมาผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ได้อีก เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (CIS) และแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) แต่ก็ยังมีราคาสูง และสารบางชนิดยังไม่มีการพิสูจน์เรื่องอายุการใช้งานว่าสามารถใช้งานได้ยาวนาน แต่ข้อเสียของสารซิลิกอนคือ การทำให้บริสุทธิ์และอยู่ในรูปสารที่พร้อมจะทำเซลล์แสงอาทิตย์มีราคาแพง และมีการแตกหักง่ายในขบวนการผลิต

2.1.4.1 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว (Mono crystalline)

ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบผลึกเดียวนั้น ต้องใช้ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูง เทคโนโลยีที่ใช้สำหรับทำเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนๆ ดังนี้

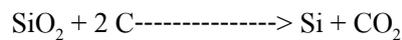
1. ทราายเป็นซิลิกอนชนิด Metallurgical (MG silicon) ซิลิกอนเป็นธาตุที่มีอยู่มากมายบนพื้นโลก วัตถุดิบที่ใช้แยกธาตุออกเป็นซิลิกอนคือซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของทราย ปัจจุบันในเชิงพาณิชย์วัตถุดิบที่ใช้ในการแยกธาตุเป็นซิลิกอนคือควอทซ์แร่เหล่านี้ได้ถูกหลอมในเตาหลอมขนาดใหญ่โดยใช้คาร์บอน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว

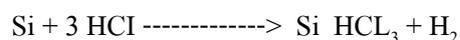
ที่มา : ศิริชัย เทพา, 2556

คาร์บอนที่ใช้อยู่ในรูปของผสมของเศษไม้ ถ่าน ไม้ก๊วกและถ่านหิน เป็นต้น โดยอาศัยปฏิกิริยาเคมี ดังนี้

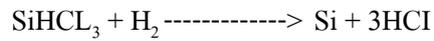


เทซิลิกอนจากเตาหลอมลงไปในรางตื้นๆ ทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นทุบซิลิกอนที่เป็นแผ่นแข็งนี้ให้เป็นชิ้นเล็กๆ ซิลิกอนที่ได้นี้จะมีความบริสุทธิ์ ประมาณ 98-99% โดยที่สารเจือปนส่วนใหญ่คือเหล็กและอลูมิเนียม Metallurgical silicon นี้เฉลี่ยแล้วขายกันในราคาประมาณ 22,00 บาท ต่อน้ำหนักหนึ่งตัน (ราคาในปี ค.ศ.2014)

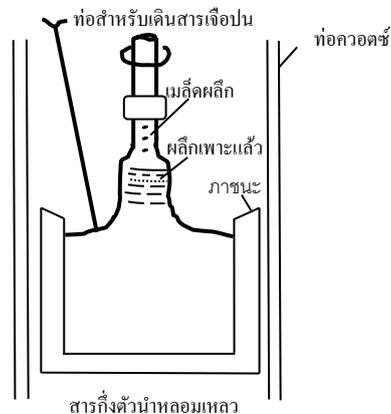
2. Metallurgical silicon เป็นซิลิกอนชนิดสารกึ่งตัวนำ เป็นซิลิกอนที่ใช้ในการผลิตสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ เช่น ใช้ในการผลิตไดโอดทรานซิสเตอร์ วงจรไอซี หรือใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ (แบบผลึกเดี่ยว) ต้องใช้ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยใช้เทคนิคทำให้ Metallurgical silicon อยู่ในรูปของสารประกอบไตรโคโลไซเลน (Tricholosiene ; Si HCl_3) เสียก่อนเพราะไตรโคโลไซเลนมีจุดเดือดต่ำประมาณ 31.8 องศาเซลเซียส เท่านั้น จึงง่ายต่อการแยกสารนี้ออกจากสารเจือปนอื่น จากปฏิกิริยาเคมีระหว่าง กรดเกลือ (HCL) และ Metallurgical silicon โดยให้ทองแดงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจะได้ไตรโคโลไซเรน ดังสมการ



นำก๊าซที่ได้จากสมการข้างต้นผ่านเครื่องควบแน่นจะได้ของเหลว จากนั้นจึงนำของเหลวนี้ไปผ่านเครื่องกลั่นเพื่อช่วยในการแยก Metallurgical silicon จากไตรโคโลไซเลน จากนั้นใช้ปฏิกิริยา Reduction ด้วยไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้ใช้ความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ดังสมการ



3. ซิลิกอนชนิดสารกึ่งตัวนำทำเป็นแวนผลึกซิลิกอนที่เป็นผลึกเดี่ยว เพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างจากซิลิกอนมีประสิทธิภาพสูง เราต้องใช้ซิลิกอนที่มีความบริสุทธิ์สูงเพราะว่าสารเจือที่เติมลงไปนั้นมีจำนวนเล็กน้อยจะได้ผลตามที่ต้องการและอีกประการหนึ่งคือต้องไม่มีการแตกแยกของโครงสร้างผลึกเดี่ยวคือ วิธีการดึงหรือวิธีของโครชราลสกี (Czochralski method) วิธีการนี้จะเป็นการดึงผลึกจากซิลิกอนที่หลอมเหลว โดยอาศัยเม็ดผลึกที่ทราบทิศทางผลึกที่แน่นอน การดึงเม็ดผลึกขึ้นอย่างช้าๆ นี้มีผลทำให้เฟสสารเหลวถูกดึงตามขึ้นมาด้วย ทำให้ผลึกเดี่ยวมีขนาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่ซิลิกอนที่หลอมเหลวนั้นต้องอยู่ภายใต้บรรยากาศของก๊าซเฉื่อย และเม็ดผลึกต้องมีขนาดใหญ่พอ วิธีการดังกล่าวนี้จึงเรียกว่าวิธีดึงผลึก เนื่องจากเราต้องการให้สารเจือมีความหนาแน่นอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นในการดึงผลึกขึ้นไปต้องมีการหมุนแกนผลึกรอบตัวไปด้วย ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์ดึงผลึก

ที่มา : ศิริชัย เทพา, 2556

ต้องควบคุมอัตราการหมุนรอบด้วยความเร็วและอุณหภูมิในการดึงผลึก โดยทั่วไปอัตราการหมุนรอบตัวมีค่าประมาณ $1/8 - 1/2$ รอบต่อวินาที และความเร็วในการดึงผลึกจะมีค่าประมาณ $10^4 - 3 \times 10^2$ ซม. ต่อวินาที ในการผลิตผลึกเดี่ยวซิลิกอนด้วยวิธีนี้ จะได้ผลึกเดี่ยวซิลิกอนที่มีชนิดการนำกระแสและความต้านทานจำเพาะตามที่ต้องการได้โดยการเปลี่ยนชนิดและจำนวนของสารเจือ

ผลึกเดี่ยวซิลิกอนที่ได้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 ซม. และยาวประมาณ 1-2 เมตร ในขณะนี้เราจะได้ซิลิกอนที่เดิมสารเจือลงไป อาจเป็นชนิดเอ็นหรือชนิดพีก็ได้ ขั้นตอนต่อไปตัดท่อนซิลิกอนที่ได้จากการดึงผลึกนี้ ให้เป็นแวนผลึกหนาประมาณ 0.5-1.0 มม. กรรมวิธีในการตัดจะใช้ใบเลื่อย ซึ่งมีผงเพชรผสมอยู่และหมุนรอบตัวด้วยความเร็วสูงภายหลังการตัดแล้วผิวของแวนผลึกจะชำรุดหมด อันเนื่องจากการขัดสีของผงเพชรของล้อตัด ดังนั้นกรรมวิธีขั้นต่อไปคือ การขัดผิวแวนผลึกเพื่อกำจัดชั้นที่ชำรุด การขัดมักจะใช้ผงซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) ซึ่งมีหลายชนิดแล้วแต่ขนาดของเม็ดผง การขัดชั้นแรก มักจะใช้เม็ดผงหยาบและค่อยๆ ลดขนาดของเม็ดผงในชั้นต่อไปจนถึงขั้นตอนการขัดมัน การขัดมันนั้นจะใช้ผงอลูมินัมขนาดหนาของผงอยู่ในช่วง 0.5-0.1 ไมโครเมตร กรรมวิธีการกำจัดชั้นชำรุดไม่อาจจะกำจัดได้โดยวิธีทางกายภาพ แต่จะอาศัยวิธีทางเคมี ซึ่งเรียกว่า กรรมวิธีเอตซิง (Etching method) ในขั้นตอนพบว่าการสูญเสียผลึกเดี่ยวซิลิกอนจากที่ปลูกผลึกได้เป็นแท่งจนถึงตัดเป็นแวนผลึกบางๆ ที่ขัดผิวเรียบร้อยแล้วประมาณ 60% ด้วยเหตุนี้ราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวจึงมีราคาค่อนข้างแพง

2.1.4.2 การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ แบบผลึกรวม (Poly crystalline)

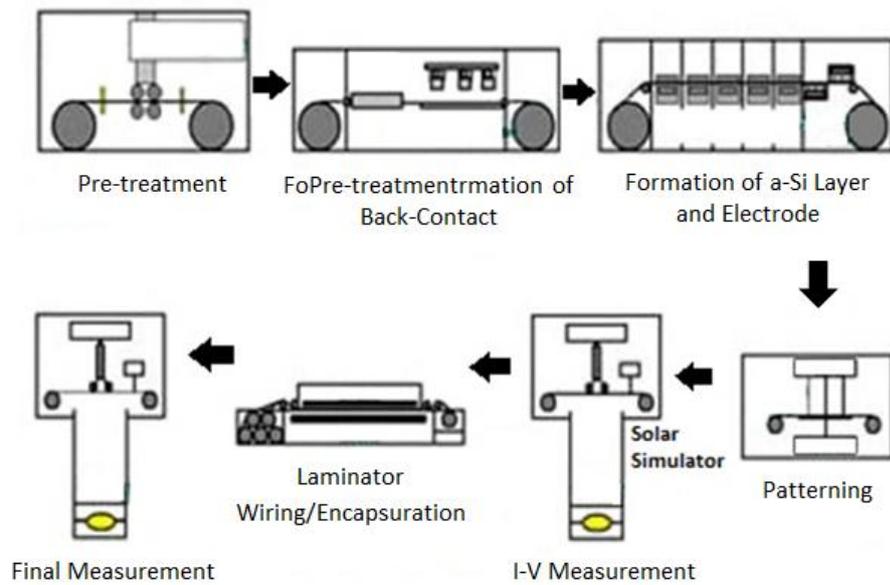
การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายที่ถูกกว่าวิธีแรกคือ การทำแผ่นเซลล์จะใช้วิธีการหลอมสารซิลิกอนให้ละลายพร้อมกับใส่สารเจือปนโบรอน (Boron) เพื่อทำให้เกิด P-type แล้วทลงในแบบพิมพ์เมื่อสารละลายซิลิกอนแข็งตัวก็จะได้เป็นแท่งซิลิกอนแบบผลึกรวม (ตกผลึกไม่พร้อมกัน) จากนั้นนำแท่งซิลิกอนไปตัดเป็นแผ่นเช่นเดียวกับแบบผลึกเดี่ยวแต่ความแตกต่างระหว่างแบบผลึกเดี่ยวและแบบผลึกรวมสังเกตได้จากผิวผลึกถ้ามีโทนสีที่แตกต่างกันซึ่งเกิดจากผลึกเล็กๆ หลายผลึกในแผ่นเซลล์ลักษณะนี้จะเป็นแบบผลึกรวมในขณะที่แบบผลึกเดี่ยวจะเห็นเป็นผลึกเนื้อเดียวคือมีสีเดียวตลอดทั้งแผ่นส่วนกรรมวิธีการผลิตเซลล์ที่เหลือจะเหมือนกันเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly crystalline) ดังรูปที่ 2.4 จะให้ประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบผลึกเดี่ยว ประมาณ 2-3% อย่างไรก็ตามเซลล์ทั้ง 2 ชนิด มีข้อเสียในการผลิตคือแตกหักง่ายเช่นกัน



รูปที่ 2.4 กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกรวม (Poly crystalline)
ที่มา : <http://www.neutron.rmutphysics.com>

2.1.4.3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัส (Amorphous silicon)

เซลล์แสงอาทิตย์แบบอะมอร์ฟัสมีวิธีการผลิตที่ต่างจากแบบผลึกโดยสิ้นเชิง โดยจะเป็นลักษณะของแผ่นฟิล์มบางไม่ใช้เวเฟอร์ ดังรูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นขั้นตอนการผลิตโดยจะสร้างแผ่นฟิล์มบางของซิลิกอนบนแผ่นฐานรองโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า CVD (Chemical Vapor Deposition) ซึ่งจะมีระบบนำก๊าซที่มีซิลิกอนติดอยู่ เช่น ก๊าซซิลเลน (SiH_4) ผ่านเข้าไปในท่อสุญญากาศและตรงบริเวณที่วางแผ่นที่ฐานรองก็จะมีการกระตุ้น โดยพลาสมาเพื่อส่งพลังงานให้ซิลิกอนแยกตัวออกจากก๊าซเข้าไปจับตัวกันบนแผ่นฐานรอง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นแก้ว สแตนเลส หรือพลาสติก ที่ได้ทำการเคลือบชั้นตัวนำโปร่งแสงไว้ก่อน โดยมีอุณหภูมิบนแผ่นฐานรองประมาณ 200-300 องศาเซลเซียส ซิลิกอนจะทับถมสะสมบนแผ่นเกิดเป็นอะมอร์ฟัสซิลิกอน ในขั้นตอนนี้หากเราใส่ก๊าซที่มีโบรอน เช่น B_2H_6 เข้าไปด้วยเราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิกอนชนิด P และถ้าหากใส่ก๊าซที่มีฟอสเฟต เช่น PH_3 เราก็จะได้แผ่นฟิล์มที่เป็นอะมอร์ฟัสซิลิกอนชนิด N ซึ่งจะเห็นได้ว่า ด้วยวิธีนี้เราสามารถควบคุมการไหลของก๊าซเพื่อสร้างให้เกิดชั้นของ P-N type ของอะมอร์ฟัสซิลิกอนขึ้นได้อย่างค่อนข้างง่ายดาย หลังจากได้ P-N type แล้ว เราก็จะสร้างส่วนของขั้วไฟฟ้าให้เสร็จเป็นเซลล์แสงอาทิตย์



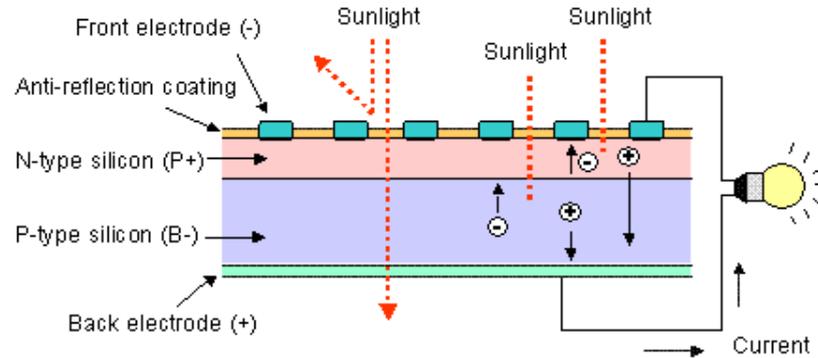
รูปที่ 2.5 กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Amorphous silicon

ที่มา : Kanha Solar Power Co.Ltd., 2556

2.1.5 หลักการทำงานและการใช้งานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดได้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ของสารกึ่งตัวนำชนิดซิลิกอน (สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546) ซึ่งถลุงได้จากควอตซ์หรือทราย ซึ่งเป็นวัสดุกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลกเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผ่นอาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลม (เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว) หรือแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ด้านละ 5 นิ้ว) มีความหนา 200-400 ไมครอน (ประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร) โดยจะต้องนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนในเตาอุณหภูมิสูงประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นด้านหลังเป็นผิวสัมผัสโลหะเต็มหน้า ส่วนด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะเป็นลายเส้นคล้ายก้างปลา

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น โครงสร้างรอยต่อเอ็นของสารกึ่งตัวนำ จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้า ภายในเซลล์เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดลบ (อิเล็กตรอน) ให้ไหลไปที่ขั้วลบและทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดบวก (โฮล) ไหลไปที่ขั้วบวกด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสอง ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : การไฟฟ้าฝ่ายผลิต (EGAT)

N-type silicon คือ สารกึ่งตัวนำที่ผ่านการโด๊ปกับสารฟอสฟอรัสมีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอน เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ P-type silicon คือสารกึ่งตัวนำที่ผ่านการโด๊ปกับสารโบรอนทำให้โครงสร้างของ อะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน

2.1.5.1 เมื่อนำซิลิกอนทั้ง 2 ชนิดมาประกบต่อกันด้วย P-N junction จึงทำให้เกิดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ โดยในสถานะที่ยังไม่มีแสงแดด N-type ซิลิกอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอนแต่ก็ยังมีโฮล ปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยด้านหน้าของ N-type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน P-type ซิลิกอน ซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮล แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อย ด้านหลังของ P-type ซิลิกอน จะมีแถบโลหะเรียกว่า Back electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล

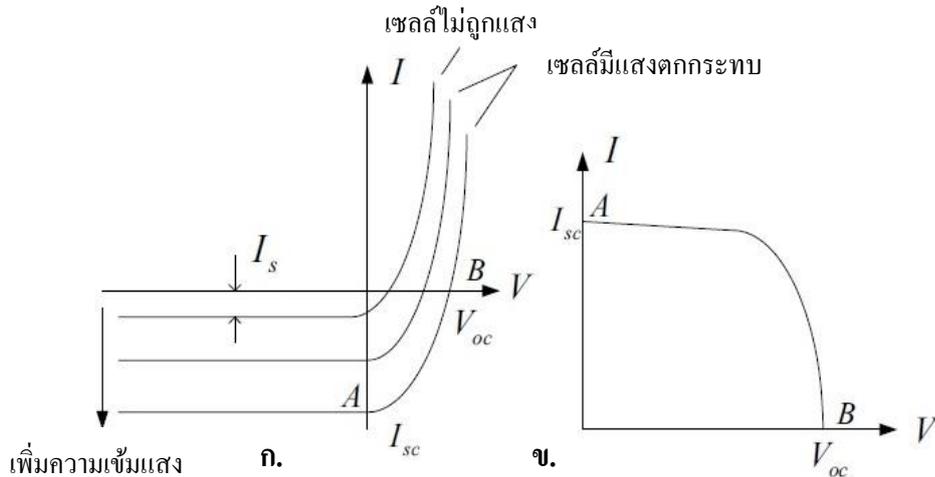
2.1.5.2 เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนที่และเมื่อพลังงานสูงพอที่จะทำให้ทั้งอิเล็กตรอนและโฮล จะวิ่งเข้าหากันเพื่อจับคู่อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น N-type และโฮล จะวิ่งไปยังชั้น P-type

2.1.5.3 อิเล็กตรอนจะวิ่งไปรวมกันที่ Front electrode และโฮล ก็จะวิ่งไปรวมกันที่ Back electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front electrode และ Back electrode ทำให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้นเนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถเป็นแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าได้

2.1.6 สมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.6.1 ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) ซึ่งไหลผ่านเซลล์แสงอาทิตย์และแรงดันไฟฟ้า (V) ที่ปลายทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อไม่มีแสงแดดตกกระทบบจะเหมือนกับ IV characteristic ของรอยต่อพีเอ็นปกติ แต่เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกแสง IV characteristic จะเปลี่ยนไปดังแสดงในรูปที่ 2.7 (ก)



รูปที่ 2.7 (ก) IV characteristic ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันในสภาพที่เซลล์จ่ายพลังงานไฟฟ้า

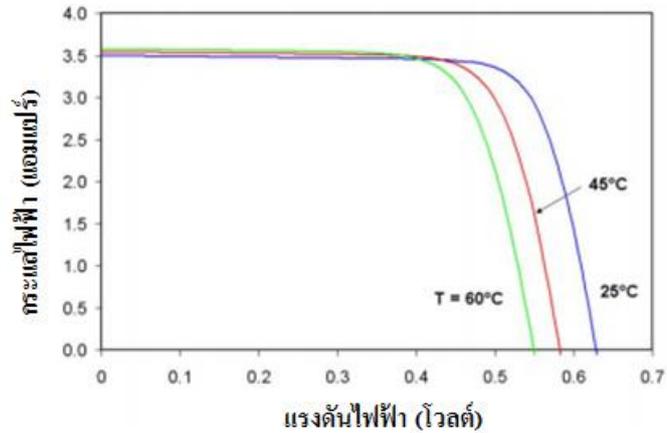
ที่มา : Solar cells and applications, ดร. กฤษณพงศ์ กีรติกร, 2554

จาก IV characteristic เราพิจารณาได้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เมื่อจุดทำงาน (Operating point) ของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่บน จุดใดจุดหนึ่งของ curve AB ตามรูป 2.7 (ข) บน curve ดังกล่าว ผลคูณของกระแส (I) และแรงดัน (V) เป็นลบ ซึ่งแสดงว่า Power dissipation ($P = IV$) ในเซลล์มีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายความว่า เซลล์ไม่ใช่กำลังงานไฟฟ้าแต่จะผลิตกำลังงานไฟฟ้าได้ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่จะได้จากเซลล์แสงอาทิตย์คือ ค่า Open-circuit voltage (V_{oc}) ส่วนกระแสไฟฟ้าสูงสุดคือ ค่า Short-circuit current (I_{sc}) โดยค่า I_{sc} จะขึ้นอยู่กับ Solar radiation flux

2.1.6.2 ปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง

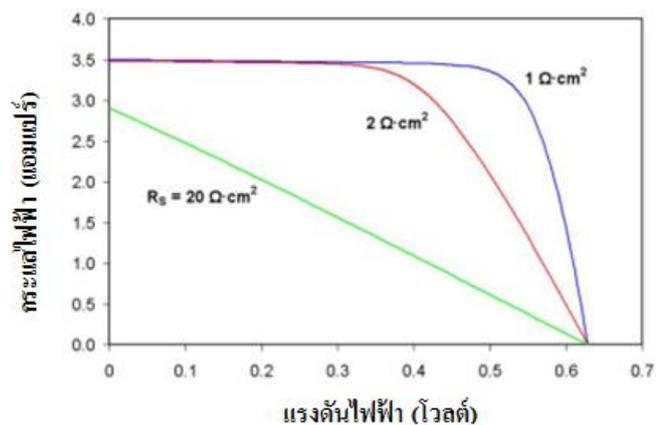
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับทั้งปัจจัยภายนอกและสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ความต้านทานขนานและความต้านทานอนุกรม เป็นต้น โดยที่ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น นั่นคือสถานะที่อุณหภูมิสูงระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลงเป็นผลให้แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลงแต่ไม่ทำให้กระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 2.8 ทั้งนี้กระแสลัดวงจรหรือกระแสสูงสุด

จะลดลงเมื่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มีค่าน้อย เช่น ในวันที่ท้องฟ้ามีดกริม มีเมฆบดบัง การบังเงาเนื่องจากต้นไม้ เป็นต้น



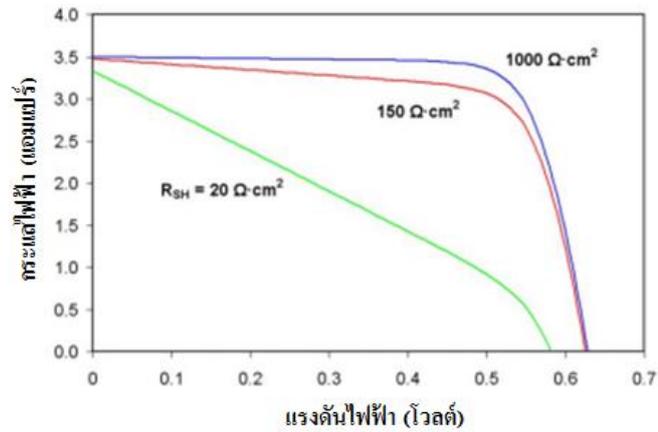
รูปที่ 2.8 ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร
ที่มา : Kanha Solar Power Co.Ltd., 2556

ความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าลดลงแต่ไม่มีต่อค่าแรงดันวงจรเปิดหรือกล่าวได้ว่า ความต้านทานอนุกรมทำให้ค่าฟิลด์แฟกเตอร์ลดลง หากค่านี้มีมาก จะทำให้กระแสลัดวงจรลดลงและค่า IV-curve เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน
ที่มา : Kanha Solar Power Co.Ltd., 2556

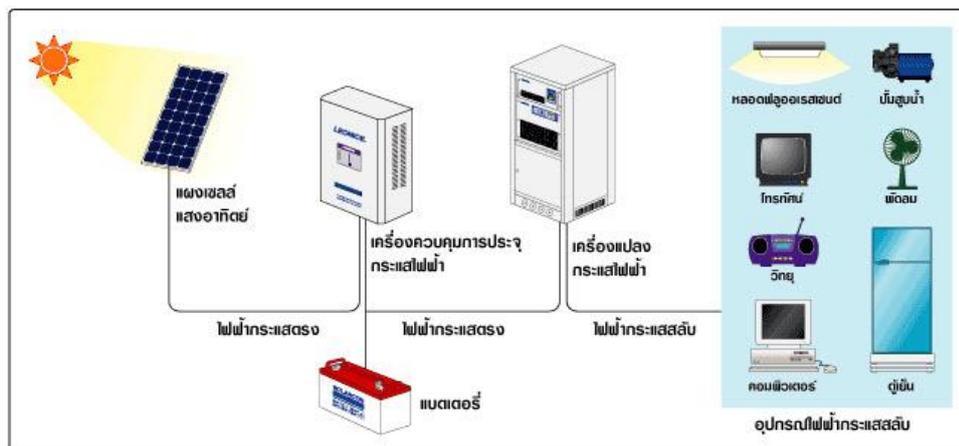
ค่าความต้านทานขนานลดลงมากจะเป็นผลทำให้แรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจรมีค่าลดลงดังรูปที่ 2.10 และค่าฟิลด์แฟกเตอร์ลดลงเช่นเดียวกับกรณีค่าความต้านทานอนุกรม



รูปที่ 2.10 ผลของความต้านทานขนานต่อลักษณะกระแสและแรงดัน
ที่มา : Kanha Solar Power Co.Ltd., 2556

2.1.7 อุปกรณ์สำคัญของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปสามารถผลิตไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น จึงสามารถนำกระแสไฟฟ้าไปใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้น หากต้องการนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเก็บสะสมพลังงานไว้ใช้ต่อไปจะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆ อีกด้วยโดยรวมเข้าเป็นระบบที่ผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และมีอุปกรณ์สำคัญๆ ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 อุปกรณ์ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : LEONICS CO.LTD, 2556

2.1.7.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar module) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงและมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) เมื่อมีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็นแถวหรือเป็นชุด (Solar array) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าใช้งานตามที่ต้องการ โดยการต่อแบบอนุกรม จะทำให้เพิ่มแรงดันไฟฟ้าและการต่อกันแบบขนานจะทำให้

กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น หากสถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์แตกต่างกันก็จะมีผลให้ปริมาณของค่าเฉลี่ยพลังงานสูงสุดในหนึ่งวันไม่เท่ากันด้วยรวมถึงอุณหภูมิก็มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าหากอุณหภูมิสูงขึ้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าก็จะลดลง

2.1.7.2 เครื่องควบคุมการประจุ (Charge controller)



รูปที่ 2.12 เครื่องควบคุมประจุ
ที่มา : LEONICS CO.LTD, 2556

เครื่องควบคุมประจุทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ และทำการควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ด้วย ดังนั้น การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ คือ เมื่อมีการประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่จนเต็มแล้ว จะหยุดหรือลดการประจุกระแสไฟฟ้า (และมักจะมีคุณสมบัติในการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากรณีแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงด้วย) ระบบพลังงานแสงอาทิตย์นั้นจะใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าในกรณีที่มีการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ ปัจจุบันนี้การผลิตเครื่องควบคุมการประจุมักรวมฟังก์ชันพิเศษๆ เข้าไว้มากมายเพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพมากที่สุด ซึ่งเอื้อประโยชน์ต่อการใช้งานอย่างยิ่ง เช่น ฟังก์ชัน Low Voltage Disconnect (LVD) สามารถช่วยป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับแบตเตอรี่และอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยจะปิดสวิตช์อุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรงที่เชื่อมต่อ หากแรงดันของแบตเตอรี่ต่ำลงในระดับที่เป็นอันตรายต่อแบตเตอรี่ ฟังก์ชัน Maximum Power Point Tracking (MPPT) เป็นกระบวนการที่ทำให้เครื่องควบคุมการประจุดึงพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุดเพื่อทำการประจุลงแบตเตอรี่ โดยไม่คำนึงถึงแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่รวมถึง ฟังก์ชัน Battery Temperature Compensation (BTC) จะทำการปรับอัตราการประจุแบตเตอรี่ตามอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ซึ่งเหมาะสมและจำเป็นอย่างยิ่งต่อประเทศที่สภาพอากาศหนาวเย็น

การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ

หลักการทำงานของเครื่องควบคุมการประจุคือ มีวงจรใช้สำหรับตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งทำงานเป็นสวิตช์ที่เบี่ยงเบนไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เมื่อประจุจนเต็ม วิธีเบี่ยงเบนการไหลของไฟฟ้าที่ไปยังแบตเตอรี่คือใช้การลัดวงจรหรือเปิดวงจรโดยที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เกิดความเสียหาย เครื่องควบคุมการประจุจะตรวจวัดแรงดันของแบตเตอรี่ เพื่อกำหนดสถานะการประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่มีประจุอยู่เต็มแรงดันจะสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 12 โวลต์ เครื่องควบคุมการประจุจะตัดการประจุไฟฟ้าเมื่อแรงดันสูงถึง 14.4 โวลต์และจะประจุไฟฟ้าใหม่อีกครั้งหลังจากแรงดันลดลงเหลือ 13.4 โวลต์

ชนิดของเครื่องควบคุมการประจุ

1. เครื่องควบคุมการประจุแบบอนุกรม (Series charge controller) เป็นการต่อเครื่องควบคุมการประจุกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม โดยทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังแบตเตอรี่ เมื่อประจุแบตเตอรี่เต็มแล้วสวิตช์ควบคุมจะใช้สวิตช์แม่เหล็กที่เรียกว่า รีเลย์ (Relay) หรือสวิตซ์ทรานซิสเตอร์ (Switching transistor) ก็ได้
2. เครื่องควบคุมประจุแบบขั้ว (Shunt charge controller) เป็นการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับสายไฟขาออกแบบขนานจะทำการเชื่อมวงจรกับสายไฟของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้ไม่มีไฟฟ้าไหลจากแผงไปยังแบตเตอรี่เมื่อประจุไฟฟ้าเต็มแม้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่ได้รับความเสียหายจากการลัดวงจรแต่แบตเตอรี่จะได้รับความเสียหายจึงต้องมีไดโอด (Diode) ซึ่งเป็นวาล์วทางเดียวติดตั้งระหว่างเครื่องควบคุมการประจุกับแบตเตอรี่เพื่อป้องกันการลัดวงจรทั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่สวิตซ์ควบคุม ใช้สวิตซ์สารกึ่งตัวนำโดยเครื่องควบคุมการประจุทั้งสองชนิดนี้มีการควบคุมสวิตซ์ได้ 2 แบบด้วยกัน คือ แบบ On-Off ที่จะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์เปิดและปิดธรรมดาๆ เท่านั้นและแบบ PWM (Pulse Width Modulation) ที่ช่วยให้การประจุแบตเตอรี่มีประสิทธิภาพสูงและยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ซึ่งการควบคุมสวิตซ์แบบ PWM มีข้อดีมากกว่าการควบคุมสวิตซ์แบบ On-Off การเลือกขนาดเครื่องควบคุมการประจุนั้นจะถูกกำหนดด้วยแรงดันของระบบที่ถูกออกแบบขึ้นและกระแสสูงสุดที่สามารถควบคุมได้แรงดันของระบบทั่วไปเท่ากับ 12 โวลต์ 24 โวลต์ หรือ 48 โวลต์ ส่วนกระแสสูงสุดจะถูกกำหนดโดยจำนวนและขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในระบบ ส่วนมากแล้วเครื่องควบคุมการประจุและเครื่องควบคุมการจ่ายประจุมักจะรวมอยู่ภายในเครื่องเดียวกัน เท่ากับว่าเครื่องควบคุมการประจุมีฟังก์ชันการทำงานของเครื่องควบคุมการจ่ายประจุมองอยู่ด้วยและมีข้อสังเกตที่จะบอกได้ว่าเครื่องควบคุมเป็นแบบใดโดยดูจากการต่อวงจรดังนี้ ถ้ามีการต่อจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังเครื่องควบคุม แสดงว่าเครื่องควบคุมนั้นมีเครื่องควบคุมการประจุมองอยู่ด้วยถ้ามีการต่อไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า แสดงว่าเครื่องควบคุมนั้นมีเครื่องควบคุมการจ่ายประจุมองอยู่ด้วยและเครื่องควบคุม ทั้งหมดต้องต่อไปยังแบตเตอรี่ในขณะที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีเครื่องควบคุมการ

ประจุและจ่ายประจุเพื่อป้องกันแบตเตอรี่ประจุไฟฟ้ามากเกินไปและยังทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายประจุเพื่อป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่เหลือไฟฟ้าน้อยเกินไป

2.1.7.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverters)

อินเวอร์เตอร์ คือ อุปกรณ์ที่ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ให้มีขนาดรูปคลื่นและความถี่ตามที่ต้องการได้ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อินเวอร์เตอร์ที่ใช้แปลงพลังงานไฟฟ้า เช่น เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (DC-AC Inverter) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (AC-DC Inverter) และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบสองทาง (Bi-Directional Inverter) ปกติจะเป็นแบบ 1 เฟสสำหรับระบบกำลังขนาดเล็ก และอาจได้รับการเชื่อมต่อเข้ากับระบบ 3 เฟส ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 อินเวอร์เตอร์

ที่มา : LEONICS CO.LTD, 2556

การใช้งานสำหรับระบบแบบเดี่ยวๆ รูปคลื่นเอาท์พุทของอินเวอร์เตอร์มีความสำคัญมาก ค่าความคลาดเคลื่อนจากรูปคลื่นแรงดันในอุดมคติต้องเป็นแบบปกติสำหรับจ่ายพลังงานงานคุณภาพสูง รูปคลื่นแรงดันที่ยอมรับได้ต้องมีค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 5% จึงจะสามารถยอมรับได้ ลำดับรองลงมาที่มีความสำคัญอีกอย่างหนึ่งของระบบแบบเดี่ยวๆ คือการตอบสนองต่อระบบไฟฟ้าของโหลด เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า การออกแบบอินเวอร์เตอร์ด้วยมือ จะต้องคำนึงถึงขีดจำกัดความสามารถและประเภทของโหลด ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของอินเวอร์เตอร์มี หน่วยเป็นกิโลวัตต์แอมป์ (kVA) แทน หน่วยกิโลวัตต์ (kW) โดยที่พลังงานจะถูกเก็บไว้ส่วนหนึ่งอีกส่วนหนึ่งจ่ายไปยังโหลด พลังงานที่เก็บไว้จะขึ้นอยู่กับขนาดของตัวเก็บประจุ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์โดยปกติค่ากำลังไฟฟ้าระดับต่ำจนถึงระดับสูงจะอยู่ที่ (80-90%) ขึ้นอยู่กับประเภทของอินเวอร์เตอร์

2.1.7.4 แบตเตอรี่ (Battery)



รูปที่ 2.14 แบตเตอรี่

ที่มา : CHAROEN999 (Thailand) CO. LTD, 2556

แบตเตอรี่โดยทั่วไปนั้นจะมีแผ่น Plate อยู่ 2 ชนิดด้วยกัน คือแผ่นบวกและแผ่นลบประกอประกกันอยู่โดยมีน้ำกรดเป็นสื่อกลางที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางด้านเคมีและก่อให้เกิดไฟฟ้าขึ้น และขนาดกระแสที่จ่ายนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของแผ่น Plate ว่ามีมากน้อยเพียงใดโดยทั่วไปแบตเตอรี่จะแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ด้วยกัน ได้แก่

1. แบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จจนเต็มมาจากโรงงาน เช่น แบตเตอรี่นาฬิกา (ถ่านนาฬิกา), แบตเตอรี่ไฟฉาย (ถ่านไฟฉาย) เป็นต้น ซึ่งเมื่อใช้ไฟในแบตเตอรี่จนหมดแล้วก็หมดเลยไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เราเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่าแบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary battery)
2. แบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จใหม่ได้เมื่อแบตเตอรี่มีไฟอ่อนลง เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ เรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่าแบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary battery)

ในระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิซึ่งสามารถทำการชาร์จได้ใหม่เมื่อแบตเตอรี่มีกำลังไฟที่อ่อนลง ในระบบแบตเตอรี่จะทำงานเก็บพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ามาไว้แล้วปล่อยออกไปให้กับโหลดในเวลาที่ไม่ได้มีแสงอาทิตย์ เช่น ในช่วงเวลากลางคืน แบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จะมีหลายชนิด เช่น ลีดเอซิด (Lead-Acid battery) อัลคาไลน์ (Alkaline) นิกเกิลแคดเมียม (Nickel-cadmium) แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดก็คือ แบตเตอรี่ลีดเอซิด (Lead-Acid battery) เพราะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและมีการปล่อยประจุ (กระแสไฟฟ้า) ที่สูง

2.1.8 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

1. ใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ไม่ก่อปฏิกิริยาที่จะทำให้สิ่งแวดล้อมเป็นพิษ
2. เป็นนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่าและไม่มีวันหมดไปจากโลกนี้
3. มีการบำรุงรักษาน้อยมากและใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย
4. ประสิทธิภาพคงที่ไม่ขึ้นกับขนาดอายุการใช้งานยืนยาว
5. สามารถผลิตเป็นแผงขนาดต่างๆ ได้ง่ายทำให้สามารถผลิตได้ในปริมาณมากๆ
6. ผลิตไฟฟ้าได้แม้มีแสงแดดอ่อนหรือมีเมฆ
7. มีน้ำหนักเบาติดตั้งง่ายเคลื่อนย้ายสะดวกและรวดเร็ว
8. ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆ ในบรรยากาศ

2.1.9 สมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกันและมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ตลอดจนการนำไปใช้คำนวณระบบ หรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่มีดังนี้

2.1.9.1 ความเข้มของแสง

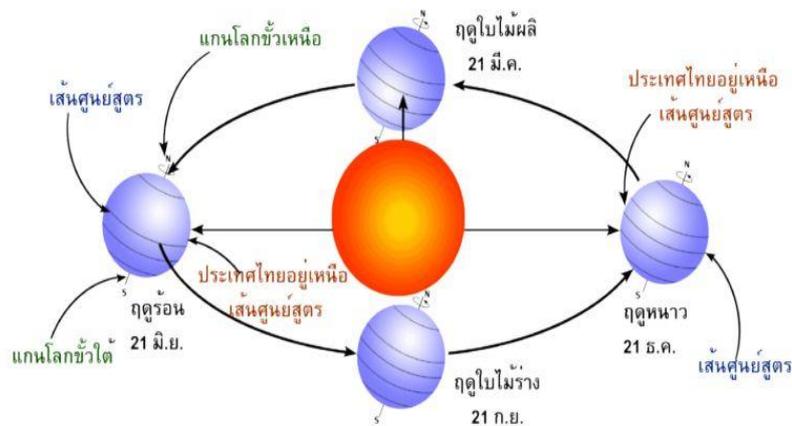
กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสงอาทิตย์ หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าสูงกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะมีค่าสูงขึ้นด้วย ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) แทบจะไม่มีแปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศที่ปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกหรือควันและวันที่ระดับน้ำทะเลในรูปที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อตารางเซนติเมตรหรือ 1,000 W ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศากับพื้นโลกความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 750 W ต่อตารางเมตร (กองพัฒนาทดแทน ฝ่ายพัฒนาพลังงานทดแทน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2550)

2.1.9.2 อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5 เปอร์เซ็นต์ และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open circuit voltage หรือ V_{oc}) ที่ 21 โวลต์ เมื่ออุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เมื่อมีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 โวลต์ แต่ถ้ามีอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น เมื่อมีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5 เปอร์เซ็นต์ (0.5 เปอร์เซ็นต์ \times 5 องศาเซลเซียส) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.2 ทฤษฎีการโคจรของโลกเบื้องต้น

โลกมีการโคจร 2 ลักษณะ คือ หมุนรอบตัวเองในลักษณะที่ทวนเข็มนาฬิกาด้วยอัตราความเร็ว 1 รอบต่อวัน (15 องศาต่อชั่วโมง) ทำให้โลกเห็นดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จากทิศตะวันออกไปทิศตะวันตกด้วยอัตราความเร็ว 15 องศาต่อชั่วโมง เช่นกันและหมุนรอบดวงอาทิตย์เป็นวงรีในลักษณะทวนเข็มนาฬิกาด้วยอัตราความเร็ว 1 รอบต่อปีโดยแกนของโลกจะเอียงเป็นมุม 23.5 องศา กับแนววงโคจรทำให้ตำแหน่งต่างๆ บนพื้นโลกที่อยู่บนเส้นรุ้งต่างกันจะได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ไม่เท่ากันในแต่ละวัน ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

ที่มา : บริษัท เฟล็กซ์เพลน ดีไซน์, 2556

2.3 พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานของดวงอาทิตย์ได้จากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์โดยการรวมตัวของไฮโดรเจน เป็นฮีเลียม (สี่โปรตรอนรวมเป็นหนึ่งนิวเคลียสฮีเลียม) ให้พลังงานในรูปแบบการแผ่รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหลายช่วงคลื่น ตั้งแต่เอ็กซ์เรย์ อัลตราไวโอเลต แสงสว่าง และคลื่นความร้อน

2.3.1 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์

2.3.1.1 การใช้เครื่องมือแลกเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานรูปแบบอื่นและใช้งานได้ทันที ได้แก่ เครื่องต้มน้ำร้อน (Solar water heater) เครื่องทำความเย็น (Solar refrigerator) เครื่องกลั่นน้ำ (Solar distilled) เครื่องอบแห้ง (Solar dryer) เครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar photovoltaic cell) เครื่องสูบน้ำ (Solar pump) และอื่นๆ

2.3.1.2 การใช้โดยทางอ้อมกระบวนการนี้ได้ใช้กรรมวิธีหลายด้านต่อเนื่องกันแล้วจึงเปลี่ยนสภาพไปเป็นพลังงานรูปอื่น ได้แก่

- กังหันลม (Wind turbine) เครื่องมือชนิดนี้จะอาศัยพลังงานลมอันเกิดมาจากอิทธิพลของแสงอาทิตย์ เครื่องมือนี้ใช้สำหรับการสูบน้ำ การกำเนิดกระแสไฟฟ้า เป็นต้น
- กระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เป็นกระบวนการที่ต้องอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง ทำการผลิตชีวมวล (Biomass) ของพืชในพืชบางชนิด
- OTEC (Ocean thermal energy conversion) เป็นกระบวนการที่อาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำทะเลกับระดับความลึกต่างๆ กันเพื่อเดินเครื่องกลและนำพลังงานที่ได้ไปใช้ประโยชน์ เช่น การผลิตพลังงานไฟฟ้า

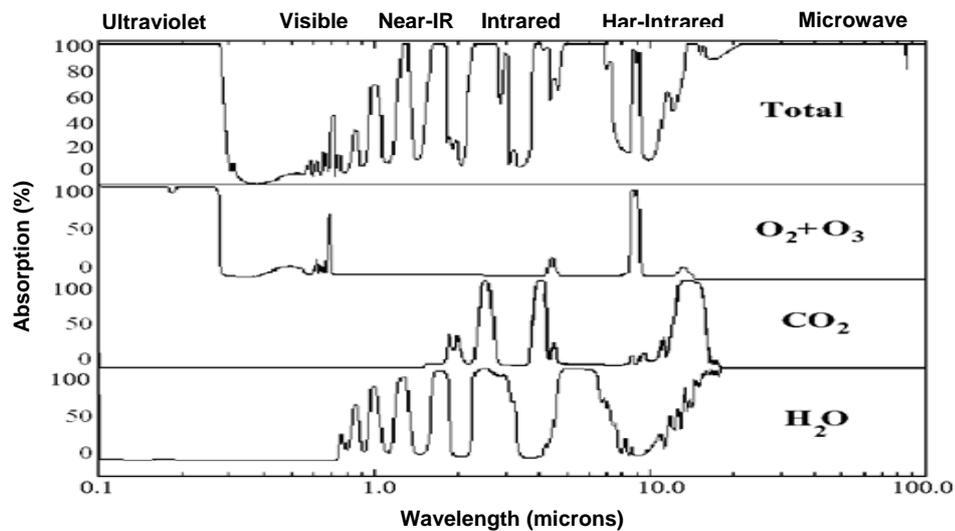
2.4 การดูดกลืนพลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยชั้นบรรยากาศ

การดูดกลืนพลังงานการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยชั้นบรรยากาศของโลกจะเกิดขึ้นอยู่ตลอดเวลาและมีลักษณะที่สำคัญ โดยแสดงอยู่ในรูปที่ 2.16 ดังนี้

2.4.1 ช่วง Ultraviolet จะมีความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 nm พลังงานของแสงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนโดยก๊าซไนโตรเจน ก๊าซออกซิเจนและก๊าซโอโซน เป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในอะตอมหรือในโมเลกุลของก๊าซดังกล่าว จึงทำให้แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนผิวโลกเกือบจะไม่มีพลังงานแสงในช่วงนี้เหลืออยู่

2.4.2 ช่วง Visible มีความสำคัญต่อมนุษย์อย่างมาก เพราะเป็นรังสีช่วงเดียวจากดวงอาทิตย์ที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งจะมีทั้งความสว่างที่มนุษย์ต้องการและความร้อนที่ไม่ต้องการ โดยจะมีการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยโมเลกุลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซโอโซน ก๊าซออกซิเจนและไอน้ำ

2.4.3 ช่วง Infrared จะมีการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์เนื่องจากการหมุนและการสั่นสะเทือนของโมเลกุลหลายอะตอม (Polyatomic molecule) ซึ่งได้แก่ น้ำที่ความยาวคลื่นประมาณ 700-3,200 nm และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ความยาวคลื่นประมาณ 1,600-4,300 nm การดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์จะเกิดขึ้นในชั้นบรรยากาศด้านล่างซึ่งมีความหนาประมาณ 50 กิโลเมตร และพลังงานที่ถูกดูดกลืนจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในชั้นของบรรยากาศ ที่ระยะความยาวคลื่น 8,000-12,000 nm บรรยากาศจะโปร่งใส แสงในช่วงนี้เรียกว่า Atmosphere window ที่ความยาวคลื่นสูงกว่านี้แสงอาทิตย์จะถูกดูดกลืนเกือบหมดด้วยน้ำในรูปของไอน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 2.16 อัตราการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วง
ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556

2.5 รังสีอาทิตย์

2.5.1 รังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก

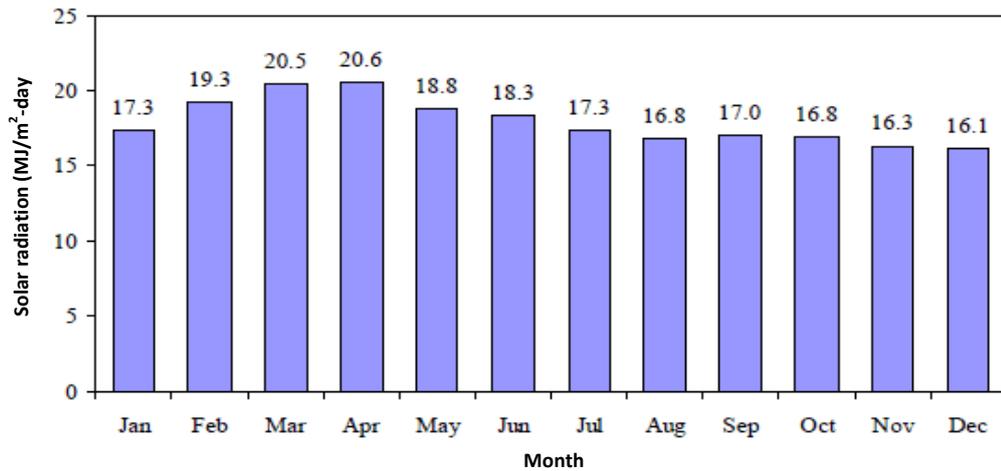
2.5.1.1 รังสีตรง (Beam or direct radiation) รังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรง ตกลงบนผิวรับรังสี มีทิศทางแน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด ทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์ เครื่องมือที่ใช้วัดรังสีตรงคือ ไพเฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer)

2.5.1.2 รังสีกระจาย (Diffuse radiation) รังสีอาทิตย์ที่ถูกสะท้อนจากบรรยากาศของโลกและวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับรังสี รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางของท้องฟ้า ทำให้ทิศทางไม่แน่นอนและไม่เป็นระเบียบ การวัดรังสีกระจายโดยทั่วไปมักจะใช้อุปกรณ์ซึ่งมีลักษณะเป็นวงแหวนหรือลูกบอล มาติดตั้งบนเครื่องไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer) เพื่อทำการปิดกั้นส่วนของรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ ให้เครื่องวัดได้รับเฉพาะรังสีที่กระจายมาจากท้องฟ้าเท่านั้น

2.5.1.3 รังสีรวม (Total or global radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงกับรังสีกระจายที่ตกกระทบผิวรับรังสีหรืออาจหาได้จากการอินทิเกรตความเข้มของรังสีอาทิตย์ตลอดทุกๆ ช่วงความยาวคลื่น ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้าและผิวโลก เรียกรังสีรวมนี้ว่า Total radiation สำหรับกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นราบ รังสีรวมจะมาจากรังสีตรงจากท้องฟ้าและรังสีกระจายจากท้องฟ้า ไม่มีรังสีกระจายจากผิวโลก เรียกรังสีรวมในกรณีนี้ว่า Global radiation เครื่องมือวัดความเข้มรังสีรวมคือ ไพราโนมิเตอร์ (Pyranometer)

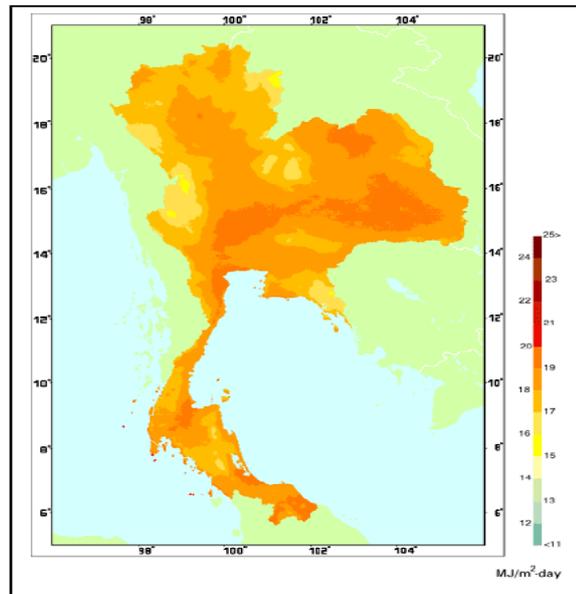
2.5.2 ปริมาณรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นกับปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้น หรือที่เรียกว่า ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (Global radiation) มีหน่วยทางด้านพลังงานเป็น เมกกะจูลต่อตารางเมตร (MJ/m^2) โดยบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้สูง แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเป็นไปตามพื้นที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวันและการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี ดังรูปที่ 2.17 กล่าวคือ ในพื้นที่ๆ หนึ่งค่าความเข้มรังสีอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดในช่วงเวลาที่เที่ยงวัน และลดต่ำลงจนถึงช่วงเย็น ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของมวลอากาศ (Air mass) ซึ่งรังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านเข้ามายังพื้นผิวโลก และผลจากมุมตกกระทบของแสงอาทิตย์ ซึ่งเปลี่ยนแปลงตั้งแต่เช้าจนถึงเย็น สำหรับการเปลี่ยนแปลงตามพื้นที่เป็นผลมาจากสภาพทางอุตุนิยมวิทยา โดยมีเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญ

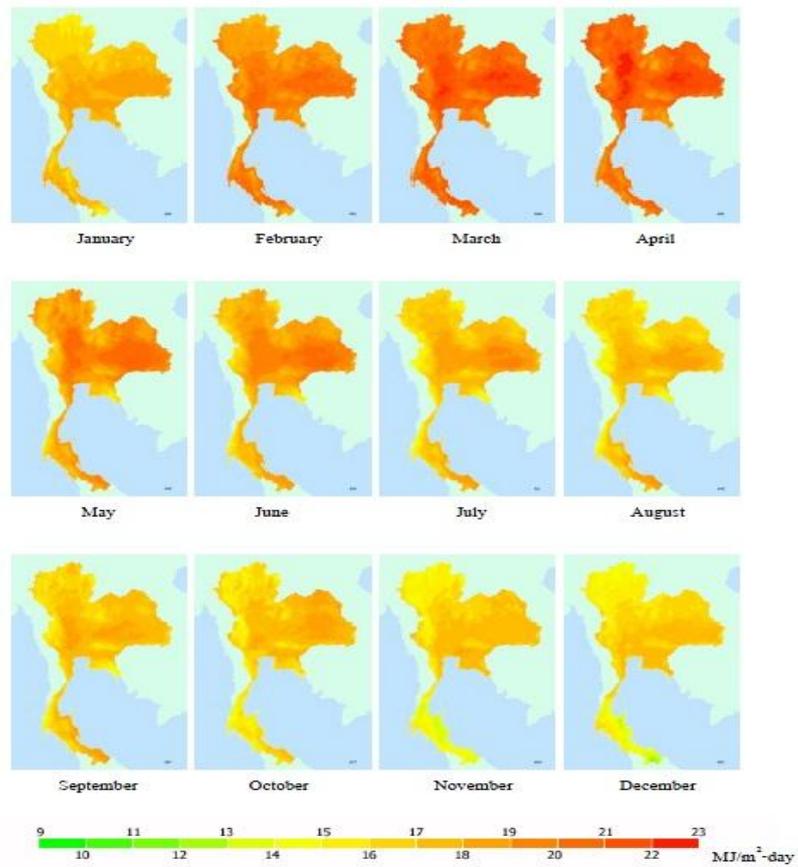


รูปที่ 2.17 การแปรค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือนโดยเฉลี่ยทุกพื้นที่ทั่วประเทศ
ที่มา :กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน2556

จากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2542) โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร พบว่า การกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ในแต่ละเดือนของประเทศ ดังรูปที่ 2.18 ได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20-24 MJ/m²-day เมื่อพิจารณาแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี พบว่าบริเวณที่ได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา, บุรีรัมย์, สุรินทร์, ศรีสะเกษ, ร้อยเอ็ด, ยโสธร, อุบลราชธานีและอุดรธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี, ชัยนาท, พระนครศรีอยุธยา, นครสวรรค์และลพบุรี โดยได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 19-20 MJ/m²-day พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 14.3 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศและนอกจากนี้ยังพบว่าร้อยละ 50.2 ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีในช่วง 18-19 MJ/m²-day ส่วนใหญ่อยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและบางส่วนของภาคกลาง บริเวณที่มีศักยภาพค่อนข้างต่ำมีเพียงร้อยละ 0.5 ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ (บริเวณภูเขาทางด้านตะวันออกและตะวันตกของภาคเหนือ) จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.2 MJ/m²-day ดังรูปที่ 2.19 จากผลที่ได้นี้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)



รูปที่ 2.18 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปี
 ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556



รูปที่ 2.19 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของแต่ละเดือน
 ที่มา : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556

จากข้อมูลด้านศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สรุปได้ว่าประเทศไทยนั้นมีศักยภาพทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง จึงได้มีการพัฒนาเพื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานเสนอให้การนำพลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกทดแทนทางหนึ่ง

2.5.3 ทิศทางของรังสีตรง

ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างระนาบของพื้นโลกที่เวลาใดๆ กับรังสีตรงหรือตำแหน่งของดวงอาทิตย์เมื่อเทียบกับระนาบต่างๆ สามารถอธิบายได้โดยใช้มุมต่างๆ ดังนี้

2.5.3.1 ละติจูด (Latitude, ϕ) คือ มุมที่อยู่ทางทิศเหนือหรือทางทิศใต้ของเส้นศูนย์สูตร เมื่อวัดไปทางทิศเหนือกำหนดให้มีค่าเป็นบวกและเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ ละติจูดมีค่าอยู่ระหว่าง -90° ถึง 90°

2.5.3.2 มุมเอียง (Slope, β) คือ มุมระหว่างพื้นผิวของระนาบรับแสงกับแนวระดับ มีค่าอยู่ระหว่าง 0° ถึง 180°

2.5.3.3 มุมชั่วโมง (Hour angle, ω) คือ มุมที่แทนตำแหน่งของดวงอาทิตย์จากเมริเดียนท้องถิ่นไปทางตะวันออกหรือทางตะวันตก มีค่าเป็นลบในช่วงเวลาก่อนเที่ยงสุริยะ และเป็นบวกหลังเที่ยงสุริยะ โดยมีค่า 15° ต่อหนึ่งชั่วโมง

2.5.3.4 มุมเดคลิเนชัน (Declination angle, δ) คือ มุมระหว่างแนวเส้นแสงอาทิตย์เมื่อเที่ยงสุริยะกับระนาบศูนย์สูตร กำหนดให้มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางทิศเหนือ และมีค่าเป็นลบเมื่อวัดไปทางทิศใต้ มุมเดคลิเนชันมีค่าเปลี่ยนไปทุกวันระหว่าง -23.45° ถึง 23.45° สามารถคำนวณได้จาก

$$\delta = 23.45 \sin [360((284+n)/365)] \quad \dots\dots\dots (1)$$

2.5.3.5 มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ (Solar altitude angle, α_s) คือ มุมระหว่างพื้นราบกับแนวเส้นแสง ดวงอาทิตย์ มุมอัลติจูดดวงอาทิตย์ที่เวลาใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\sin \alpha_s = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \quad \dots\dots\dots (2)$$

2.5.3.6 มุมอะซิมุมุทพื้นดิน (Surface azimuth angle, γ) คือ มุมระหว่างทิศใต้กับทิศทางการหันหน้าของแผงรับ แสง มีค่าอยู่ในช่วง -180° ถึง 180° โดยเป็นศูนย์เมื่อหันไปทางทิศใต้ เป็นบวกเมื่อหันไปทางทิศตะวันตก และเป็นลบเมื่อหันไปทางตะวันออก

2.5.3.7 มุมอะซิมูทดวงอาทิตย์ (Solar azimuth angle, γ_s) คือ มุมระหว่างระนาบแนวตั้งของดวงอาทิตย์และระนาบของเมอริเดียนท้องถิ่น โดยกำหนดให้วัดจากทิศใต้ของระนาบแนวตั้งดวงอาทิตย์ไปทางตะวันตกมีค่าเป็นบวก วัดไปทางตะวันออกมีค่าเป็นลบ และมีค่าเป็นศูนย์ที่ทิศใต้ มุมอะซิมูทดวงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง -180° ถึง 180° สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\sin\gamma_s = (\cos\delta \sin\omega) / \cos\alpha_s \quad \dots\dots\dots (3)$$

2.5.3.8 มุมตกกระทบ (Incidence angle, θ) คือ มุมระหว่างแนวลำแสงอาทิตย์บนพื้นผิวโลก กับแนวตั้งฉากของพื้นผิว ความสัมพันธ์ระหว่างมุมตกกระทบและมุมอื่นๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \cos\theta &= \sin\delta \sin\phi \cos\beta - \sin\beta \cos\phi \sin\delta \cos\gamma + \cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega \\ &+ \cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega + \cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega \quad \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

กรณีพื้นราบ ($\beta = 0^\circ$) มุมตกกระทบคือมุมซิมิท

$$\cos\theta_z = \cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta \quad \dots\dots\dots (5)$$

สำหรับพื้นผิวรับแสงที่หันหน้าไปทางเหนือในซีกโลกเหนือ ลดรูปสมการมุมตกกระทบเป็น

$$\cos\theta = \cos(\phi - \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\phi - \beta) \sin\delta \quad \dots\dots\dots (6)$$

กรณีพื้นผิวรับแสงหันหน้าไปทางเหนือในซีกโลกใต้จะได้

$$\cos\theta = \cos(\phi + \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\phi + \beta) \sin\delta \quad \dots\dots\dots (7)$$

พื้นผิวรับแสงละมุมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง สามารถหามุมชั่วโมงพระอาทิตย์ตก (Sunset Hour Angle, ω_s) เมื่อ θ_z เท่ากับ 90°

$$\cos\omega_s = -\tan\phi \tan\delta \quad \dots\dots\dots (8)$$

และสามารถหาความยาวของวันได้จากสมการ

$$N = (2/15)\cos^{-1}(-\tan\phi \tan\delta) \quad \dots\dots\dots (9)$$

2.5.4 อัตราส่วนรังสีตรงบนพื้นเอียงต่อรังสีบนพื้นราบ

จากรูปที่ 2.20 แสดงการตกกระทบบนพื้นราบและพื้นเอียง ซึ่งรังสีตรงที่ตกกระทบพื้นเอียงต่อรังสีตรงที่ตกกระทบบนพื้นราบ R_b ที่เวลาใดๆ หาได้จากความสัมพันธ์

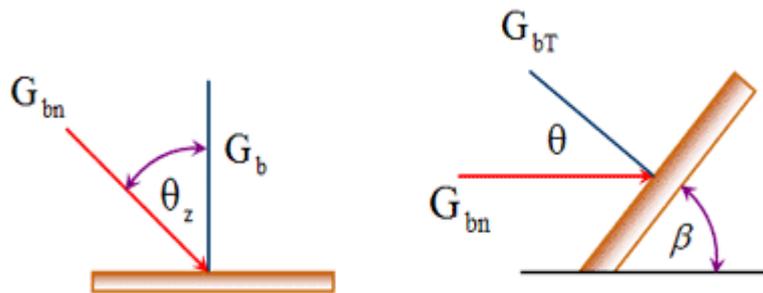
$$R_b = G_{bT} / G_b = G_{bn} \cos\theta / G_{bn} \cos\theta_z = \cos\theta / \cos\theta_z \dots\dots\dots (10)$$

โดยที่ G_{bt} และ G_b คือ รังสีตรงที่ กระทบพื้นเอียงและพื้นราบ ตามลำดับ สำหรับซีกโลกเหนือและแผงรับแสงหันหน้าไปทางทิศใต้ จะได้ความสัมพันธ์

$$R_b = (\cos(\delta - \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\delta - \beta) \sin\delta) / (\cos\delta \cos\delta \cos\omega + \sin\delta \sin\delta) \dots\dots\dots (11)$$

และสำหรับซีกโลกใต้ และแผงรับแสงหันหน้าไปทางทิศเหนือ

$$R_b = (\cos(\delta + \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\delta + \beta) \sin\delta) / (\cos\delta \cos\delta \cos\omega + \sin\delta \sin\delta) \dots\dots\dots (12)$$



รูปที่ 2.20 การตกกระทบของรังสีตรงบนพื้นราบและพื้นเอียง

ที่มา : <http://mte.kmutt.ac.th>

2.6 หลักการเปลี่ยนพลังงานของโฟโตโวลตาอิก

2.6.1 อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำจะดูดกลืนแสงหรือโฟตอนที่มีพลังงานเหมาะสม อิเล็กตรอนดังกล่าวหลุดออกจากอะตอมในสารกึ่งตัวนำออกไปเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในเนื้อสาร ถ้าพิจารณาในเทอมของการเปลี่ยนระดับพลังงานของอิเล็กตรอน อิเล็กตรอนยกระดับพลังงานของตัวเองจาก Valence band (VB) ไปยัง Conduction band (CB) และกลายเป็นพาหะใน CB แล้วยังสร้างพาหะไฟฟ้าบวกคือ Hole ให้เกิดขึ้นใน VB ด้วย โฟตอนที่มีพลังงานอย่างน้อยเท่ากับ Energy gap ของสารกึ่งตัวนำเท่านั้น จึงจะดูดกลืนและกำหนดได้ด้วยสมการ

$$h\nu > E_g$$

โดยที่ h เป็นค่า Planck's constant, 6.625×10^{-34} J.s/molecule

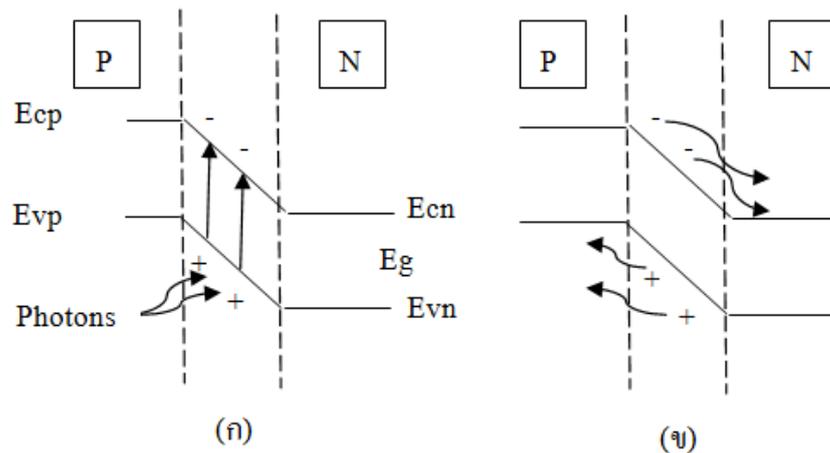
V เป็นค่าความถี่ของแสง, s^{-1}

E_g เป็นค่า Energy gap ของสารกึ่งตัวนำ, J

2.6.2 พาหะไฟฟ้าทั้งสองชนิดคือ อิเล็กตรอน (-ve) ใน CB และ Hole (+ve) ใน VB ถูกกวาดด้วยสนามไฟฟ้าภายในเซลล์บริเวณ Junction ให้เคลื่อนที่ไปในทิศที่แน่นอนการเคลื่อนที่ของพาหะดังกล่าวเป็นการ drift ในสนามไฟฟ้าเมื่อพาหะเคลื่อนที่ออกนอก Junction เข้าสู่เนื้อวัสดุ (Bulk material) ของเซลล์พาหะจะเคลื่อนที่ต่อไปด้วยการแพร่ (Diffusion) เนื่องจากไม่มีสนามไฟฟ้านอกบริเวณ Junction (ในกรณีปกติ) จะมีการสูญเสียพาหะไปส่วนหนึ่งเมื่อมีการรวมตัว (Recombination) ของพาหะชนิดตรงข้ามและมีการจับ (Trap) พาหะด้วย Defect ในเนื้อวัสดุและบริเวณผิว

2.6.3 พาหะที่เคลื่อนที่ออกมานอกเซลล์แสงอาทิตย์จะไหลผ่าน Electrical load ที่ต่ออยู่ภายนอก เป็นกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรและนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้ได้

โซลาเซลล์ สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงมาเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยอาศัยขบวนการที่กล่าวมาข้างต้น และแสดงอยู่ในรูปที่ 2.21



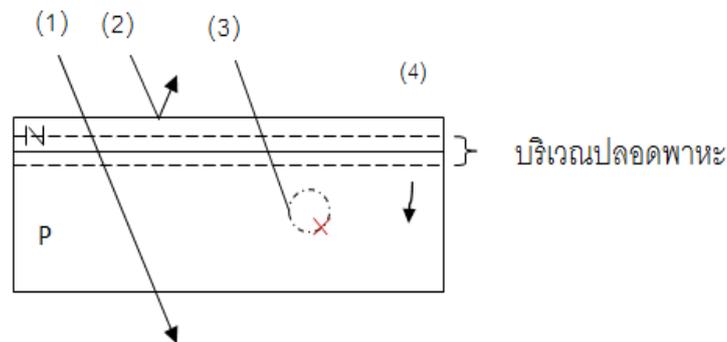
รูปที่ 2.21 แผนภาพแถบพลังงานของรอยต่อเอ็น-พี เมื่อมีโฟตอนที่มีพลังงาน $h\nu$ ตกกระทบ

(ก) แสดงการกระตุ้นอิเล็กตรอน และ (ข) การเคลื่อนที่ของพาหะ

ที่มา : (ศิริชัย เทพา, 2556)

รูปที่ 2.21 จะแสดงให้เห็นโอกาสที่เป็นไปได้เมื่อรังสีตกกระทบโซลาเซลล์ดังนี้

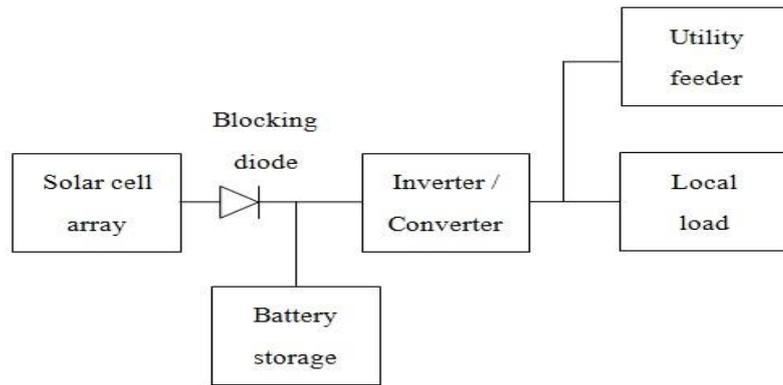
1. โฟตอนที่มีพลังงานต่ำกว่า E_g ไม่อาจทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ในเซลล์ได้ ดังนั้นจึงไม่ถูกดูดกลืน
2. โฟตอนสะท้อนกลับที่ผิวหน้าด้านนอกของเซลล์
3. โฟตอนถูกดูดกลืนที่ระยะห่างจากรอยต่อ พาหะที่เกิดขึ้นกลับรวมกันเสียก่อนที่มันจะเคลื่อนมาถึงบริเวณศักย์ขวางกั้น (Potential energy)
4. โฟตอนมีพลังงานสูงพอที่ทำให้เกิดคู่อิเล็กตรอน-โฮล ภายในระยะไม่เกินช่วงความยาวแห่งการแพร่จากศักย์ขวาง (Potential energy) ดังนั้นพาหะนี้จะถูกแยกด้วยสนามไฟฟ้าที่มีอยู่บริเวณชั้นของเขตปลอดพาหะ (Depletion layer)



รูปที่ 2.22 แผนภาพการดูดกลืนโฟตรอนภายในเซลล์
ที่มา : (ศิริชัย เทพา, 2556)

2.7 ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์อาจออกแบบได้ทั้งแบบที่ใช้งานในสถานที่ที่แยกอิสระจากแหล่งพลังงานอื่นๆ (Stand alone system) เช่น ในหมู่บ้านที่อยู่ห่างไกลจากความเจริญการใช้งานบนภูเขาสูงหรือในทะเล ฯลฯ หรือเป็นระบบที่สามารถต่อเข้าระบบสายส่งที่มีอยู่แล้วการออกแบบระบบทั้ง 2 แบบ มีลักษณะร่วมกัน ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 แผนผังการใช้งานของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : (ศิริชัย เทพา, 2556)

2.7.1 องค์ประกอบใหญ่ๆ ของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

2.7.1.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar arrays) ซึ่งมีขนาดโตพอที่จะสามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าตามปริมาณที่ต้องการ การคำนวณออกแบบขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้จะต้องคำนึงถึงปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับ บริเวณสถานีติดตั้งระบบ และขนาดโหลดที่ใช้ใช้งาน

2.7.1.2 Blocking diode ทำหน้าที่ยอมให้กำลังไฟฟ้าที่เกิดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไหลเข้าสู่แบตเตอรี่หรือโหลดเพียงทางเดียว เพราะหากไม่มีแสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าที่เก็บสะสมไว้ในแบตเตอรี่จะถูกป้อนกลับสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถ้าไม่มีการต่อ Blocking Diode เอาไว้

2.7.1.3 แบตเตอรี่ ทำหน้าที่เก็บสะสมกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับระบบโฟโตโวลตาอิกขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนย้ายได้ มักใช้แบตเตอรี่แห้งนิเกิล – แคดเมียม หากเป็นขนาดระบบที่โตขึ้นมักใช้แบตเตอรี่ Lead – acid ขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้ต้องเพียงพอสำหรับการป้อนให้โหลดเมื่อไม่มีแสงอาทิตย์ เช่น ในเวลากลางคืนหรือวันที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ปกติมักจะออกแบบให้มีขนาดพอที่จะเก็บสะสมพลังงานเพื่อใช้ 2-3 วัน แล้วแต่ความต้องการใน Reliability ของระบบนั้นๆ

2.7.1.4 อินเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่และเฟสตามต้องการหรือเหมาะสมกับการต่อเข้ากับ Utility grid โดยทั่วไปองค์ประกอบนี้มักได้แก่ DC-AC Inverter ที่ทำด้วยวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ และอาจมี Step-Up transformer วงจรฟิลเตอร์วงจรสำหรับแก้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ วงจรสำหรับ Power conditioning (เพื่อควบคุมการชาร์จแบตเตอรี่เพื่อไม่ให้เกิด Overcharging) สำหรับระบบโฟโตโวลตาอิกที่มีขนาดต่ำ

กว่า 25 kW มักใช้ Transistor อินเวอร์เตอร์ ส่วนระบบที่มีขนาดโต 1 MW จะใช้ SCR อินเวอร์เตอร์ ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์สามารถพัฒนาได้สูงถึง 88-93%

2.7.1.5 Switcher/CIRCUIT Breakers เพื่อทำหน้าที่แยกองค์ประกอบของระบบให้เป็นอิสระจากกัน เช่น แบตเตอรี่หรือใช้สำหรับตัดวงจรเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดต่อระบบ เช่น ระหว่าง อินเวอร์เตอร์ Output กับ Utility grid เป็นต้น สำหรับระบบโฟโตโวลตาอิกที่ใช้งานแบบแยกอิสระนั้น จะไม่มีการต่อเข้ากับ Utility grid ดังนั้นการคำนวณขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่จึง ต้องกระทำโดยคำนึงถึงขนาดของโหลดเป็นอย่างมาก ตามระดับของการยอมรับของระบบนั้นในบาง กรณีโหลดอาจต้องการแต่ไฟฟ้ากระแสตรงจึงไม่จำเป็นต้องใช้อินเวอร์เตอร์ ทำให้ระบบง่ายขึ้นปัญหา หนึ่งในการใช้งานในระบบโฟโตโวลตาอิก ได้แก่การควบคุมให้ระบบทำงานที่จุดที่ให้ระบบทำงานที่ จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum power point) อยู่เสมอ แต่ในทางปฏิบัติ Maximum power point นี้จะ เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสงและเงื่อนไขแวดล้อมในขณะใช้งาน ดังนั้นในการควบคุมให้ระบบ ทำงานที่ Maximum power point ตลอดเวลาจะต้องมี Maximum power tracker ซึ่งเป็นวงจร อิเล็กทรอนิกส์ซึ่งมีราคาแพง

2.8 เงื่อนไขที่ใช้พิจารณาในการเลือกสถานที่ทำการตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์ แสงอาทิตย์

เมื่อมีการติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกควรพิจารณาถึงเงื่อนไขในการเลือกสถานที่ดังต่อไปนี้ เพื่อให้ ระบบนั้นทำงานอย่างได้ผลดีที่สุด

2.8.1 ควรเป็นสถานที่ที่หันรับแสงไปทางด้านทิศใต้ (ในกรณีของประเทศไทย)

2.8.2 ควรระมัดระวังการเกิดเงาที่อาจเกิดจากอาคารข้างเคียง ต้นไม้หรือวัสดุอื่นๆ ปัญหา มักเกิดขึ้น เมื่อติดตั้งในเมือง หากเกิดการบังเงาขึ้นแล้วจะเกิด Hot spot ขึ้นที่ตัวเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ถูกบังเงานั้น อาจเกิดความเสียหายขึ้นได้

2.8.3 ควรเลือกสถานที่ติดตั้งที่ไม่แลดูน่าเกลียดและทำลายทัศนียภาพ

2.8.4 ควรเลือกสถานที่ที่มีฝุ่นละอองหรือเศษผงน้อย

2.8.5 ควรเลือกติดตั้งบริเวณที่ห่างไกลจากแหล่งที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) มาก เช่น ตั้งให้ห่าง จากโรงงานที่ใช้การเผาถ่านหิน เป็นต้น

2.8.6 ควรตั้งอยู่ในระยะที่ใกล้กับศูนย์โหลดพอสมควร

2.8.7 ไม่ควรเป็นสถานที่ที่มีฟ้าผ่าบ่อย

2.8.8 ไม่ควรเป็นสถานที่ที่มีนกอาศัยอยู่หนาแน่น

2.8.9 ควรเป็นสถานที่ที่สามารถป้องกันลมที่พัดแรงได้

เท่าที่กล่าวไปแล้วนั้นเป็นเพียงหลักเกณฑ์ใหญ่ๆ ในทางปฏิบัติจริงๆ แล้วจะต้องพิจารณาในรายละเอียดมากกว่านี้ทั้งทางด้านอื่นๆ ที่ไม่ใช่เทคโนโลยี เช่น เงื่อนไขทางเศรษฐกิจ เงื่อนไขทางสังคม การยอมรับเทคโนโลยีใหม่ๆ ของผู้ใช้ในท้องถิ่นนั้นๆ ตลอดจนลักษณะภูมิประเทศและอากาศของสถานที่ที่จะติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

2.9 กำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในเวลา 1 วินาที มีหน่วยเป็นวัตต์ (W) หรือจูลต่อวินาที

2.9.1 การคำนวณหากำลังไฟฟ้า

กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า กระแสไฟฟ้านำพลังงานไฟฟ้ามายังเครื่องใช้ไฟฟ้า ดังนั้นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อกับวงจรไฟฟ้า ที่มีความต่างศักย์ค่าหนึ่งจะพบว่า ถ้ากระแสไฟฟ้าผ่านมาก แสดงว่าเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นใช้พลังงานไฟฟ้ามาก นั่นคือ ใช้กำลังไฟฟ้ามาก และถ้ากระแสไฟฟ้าไหลผ่านน้อยแสดงว่าเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย นั่นคือ ใช้กำลังไฟฟ้าน้อยด้วย สรุปได้ว่ากำลังไฟฟ้ามีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านเครื่องใช้ไฟฟ้า และความต่างศักย์ที่เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นต่ออยู่ โดยกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างความต่างศักย์กับกระแสไฟฟ้า หาได้จากสูตร

$$P = VI$$

P แทนกำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์ (W)

V แทนความต่างศักย์มีหน่วยเป็นโวลต์ (V)

I แทนกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมแปร์ (A)

2.10 คำจำกัดความ

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) หมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัสดุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง

แบบจำลอง (Models) หมายถึง ตัวแบบที่ช่วยในการนำเสนอข้อมูลต่างๆ ของระบบเพื่อจะนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในการแก้ไขปัญหา ตัวแบบนี้อาจจะเป็น โปรแกรม ที่มีความสามารถในการใช้สูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล ค้นหาคำตอบ หรือจำลองให้เห็นภาพของข้อมูล เพื่อนำไปใช้แก้ปัญหา

2.11 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์

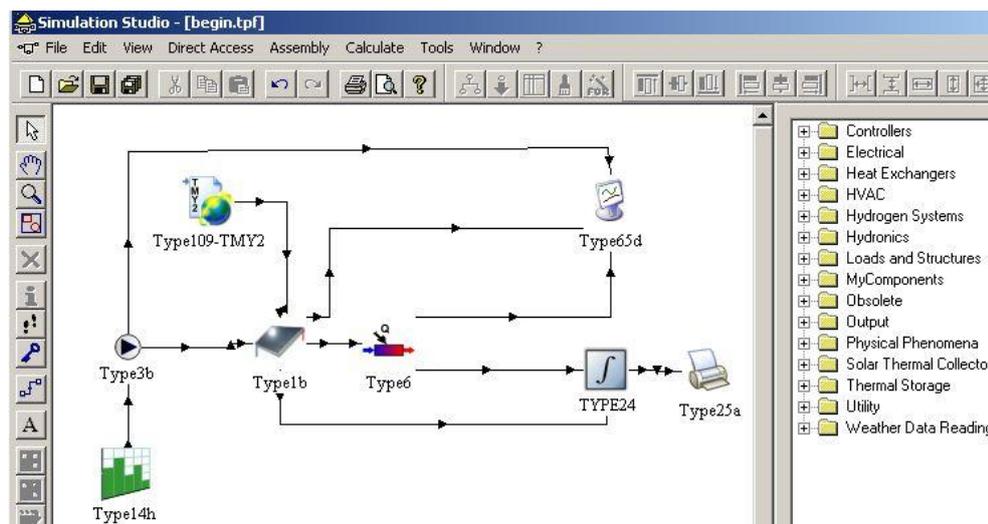
2.11.1 โปรแกรม TRNSYS

โปรแกรมที่นำมาวิเคราะห์ระบบบ้านพลังงานแสงอาทิตย์นั้น คือโปรแกรม TRNSYS ย่อมาจาก “Transient System Simulation Program” เป็นเครื่องมือช่วยในการจำลองโมเดล ซึ่งพัฒนาโดยมหาวิทยาลัยวิสคอนซิน สหรัฐอเมริกา หน่วยงานที่ทำการศึกษาวิจัยทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์ โดยเฉพาะโปรแกรม TRNSYS แบ่งตามลักษณะการทำงาน ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

2.11.1.1 ส่วนที่ 1 Sim Cad Programs (SIMCAD) เป็นโปรแกรมย่อย เพื่อความสะดวกในการวาดแบบระบบต่างๆ ส่วนมากใช้ในการสร้างแบบบ้านหรืออาคารที่ต้องการจำลองรูปแบบ

2.11.1.2 ส่วนที่ 2 Tranbuil Programs เป็นโปรแกรมย่อยเช่นกัน แตกต่างจาก SIMCAD ตรงที่ Tranbuil สามารถแก้ไขและเพิ่มข้อมูลจากที่ได้กำหนดไว้เมื่อเริ่มต้น จากการเขียนแบบใน SIMCAD และยังสามารถเลือกรูปแบบการนำเสนอผลได้ตามต้องการ

2.11.1.3 ส่วนที่ 3 คือ Trnsys Simulation Studio เป็นโปรแกรมหลักในการประมวลผลและสร้างรูปแบบของระบบ เพราะใน Trnsys Studio มีรูปแบบโมเดลมาตรฐานเกี่ยวกับระบบด้านพลังงานความร้อน ไฟฟ้า และระบบพลังงานแสงอาทิตย์



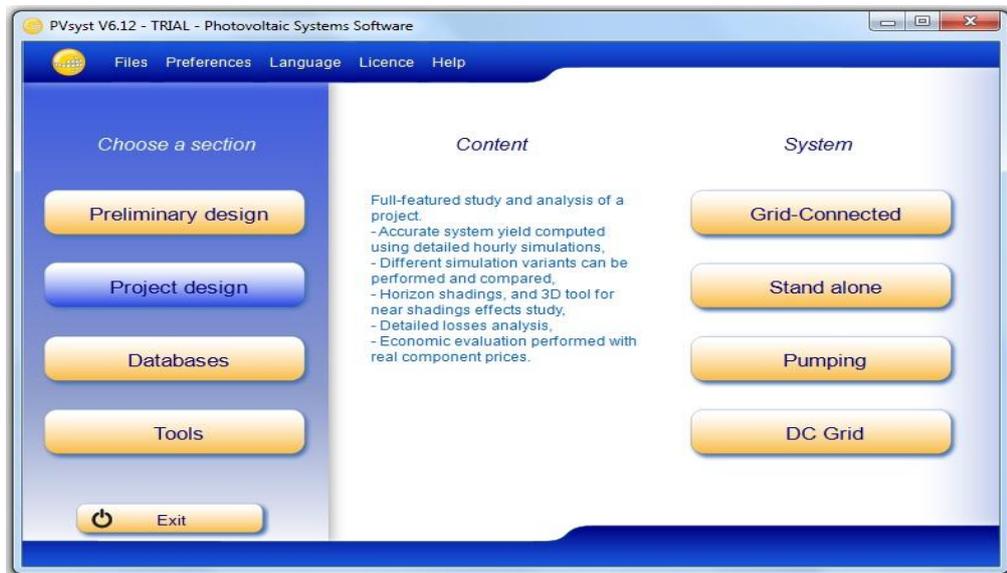
รูปที่ 2.24 โปรแกรม TRNSYS

ที่มา : University of Wisconsin, 2013

2.11.2 โปรแกรม PVSYS

โปรแกรมนี้นำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานภายในบ้านเพื่อจำลองการใช้พลังงานจริง ซึ่งขั้นตอนการออกแบบระบบ โดยเริ่มจาก คือ

1. ศึกษาคุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์ที่ต้องการศึกษา
2. ศึกษาแผงควบคุมไฟฟ้า (Inverter) ที่ใช้ในการออกแบบ
3. ศึกษาไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ภายในบ้าน



รูปที่ 2.25 โปรแกรม PVSYS

2.12 รายงานการค้นคว้าการศึกษาและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.12.1 การศึกษาแนวทางการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับอาคาร อื้อจื่อเหลียง

ในการศึกษานี้พบว่าความเอียง (Tilt angle) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมคือ 13.7 องศา โดยเมื่อเปรียบเทียบการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ และหันไปตามแนวอาคารโดยมีมุมอะซิมุทเท่ากับ 31 องศา พบว่าการสูญเสียมีค่าเท่ากับร้อยละ 6.2 และ 6.6 ตามลำดับ เมื่อทำการจำลองโดยใช้โปรแกรม PVSYST 3.4 พบว่ากรณี ที่วางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หันหน้าไปทางด้านทิศใต้ มีปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงทั้งปีเท่ากับ 1,790.3 kWh/m² และกรณีที่วางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนานไปตามแนวอาคาร มีปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งปี เท่ากับ 1,780.9 kWh/m² จากการศึกษาครั้งนี้ได้คัดเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิด ที่ได้รับความนิยมจาก 5 ผู้ผลิตที่ได้รับความนิยมสูงสุด พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ซิลิกอน รุ่น NT-167 AK ขนาด 1.200 x 0.802 เมตร กำลังผลิต 167 WP ต่อแผงเป็นรุ่นที่สามารถผลิตพลังงานได้มากที่สุดคือ 111,633 kWh/ปี จากการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระยะห่าง (Pitch 1.24) โดยแผงรุ่นนี้มีค่า Fill Factor เท่ากับ 0.783 และประสิทธิภาพโมดูล เท่ากับร้อยละ 17.7 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอนรุ่น NE-142 AN ขนาด 1.200 x 0.802 เมตร ซึ่งมีขนาด กำลังผลิต 142 WP ต่อแผงเป็นรุ่นที่สามารถผลิตพลังงานได้มากที่สุดคือ 88,565 kWh/ปี จากการวางแผง ระยะห่าง (Pitch 0.99) โดยแผงรุ่นนี้มีค่า Fill Factor เท่ากับ 0.746 และประสิทธิภาพโมดูลเท่ากับ ร้อยละ 14.9 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน พบว่ารุ่น GSA ขนาด 0.990 x 0.960 เมตร ซึ่งมีขนาด กำลังผลิต 60 WP ต่อแผงเป็นรุ่นที่สามารถผลิตพลังงานได้มากที่สุดคือ 36,246 kWh/ปี จากการวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระยะห่าง (Pitch 0.99) โดยแผงรุ่นนี้มีค่า Fill Factor เท่ากับ 0.546 และประสิทธิภาพโมดูล เท่ากับร้อยละ 6.3 จากการศึกษาครั้งนี้ราคาต่อหน่วยไฟฟ้า (บาท/kWh) ของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวซิลิกอน ราคาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ เท่ากับ 17.23 บาท/kWh แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิกอน เท่ากับ 18.32 บาท/kWh และชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิกอน เท่ากับ 26.04 บาท/kWh (พยุงศักดิ์ ก้อนแก้ว, 2553)

2.12.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์จำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink แบบทันเวลา

แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสร้างขึ้นจากสมการพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาผลกระทบของความเข้มแสง อุณหภูมิ ตัวแปรของไดโอด ตัวต้านทานอนุกรม และขนานต่อจุดจ่ายกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะนำไปพัฒนาวิเคราะห์ในรูปแบบทันเวลา (Real-times) เพื่อนำไปประยุกต์เชื่อมต่อกับวงจรแหล่งจ่ายจริงด้วยการ์ดอินเตอร์เฟซต่อไปเพื่อเปรียบเทียบผลการจำลองระบบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางพาณิชย์ ทำให้สามารถศึกษาคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ อีกทั้งยังสามารถใช้ในการพัฒนาระบบควบคุมในงานเซลล์แสงอาทิตย์ได้อีกด้วย ซึ่งจากการทดสอบแบบจำลองพบว่าค่าความต้านทานอนุกรมและขนานมีผลต่อค่า Fill Factor ตัวแปรไดโอด และอุณหภูมิทำงานของเซลล์ส่งผลต่อแรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์ และความเข้มแสงส่งผลต่อกระแสขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์ (เดชนิธิธร อัมปริดา และคณะ, 2554)

2.12.3 การวิเคราะห์ความถูกต้องของซอฟต์แวร์สำหรับการประเมินและการวางแผนของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การใช้ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในปัจจุบันได้มีการขยายตัวไปในกลุ่มผู้ใช้ในเชิงพาณิชย์และบ้านพักอาศัยมากขึ้น และการลงทุนในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วโลกมีความต้องการอย่างมาก เพื่อให้ง่ายต่อการวางแผนและประเมินผลการดำเนินงานของการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะมีซอฟต์แวร์สำหรับใช้งาน งานวิจัยนี้ทดสอบความถูกต้องของการคำนวณโดยใช้ซอฟต์แวร์ TRNSYS, Archelios, Polysun, PVSyst, PVSOL and PVGIS จะถูกตรวจสอบเมื่อเทียบกับพลังงานไฟฟ้าจริงที่เกิดจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ระบบ grid-connected 19.8 kWp โดยดำเนินการโดยใช้ข้อมูลภูมิอากาศที่ได้รับการบันทึกไว้ที่ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่แท้จริง ผลของการทดลองพบว่า ซอฟต์แวร์มีแนวโน้มจะประเมินค่าสูงไปจากการรับรังสีของเซลล์แสงอาทิตย์ (Petros J Axaopoulos, 2014)