บทที่ 2
ทบทวนวรรณกรรม

2.1 พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำเข้ามาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถแบ่งได้ตามต้นกำเนิดที่ได้มาเป็น 2 ประเภท คือพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปอาจเรียกว่าพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีกเรียกว่าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น

แม้ว่าในอดีตประเทศไทยเองจะเคยผ่านสภาวะวิกฤตเกี่ยวกับราคาน้ำมันมาแล้วหรือที่เรียกว่า Oil Shock ประมาณเมื่อ 20 ปีที่แล้ว แต่ก็ยังไม่ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อราคาน้ำมันขายปลีกในประเทศเท่ากันครั้งนี้ สถานการณ์ เช่นนี้เป็นสัญญาณเตือนว่าไทยควรจะมีการเตรียมการให้พร้อม สำหรับการหาพลังงานทางเลือกอื่นๆ เช่นเดียวกับประเทศต่างๆ ทั่วโลกที่ตื่นตัวและให้ความสำคัญต่อการเสาะแสวงหาพลังงานทางเลือกต่างๆ เพื่อชดเชยและลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาพุ่งขึ้นไม่หยุด ตลอดจนเป็นการลดมลภาวะจากการใช้พลังงานที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีปริมาณมากเพียงพอ ต่อความต้องการแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติ และสามารถผลิตทดแทนได้ไม่มีวันหยุด ซึ่งเป็นนิยามของพลังงานหมุนเวียนประกอบด้วยแสงอาทิตย์ น้ำ ลม ความร้อนใต้พิภพ และชีวะมวล เป็นต้น หากกล่าวถึงชีวมวล เป็นมวลของอินทรีย์ที่ได้จากซากพืชและสัตว์ ขยะชุมชนที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีววิทยา หรือกากวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตร เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง เศษไม้ เศษยางพารา และอื่นๆ ที่มีปริมาณมากพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้ (พลังงานสงอาทิตย์และโซล่าเซลล์ , https://ienergyguru.com)

2.1.1 พลังงานจากดวงอาทิตย์

ใน 1 ชั่วโมง โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ประมาณ 174 petawatts ซึ่ง 30% ของพลังงานนี้ถูกสะท้อนกลับไปในอวกาศ ที่เหลือถูกดูดซับโดยเมฆ มหาสมุทรและพื้นดิน คิดเป็น 3,850,000 exajoules ต่อปี พลังงานนี้เป็นต้นกำเนิดของวัฏจักรของสิ่งมีชีวิตในโลก ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำและธาตุต่าง ๆ เช่น คาร์บอนเป็นต้น พลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทน หรือ พลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูง ปราศจากมลพิษ อีกทั้งเกิดใหม่ได้ไม่สิ้นสุด และยังเป็นต้นกำเนิดของพลังงานน้ำ (จากการทำให้น้ำกลายเป็นไอ และลอยตัวขึ้นสูง พลังงานน้ำที่ตกกลับลงมาถูกนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า) เป็นต้นกำเนิดของพลังงานเคมีในอาหาร (พืชสังเคราะห์แสง เปลี่ยนแร่ธาตุให้เป็นแป้งและน้ำตาล ซึ่งสามารถให้พลังงานแก่มนุษย์และสัตว์ชนิดต่าง ๆ) เป็นต้นกำเนิดของพลังงานลม (ทำให้เกิดความกดอากาศและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ) และเป็นต้นกำเนิด พลังงานคลื่น (ทำให้น้ำขึ้น-ลง)

พลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ พลังงานที่เกิดจากแสง และพลังงานที่เกิดจากความร้อน

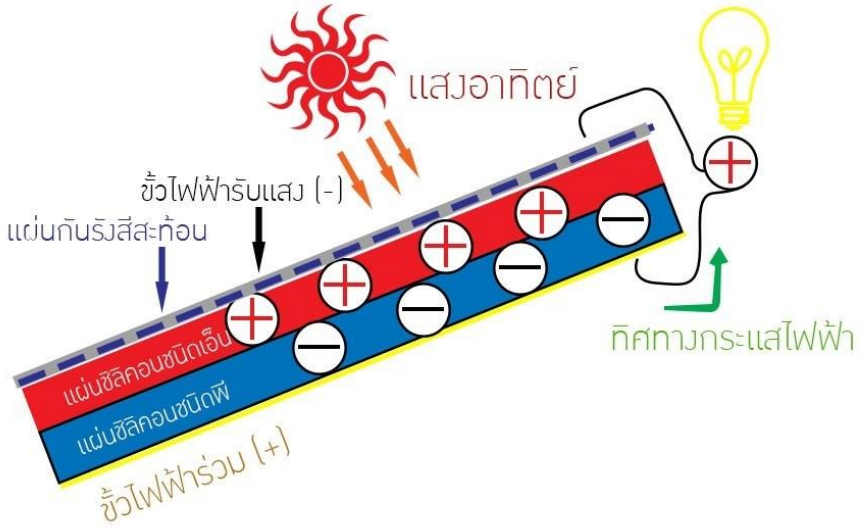
1. พลังงานที่เกิดจากแสง รูปแบบการนำพลังงานของแสงอาทิตย์มาใช้งาน แบ่งอย่างกว้าง ๆ เป็น 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับวิธีการในการจับพลังงานแสง การแปรรูปให้เป็นพลังงานอีกรูปหนึ่ง และการแจกจ่ายพลังงานที่ได้ใหม่นั้น รูปแบบแรกเรียกว่า แอคทีฟโซลาร์ เป็นการใช้วิธีการของ โฟโตโวลตาอิคส์ หรือ solar thermal เพื่อจับและเปลี่ยนพลังงานของแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนโดยตรง อีกรูปแบบหนึ่งก็คือ พาสซีฟโซลาร์ เป็นวิธีการใช้ประโยชน์ทางอ้อม ได้แก่ การออกแบบอาคารในประเทศหนาวให้รับแสงแดดได้เต็มที่ หรือ การติดตั้งวัสดุที่ไวต่ออุณหภูมิ thermal mass เพื่อปรับสมดุลของอากาศในอาคาร หรือติดตั้งวัสดุที่มีคุณสมบัติกระจายแสง หรือการออกแบบพื้นที่ว่างให้อากาศหมุนเวียนโดยธรรมชาติ

2. พลังงานที่เกิดจากความร้อน เช่นพลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานคลื่น เป็นต้น

2.1.2 การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น เพื่อเพิ่มสุขอนามัยในพื้นที่ห่างไกล เช่น การฆ่าเชื้อโรคที่มากับน้ำโดยการให้น้ำสัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง การเลี้ยงสาหร่ายในการปรับสภาพน้ำโดยการเพิ่มออกซิเจน การติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังแสงอาทิตย์เพื่อแจกจ่ายน้ำสะอาดเพื่อการบริโภค การพัฒนาเชื้อเพลิงทางเลือก เช่น การเลี้ยงสาหร่ายบางชนิดเพื่อนำมาสกัดเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างพลังงานให้รถไฟฟ้า การพัฒนาการเกษตร เช่น การปลูกต้นไม้เช่นพืชผักสวนครัวดอกไม้ในเรือนกระจกในประเทศหนาวเป็นต้น เรือนกระจกจะป้องกันอากาศหนาวจากภายนอกและเก็บกักความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้ การติดตั้งไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ในพื้นที่ห่างไกลเพื่อสูบน้ำเข้าไร่นาเพื่อการเกษตร การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังค้าบ้านทั่วไปแล้วต่อเข้ากับสายส่งของผู้ผลิตไฟฟ้ากลาง เพื่อใช้เองและขายส่วนเกินให้ผู้ผลิตกลาง การผลิตน้ำร้อนจากพลังแสงอาทิตย์เพื่อการพานิชย์ ปัจจุบัน มีการผลิตทั่วโลกถึง 196 GW (ปี 2010)การผลิตเสาไฟฟ้าส่องถนนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

พลังงานแสงอาทิตย์ถูกใช้งานอย่างมากในหลายส่วนของโลก และมีศักยภาพในการผลิตพลังงานมากกว่าการบริโภคพลังงานของโลกในปัจจุบันหลายเท่าหากใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม พลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้โดยตรงเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือสำหรับทำความร้อน หรือแม้แต่ทำความเย็น มีวิธีการมากมายที่สามารถนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้งานได้ อย่างไรก็ตามคำว่า "พลังงานแสงอาทิตย์" หมายถึงการเปลี่ยนแสงอาทิตย์โดยตรงมากกว่าเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้งาน ประเภทพื้นฐานของพลังงานแสงอาทิตย์ คือ "พลังความร้อนแสงอาทิตย์" และ "เซลล์แสงอาทิตย์" (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)

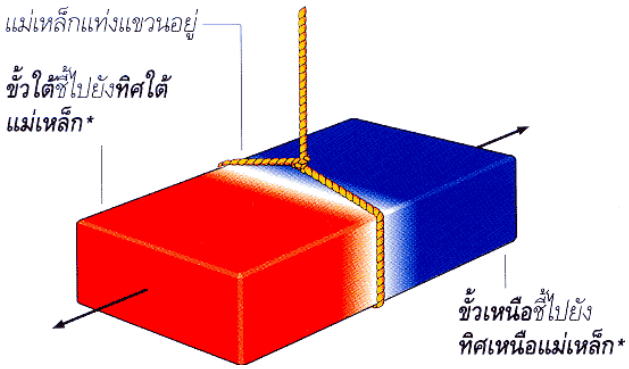


รูปที่ 2.1 ตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิก (Parabolic Trough Collector)
ที่มา : http://naturalenergyth.com/solar_tec.htme

2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.2.1 แม่เหล็ก (Magnet)

แม่เหล็กทุกชนิดมีสนามแม่เหล็กรอบๆแท่ง และมีแรงแม่เหล็กกระทำกันระหว่างแม่เหล็ก 2 แท่ง เนื่องจากแรงปฏิกิริยาภายในสนามแม่เหล็กวัตถุใดๆ ที่ถูกทำให้เป็นแม่เหล็กได้ ก็กลายเป็นแม่เหล็ก และจะกลายเป็นแม่เหล็กเมื่อวางไว้ในสนามแม่เหล็ก การเคลื่อนที่ของประจุ (ปกติคืออิเล็กตรอน) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.2 แสดงขั้วแม่เหล็ก
ที่มา : สัมพันธ์ พาญชาล (2530)

แม่เหล็กมี 2 ขั้ว ขั้วเหนือและขั้วใต้ (ระบุโดยให้แท่งแม่เหล็กวางตัวในสนามแม่เหล็กโลก) แท่งแม่เหล็กทั้งหมดมีขั้วแต่ละชนิดเท่ากัน กฎข้อแรกของแม่เหล็กกล่าวว่าขั้วต่างกันดูดกัน และขั้วเหมือนกันผลักกัน

1) Magnetic axis:แกนแม่เหล็ก เป็นเส้นที่ลากผ่านขั้วเหนือและขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็กแบ่งให้เห็นความสมดุลของสนามแม่เหล็ก

2) Ferromagnetic: สารแม่เหล็ก หมายถึงวัตถุที่เป็นแม่เหล็กอย่างแรง (ทำให้เป็นแม่เหล็กได้ง่าย) ได้แก่ เหล็ก นิเกิล โคบอลต์ และสารประกอบของโลหะเหล่านี้ แบ่งเป็นสารแม่เหล็กถาวร และสารแม่เหล็กชั่วคราว แม่เหล็กผสมทำด้วยสารแม่เหล็กหลายชนิดดังกล่าว ทำให้เป็นของแข็งด้วยความร้อนและความกดดัน สามารถทำให้เป็นเหล็กถาวรมากขึ้น หรือเป็นสารแม่เหล็กชั่วคราวมากขึ้นโดยการเปลี่ยนส่วนผสมเป็นของสารใช้

3) Hard: สารแม่เหล็กถาวร เป็นสารแม่เหล็กที่ไม่เสียอำนาจแม่เหล็กง่ายหลังจากถูกทำให้เป็นแม่เหล็กถาวรแล้ว เช่น เหล็กกล้า แม่เหล็กที่ทำจากสารเหล่านี้เรียกว่า แม่เหล็กถาวร

4) Soft: สารแม่เหล็กชั่วคราว เป็นสารแม่เหล็กที่ไม่สามารถรักษาอำนาจแม่เหล็กได้นานหลังจากถูกทำให้เป็นแม่เหล็กแล้ว เช่น เหล็กธรรมดา แม่เหล็กที่ทำด้วยสารแม่เหล็กประเภทนี้เรียกว่า แม่เหล็กชั่วคราว สภาพแม่เหล็กที่หลงเหลือในสารแม่เหล็กชั่วคราวเรียกว่า แม่ตกค้าง

5) Susceptibility: สภาพรับไว้ได้ เป็นการวัดความสามารถของสาร ในการเปลี่ยนสภาพเป็นแม่เหล็ก สารแม่เหล็กมีสภาพรับไว้ไม่ได้สูง จากพจนานุกรมฟิสิกส์ฉบับภาพประกอบ แปลโดยสมาคมครูวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย

2.2.2 แม่เหล็กและแม่เหล็กไฟฟ้า

ความสำคัญของแม่เหล็กและแม่เหล็กไฟฟ้า อุปการณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ให้กำลังงานและแสงสว่างนั้น ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น การแบ่งชนิดของแม่เหล็ก แบ่งได้เป็น

1) แม่เหล็กธรรมชาติหมายถึงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะเป็นออกไซด์ของเหล็ก (Fe304) ลักษณะของแม่เหล็ก

2) แม่เหล็กประดิษฐ์ ได้แก่ แม่เหล็กที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งจำแนกออกเป็น 2 ชนิด คือ แม่เหล็กถาวร และแม่เหล็กชั่วคราว

ก) แม่เหล็กถาวร หมายถึง แม่เหล็กที่แสดงอำนาจการเป็นแม่เหล็กนาน รูปร่างลักษณะแล้วแต่ลักษณะการทำงาน

ข) แม่เหล็กชั่วคราว หมายถึง แท่งแม่เหล็กที่แสดงจำนวนการเป็นแม่เหล็กในช่วงระยะเวลาที่ต้องการจะให้เป็นแม่เหล็กเท่านั้น

2.2.3 คุณสมบัติของแม่เหล็ก

1) ถ้าแขวนแท่งแม่เหล็กให้เคลื่อนที่อย่างอิสระเมื่อหยุดนิ่งแล้วจะชี้ตามแนวทิศเหนือ ทิศใต้

2) สามารถดูดสารแมกเนติกได้

3) ขั้วเหมือนกันเข้าใกล้กันจะเกิดแรงผลักกันและขั้วต่างกันเมื่อเข้าใกล้กันจะเกิดแรงดูด

4) อำนาจแรงดึงดูดจะมีมากที่สุดที่บริเวณขั้วทั้งสองแม่เหล็ก

5) เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศทางออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อ ฮันซ์ คริสเตียน เออร์สเตด (Hans Christian Oersted) ได้ค้นพบความสัมพันธ์อย่างหนึ่งโดยบังเอิญ ขณะที่เขาทำการทดลองปล่อยกระแสผ่านเข้าไปในเส้นลวดตัวนำเส้นหนึ่ง และมีเข็มทิศวางอยู่ใกล้ๆ กับเส้นลวดที่มีกระแสไหลผ่านเข็มทิศมีการบ่ายเบนไปจากแนวเดิม เออร์สเตดทดลองกับทิศทางการไหลของกระแสเข็มทิศก็เกิดการบ่ายเบนไปอีกเช่นกัน โดยมีทิศทางตรงกันข้ามกับครั้งแรก

เออร์สเตดสรุปผลการทดลองครั้งนี้ว่า“เมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวดตัวนำจะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นมารอบๆ เส้นลวดตัวนำนั้น” ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบเส้นลวดตัวนำเกิดขึ้นเป็นลักษณะวงกลมล้อมรอบเส้นลวดตัวนำลักษณะการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบเส้นลวดตัวนำแสดงดังรูป

รูปที่ 2.3 แสดงสนามแม่เหล็ก
ที่มา : ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล (2540)

สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นแต่ละขั้วของแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติตรงข้ามกัน ดังนั้นแม่เหล็กที่ต่างกันสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีอำนาจแม่เหล็กที่ดูดกันและขั้วแม่เหล็กที่เหมือนกันสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีอำนาจแม่เหล็กที่ผลักกัน คุณสมบัติดังกล่าวเหมือนกับคุณสมบัติของประจุไฟฟ้า การดึงดูดและการผลักกันของขั้วแม่เหล็ก

หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าจากกฎของฟาราเดย์ ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กจะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้น ดังสูตร

$$e = N\frac{d\phi}{dt} \qquad 2.1$$

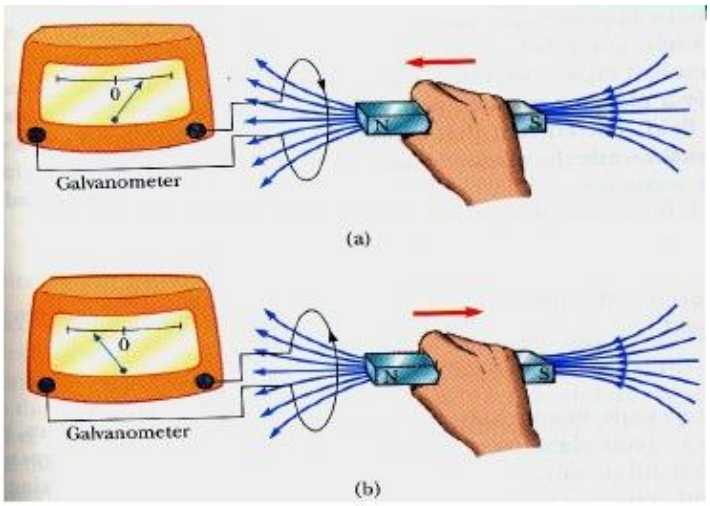
เมื่อ

e = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (v)

N = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

Ø = เส้นแรงแม่เหล็ก (W_b)

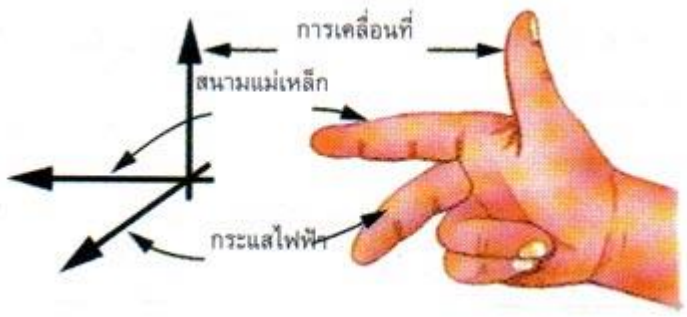
t = เวลา (s)



รูปที่ 2.4 แสดงการอธิบายกฎของฟาราเดย์

ที่มา : ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล (2540)

จากรูปที่ 2.4 อธิบายการเกิดกระแสไฟฟ้าตามกฎของฟาราเดย์ โดยเมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าหรือออกจากขดลวดจะเกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวด หรือถ้าให้แทท่งแม่เหล็กอยู่นิ่งแล้วเคลื่อนขดลวด ก็จะได้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน แต่ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางตรงข้ามกันเมื่อเคลื่อนแม่เหล็กเข้าออก โดยปกติจะเรียกกระแสไฟฟ้าที่เกิดในขดลวดนี้ว่า “กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced current)”



รูปที่ 2.5 แสดงกฎของมือขวาเฟลมมิง
ที่มา : ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล (2540)

จากรูปที่ 2.5 อธิบายตามกฎมือขวาของเฟลมมิง เมื่อตัวนำเคลื่อนที่ที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเกิดกระแสไหลในตัวนำนั้นในทิศทางตั้งฉากดังนี้ จากหลักการดังกล่าวเป็นหลักเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Generator) และกระแสสลับ (A.C. Generator)

2.2.4 วงจรแม่เหล็ก

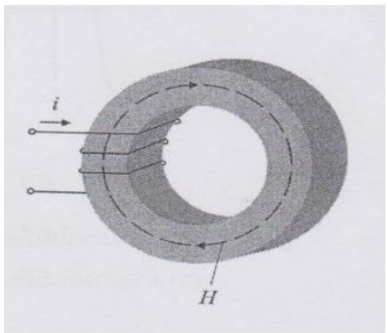
1) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (i) และความเข้มข้นสนามแม่เหล็ก (H) โดยที่ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กคำนวณได้ตามสมการที่ 2.2

$$\oint Hdl = \sum i = i_1 + i_2 - i_3 \qquad 2.2$$

เมื่อ

H คือ ความเข้มข้นของจุดบนเส้นรอบวงสนามแม่เหล็ก

Dl คือ ความยาวของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) กับกระแส (i)
ที่มา : ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล (2540)

$$H = \frac{i}{2\pi r} \qquad 2.3$$

2) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มสนามแม่เหล็ก ความเข้มสนามแม่เหล็กทำให้เกิดความหนาแน่นเส้นแรงทุกๆ จุดที่มีค่า H ดังนั้น ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์แสดงได้ตามสมการที่ 2.4 นั่นคือ

$$B = \mu_r \mu_v H \ Wb/m^2 \qquad 2.4$$

โดยที่

μ คือ คุณลักษณะของตัวกลาง

μ_0 คือ สภาพความซึมซาบใน free space ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m)

μr คือ สภาพความซึมซาบสัมพัทธ์ของตัวกลาง

3) วงจรแม่เหล็กสมมูลย์ (Magnetic Equivalent Circuit) การพิจารณาทางเดินเส้นแรงแม่เหล็กที่รัศมี r ค่าความเข้มข้นสนามแม่เหล็ก (H) คำนวณได้จากกฎของแอมแปร์ นั้นคือ

$$\oint Hdl = Ni$$

ดังนั้น

$$H = \frac{N}{l} i \ At/m \qquad 2.5$$

โดย

$$mmf = F = Hl = Ni \qquad 2.6$$

ดังนั้น

$$B = \frac{\mu Ni}{l} T \qquad 2.7$$

เส้นแรงแม่เหล็กตัวขวาง (flux crossing) บนพื้นที่หน้าตัดคำนวณได้ดังนี้ คือ

$$\phi = \int B \ da = BA \ Wb \qquad 2.8$$

เมื่อกำหนดให้ B คือ ความหนาแน่นเส้นแรงเฉลี่ยในแกน และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของทอรอย

$$\phi = \frac{\mu Ni}{l} A = \frac{Ni}{l/\mu A} Wb \qquad 2.9$$

$$\Re = \frac{l}{\mu A} = \frac{1}{P} \qquad 2.10$$

โดยที่

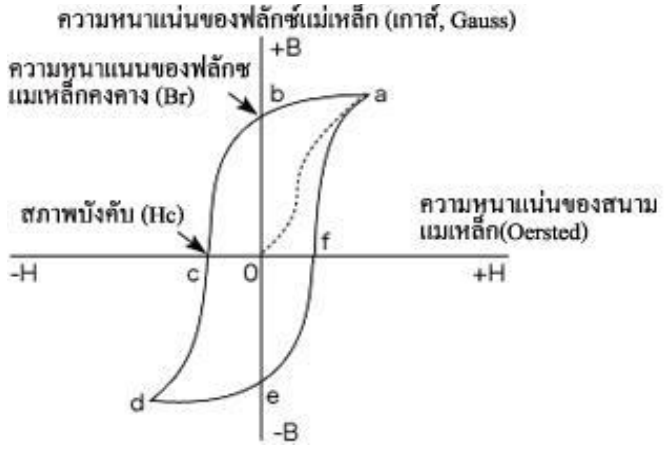
R คือ ความต้านทานแม่เหล็ก (Reluctance of magnetic)

P คือ ความนำแม่เหล็ก (Permeance of magnetic)

2.2.5 เส้นโค้งการทำแม่เหล็ก (Magmetization Curve)

จากรูปที่ 2.7 ถ้าป้อนกระแสให้กับวงจรเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความเข้มข้นเส้นแม่เหล็กในแกนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และยังส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเปลี่ยนแปลงอีกด้วย การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนั้นจะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ซึ่ง จะเห็นได้ว่าส่วนที่ 1 นั้นเป็นช่วงเริ่มต้นการทำแม่เหล็ก ความต้านทางแม่เหล็ก R และความเข้มขนเส้นแรง H จะมีค่าต่ำ

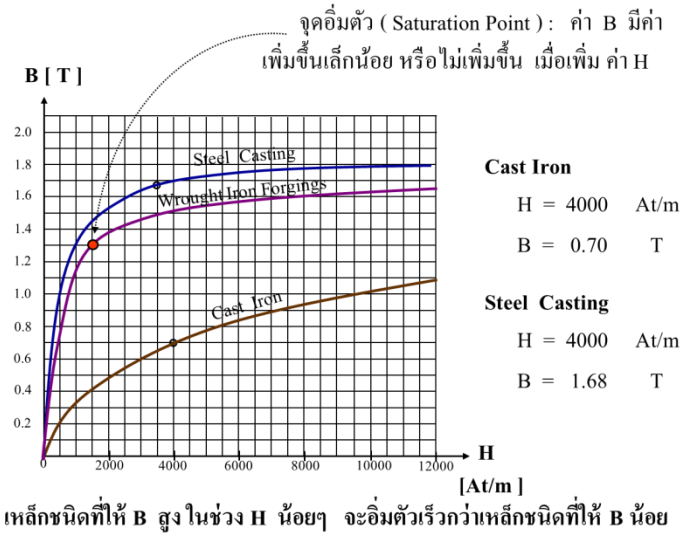
สำหรับส่วนที่ 2 ของเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะ B-H การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่น เส้นแรง B และค่าความเข้มเส้นแรง H เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น และส่วนที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเส้นแรง B ไม่เป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งจุดดังกล่าวนี้ วงจรแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัว (ความต้านทานแม่เหล็ก R และความเข้มเส้นแรง H สูง) เห็นได้ว่าความต้านมานแม่เหล็ก R ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเส้นแรง (R มีค่าต่ำ ถ้า B ต่ำ R มีค่าสูงเมื่อ B สูง)



รูปที่ 2.7 คุณลักษณะเส้นโค้งทำแม่เหล็ก B-H

ที่มา : ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล (2540)

การพิจารณาคุณลักษณะสมบัติเส้นโค้งคุณลักษณะ B-H ของแกนแม่เหล็ก (Magnetic cores) 3 ชนิดดังรูปที่ 2.8

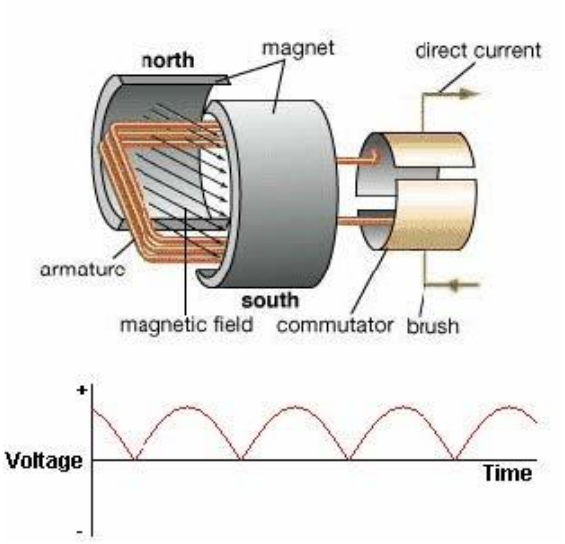


รูปที่ 2.8 เส้นโค้งการทำแม่เหล็ก
ที่มา : ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล (2540)

2.2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สามารถแบ่งตามประเภทการใช้งานได้ 2 ประเภท ได้แก่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเครื่องกำเนิดทั้งสองแบบนี้โดยหลักการใช้กระแสไฟฟ้าออกมาใช้งานนั้นจะคล้ายกันคือ ใช้หลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากกฎของฟาราเดย์เป็นหลัก แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือส่วนประกอบ

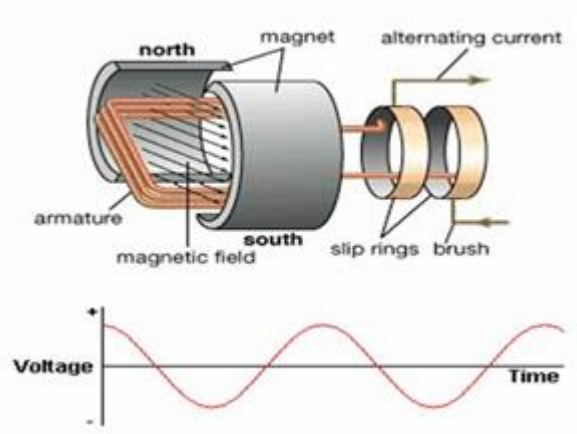
1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยขดลวดเพียงขดเดียว (2 ตัวนำ) ซึ่งปลายทั้งสองต่อเข้ากับซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์เมื่อทำให้หมุนในสนามแม่เหล็ก N-S จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับบนตัวนำทั้งสองขดลวด ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง และอาจจะเปลี่ยนเป็นกระแสตรงเมื่อผ่านซี่ทองแดงของคอมมิวเตเตอร์



รูปที่ 2.9 แสดงหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
ที่มา : ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล (2540)

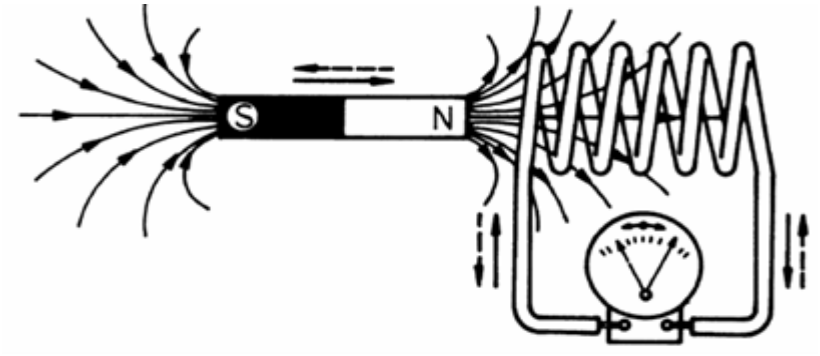
ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงต้องนำกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนขดลวดตัวนำไปใช้งานด้วยการต่อผ่านซี่คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีลักษณะเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงต่างกันตรงที่ปลายเส้นของขดลวดต่อเข้ากับแหวนทองแดง หรือ สลิปริง (Slip Ring) จึงนำกระแสสลับที่ให้กำเนิดบนตัวนำไปใช้โดยตรง ด้วยการต่อผ่านสลิปริง



รูปที่ 2.10 แสดงหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
ที่มา : ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล (2540)

3) สนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด ให้ขดลวดอยู่กับที่ ต่อปลายทั้งสองเข้ากับขั้วของกัลวาลอมิเตอร์เมื่อทำให้ขั้วสนามแม่เหล็กกลับไปมาภายในขดลวด จะพบว่าเข็มของกัลป์วาลอมิเตอร์แกว่งกลับไปกลับมาเช่นเดียวกันแสดงว่ามีกระแสสลับเกิดขึ้นในขดลวด



รูปที่ 2.11 แสดงสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปมาภายในขดลวดจะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ
ที่มา : ธวัชชัย อัตถวิบูลย์กุล (2540)

การเหนี่ยวนำแม่เหล็กด้วยวิธีนี้ตรงข้ามกับวิธีแรก (ขดลวดหมุน) คือขดลวดอยู่กับที่ให้สนามแม่เหล็กเป็นตัวหมุนตัดขดลวด แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับจะเกิดขึ้นกับขดลวดซึ่งอยู่กับที่ การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าลักษณะนี้เป็นการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator) ขนาดใหญ่ที่ให้กำเนิดแรงดันและกำลังไฟฟ้าสูง

4) การคำนวณแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ให้กำเนิดขดลวดอาร์เมเจอร์ สมารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_{av} = B \cdot l \cdot v \quad (v) \qquad 2.11$$

โดยที่

E_{av} = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (v)

B = ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก (Wbm^{-2}=Vsm^{-2}=T)

l = ความยาวตัวนำ

v = อัตราความเร็วในการเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก (m/s)

5) ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ

(1) ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)

(1.1) เปลือกหุ้มของโครง (Field Frame หรือ York)

(1.2) แกนขั้นแม่เหล็ก (Pole Core)

(1.3) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil หรือ Field Winding)

(1.4) แปรงถ่านแบริ่ง (Brushes and Bearing)

(2) ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor)

(2.1) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core)

(2.2) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding)

(2.3) สลิปริง (Slip Ring)

(2.4) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

2.3 ขดลวด (Coil)

ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดทองแดงที่ต้องการให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้า เมื่อให้หมุดตัดสนามแม่เหล็กด้วยการใส่ไว้ในสล็อตของแกนอาร์เมเจอร์ขณะที่แกนอาร์เมเจอร์มุมขดลวดที่ใส่ในสล็อตจะตัดสนามแม่เหล็กที่ให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

คือ เส้นลวดที่นำมาพัดขนเป็นวง เพื่อใช้งานเฉพาะอย่าง ได้แก่

1. พลังงานที่เกิดจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการส่งกระแสไฟฟ้าสลับไหลผ่านขดลวดจะสามารถเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสลับในขดลวดอีกอันที่อยู่ใกล้เคียงได้ ซึ่งเป็นหลักการที่เรานำมาใช้ทำหม้อแปลง
2. เราใช้ขดลวดมาเป็นเสาอากาศวิทยุ A.M. ในการรับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าได้
3. ขดลวด จะทำหน้าที่หน่วงหรือต้านการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Change) ของสัญญาณกระแสสลับที่ไหลผ่านตัวมัน แต่จะยอมให้ไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่านสะดวก
4. ถ้าเราให้ความต้านทานระหว่างขั้วทั้งสองของขดลวดมีค่าสูง ขดลวดจะเพิ่มสัญญาณริงกิ้ง (Ringing) เข้ากับคลื่นสี่เหลี่ยมที่ไหวผ่านตัวมัน
5. นอกจากนี้เรายังใช้ขดลวดเป็นตัวกรองสัญญาณเพื่อความถี่ให้ผ่านได้เฉพาะย่านความถี่ที่เราต้องการ

2.3.1 การต่อขดลวดแบบสตาร์

การต่อขดลวดแบบสตาร์มีการต่อเป็นลักษณะที่นำปลายของขดลวดที่ 3 ขดต่อรวมกัน (Star Point) ส่วนต้นของลวดทั้งหมดจะต่อเข้ากับระบบสายส่งหรือสายจำหน่ายเพื่อจ่ายโหลดต่อไป

2.3.2 การต่อขดลวดแบบเดลต้า

การต่อขดลวดแบบเดลต้ามีลักษณะการต่อของขดลวดเป็นปลายต่อกับต้น แล้วมาบรรจบที่ขดลวดเดิมเป็นวงรอบ

บทสรุปในการต่อขดลวดแบบสตาร์และเดลต้า

ตารางที่ 2.1 การต่อขดลวดแบบสตาร์และเดลต้า

การต่อขดลวดแบบสตาร์	การต่อขดลวดแบบเดลต้า
1. การกำเนิดแรงดันมี 2 ระดับ คือ แรงดัน (E_p) และแรงดันระหว่างสาย (E_L) 2. แรงดันระหว่างสายมีค่าเท่ากับ หนึ่งเท่าของแรงดันที่เฟส 3. กระแสที่สายมีค่ากับกระแสที่เฟส	1. การกำเนิดแรงดันมีระดับเดียว 2. แรงดันระหว่างสายมีค่าเท่ากับแรงดันระหว่างเฟส 3. กระแสที่สายมีค่าเท่ากับ หนึ่งเท่าของกระแสที่เฟส

ที่มา : ณรงค์ ชอนตะวัน (2555)

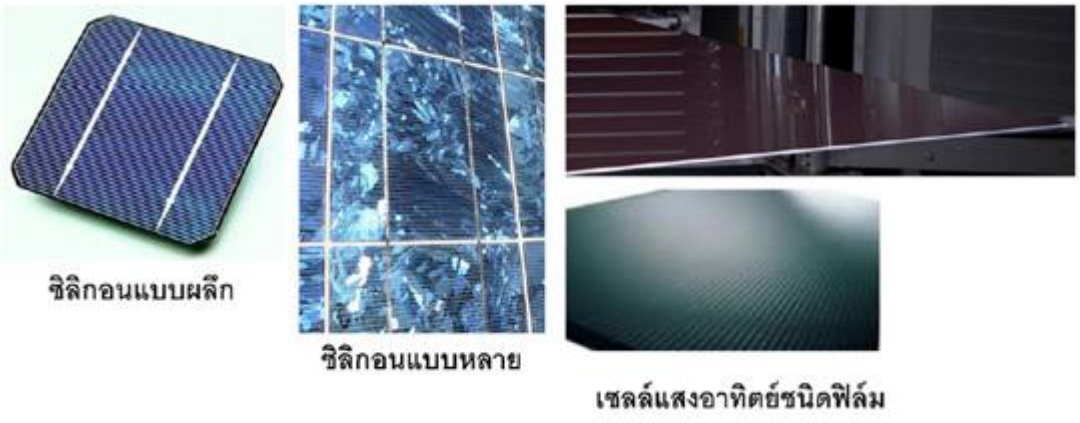
2.4 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์(Solar Call) หรือเซลล์โฟโตโวลติก (photovoltaic cell-VP) มีชื่อเรียกกันหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงสุริยะหรือเซลล์โฟโตโวลติก ต่างก็มีที่มาจากคำว่าแสงอาทิตย์โดยปรากฏการณ์โฟโตโวลติก (photovoltaic effect) แยกออกเป็น Photo หมายถึงแสงและ Volt หมายถึงแรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วบหมายถึงกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงแนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 โดยเอดมันด์ เบคคูรีล (Edmund Becquerel) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสแต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้น จนกระทั่ง ปี ค.ศ. 1954 [2] จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์เป็นครั้งแรกโดยกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ที่ห้องปฏิบัติการเบลล์(Bell Laboratory) ในประเทศสหรัฐอเมริกาและได้มีการพัฒนามาจนถึงปัจจุบัน

2.4.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

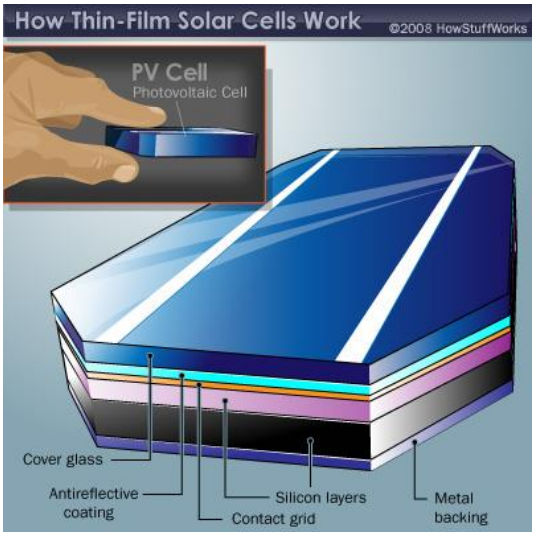
การพัฒนาด้านเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดต้นทุนด้านวัสดุในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้ราคาถูกลงแต่เพิ่มให้มีประสิทธิภาพสูงด้วยการแบ่งประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ตามเทคโนโลยีกระบวนการผลิตแสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่ม ได้แก่

1) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells) ในกลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลิตมีความแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุสารกึ่งตัวนำตั้งต้น (Semiconductor Material) เช่น ซิลิกอน (Si) และแกเลี่ยมอาร์เซไนด์ (GaAs) เป็นต้น ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์จากซิลิกอนมีกรรมวิธีในการผลิตอยู่หลายวิธีจึงมีวิธีให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม ได้แก่ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline silicon cells) ซิลิกอนแบบแผ่นฟิล์มบาง (Silicon ribbon cells) ซิลิกอนแบบหลายผลึก (Polycrystalline silicon cells) ซิลิกอนแบบแผ่นบางหลายผลึก (Polycrystalline thin film silicon cells) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของราคาและวัตถุประสงค์การใช้งานมีการพัฒนาเป็นลำดับซึ่งได้รับการยอมรับในเชิงพาณิชย์และมีประสิทธิภาพ 10 -15 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังคงมีต้นทุนของวัสดุค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.12 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells)
ที่มา : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

2) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film Solar cells) ในกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางสามารถแบ่งออกตามเทคโนโลยีการผลิต ได้แก่ เซลล์ที่ผลิตจากอะมอฟัสซิลิกอน เซลลีที่ผลิตจากแคดเมี่ยมเทลลูไลด์ (CdTe) และ เซลล์ที่ผลิตจากคอปเปอร์อินเดียดไดเซเลเนียม (CIGS) การศึกษาวิจัยและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 6-10% ซึ่งได้รับการยอมรับและผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางสำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์ ถึงแม้นว่าประสิทธิภาพของเซลล์แบบนี้จะน้อยกว่าเซลล์ชนิดผลึกซึ่งมีข้อดีคือช่วยแก้ปัญหาทางด้านราคาได้ แต่ยังคงมีข้อสงสัยด้านการติดตั้งใช้งานในสภาวะจริง อายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพแผงโซล่าเซลล์ในระยะยาว



รูปที่ 2.13 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง
ที่มา : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

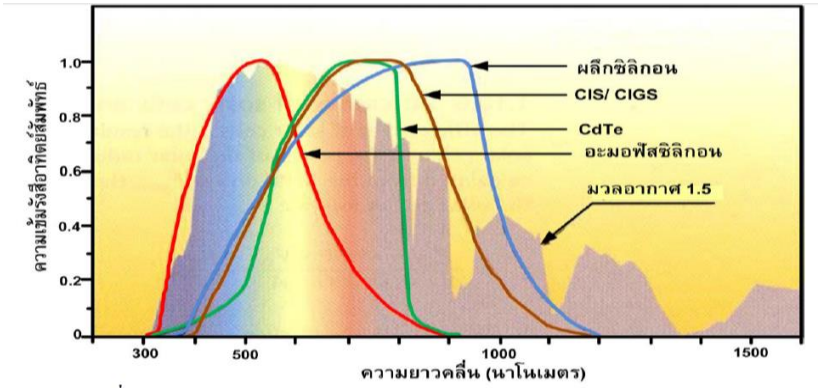
3) กลุ่มที่พัฒนาขึ้นมาจากสองแบบแรก กลุ่มสุดท้ายเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องจากชนิดผลึก และชนิดฟิล์มบางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดการสร้างมลพิษและเพิ่มอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ หากแบ่งตามการพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ประเภททรงกลม (Spherical Micro Solar Cells) แสงอาทิตย์ประเภทดายเซนซิไทซ์ (Dye-sensitized Solar Cells) และเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทควอนตัมดอต (Quantum Dot Solar Cells) นั่นคือเซลล์แสงอาทิตย์ประเภททรงกลมแบบทรงกลมจะสามารถรับแสงได้ 3 มิติ จึงเพิ่มประสิทธิภาพมนการรับแสงเพิ่มขึ้น และยังมีข้อดีในเรื่องของน้ำหนักเบากว่าแบบแผ่นราบเมื่อนำไปประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณของซิลิกอนตั้งต้นน้อยกว่ามากทำให้ลดต้นทุนได้เซลล์แสงอาทิตย์แบบทรงกลมดังกล่าวปัจจุบันมีการผลิตเชิงพาณิชย์แล้ว แต่ยังไม่เป็นการแพร่หลายนักเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดายเซนซิไทซ์ มีจุดเด่นในการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยมีหลักการออกแบบเซลล์จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งมีกรเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นคาร์โบไฮเดรตและแก๊สออกซิเจน จากแนวคิดดังกล่าวจึงได้เคลือบผิงวัสดุกึ่งตัวตัวนำไทเทเนียมออกไซด์ให้คล้ายกับคลอโรฟิลในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ ได้มีการผลิตขายในเชิงพาณิชย์บ้างและมีประสิทธิภาพ 3-5 เปอร์เซ็นต์

เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทควอนตัมดอต (Quantum Dot Solar Cell:QD) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนผลทางเทอร์โมไดนามิกส์ของโปรตอนให้มีค่ามากที่สุด นับเป็นการพัฒนาจากข้อจำกัดของเซลล์ชนิดผลึกโดยเพิ่มประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์เป็น 66% (จากเดิมของวัสดุสารกึ่งตัวนำทั่วไปอยู่ที่ 31-33%) ยังไม่มีการผลิตเชิงพาณิชย์ แต่ก็ประกอบด้วยหลายหน่วยงานทั้งในและต่างประเทศที่ให้ความสนใจและดำเนินการศึกษาในเรื่องดังกล่าวซซึ่งในประเทศไทยโดย Semiconductor Device Research Laboratory จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ทำการวิจัยพัฒนา Multi-Stacked High Density InAs Quantum Dot Molecule Solar Cells

2.4.2 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสง (Photovoltaic effect) ดังนั้น ในการใช้งาน รวมถึงการออกแบบระบบจำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมแสงอาทิตย์กับเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดจะให้ความเข้าใจในความแตกต่างของประสิทธิภาพของระบบ และสารถนำไปประกอบการเลือกออกแบบระบบและการบำรุงรักษาระบบได้ ทั้งนี้การอธิบายโดยใช้รูปภาพประกอบทำให้เข้าใจในเรื่องนี้ได้ง่ายขึ้น จากรูปที่ 2.14 แสดงการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของแสงอาทิตย์ประเภทผลึกซิลิกอน อะมัลฟัสซิลิกอน CdTe และ CIS หรือ CIGS การตอบสนองประกอบด้วย แสงอัลตราไวโอเลต แสงที่มองเห็น และแสงอินฟราเรด

หากต้องการพิจารณาองเซลล์ถึงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงสเปกตรัมแสงและการตอบสนองต่อสเปกตรัม ในพื้นที่ซึ่งกราฟทั้งสองซ้อนทับกันจะแสดงถึงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนั้น โดยรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ซ้อนทับกันระหว่างสเปกตรัมของแสงอาทิตย์กับการตอบสนองต่อสเปกตรัม ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิกอนจะสามารถทำงานได้ในช่วงแสงที่มองเห็นและอินฟราเรดคลื่นสั้น ถึงแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวจะมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมในช่วงค่อนข้างกว้างตั้งแต่ 380-1100 นาโนเมตร แต่ด้วยข้อจำกัดของความเข้มแสงอาทิตย์บนพื้นส่วนใหญ่เป็นแสงที่มองเห็นและแสงอินฟราเรด ดังนั้นช่วงเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิกอนจึงทำงานจริงในช่วงความยาคลื่นที่แคบลง ในรูปที่ 2.15 แสดงเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ กล่าวคือเซลล์แสงอาทิตย์อะมัลฟัสซิลิกอนมีประสิทธิภาพน้อยกว่าผลึกซิลิกอน



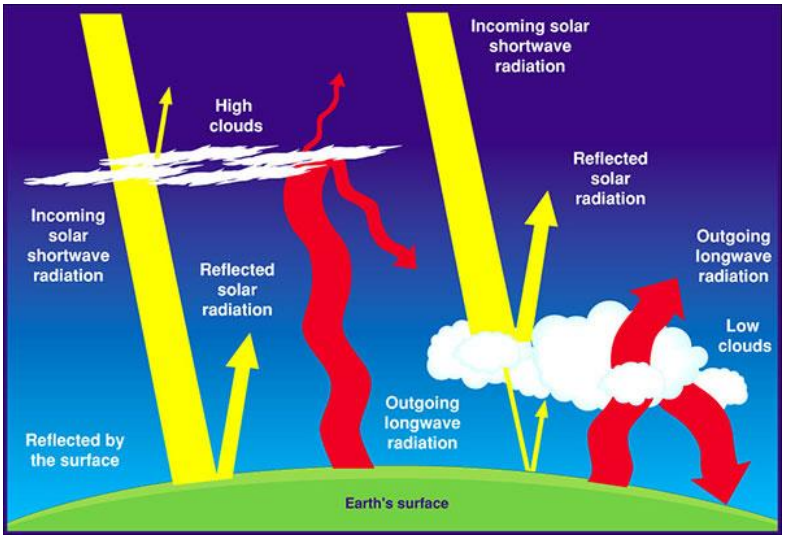
รูปที่ 2.14 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ
ที่มา : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

ช่วงต้นของแสงที่มองเห็นประมาณ 350-650 นาโนเมตร การพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเดิม ตัวอย่างเช่น CdTe และ CIS หรือ CIGS จะมีช่วงการต่อสนองต่อสเปกตรัมแสงที่มองเห็นได้มากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิกอนโดยมีช่วงสูงสุดของกราฟเป็นแถบที่กว้างขึ้น และทิศทางการพัฒนาด้านการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เป้าหมายเพื่อให้ได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีช่วงการตอบสนองต่อแสงได้ตลอดช่วงสเปกตรัมแสงอาทิตย์

1) ภูมิศาสตร์ของโลก มีลักษณะเป็นทรงกลมรี วิธีเพื่อบอกตำแหน่งบนพื้นโลกจะบ่งชี้โดยเส้นแนวตั้งและเส้นแนวนอนเรียกว่า เส้นเมอริเดียน (Meridian) และเส้นศูนย์สูตร (Equator) ทางภูมิศาสตร์กำหนดเส้นศูนย์สูตรคือ เส้นสมมติรอบดาวเคราะห์ที่ตั้งฉากกับแกนหมุนของดาวเคราะห์ และมีระยะห่างจากขั้วใต้เท่ากัน โดยเส้นศูนย์สูตรจะแบ่งดาวเคราะห์เป็นซีกเหนือและซีกใต้ โดยมีละติจูดเท่ากับศูนย์องศา พื้นที่บนเส้นศูนย์สูตรนี่ช่วงเวลาของกลางวันและกลางคืนยาวนาน

เกือบเท่ากันตลอดทั้งปี นอกจากนี้พื้นที่ซึ่งอยู่บนตำแหน่งเส้นละติจูดจะมีสภาพอากาศ (Climate) และการอากาศ (Weather) แตกต่างกัน เส้นละติจูดมีตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศาไดใต้

2) รังสีอาทิตย์บนพื้นโลก รังสีอาทิตย์บนพื้นโลกได้ผ่านกระบวนการดูดกลืนและการแผ่รังสีอาทิตย์โดยก๊าซในบรรยากาศเป็นผลให้สเปกตรัมแสงอาทิตย์เปลี่ยนไป ซึ่งโมเลกุลของก๊าซ ฝุ่นละอองและเมฆ ทำให้รังสีอาทิตย์กระจัดกระจาย (Scatter) และสะท้อน (Reflect) ในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ผลกระทบต่างๆ ต่อรังสีอาทิตย์ในบรรยากาศโลก
ที่มา : http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/sun_thailand.htm

แสดงผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของรังสีอาทิตย์เมื่อเข้าสู่บรรยากาศโลกและพื้นโลก เมื่อเปรียบเทียบกับรังสีเหนือบรรยากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ความเข้มรังสีรวม ความเข้มรังสีที่ความยาวคลื่นใดๆ องค์ประกอบของสเปกตรัมและทิศทาง ประเภทของรังสีอาทิตย์บนพื้นโลกที่ควรทราบ

รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกบนผิวรับแสงด้วยทิศทางที่แน่นอน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด ซึ่งทิศของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์ เนื่องจากรังสีตรงมีทิศทางแน่นอนและมีลำแสงขนานจึงสามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีตรงได้

รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจายโดยก๊าซและฝุ่นละอองรวมถึงวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสงรังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางในท้องฟ้าจึงไม่สามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีกระจายได้

รังสีรวม (Total หรือ Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น (ไม่เกิน 4 ไมโครเมตร) ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวจากการแผ่รังสีของพื้นโลกและบรรยากาศ โดยกรณีผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง (Incline Plane) รังสีรวม

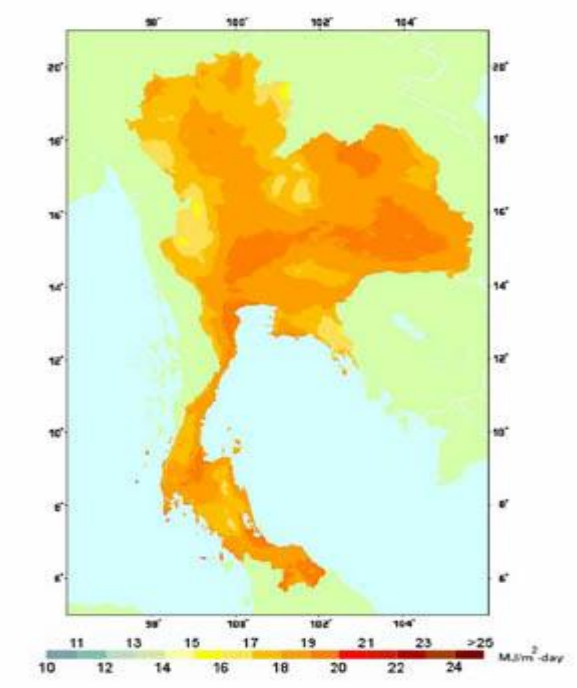
จะประกอบด้วย รังสีจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้า และรังสีกระจายจากพื้นโลก อาคารบ้านเรือน ซึ่งเกิดจากพื้นโลก อาคารบ้านเรือน ซึ่งเกิดจากส่วนที่สะท้อนกลับจากพื้นโลก ในกรณีนี้เยกว่า Total Radiationแต่กรณีผิวรับแสงเป็นพื้นแนวราบ (Horizontal Plane) รังสีรวมบนพื้นราบประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ไม่มีรังสีกระจายที่มาจากพื้นโลกเรียกรัวสีบนพื้นแนวราบว่า Global Radiation

การเปลี่ยนแปลงของรังสีรวม รังสีตรงและรังสีกระจาย ในวันที่ฟ้ากระจ่างและวันที่ฟ้ามีเมฆเนื่องจากปริมาณเมฆ ฝุ่นละออง และหมอกควันมีแตกต่างกันตามฤดูกาล ดังนั้นปริมาณรังสีรวมรังสีกระจาย และรังสีตรงเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี สำหรับประเทศไทย ฤดูแล้งมีค่ารังสีรวมและรังสีตรงสูงเพราะท้องฟ้าโปร่ง แต่ฤดูฝนจะมีรังสีส่วนมากเป็นรังสีกระจายและรังสีรวมน้อย

3) ปริมาณรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำจะขึ้นอยู่กับรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่นั้น การศึกษาเพื่อทราบปริมาณรังสีอาทิตย์บนพื้นโลก ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งนำเสนอในรูปแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับประเทศไทยมีแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน) จัดทำขึ้นในปี พ.ศ. 2542 โดยมหาวิทยาลัยศิลปากร รูปที่ 2.16 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปี ในแต่ละเดือนนั้นการกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ของประเทศได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.54 ถึง 6.65 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน

บริเวณที่รับรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อยุธยา และลพบุรี โดยได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 5.26 ถึง 5.54 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดรับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 4.99 ถึง 5.26 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ มีค่าเท่ากับ 5.04 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วันกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

ปี พ.ศ. 2543 ได้มีการพัฒนาเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ มีทั้งหมด 37 สถานีทั่วประเทศ เพื่อให้ประเทศไทยมีข้อมูลความเข้มรังสีที่ละเอียดและถูกต้อง สามารถนำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการวิจัยพัฒนา และการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันสามารถทราบข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งข้อมูลจากการตรวจวัดจากสถานีระหว่างปี พ.ศ. 2545-2550 และข้อมูลดาวเทียมเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของจังหวัด และอำเภอระหว่างปี พ.ศ. 2536-2541



รูปที่ 2.16 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยจัดทำในปี พ.ศ. 2542
(หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน)
ที่มา : http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/sun_thailand.htm

4) ตำแหน่งดวงอาทิตย์และมวลอากาศ บรรยากาศของโลกมรอิทธิพลต่อสเปคตรัมแสงอาทิตย์ ถ้าลำแสงผ่านบรรยากาศในทิศทางต่างกัน เป็นผลให้สเปคตรัมแสงอาทิตย์ทั้งพลังงานรวมและความเข้มต่างกัน โดยอิทธิพลของบรรยากาศแสดงด้วยดัชนีที่เรียกว่า มวลอากาศ (Air mass, AM) กำหนดไว้ในสมการที่ 2.12

$$AM = 1/\cos\theta_z \qquad 2.12$$

โดยที่ θ_z เป็นค่ามุมระหว่างแนวดิ่งเหนือศีรษะและแนวลำแสงอาทิตย์ หรือ มุมซีนิช (Zenith Angle) ดังแสดงในรูปที่ 2.17

เมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ	$\theta_z = 0^\circ$	AM = 1
เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 60° กับแนวดิ่ง	$\theta_z = 60^\circ$	AM = 2
นอกบรรยากาศกำหนดว่ามวลอากาศมีค่าศูนย์		AM = 0

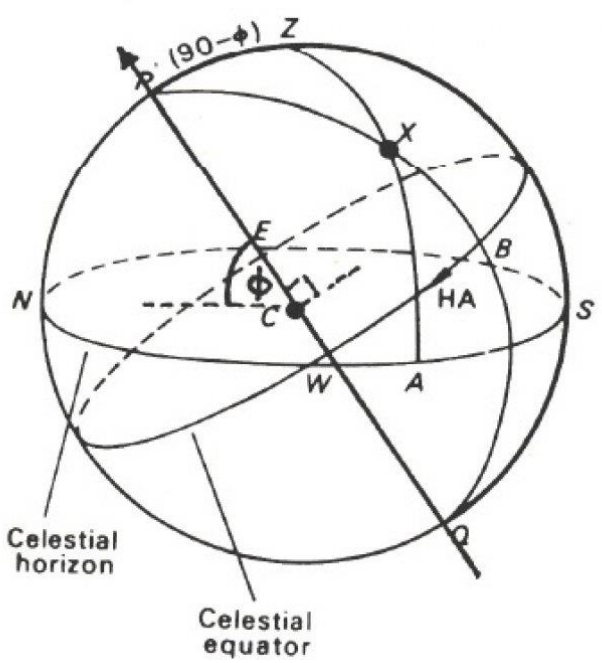
เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ใกล้ขอบฟ้า หรือทำมุมซีนิชมีค่าสูง (θ_z > 70°, AM > 3) ส่วนโค้งของโลกจะมีผลต่อมวลอากาศ ซึ่งสมการทั่วไปของมวลอากาศจะเขียนไว้ในสมการที่ 2.13 หรือสมการที่ 2.14 มวลอากาศที่

กำหนดโดยสมการที่ 2.12, 2.13 และ 2.14 เป็นค่ามวลอากาศที่ระดับน้ำทะเล

$$AM = AM_h = \left[1229 + \left(614\sin a\right)^2\right]^{1/2} - 614\sin a \qquad 2.13$$

หรือ

$$AM_h = \left[\sin a + 0.15\left(a + 3.9\right)^{-1.253}\right]^{-1} \qquad 2.14$$



รูปที่ 2.17 มุมซีนิช (θ_z, Zenith Angle) มุมเดคลิเนชัน (α, Solar Declination Angle)
ที่มา : http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm

เมื่อ α เป็นมุมระหว่างพื้นโลกกับลำดับ ลำแสงหรือมุมเดคลิเนชั่น (Solar Declination Angle) และ $\alpha + \theta z$ เท่ากับ 90 องศา (รูปที่ 2.17) สำหรับสถานที่ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล K1 กิโลเมตร หรือมีความดันบรรยากาศ P มิลลิบาร์ มวลอากาศ ณ ที่นั้นจะเป็นดังสมการที่ 2.15

$$AM = \begin{cases} AM_h\left(\frac{p}{1000}\right) \\ AM_h\left(1-0.1K_1\right) \end{cases} \qquad 2.15$$

อีกมุมอ้างอิงที่สำคัญ ได้แก่ อะซีมุท (Azimuth, A) มุมวัดจากจุดเหนือไปจุดตะวันออกตามระนาบวงกลมมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา บางครั้งค่ามุมอะซีมุทอาจจะวัดจากจุดเหนือไปจุดตะวันออก 180 องศา แล้ววัดจากจุดใต้มาจุดตะวันออก 180 องศา

รูปที่ 2.18 (ก) ไฟรานอมิเตอร์ (ข) เครื่องบันทึกแดดแบบลูกแก้ว
ที่มา : http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm

2.4.3 อุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์

เครื่องมือการวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ไฟรานอมิเตอร์ (Pyranometer) และไพร์เฮลิโอมิเตอร์โดยหลักการวัดกำลังของความร้อนซึ่งเกิดจากรังสีแสงอาทิตย์ แต่แตกต่างกันตามประเภทของการวัดรังสีแสงอาทิตย์ กล่าวคือ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ก) สำหรับวัดรังสีรวม (Global solar radiation) และรังสีกระจาย ไพร์เฮลิโอมิเตอร์ (Pyrhelimeter solar radiation) สำหรับวัดรังสี (Direct solar radiation)

พลังงานแสงอาทิตย์มีวิธีการโดยวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (lrradiance) โดยที่ค่าความเข้มสูงพอที่จะกระตุ้นตัวบันทึก โดยทั่วไปประมาณ 200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm^2) การวัดแบบนี้มีความถูกต้องน้อยกว่าด้วยราคาที่ไม่แพงนัก ในรูป 2.18 (ข) แสดงเครื่องบันทึกแดด (Sunshine recorder) มีช่วงเวลาที่สั้นที่สุดในการวัดได้ คือ 0.1 ชั่วโมง ความแตกต่างของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar radiation) คือความเข้มรังสีอาทิตย์เป็นปริมาณความเข้มของกำลังงานที่ได้จากรังสีอาทิตย์ แต่ว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความเข้มรังสีอาทิตย์รวมตลอดเวลาที่ทำการวัด บ่งบอกด้วยกิโลวัตต์-ชั่วโมงตารางเมตร (kwh/m^2) นอกจากนี้พลังงานแสงอาทิตย์ยังทราบได้จากข้อมูลปริมาณเมฆ (Cloud cover) จากภาพถ่ายดาวเทียม

2.4.4 ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เริ่มต้นที่วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2.19 เป็นการต่อระหว่างกำเนิดแสงไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) และความต้านทาน Shunt และต่ออนุกรมกับความต้านทานอนุกรมตามลำดับ เขียนเป็นสมการได้สมการที่ 2.16 นั่นคือผลลัพธ์ของกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เกิดจากแหล่งพลังงานแสงหักลบด้วยกระแสที่ไหลผ่านไดโอดและผ่านความต้านทาน Shunt ขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาออกบวกด้วยผลคูณระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานอนุกรม

$$I = I_L\text{-}ID\text{-}I_{SH} \qquad 2.16$$

$$V_i = V+IR_S \qquad 2.17$$

โดยที่ I กระแสไฟฟ้าขาออกมีหน่วยเป็นแอมแปร์

I_L กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานแสง มีหน่วยเป็นแอมแปร์

ID กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด มีหน่วยเป็นแอมแปร์

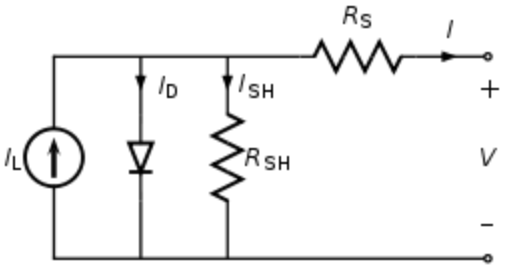
I_{SH} กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน Shunt มีหน่วยเป็นแอมแปร์

V แรงดันไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นโวลต์

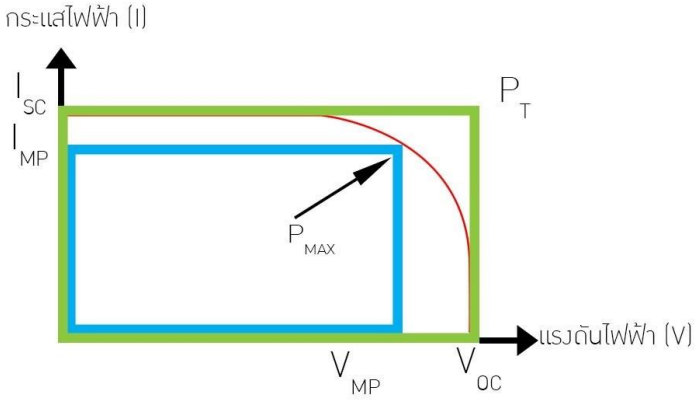
I กระแสไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นแอมแปร์

R_S ความต้านทานอนุกรม มีหน่วยเป็นโอห์ม

พารามิเตอร์ที่บ่งบอกประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย กระแสลัดวงจร (I_{SC}) แรงดันวงจรเปิด (V_{OC}) และฟิลด์แฟกเตอร์ (FF) รูปที่ 2.20 แสดงกระแสลัดวงจรและแรงดันวงจรเปิดคือ กระแสไฟฟ้าที่ขณะแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์ เป็นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีกระแสเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ส่วนฟิลด์แฟกเกอร์เป็นสัดส่วนระหว่างผลคูณแรงดันกับกระแสที่จุดทำงานสูงสุดและผลคูณของกระแสลัดวงจรเปิดซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง นอกจากนี้มีพารามิเตอร์เกี่ยวกับความตานทานในเซลล์แสงอาทิตย์เป็นประโยชน์ต่อการติดตามพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคิดจากสัดส่วนระหว่างค่าแรงดันที่สูงสุดต่อกระแสที่สุดทำงานอย่างสูงสุดหรืออาจใช้สัดส่วนระหว่างค่าแรงดันที่จุดสูงสุดต่อกระแสที่สุดทำงานสูงสุดหรืออาจใช้สัดส่วนระหว่างค่าแรงดันวงจรเปิดต่อกระแสลัดวงจร



รูปที่ 2.19 การต่อวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

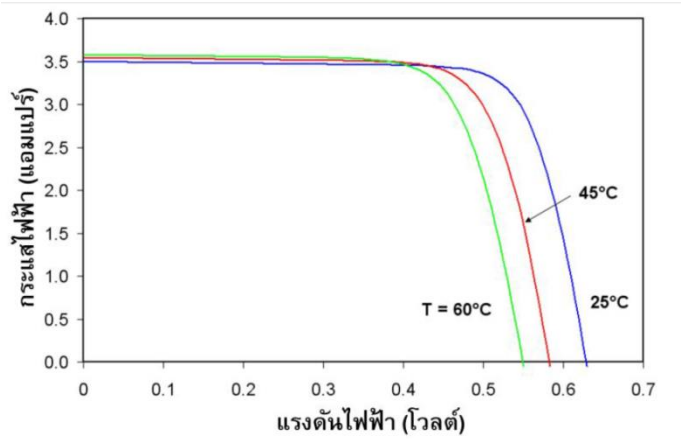


รูปที่ 2.20 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-curve)
ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

ปัจจัยที่ลดทอนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

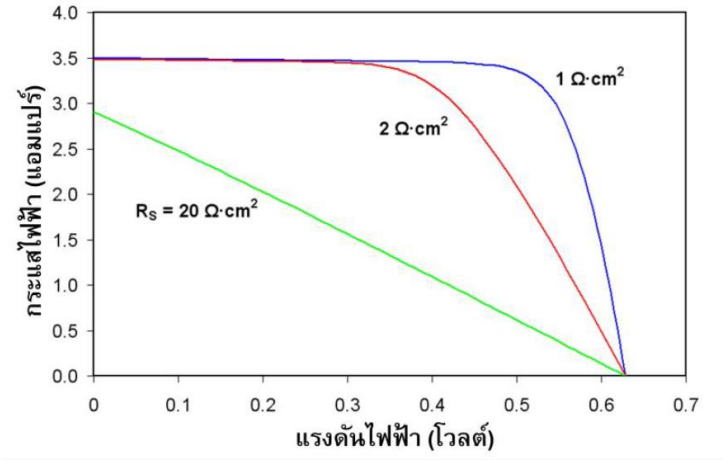
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับทั้งปัจจัยภายนอกและสมบัติของเซลล์ ได้แก่ อุณหภูมิความเข้มรังสีอาทิตย์ ความต้านทาน Shunt และความต้านทานอนุกรม เป็นต้น โดยประสิทธิภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือสภาวะที่อุณหภูมิสูงระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลง เป็นผลให้แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลงแต่ไม่ทำให้กระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงนัก รูปที่ 2.21 ทั้งนี้ กระแสลัดวงจรหรือกระแสสูงสุดจะลดลงเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าน้อย เช่น ในวันที่ท้องฟ้ามืดครึม มีเมฆบดบัง การบังเงาเนื่องจากเงาต้นไม้ เป็นต้น

ความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าลดลงไม่มีต่อค่าแรงดันวงจรเปิดหรือกล่าวได้ว่า ความต้านทานอนุกรมทำให้ค่าฟิลด์แฟกเตอร์ลดลง หากค่านี้มีมากๆ จะทำให้กระแสลัดวงจรลดลงและ IV-curve เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.22 ค่าความต้านทาน Shunt ลดลงมากจะเป็นผลทำให้แรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจรมีค่าลดลงดังรูปที่ 2.23 และค่าฟิลด์แฟกเตอร์ลดลงเช่นเดียวกับกรณีของความต้านทานอนุกรม



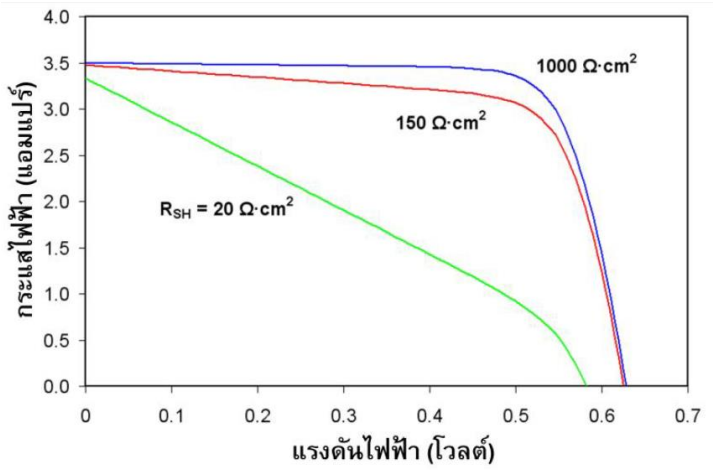
รูปที่ 2.21 ผลของอุณหภูมิแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร

ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf



รูปที่ 2.22 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน

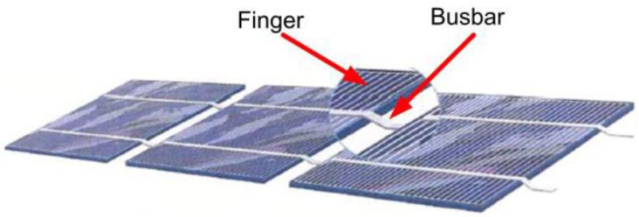
ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf



รูปที่ 2.23 ผลของความต้านทาน Shunt ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน
ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

2.4.5 ลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์นำไปใช้งานในรูปของแผงเซลล์ (Module) การเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นโดยนำแผงเซลล์มาเชื่อมต่อกันในรูปแบบของสตริง (String) หรืออะเรย์ (Array) รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะทั่วไปของการเชื่อมต่อเซลล์ชนิดผลึกกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ถูกดึงไปที่ตัวนำไฟฟ้าด้านหน้าและด้านหลังเซลล์ โดยด้านหน้ามีตัวนำเรียกว่า ฟิงเกอร์ (Fingers) ทำหน้า ที่กระแสส่งต่อไปบัสบาร์ (Busbar) และไหลผ่านไปยังเซลล์ที่เชื่อมต่อกันถึง ฟิงเกอร์และบัสบาร์จะต้องบังเซลล์น้อยที่สุดและรับกระแสไฟฟ้าได้สูง เพื่อให้เซลล์รับแสงได้มากที่สุด และด้านรับแสงของเซลล์จะต้องเคลือบสารลดการสะท้อนแสง



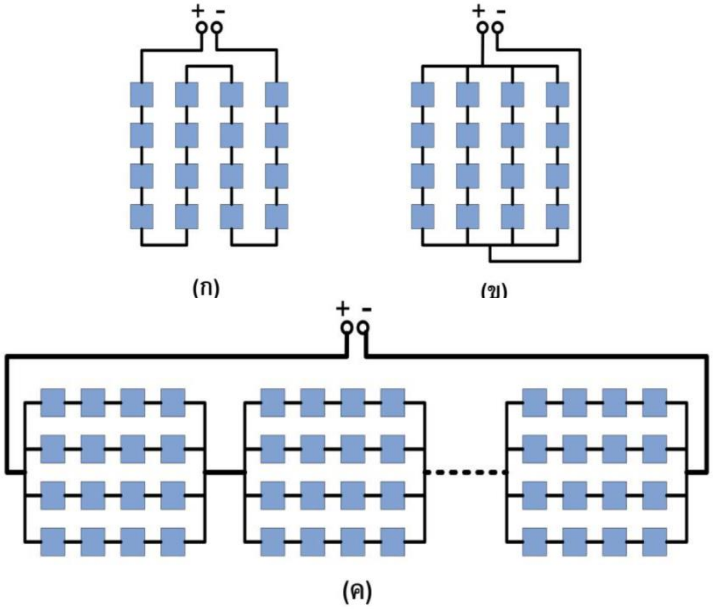
รูปที่ 2.24 ลักษณะทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกนำมาประกอบเป็นแผงเซลล์
ที่มา : https://solarsmileknowledge.com/solar-cell

ส่วนของกล่องต่อสายไฟ และบายพาสไดโอด ทำหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างแผงเซลล์และป้องกันการเกิดโหลดที่ตัวเซลล์ ลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์จะเปลี่ยนแปลงตามแสงแดดและอุณหภูมิ มีลักษณะเดียวกันกับเซลล์แตกต่างกันที่ขนาดแรงดันและกระแสไฟฟ้า

1. ลักษณะของแผงเซลล์ชนิดผลึกซิลิกอน รูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์เพื่อทำเป็นแผงเซลล์มีอยู่ 3 แบบ คือ

1.1) แบบอนุกรม คือ นำแต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมเป็น 1 แถว หรือ 1 สตริงใน 1 แผง ดังรูปที่ 2.25 (ก) เพื่อเพิ่มแรงดันวงจรเปิด (V_{OC}) ประมาณ 0.6 โวลต์เท่ากันทุกเซลล์และกระแสเท่ากัน แผงเซลล์จะมีแรงดัน (V_{OC}) เท่ากับจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมคูณกับแรงดัน (V_{OC}) ของเซลล์กรณีนี้เท่ากับ 9.6 โวลต์ ส่วนกระแสที่ไหลผ่านจะไหลเท่ากับกระแสของหนึ่งเซลล์เท่านั้น

1.2) แบบอนุกรม-ขนาน คือ นำแต่ละสตริงที่เซลล์ต่ออนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า แล้วนำมาต่อขนานเพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.25 (ข) แต่ละสตริงมีเซลล์ต่ออนุกรม 4 เซลล์ซึ่งทำให้มีแรงดันที่แต่ละสตริงเท่ากับ 2.4 โวลต์ สมบัติให้กระแสแต่ละสตริงเท่ากับ 5 แอมป์ ทำให้กระแสที่ได้จากแผงนี้มีค่าเท่าผลรวมค่ากระแสของทุกสตริงที่ต่อขนาน ในที่นี้เท่ากับ 20 แอมป์



รูปที่ 2.25 การต่อเซลล์ (ก) แบบอนุกรม (ข) แบบอนุกรม-ขนาน(ค) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม
ที่มา : http.//www.ind.cru.in.th

1.3) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม คือ นำแต่ละกลุ่มที่เอมต่อกันแบบที่ 2 มาต่ออนุกรมดังรูปที่ 2.25 (ค) เพื่อเพิ่มทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่ส่วนประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับชนิดผลึกซิลิกอนมี 4 ส่วนประกอบด้วย วัสดุประกบผิวหน้าเซลล์วัสดุสำหรับห่อหุ้มเซลล์ (Encapsulant) วัสดุแผ่นหลัง (Back Sheet) และเฟรม

วัสดุประกบผิวหน้า ทำหน้าที่กันน้ำ ไอน้ำ ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกรวมถึงแรงกระแทกสมบัติของวัสดุ คือ แสงสามารถส่องผ่านได้ดี โดยทั่วไปวัสดุที่เป็นผิวหน้าจะเป็นผิวหน้าจะเป็นกระจกชนิด tempered low-iron ซึ่งมีราคาไม่สูง

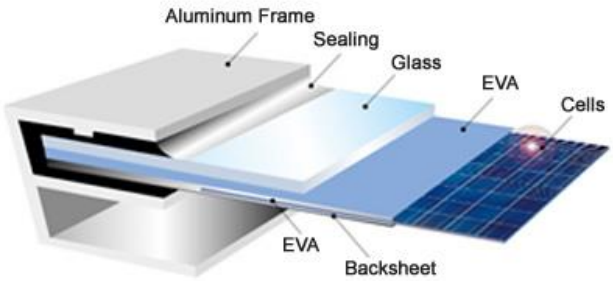
วัสดุห่อหุ้มเซลล์ ช่วยในการจับยึดกันระหว่างวัสดุผิวหน้าตัวเซลล์และวัสดุประกบแผ่นหลังของเซลล์ซึ่งต้องทนทานต่อความร้อนสูง และรังสีอัลตร้าไวโอเลต รวมทั้งให้แสงส่องผ่านได้ดีและระบายความร้อนได้ดี โดยส่วนใหญ่ใช้วัสดุจำพวกโพลิเมอร์ที่เรียกว่า EVA ย่อมาจาก Ethyl vinyl acetate

วัสดุประกบแผ่นหลัง ทำหน้าที่ป้องกันและเป็นแผ่นหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องมีสารสามารถระบายความร้อนได้ดี ป้องกันน้ำ และไอน้ำ โดยส่วนมากวัสดุที่นำมาใช้เป็นจำพวกโพลิเมอร์แผนบางที่มีชื่อว่า Tedlar

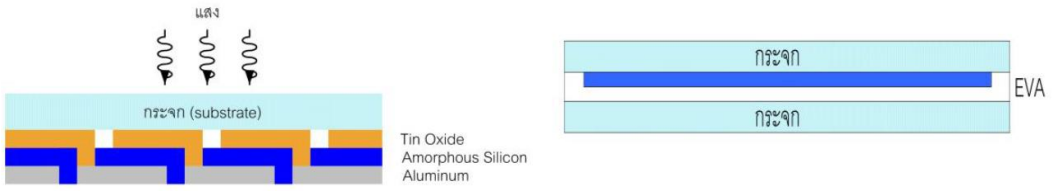
เฟรม(Frame) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ให้เพิ่มความแข็งแรงกับแผงเซลล์และเป็นส่วนป้องกันแรงกระแทกต่างๆ โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียม

2. ลักษณะของแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบาง แผงเซลล์บางแบ่งได้ 2 แบบ คือ โครงสร้างแข็งและ แบบอ่อนตัว

2.1) แผงเซลล์แบบโครงสร้างแข็งเซลล์ถูกสร้างลงบนกระจกโดยตรงจากนั้นทำการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า แล้วจึงนำไปลานิเนตด้วยวัสดุห่อหุ้มทั้งด้านหน้าและด้านหลัง รูปที่ 2.26 แสดงส่วนประกอบของเซลล์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si) ซึ่งกระจกทำหน้าที่ซับสเตรทเทคโนโลยี



รูปที่ 2.26 วัสดุประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก
ที่มา : https://solarsmileknowledge.com/solar-cell



รูปที่ 2.27 เซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน
ที่มา : https://solarsmileknowledge.com/solar-cell

เซลล์ที่ใช้กระบวนการผลิตแบบนี้คือ CdTe, a-Si เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิกอนแบบเซลล์ซ้อนระหว่างอะมอร์ฟัสซิลิคิน/อะมอร์ฟัสซิลิคอน หรือ อะมอ์ฟัสซิลิกอน/ไมโครคริสตัลไลน์ซิลิกอน หรือเรียกว่า Tamdem, และ CIGS โดยที่ EVA หุ้มเฉพาะด้านหลัง

2.2) แผงเซลล์แบบอ่อน มีลักษณะของการเกาะติด (Deposit) บนซับสเตรทที่อ่อนตัว ส่วนการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าขึ้นกับชนิดของซับสเตรท ถ้าวัสดุจำพวกฉนวนไฟฟ้า เช่น Polyester หรือ Polyimide สามารถให้วิธีเดียวกับซับสเตรทที่เป็นกระจก แต่วัสดุจำพวกตัวนำไฟฟ้าต้องใช้วิธีการอื่นจากนั้นก็จะถูกนำไปลามิเนตด้วยวัสดุพอลิเมอร์ที่ไม่มีและยอมให้แสงผ่านได้เช่น ETFE หรือ FEP

นอกจากนี้ การแบ่งแผงเซลล์สามารถแบ่งตามลักษณะการประกอบหรือวัสดุประกอบแผงเซลล์ เช่น

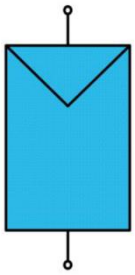
- วัสดุประกอบแผง เช่น แผงเทฟลอน แผง PVB และแผงเรซิ่น เป็นต้น
- เทคโนโลยีประกอบแผง เช่น กรลามิเนต เป็นต้น
- วัสดุซับสเตรท เช่น ฟิล์มบาง กระจกกับเทดลาร์ โหละกับฟิล์ม อะคิลิพลาสติก และ กระจกกับกระจก เป็นต้น
- โครงสร้างเฟรม ได้แก่ แบบมีเฟรม และแบบไม่มีเฟรม
- การเพิ่มโครงสร้างพิเศษ เช่น toughened safety glass (TSG) กระจกนิรภัยหลายชั้น (laminated safety glass, LSG) และกระจกฉนวน (insulating glass)เป็นต้น

รูปที่ 2.28 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอ่อนตัว
ที่มา : https://www.sunnergysolar.com

ความหลากหลายของแผงเซลล์ได้เอื้ออำนวยต่อการสร้างสรรค์ในเชิงสถาปัตยกรรมทำให้การพิจารณาเพื่อเลือกให้ต้องควบคู่กันไปทั้งด้านของประสิทธิภาพของแผงเซลล์ความกลมกลืนกับตัวอาคารและเป็นไปตามกฎข้อบังคับการก่อสร้างหรือต่อเติมอาคาร เช่น

- สีสันขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์ การผลึกแผ่นหลังเซลล์ การเชื่อมต่อเซลล์และชนิดของกระจก
- ความโปร่งแสง ขึ้นกับการจัดเรียงเซลล์และคุณลักษณะความโปร่งแสงของเซลล์
- สามารถในการยืดหยุ่นขึ้นอยู่กับชนิดของซับสเตรท

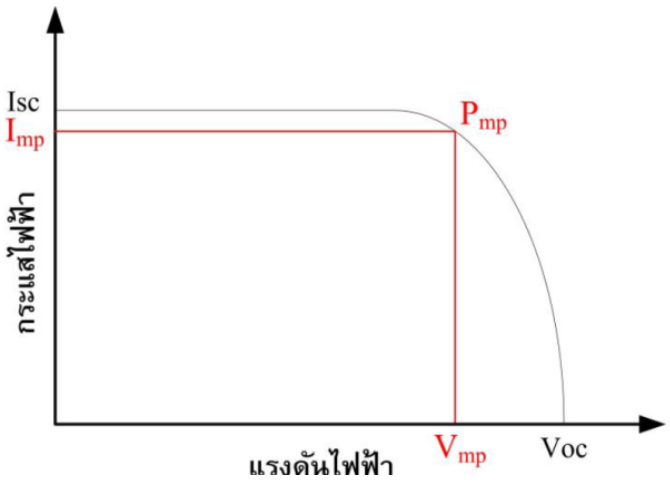
การใช้สัญลักษณ์ส่วนใหญ่จะใช้ดังรูปที่ 2.29 กำหนดเป็นเซลล์ หรือแผงเซลล์ หรือ ระบบแผงเซลล์ทั้งสตริง หรืออะเรย์



รูปที่ 2.29 สัญลักษณ์ของเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : http://www.ind.cru.in.th

3. สมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

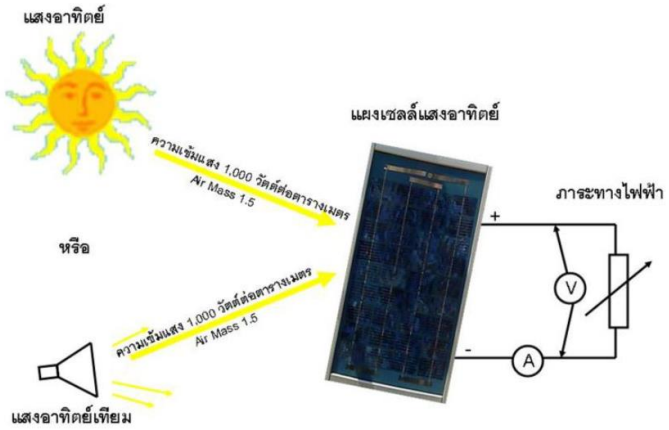
3.1) กระแสและแรงดันไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าเป็นกระแสตรง โดยที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงเซลล์ รูปที่ 2.30 แสดงกราฟกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะวงจรลัด (Short circuit) ถึงสภาวะวงจรเปิด (Open circuit) โดยตัดแกนตั้งที่แรงดันเป็นศูนย์ จะได้ค่ากระแสที่สภาวะวงจรลัด (Short circuit current :I_{SC}) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสเท่ากับศูนย์จะได้ค่าแรงดันขณะวงจรเปิด (Open circuit voltage :V_{oc}) เมื่อนำค่ากระแสคูณกับแรงดันก็จะกำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งต้องมีจุดเดียวเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เรียกว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Power at Maximum Point :P_{MP})



รูปที่ 2.30 กราฟกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)
ที่มา : http://www.inventer.in.th

การระบุค่าสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์ได้จากการทดลองวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V Curve) โดยต่อภาระทางไฟฟ้าที่สามารถแปรค่าได้ตั้งแต่สภาวะวงจรเปิดไปจนถึงสภาวะวงจรลัดเข้ากับแผงเซลล์ แล้วให้แสงแก่แผงเซลล์ดังรูปที่ 2.31โดยควบคุมสภาพแวดล้อมที่สภาวะมาตรฐาน(Standard Test Condition, STC) คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร สเปกตรัมของแสงที่ Air Mass (AM) 1.5 และอุณหภูมิด้านหลังแผงเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

นอกจากนั้นการแสดงเครื่องหมายรับรองคุณภาพจากหน่วยงานต่างๆ และการอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานหลักที่ใช้ในการรับรองคุณภาพ คือ IEC1646 สำหรับชนิดฟิล์มบาง ยังมีมาตรฐานในความปลอดภัย เช่น IEC61730 สำหรับแผงทั้งสองชนิด TUV Safety Class II และUL1703 เป็นต้น

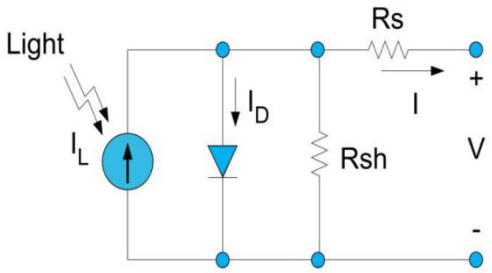


รูปที่ 2.31 ไดอะแกรมการทดสอบวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า
ที่มา : http://www.inventer.in.th

3.2) วงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแทนด้วยวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ดังรูปที่ 2.32 ประกอบด้วย แหล่งจากกระแสไฟฟ้าต่อขนานกับไดโด (รอยต่อพี-เอ็น) และ RSH โดยกำหนดแหล่งจ่ายกระแสเป็นแบบกระแสคงที่ ซึ่งแปรผันตามความเข้มแสดงความต้านทานอนุกรม (Rs) เป็นค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากจุดเชื่อมต่อ (Wiring contact) ระหว่างตัวนำไฟฟ้ากับเซลล์ ส่วนตัวต้านทานชั้นท์ (RSH) เกิดขึ้นเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าในลักษณะไบอัสย้อนกลับให้ไดโอด

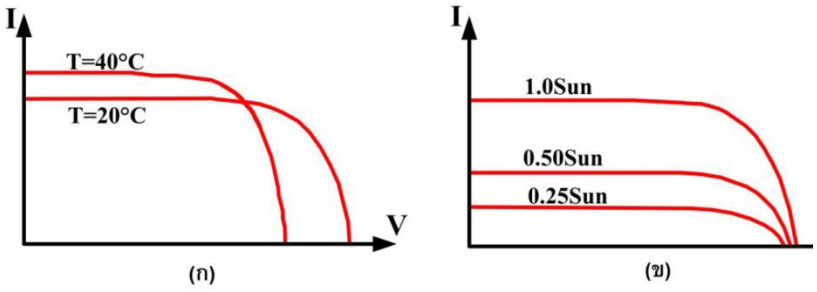
ทางอุดมคติจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ ตรงกันข้ามกับความเป็นจริงจะมีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับในระดับต่ำ นั่นแสดงให้เห็นว่ามีเส้นทางที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ ดังนั้นจึงแทนด้วยความต้านทานชั้นท์ ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความต้านทานอนุกรมที่มีค่าต่ำมาก สมการที่ 2.18 เป็นสมการทางสถิตของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีพื้นฐานจากทฤษฎีโซลิดสเตทฟิสิกส์ (Solid-state theory)

$$I = I_L - I_O \left\{ \exp\left[\frac{e(V - IR_S)}{AkT} \right] - 1 \right\} - \frac{V}{R_{SH}} \qquad 2.18$$



รูปที่ 2.32 แบบจำลองคุณลักษณะทางสถิติของเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : http://www.inventer.in.th

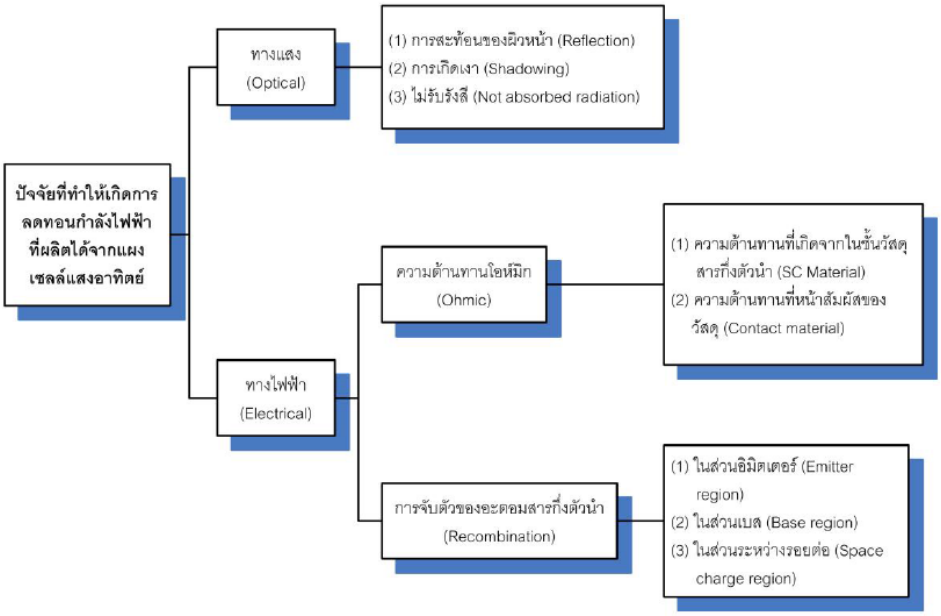
3.3) ผลกระทบจากความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่สภาวะแวดล้อมต่างๆ จะได้กราฟ I-VCurve ที่ระดับต่างๆ ดังแสดงรูปที่ 2.33 (ก) เป็นกรณีที่ความเข้มรังสีอาทิตย์คงที่แต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีผลทำให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง แต่กระแสไฟฟ้าวงจรลัดกลับมีค่าสูงขึ้น แต่กรณีจากรูปที่ 2.33 (ข) มีความเข้มแสงเพิ่มขึ้นโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงจะทำให้กระแสวงจรลัดเพิ่มขึ้น และแรงดันวงจรเปิดมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 2.33 กราฟกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิและความเข้มแสงค่าต่างๆ
ที่มา : http://www.inventer.in.th

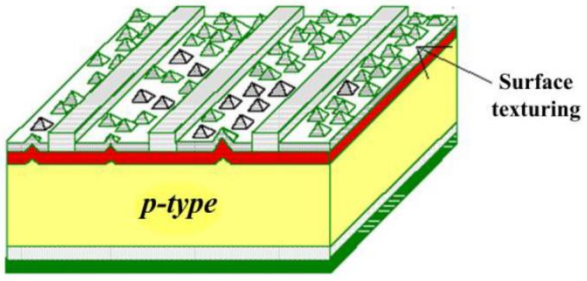
3.4) ปัจจัยลดทอนกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การลดทอนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์มาจากสาเหตุหลัก 2 ประการ คือ ทางแสง (Optical) และทางไฟฟ้า (Electrical) สำหรับทางแสงปัจจัยที่มีผลต่อการรับแสงได้แก่การสะท้อน (Reflection) การบังเงา

(Shadowing) และไม่รับรังสี (not absorbed radiation) ซึ่งการลดการสะท้อนแสงนั้นทำโดยการเคลือบสารป้องกันการเงาบดบังแผงเซลล์



รูปที่ 2.34 ปัจจัยการลดทอนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

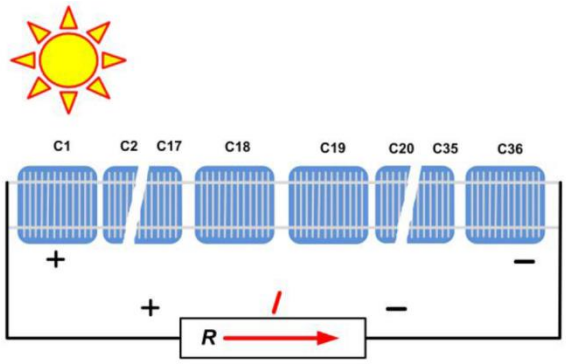
ทางไฟฟ้าแบ่งการสูญเสียเป็น 2 ส่วน คือ โอห์มมิก (Ohmic losses) และการจับตัวของอะตอมสารกึ่งตัวนำ (Recombination) ซึ่งการสูญเสียอันเนื่องมาจากการออกแบบและกระบวนการผลิตเซลล์โดยที่ โอห์มมิก เป็นผลที่เกิดขึ้นจาตัววัสดุสารกึ่งตัวนำ และความต้านทานที่หน้าสัมผัสของวัสดุได้แก่ รอยต่อระหว่างโลหะตัวนำกับสารกึ่งตัวนำ ส่วนการสูญเสียจากการจับตัวของอะตอมสารกึ่งตัวนำเกิดได้ทั้งในชั้นอิมิตเตอร์ (Emitter layer) ส่วนเบส และระหว่างรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ



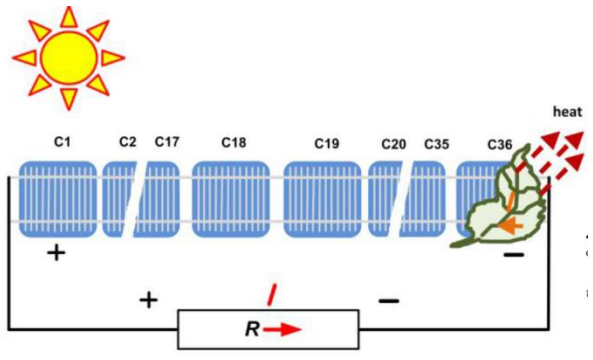
รูปที่ 2.35 ลักษณะของผิวหนังของเซลล์ซึ่งผ่านการทำ surface texturing
ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

3.5) Junction Box, Bypass Diode และ Blocking diode การต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนจะมีค่าแรงดันวงจรเปิดหรือค่าความต่างศักย์แต่ละเซลล์ประมาณ 0.6 โวลต์และสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิกอนประมาณ 0.6-0.9 โวลต์ และค่ากระแสไฟฟ้า (ขึ้นอยู่กับพื้นที่เซลล์) หลังการต่อเซลล์เป็นแผงเซลล์จะรวมสายไฟฟ้าเข้าด้วยกันโดยแยกเป็นขั้วบวกและขั้วลบไปยังกล่องรวมสายเรียกว่า Junction Box เพื่อนำไฟฟ้าไปใช้งานต่อ

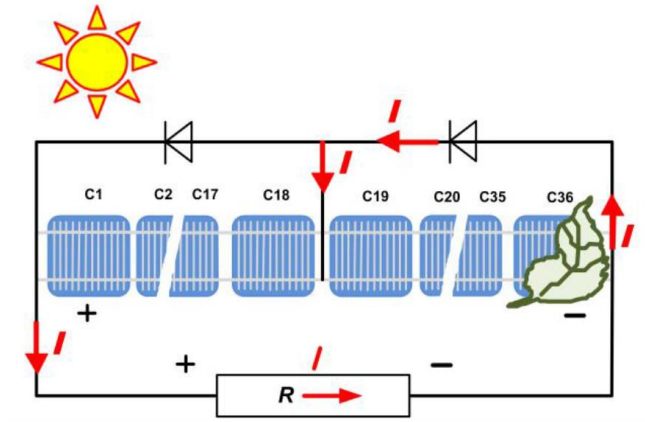
การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะไม่มีเงาบังแสดงได้ดังรูปที่ 2.36 แต่ถ้าเงาบังจากกรณีต่างๆ เช่น ใบไม้ และสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น จะทำให้แผงเซลล์มีค่ากระแสไฟฟ้าลดลงเป็นผลทำให้กำลังไฟฟ้าโดยรวมของแผงเซลล์ลดลงอย่างมาก นอกจากนี้แล้วเมื่อเกิดเงาบังกับแผงเซลล์ ทำให้เกิดความร้อนที่ตัวเซลล์มากขึ้น เนื่องจากเซลล์ที่ถูกบังจะทำหน้าที่เป็นภาระทางไฟฟ้าแทนที่จะเป็นแหล่งจากพลังงาน



รูปที่ 2.36 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แงอาทิตย์เมื่อไม่มีเงาบังที่เซลล์
ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf



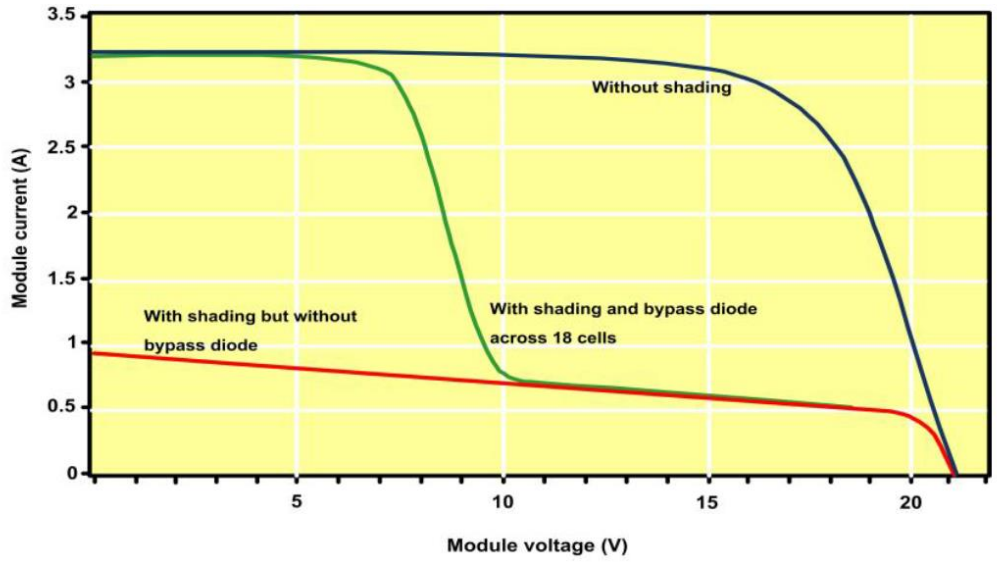
รูปที่ 2.37 ภาพแสดงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีใบไม้บัง
ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf



รูปที่ 2.38 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีใบไม้บัง Bypass Diode
ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

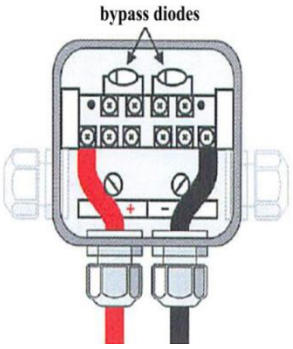
ในการปฏิบัติการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแผงเซลล์นั้นจะต้องมี Bypass Diode เข้าไปในแผงเซลล์ เพื่อทำหน้าที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านชั่วขณะในกรณีที่เกิดเงาบังหรือแม้กระทั่งกรณีที่เซลล์เสียหายถาวร แนวเส้นลูกศร ในรูปที่ 2.38 แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่าน Bypass Diode เมื่อมีใบไม้มาบัง และจะเห็นว่าถ้ามี Bypass Diode จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในแผงเซลล์เป็นปกติเนื่องจากกระแสไฟฟ้าจะไม่ไหลผ่านส่วนของแผงเซลล์ที่เกิดเงาบัง เป็นผลให้มีค่ากำลังไฟฟ้าโดยรวมจากแผงเซลล์การลดลงเพียงเล็กน้อย

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนจะนำเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มค่าแรงดันวงจรเปิดให้เหมาะกับการใช้งานจำนวนเซลล์ในหนึ่งแผงประมาณ 36-40 เซลล์ และใช้ Bypass Diode ประมาณ 2 ตัว และรูปที่ 2.39 เปรียบเทียบกระแสและแรงดันไฟฟ้าเกิดจากแผงที่มี Bypass Diode และไม่มี Bypass Diode โดยที่เส้นสีน้ำเงินแสดงกระแสและแรงดัน แต่เมื่อไม่มีเงาบังพื้นที่เซลล์หนึ่งเซลล์ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เซลล์ กรณีไม่มี Bypass Diode (เส้นสีแดง) กระแสไฟฟ้าลดลงจากปกติเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่เหลือ 25 เปอร์เซ็นต์จากพื้นที่เซลล์ทั้งหมดถ้ามี Bypass Diode จะทำให้กระแสไฟฟ้าวงจรลัด และแรงดันวงจรเปิดเท่าเดิม (กราฟสีเขียว) เพียงแต่กำลังไฟฟ้าทั้งหมดลดลงเท่านั้น



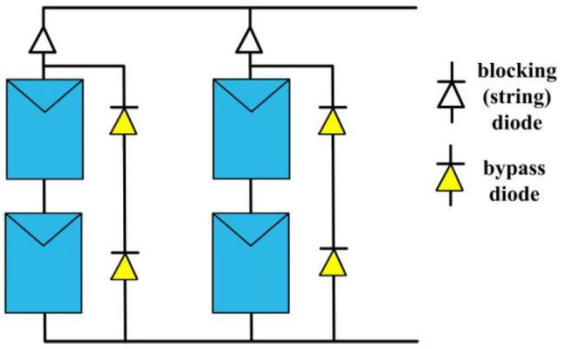
รูปที่ 2.39 การเปรียบเทียบ I-V curve ที่มีและไม่มี Bypass Diode เมื่อมีการเกิดเงาบัง
ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

การติดตั้ง Bypass Diode จะติดตั้งที่บริเวณกล่องรวมสาย (Junction Box) หนังแผงเซลล์โดยเชื่อมต่อสายไฟฟ้าหลัก (Busbar) ซึ่งสายไฟฟ้าทั้งหมดจะถูกรวมที่กล่องรวมสายโดยแยกเป็นชุดเซลล์ย่อยๆ แล้วทำการเชื่อมต่อ Bypass Diode คร่อมลงไปตามแสดงในรูปที่ 2.39 ภายในกล่องรวมสายจะมีขั้วไฟฟ้าทั้งขั้วบวกและขั้วลบที่พร้อมใช้งานและ Bypass Diode อยู่ด้วยกันจึงสะดวกในการดูแลรักษาและซ่อมแซมหากเกิดการชำรุดขึ้นหลังจากการใช้งาน หรือมีการปรับปรุงในอนาคต



รูปที่ 2.40 กล่องรวมสายไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง Bypass Diode
ที่มา : http://www.dede.go.th

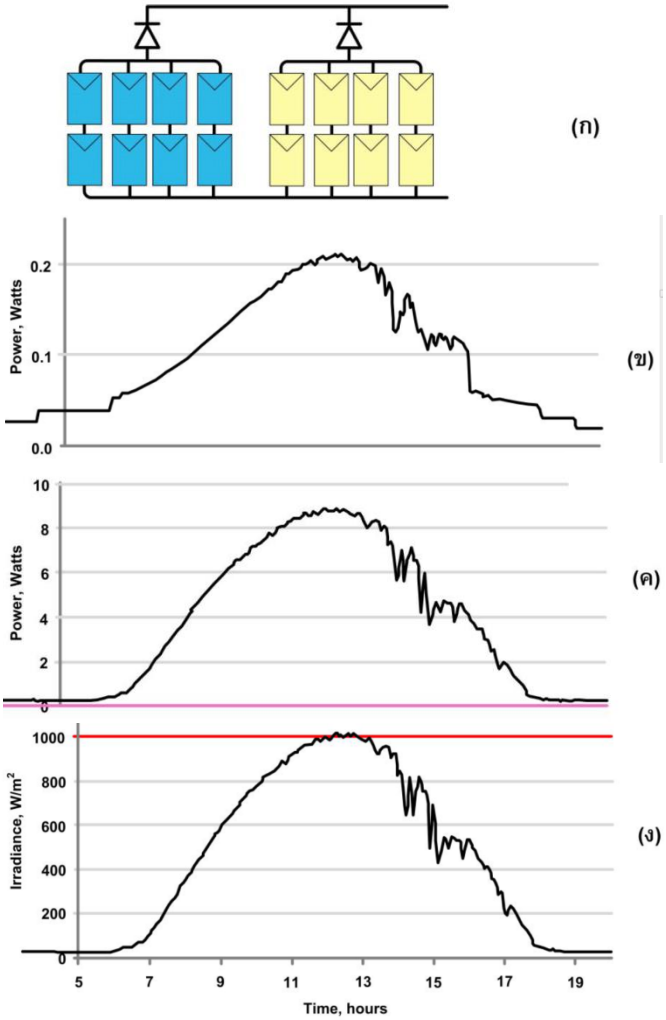
ในอีกกรณีสำหรับการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระบบขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบของการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ไม่เท่ากันของแต่ละสตริงของระบบโดยรวม คุณสมบัติของแผงเซลล์เองที่ไม่เท่ากันมุมเอียงของการติดตั้งไม่อยู่ในระนาบเดียวกันทั้งหมด ด้วยปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาเป็นผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าอาจจะปรากฏการณ์ของความไม่เท่ากันในแต่ละสตริง ซึ่งจะทำให้สตริงมีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดกลายเป็นภาระทางไฟฟ้าชั่วคราวและมีการถ่ายเทพลังงานจากสตริงที่ยังคงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ดามายังสตริงที่มีค่าต่ำซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้าโดยรวมมีค่าลดลงดังนั้นเพื่อป้องกันภาวะดังกล่าว จึงจำเป็นต้องติดตั้ง Bypass Diode ที่บริเวณปลายสายของทุกสตริงเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันไม่ให้สตริงตัวต่ำเกิดความเสียหายเนื่องจากสภาวะกระแสไฟฟ้าไหลย้อยกลับ



รูปที่ 2.41 แผนภาพของระบบที่มีการติดตั้ง Bypass Diode
ที่มา : http://www.dede.go.th

ปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าการติดตั้ง Bypass Diode ระหว่างแผงเซลล์เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวผ่านของกระแสไฟฟ้าเวลาเกิด Hot Spot ในแต่ละแผงภายในสตริงและการติดตั้ง Bypass Diode เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนเข้าสู่สตริง (รูปที่ 2.41) จะทำให้ระบบมีความคงที่ในการผลิตไฟฟ้าตลอดทั้งวันโดยที่ไดโอดแต่ละตัวจะทำหน้าที่ในเวลาเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ที่คาดไม่ถึง ซึ่งทำให้การผลิตไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอตลอดเวลา

อย่างไรก็ตาม การติดตั้ง Bypass Diode ในระบบต้องคำนึงถึงผลการสูญเสียแรงดันตกคร่อมของไดโอดที่เกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้และจะทำให้กำลังไฟฟ้าของระบบลดทอนไปส่วนหนึ่ง นอกจากนี้ในรูปที่ 2.43เปรียบเทียบขนาดเล็กที่มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าเท่ากันที่ประกอบด้วยระบบที่ไม่มี Bypass Diode รูป (ข) และระบบที่มี Bypass Diode รูป (ค) โดยที่สตริงด้านซ้ายของรูป (ก) แสดงสภาวะที่สตริงเกิดเงาบัง และเมื่อเปรียบเทียบกราฟระหว่างที่มีและไม่มี Bypass Diode จะให้ค่ากำลังไฟฟ้าต่ำมากทั้งนี้เนื่องจากผลของการเกิดสภาวะทางไฟฟ้าและมีการไหลย้อนกลับสตริงที่มีเงาบังบางส่วนระบบที่มี Bypass Diode คงสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้โดยมีกำลังไฟฟ้าโดยรวมเท่ากับสตริงที่ไม่ถูกบัง



รูปที่ 2.42 การเปรียบเทียบไฟฟ้าที่ผลิตได้ของระบบที่มีและไม่มี Bypass Diode
ที่มา : http://www.dede.go.th

2.5 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอร์รี่ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานกังหันลมไว้ใช้เวลาที่ต้องการ เช่น เวลาที่ไม่มีลมพัดหรือนำแบตเตอร์รี่ไปประยุกต์ใช้งานอื่น ๆ แบตเตอร์รี่มีหลายชนิดและหลายขนาดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมตามความต้องการแต่ลักษณะของงานที่จะนำแบตเตอร์รี่ไปใช้

รูปที่ 2.43 แสดงแบตเตอร์รี่ขนาด 125 Ah
ที่มา : สุจิตติ์ สนองคุณ (2542)

2.5.1 การแบ่งชนิดของแบตเตอร์รี่

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีที่เก็บไว้เป็นพลังงานไฟฟ้า ได้มีการค้นพบว่าการใช้แบตเตอร์รี่ตั้งแต่สมัยบาบิโลเนียน เมื่อประมาณ 500ปี ก่อนคริสตศักราช แต่แบตเตอร์รี่ที่ใช้ในปัจจุบัน เป็นการค้นคว้าของนักวิทยาศาสตร์เมื่อ 200 ปีที่แล้ว ซึ่งแบ่งตามลักษณะของการใช้งานได้เป็น 4ชนิดดังนี้

1) แบตเตอร์รี่ปฐมภูมิ (Primary Cell) เซลล์แบบนี้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นขณะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าจะกระทำต่ออิเล็กโทรดอันหนึ่งจนสึกกร่อนไป ปกติแล้วจะเกิดขึ้นกับขั้วลบ (Negative) เป็นแบตเตอร์รี่ที่เมื่อผ่านการใช้งานแล้วไม่สามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้หรือเรียกว่า “ถ่าน” มีอยู่หลายชนิด เช่น ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านลิเทียม เป็นต้น แบตเตอร์รี่แบบนี้มีหลายขนาด ใช้ในวิทยุ นาฬิกา เก็บพลังงานได้สูง อายุการใช้งานสูง แต่เมื่อถูกใช้จนหมดจะกลายเป็นขยะมลพิษ

2) แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary Cell) เซลล์ชนิดนี้ขณะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกปฏิกิริยาเคมีจะทำให้อิเล็กโทรดเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม แต่เมื่อทำประจุไฟฟ้าตัวใหม่ โดยการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านเข้าไปในเซลล์ในทิศทางตรงกันข้ามกับการจ่ายกระแสไฟฟ้า ออกจากเซลล์ทำให้แผ่นอิเล็กโทรดกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ และพร้อมที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าออกเพื่อใช้งานได้ต่อไป เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่มือถือ และถ่านรุ่นใหม่ๆ เป็นต้น

3) แบตเตอรี่เชิงกล เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้งานแล้วนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการเปลี่ยนขั้วอิเล็กโทรดขั้วลบของแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว ซึ่งทำให้มีการชาร์จประจุอย่างรวดเร็ว เช่น แบตเตอรี่ชนิดอลูมิเนียม-อากาศ

4) แบตเตอรี่ผสม เป็นแบตเตอรี่ที่มีเซลล์ของเชื้อเพลิงผสมอยู่ โดยขั้วอิเล็กโทรดข้างหนึ่งเป็นก๊าซและอีกข้างหนึ่งเป็นตัวของมันเอง เช่น แบตเตอรี่ชนิดซิงค์/โบรมีนปัจจุบันนิยมใช้งาน ทั้งแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งส่วนใหญ่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบที่มีคราบเป็นพิษและผลเสีย

ต่อสภาพแวดล้อม แบตเตอรี่ที่เข้ามาแทนแบตเตอรี่ตะกั่วในอนาคต สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่

A แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (NiCd) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วแต่สามารถชาร์จประจุได้มากครั้งกว่า และอายุการใช้งานยาวนาน

B แบตเตอรี่ชนิดโซเดียม-ซัลเฟอร์ (NaS) เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำ ราคาแพง สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 350^0C

C แบตเตอรี่ชนิดซิงค์-โบรมีน (ZnBr) เป็นแบตเตอรี่ที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูง ราคาถูก อายุการใช้งานที่ยาวนาน เหมาะสำหรับใช้กับรถไฟฟ้า แต่มักมีปัญหาจากการรั่วของประจุที่เก็บ และก๊าซโบรมีนเป็นก๊าซที่อันตราย

D แบตเตอรี่ชนิดวาเนเดียม-รีด็อก (Vanadium-Redox) แบตเตอรี่แบบนี้สามารถชาร์จประจุได้ทันทีเพียงแค่เปลี่ยนอิเล็กโทรไลต์ มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน อัตราการรั่วของประจุต่ำ

2.5.2 การต่อวงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่

ต้องพยายามออกแบบให้ขนาดสายไฟที่ใช้ภายในอาคารเก็บแบตเตอรี่เล็กที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ การออกแบบอาจไม่ต้องพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงที่เกิดจากสายไฟและการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างกังหันลมเราอาจคำนวณค่ากระแสสูงสุดได้โดยตรงแต่การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าลดจะมีความซับซ้อนมากกว่าเนื่องจากเราไม่สามารถหาค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดจากการต่อสายไฟเข้ากับขั้วต่อสายไฟได้ ปัญหาที่เกิดต่อมา คือ ความยาวของสายไฟระหว่างสตริงของเซลล์แบตเตอรี่หรือการต่อวงจรไฟฟ้าของระบบแบตเตอรี่ขนาดเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้ประจุไฟฟ้า การประจุไฟฟ้าแก่แบตเตอรี่หรือเซลล์ที่มีขนาดไม่เท่ากันอาจทำให้เกิดประจุไฟฟ้าเกินหรือต่ำกว่าค่าพิกัดของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งประกอบอยู่ในระบบการประจุไฟฟ้าเกินพิกัดทำให้น้ำที่อยู่ในแบตเตอรี่ระเหยไปและเกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่แบตเตอรี่เกิดไฟลุกไหม้หรือแบตเตอรี่ระเบิดการประจุไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัดจะทำให้เกิดซัลเฟชัน และความจุของไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลดต่ำลง แบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้เพียงพอต่อความต้องการของโหลด

2.5.3 ข้อควรระวังของการใช้งานแบตเตอรี่

โดยปกติแบตเตอรี่ มักเป็นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบมีฝาปิดและแบตเตอรี่ตะกั่วแบบมีวาล์วควบคุม (Valve-Regulated Lead-Acid Battery , VALA) แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานในรูปไฟฟ้าเคมี ภายในประกอบด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกแบบเจือจางแบตเตอรี่อาจระเบิดได้ซึ่งมีสาเหตุสาจากการสะสมของแก๊สไฮโดรเจนกับออกซิเจนกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแบตเตอรี่มีค่าสูงหลายพันแอมป์ การใช้งานแบตเตอรี่ควรระมัดระวังอันตรายที่เกิดจากศักดิ์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่การออกแบบระบบควรมีการติดตั้งเครื่องมือวัดอย่างเหมาะสมเพื่อความปลอดภัยความสะดวกต่อการใช้งานติดตั้งแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดควรกำหนดสัญลักษณ์ของอาคารระบบไฟฟ้า และระบบป้องกัน

เพลิงไหม้ให้ความสัมพันธ์กับระบบของสาธารณะ อาคารของรัฐ หรืออาคารในท้องถิ่นผู้ผลิตแบตเตอรี่ควรแนะนำเกี่ยวกับการติดตั้งและการซ่อมบำรุงแบตเตอรี่

ข้อควรระวังเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบแบตเตอรี่อันตรายที่เกิดกับระบบแบตเตอรี่อาจเกิดจากสาเหตุต่างๆ คือ อันตรายจากไฟฟ้า สารเคมีและเพลิงไหม้ ซึ่งสามารถลดอันตรายเหล่านี้ได้ด้วยวิธีการออกแบบและการใช้งานแบตเตอรี่อย่างเหมาะสมมีรายละเอียดดังนี้

1) การแสดงเครื่องหมายความปลอดภัยชนิดต่างๆ คือ อาคาร ไฟฟ้า และเพลิงไหม้โดยกำหนดเครื่องหมายตามข้อกำหนดของรัฐและท้องถิ่นนั้นๆ ซึ่งต้องกำหนดให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน
2) กำหนดระยะช่องว่างระหว่างแบตเตอรี่ให้ได้เหมาะสม มีพื้นที่ระบายลมอย่างเพียงพอเพื่อป้องกันการสะสมของแก๊สไฮโดรเจนและกระจายความร้อนได้อย่างรวดเร็ว
3) การออกแบบเพื่อป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้าของสายไฟที่ต่อกับจุดเชื่อมต่อสตริงจ์ของแบตเตอรี่ที่ต่อขนานกัน
4) มีช่องระบายอากาศเล็กๆ สำหรับแบตเตอรี่
5) มีการชดเชยอุณหภูมิด้วยวิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่
6) ระบบตัดกระแสไฟฟ้าสำหรับประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่เมื่ออุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงกว่าอุณหภูมิสูงสุดสำหรับประจุแบตเตอรี่ที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่
7) หุ้มฉนวนพื้นผิวบริเวณตั้งแต่แบตเตอรี่ เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดความเสียหายต่อสายกราวด์และติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความบกพร่องของสายกราวด์ ภาชนะที่ใช้กับแบตเตอรี่ควรเป็นฉนวนไฟฟ้าและมีการต่อสายกราวด์ของชั้นวางแบตเตอรี่ที่เป็นโลหะเพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่
8) การบำรุงรักษาแบตเตอรี่ต้องดำเนินตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตและจะต้องดำเนินการกำจัดสารละลายอิเล็กโตรไลท์ที่หกและขังอยู่ในพื้นที่ออกให้หมด
9) ภาชนะบรรจุแบตเตอรี่ต้องทนทานต่อการกัดกร่อนของสารที่ใช้ทำความสะอาด
10) จัดเตรียมอุปกรณ์รักษาความปลอดภัยแก่เจ้าหน้าที่ ได้แก่ ภาชนะที่ใส่สารละลายที่หกฝักบัวอาบน้ำ อ่างล้างหน้า และอุปกรณ์ดับเพลิงเครื่องมือที่ใช้ในการติดตั้งและการซ่อมบำรุงควรมีฉนวน

2.5.4 การทำงานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นแหล่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงค่าสูงมากกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายได้ขณะเกิดความเสียหายจะขึ้นอยู่กับความต้านทานไฟฟ้าของแบตเตอรี่และความต้านทานไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าอยู่กับแบตเตอรี่ ถ้าความต้านทานไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้ามีค่าต่ำมากและระบบแบตเตอรี่มีขนาดใหญ่อาจจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 4000 แอมแปร์ ในเวลาไม่กี่วินาทีแบตเตอรี่จะเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าในรูปของการเกิดปฏิกิริยาเคมีขั้วไฟฟ้า(แผ่นเพลท)ของแบตเตอรี่และความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่การลัดวงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็วในสภาวะนี้ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงระดับสภาวะคงตัวสิ่งที่เกิดขึ้นตามมาในภาวะเงื่อนไขการลัดวงจรมีดังนี้

1) การเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าเคมีของแบตเตอรี่
2) ความต้านทานไฟฟ้าภายในและภายนอกแบตเตอรี่
3) ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าของแบตเตอรี่และวงจรไฟฟ้า
4) ค่าความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

2.5.4.1 การทำงานาของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ควรแยกส่วนที่ทำให้เกิดการลัดวงจรของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ออกจากกันกระแสไฟฟ้าเอาท์พุทของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดจะขึ้นอยู่กับความต้านทานไฟฟ้าของแบตเตอรี่และตัวแปรอื่นๆ ที่ใช้สำหรับการออกแบบแบตเตอรี่ ประกอบด้วย

1) ชนิดวัสดุและลักษณะรูพรุนของแผ่นกั้นขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่
2) ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลท
3) ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโตรไลท์
4) ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลท
5) ค่าความนำไฟฟ้าของแผ่นเพลท สายรัดขั้วไฟฟ้า ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้า และการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าภายในเซลล์

2.5.4.2 การทำงานของแบตเตอรี่แบบนิเกิลแคดเมียม แบตเตอรี่แบบนิเกลแคดเมียมจะมีกระไฟฟ้าลัดวงจรเหมือนกับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด คือ ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความต้านทานไฟฟ้าภายในเซลล์แบตเตอรี่และเกิดขึ้นกับตัวแปรการออกแบบต่างๆ ดังนี้

1) การกั้นแผ่นเพลท
2) ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลท
3) การเหี่ยวนำไฟฟ้าของแผ่นเพลท การต่อสายรัดขั้วไฟฟ้า ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าและการเชื่อมต่อภายในเซลล์

ความแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่แบบนิเกิลแคดเมียมกับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ได้แก่ สารละลายอิเล็กโทรไลท์ที่ใช้โดยปกติแบตเตอรี่จะทำตัวเหมือนตัวนำไฟฟ้าแบบอิ

ออนิกที่มีความต้านทานไฟฟ้าภายในสม่ำเสมอ ค่าความถ่วงจำเพาะไม่เปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์ประจุไฟฟ้า และขณะที่แบตเตอรี่จ่ายไฟค่าความต้านทานไฟฟ้าจะไม่เพิ่มขึ้นเหมือนกับเซลล์แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด นั้นคือ เมื่อจ่ายไฟฟ้าจนหมด แบตเตอรี่แบบนิเกิลแคดเมียมยังคงสภาพการจ่ายกระแสไฟฟ้าลัดวงจรค่าสูงมากได้

2.5.5 ความเสียหายและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่

การบำรุงรักษาและกำหนดเงื่อนไขการทำงานของแบตเตอรี่อย่างเหมาะสม ทำให้ความเชื่อมั่นต่อการทำงานของแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้นและแบตเตอรี่สามารถทำงานอิสระได้ (กลไกการเสื่อมสภาพภายในจะพิจารณากับแบตเตอรี่แบบติดตั้งคงที่เท่านั้นโดยเกิดขึ้นในเซลล์ของแบตเตอรี่) แบตเตอรี่ถูกใช้งานแตกต่างกันพิจารณาความเสื่อมสภาพที่แตกต่างด้วยกัน เช่น ในอุสาหกรรมโทรคมนาคมจะพิจารณาการเสื่อมสภาพของสวิทช์ในระบบรวมเข้ากับความเสียหายทางฮาร์ดแวร์และซอฟแวร์ ทำให้ต้องหยุดจ่ายไฟแก่ระบบ การออกแบบระบบควรรวมค่าใช้จ่ายของการเสื่อมสภาพและการซ่อมบำรุงเข้ากับเงินลงทุนของระบบ

การเสื่อมสภาพของระบบจ่ายไฟกระแสตรงอาจทำให้เกิดความเสียต่อการใช้งานจริงหรือเกิดความเสียหายต่อระบบความปลอดภัย นอกจากนี้ความเสียหายของแบตเตอรี่ในสถานีไฟฟ้าย่อยทำให้ระบบต้องหยุดจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ นักออกแบบกระแสไฟฟ้ากระแสตรงควรกำหนดการทำงานและการบำรุงระบบก่อที่จะทำการออกแบบการป้องกันระบบตัวแปรอื่นๆ ที่นำมาพิจารณาออกแบบแบตเตอรี่เป็นเซลล์แบบทุติยภูมิทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ทั่วๆ ไป โดยทั่วไปมักนำแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ที่ใช้ติดเครื่องรถยนต์มาใช้กับระบบกังหันลม เนื่องจากหาซื้อง่ายในท้องตลาด การต่อแบตเตอรี่เข้ากับกังหันลมจะต้องมีไดโอดปิดกั้นเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลผ่านแผงเซลล์ในตอนกลางคืนเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าเกินและการจ่ายไฟฟ้าลึกของแบตเตอรี่และในบางเครื่องอาจมีการติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดประกอบอยู่ระบบที่ต้องการไฟฟ้าสลับเครื่องผกผันกระแสไฟฟ้ามีสองแบบคือ แบบผลิตความถี่ไฟฟ้าได้ด้วยตนเองและแบบใช้สัญญาณจากสายส่งควบคุมความถี่ของไฟฟ้า โดยทั่วไปพลังงานที่ได้จากกังหันลมอาจเก็บไว้ในอุปกรณ์การเก็บพลังงานในรูปอื่น ระบบสูบน้ำด้วยกังหันลมทำการสูบน้ำไว้ในถังเก็บน้ำในที่สูงเพื่อเก็บสะสมพลังงานในรูปพลังงานศักดิ์หรือระบบทำความเย็นเก็บสะสมพลังงานความเย็นในรูปของถังน้ำแข็งการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์ในแบตเตอรี่เป็นการเก็บพลังงานในรูปของไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ซึ่งพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปแบตเตอรี่ คือ การต่อตรงระหว่างแผงเซลล์กับแบตเตอรี่ (ขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วบวกและขั้วลบต่อเข้ากับขั้วลบ) การใช้งานระบบกังหันลมแบตเตอรี่จะเป็นจุดอ่อนที่สำคัญของระบบเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งานสั้นที่สุดที่ประกอบอยู่ในระบบกังหันลม

1) แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้า (Electric Cell) หลายเซลล์ต่ออนุกรมกัน เพื่อให้สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้คงที่และสามารถถ่ายเทไฟฟ้าและประจุไฟฟ้าได้

2) เซลล์สะสมไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (Accumulator Cell) คือ ส่วนที่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นผลจากกระบวนการไฟฟ้าเคมี

3) เซลล์ปฐมภูมิ (Primary) เป็นเซลล์ไฟฟ้าที่ไม่สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ได้ได้แก่ แบตเตอรี่ อัลคาไลท์ (Alkaline) ปัจจุบันมีขายอยู่ในท้องตลาดมักเรียกว่า ถ่านไฟฉายขนาดแรงดันไฟฟ้า 1.5 โวลต์

4) เซลล์ (Cell) เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของแบตเตอรี่ เซลล์อาจเป็นส่วนของแบตเตอรี่ที่ประจุไฟฟ้าใหม่ได้หรือเป็นไฟฟ้าแบบประจุไฟฟ้าใหม่ได้หรือแบบประจุไฟฟ้าใหม่ไม่ได้

2.5.6 สมรรถนะของแบตเตอรี่และคำจำกัดความ

การใช้งานแบตเตอรี่ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับศัพท์ทางเทคนิคและความหมายบอกให้ทราบคุณสมบัติของแบตเตอรี่นั้นๆ เพื่อประกอบการพิจารณาเลือกใช้งาน ดังนี้

2.5.6.1 ประสิทธิภาพ ค่าความจุ และการประจุไฟฟ้ามากเกินไป พลังงานในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วยวัตต์-ชั่งโมง หรือกิโลวัตต์-ชั่งโมง คำนวณหาประสิทธิภาพพลังงานหรือ energy efficiency โดยใช้สมการที่ 2.19 ซึ่งแบตเตอรี่ทั่วไปมีค่าในช่วง 70-80%

$$\text{ประสิทธิภาพของพลังงาน(\%)} = \frac{\text{พลังงานที่คายประจุ (วัตต์-ชั่วโมง)}\times 100}{\text{พลังงานที่ต้องการใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}} \quad 2.19$$

ส่วนค่าความจุดของแบตเตอรี่ (Capacity) สามารถวัดได้ในหน่วยของแอมป์-ชั่วโมง (Ah) และประสิทธิภาพของการอัดประจุ (charge efficiency) หรือเรียกว่า ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah-efficiency) คำนวณได้จากสมการที่ 2.20 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะมีค่าประมาณ 95% แต่ในแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียม จะมีค่าน้อยกว่านี้โดยทั่วไปค่าประสิทธิภาพของพลังงานน้อยกว่าประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง เนื่องจากการคายประจุของแบตเตอรี่ใช้แรงดันต่ำกว่าการอัดประจุ

$$\text{ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง (\%)} = \frac{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงของการคายประจุ}\times 100}{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงที่ต้องการใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}} \quad 2.20$$

การอัดประจุหรือการอัดประจุเกิน ปฏิกิริยาเคมีซึ่งเกิดขึ้นในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดและแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียมนั้นจะเกิดก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจนจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วลบ

2.5.6.2 อัตราการคายประจุ (Discharge rate) และอัตราการอัดประจุ (Charge rate) จะสัมพันธ์กับ Rated Capacity ในหน่วยของ Ah ที่อัตราการคายประจุจำเพาะค่าหนึ่งๆ อาทิ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ความจุ 200Ah (อัตรา 10(10 hour rate) แสดงว่า แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิคงที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นต้น กระแสที่ใช้คำงานนี้คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.21 จากความจุของแบตเตอรี่ หารด้วยจำนวนชั่วโมง

$$\text{C/ชั่วโมง} = \text{กระแสที่จ่าย (แอมแปร์)} = \frac{\text{ค่าความจุ (แอมแปร์-ชั่วโมง)}}{\text{เวลา (ชั่วโมง)}} \qquad 2.21$$

ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 200 Ah มีอัตราการคายประจุ C/10 จากสมการที่ 2.21 ค่ากระแสที่จ่ายหรืออัตราการคายประจุเท่ากับ 20 แอมแปร์ เป็นต้น

2.5.6.3 ความลึกของการคายประจุและการอัดประจุค่าดีโอดี (DOD, Depth of Discharge) เป็นสัดส่วนหรือ % ของความจุซึ่งถูกใช้งานจากการอัดประจุเต็มพิกัด ในทางส่วนกลับของค่า

ดีโอดี คือ ค่าเอสโอซี (SOC, State of Charge) เป็นสัดส่วนหรือ % ของความจุที่คงใช้งานได้ค่าดีโอดีหรือเอสโอซีจะใช้เพื่ออ้างอิงความจุปกติ (Nominal Capacity) ตารางที่ 2.2แสดงความสัมพันธ์อย่างง่ายของค่าดีโอดีและค่าเอสโอซี

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีโอดีกับค่าเอสโอซี

เอสโอวี (%SOC)	**ดีโอดี (%DOD)**
100	0
75	25
50	50
25	75
0	100

ที่มา: สุจิตติ์ สนองคุณ (2542)

อย่างไรก็ตามอาจพิจารณาคล้ายแก้วน้ำซึ่งมีน้ำอยู่ระดับหนึ่งซึ่งจะมีส่วนที่ว่างเปล่าหรือส่วนจะต้องเติมให้เติม ค่าดีโอดี และค่าเอสโอซี คือ ความสูงของส่วนที่ว่างเปล่าไม่มีน้ำในแก้วและความสูงของน้ำที่มีอยู่ในแก้ว ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น ความจุอัตรา 10 ชั่วโมง (10 hour rate) การจ่าย

กระแสต่ำจะให้ค่าดีโอดีมากกว่า 100% ซึ่งมีความหมายอย่างง่ายคือ แบตเตอรี่มีความจุในการใช้งานได้มากกว่า 100% เมื่ออัตราการคายประจุปกติ

2.5.6.4 อัตราการคายประจุด้วยตนเอง การคายประจุด้วยตนเองเป็นการสูญเสียประจุของแบตเตอรี่ ถ้าหากปล่อยทิ้งไว้ที่วงจรเปิดหรือไม่มีการจ่ายกระแสในระยะเวลาหนึ่ง เช่น แบตเตอรี่ปฐมภูมิที่ถูกวางบนชั้นจำหน่วยในร้านค้าเมื่อผ่านไปหลายๆปี จะพบว่าค่าความจุจะเหลืออยู่ไม่เท่ากับความจุตั้งต้น แต่สำหรับแบตเตอรี่ทุติยภูมิ อัตราการคายประจุด้วยตนเองจะอ้างถึงเปอร์เซ็นต์ความจุที่หายไปต่อเดือนโดยตั้งต้นที่ค่าความจุเต็มพิกัด แต่ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของแบตเตอรี่ควบคู่ไปด้วยกัน ในหลายๆ กรณีค่าจะเป็นสองเท่าเมื่ออุณหภูมิแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส

2.5.6.5 วงจรอายุ (Cycle Life) ความหมายของคำว่า ไซเคิล (Cycle) คือ การทำซ้ำๆ เพื่อการคายประจุและการอัดประจุหนึ่งครั้งตามด้วยการอัดประจุหนึ่งครั้ง ในวงจรอายุของแบตเตอรี่เป็นการวัดจำนวนไซเคิลของการคายประจุและค่าดีโอดี (DOD) รวมถึงสัดส่วนของค่าความจุก่อนที่จะลดลงไปต่อค่าความจุตั้งต้น (ปกติใช้ค่า 80%)

วงจรอายุขึ้นอยู่กับความลึกของแต่ละไซเคิล หากทดสอบโดยวัดที่ค่าดีโอดีสูงและค่าดีโอดีต่ำลง แล้วให้นำผลจำนวนไซเคิลคูณด้วยค่าดีโอดีแล้วพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่แสดงว่ามีกรเปลี่ยนแปลงความจุมีค่าเช่นเดียวกับค่าดีโอดีที่ลดลง

2.5.6.6 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มีหลายประเภทขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีแผ่นธาตุและชนิดของสารอิเล็กโทรไลท์ โดยทั่วไปแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่ใช้สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ แบตเตอรี่แบบมีแผ่นธาตุเป็นกริด (Grid plate) และมีสารอิเล็กโทรไลท์เป็นของเหลว แบตเตอรี่แบบเจล แบตเตอรี่แบบ Tubular plate และแบตเตอรี่แบบล็อก (OGi block)

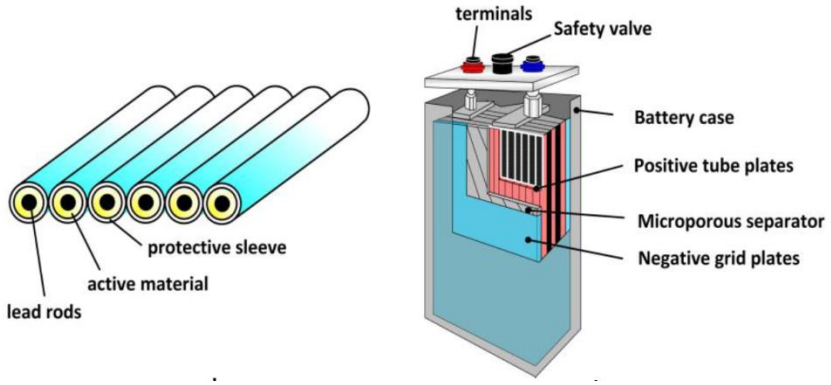
แบตเตอรี่แบบ Grid plate ที่มี Electrolyte เป็นของเหลว (Well cells) แบตเตอรี่ชนิดนี้นิยมใช้งานในรถยนต์ สำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์ซึ่งต้องการกระแสสูงในช่วงเริ่มสตาร์ท โดยการออกแบบให้มีแผ่นธาตุบางจำนวนหลายแผ่นเพื่อเพิ่มกระแสต่อแบตเตอรี่ ชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานกับการคายและการอัดประจุที่มีกระแสสูงในช่วงสั้นๆ แต่ไม่เหมาะสำหรับลักษณะการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งต้องการคายและอัดประจุที่กระแสไม่สูงนักแต่รอบเวลาหลายชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องมีการดัดแปลงแบตเตอรี่ชนิดนี้เพื่อให้สามารถใช้ได้ดีกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการเพิ่มความหนาแน่นของแผ่นธาตุเพิ่มสารเคลือบแผ่น กริดและลดความเข้มข้นสารละลายกรด เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและยืดอายุการใช้งาน จะพบว่าหากต้องการใช้แบตเตอรี่ที่ใช้งานได้ยาวนานเพียงพอ (400รอบ) ไม่ควรปล่อยให้เกิดการคายประจุมากกว่า 50%
แบตเตอรี่ชนิดเจลอิเล็กโทรไลท์แบตเตอรี่ชนิดนี้ถูกทำให้เป็นเจล โดยการเพิ่มสารบางอย่างที่ช่วยในการจับตัว

ประโยชน์ของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีดังนี้

- ไม่เกิดปัญหาการเกิดการแบ่งชั้นของกรด (acid stratification) ซึ่งช่วยลดการเกิดซัลเฟชันปละยืดอายุการใช้งาน
- ไม่มีก๊าช และลดความเสี่ยงหรืออันตราย
- ไม่มีการรั่วไหลสามารถติดตั้งได้ทุกที่
- ไม่ต้องบำรุงรักษา เช่นไม่ต้องคอยเต็มน้ำกลั่น

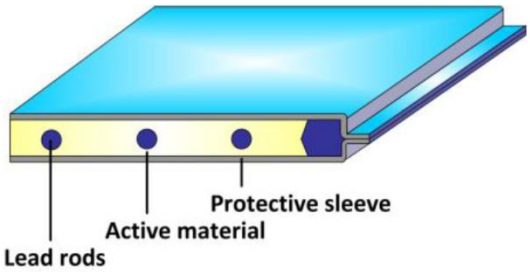
แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อบกพร่องคือเสียหายได้ง่ายหากมีการอัดประจุเกินพิกัดจำเป็นต้องการควบคุมแรงดันไฟฟ้าอย่างดี โดยไม่ให้เกินค่าที่ทำให้เกิดก๊าช เนื่องจากไม่สามารถระบายก๊าชออกไปได้ และตรวจสอบสภาวะการอัดประจุทำได้วิธีเดียว คือ การวัดแรงดันไฟฟ้า เจลแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานยาวนากว่าแบตเตอรี่ชนิดสารอิเล็กโทรไลท์เป็นของเหลว (wet cells) จะพบว่าที่การคายประจุ 50% จะมีอายุการใช้งานถึง 1000 รอบ แต่จะมีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอิเล็กโทรไลท์ เป็นของเหลวประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ชนิดเจลแบตเตอรี่ชนิด Stationary tubular plate (Type Opzs and OPzV)

แบตเตอรี่ชนิดนี้เหมาะสำหลับการใช้งานประมาณ 15 ถึง 20 ปี และระบบขนาดใหญ่ที่มีการทำงานตลอดทั้งปี แต่ละแบตเตอรี่จะมีน้ำหนักมากขนาดใหญ่และราคาสูงมากโดยที่ทั้งชนิดอิเล็กโทรไลท์เป็นของเหลว (OPzS) และชนิด (OPzV) ความแตกต่างจากแบตเตอรี่ชนิดอื่นที่การออกแบอิเล็กโทรดด้านขั้วบวก (Positive Electrode) เป็นแบบหลอดดังแสดงในรูปที่ 2.45 ซึ่งแข็งแรงทนทาน ทำให้มีอายุการใช้งานยาวนาน จะพบว่าที่การคายประจุ 50% จะมีอายุการใช้งานถึง 4500 รอบ ซึ่งสูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นทุกชนิด



รูปที่ 2.44 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิด Stationary tubular plate
ที่มา : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

แบตเตอรี่ชนิดบล็อก (OGi block) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีอิเล็กโทรดด้านขั้วบวกจะเป็นแผ่นแบนซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างแผ่นกริด และแผ่นที่มีลักษณะเป็นท่อ (tubular plate) ดังแสดงในรูปที่ 2.46เป็นส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดบล็อก ซึ่งสามารถอัดประจุได้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำได้และมีประสิทธิภาพการอัดประจุสูงประมาณ 98 ถึง 98% และต้องการการบำรุงรักษาน้อยเพียง 2-3 ปีต่อครั้ง แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีอายุการใช้งานยาวนาน จะพบว่าที่การคายประจุ 30% มีอายุการใช้งานถึง 3500 รอบซึ่งสูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นยกเว้น แบบStationary tubular plate



รูปที่ 2.45 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดบล็อก
ที่มา : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

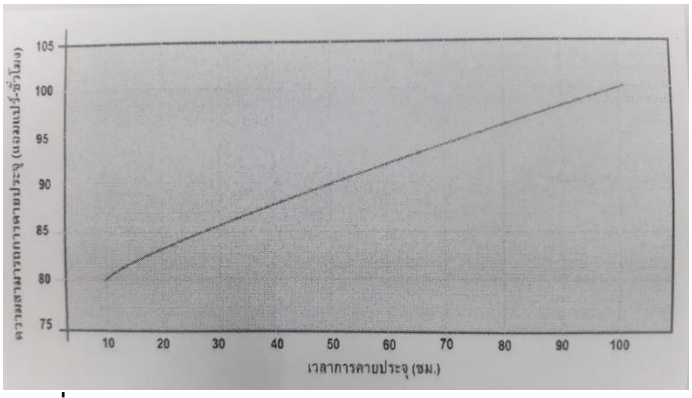
2.5.7 พฤติกรรมและลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

การใช้งานหรือเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดอย่างถูกต้องและเหมาะสมนั้นจำเป็นต้องเข้าใจพฤติกรรมและลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดนี้ก่อน โดยมีประเดนหลักๆ ที่ควรพิจารณาทั้งหมด 6 ประเด็นได้แก่ 1) ความจุของแบตเตอรี่ 2) กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 3) แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 4) การคายและการอัดประจุ 5) สภาวะการอัดประจุ 6) ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2.5.7.1 ความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity) คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกไปหรือคายประจุได้จนกระทั่งหยุดจ่ายพลังงานหรือหยุดคายประจุ โดยความจุปกติของแบตเตอรี่ (Nominal Capacity, C_n) มีค่าเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ขณะคายประจุ (I_n) คูณด้วย เวลาทั้งหมดในการคายประจุจนหมด (t_n) ดังสมการที่ 2.22

$$C_n = I_n \times t_n \qquad 2.22$$

ค่าความจุของแบตเตอรี่จะไม่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุจนหมดและกระแสไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุ ทั้งนี้หากกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าต่ำจะทำให้กรดซัลฟิวริกค่อยๆ แตกตัวและไปจับกับแผ่นธาตุเกิดการสะสมเป็นชั้นตะกั่วซัลเฟตอย่างช้าๆ ซึ่งช่วยให้การแทรกซึมของกรดซัลฟิวริกทำได้ลึกกว่า แต่ในทางกลับกันหากกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าสูงจะทำให้เกิดการสะสมเป็นชั้นตะกั่วซัลเฟตอย่างรวดเร็ว และทำให้การแทรกซึมของกรดซัลฟิวริกทำได้ไม่ลึกพอดังนั้นในกรณีที่ต้องการกำลังไฟฟ้าของการคายประจุมากจึงต้องพยายามให้กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าต่ำและใช้เวลานานขึ้น ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตแบตเตอรี่จึงกำหนดค่าพิกัดความจุของแบตเตอรี่ภายใต้สภาวะใดสภาวะหนึ่ง เช่น ค่าความจุแบตเตอรี่ที่กระแสคายประจุค่าหนึ่งหรือที่เวลาในการคายประจุค่าความสามารถในการคายประจุของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.46 ความสามารถในการคายประจุกับเวลาในการคายประจุ
ที่มา : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

2.5.7.2 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ จากหลักการเดียวกันกับความจุของกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ค่ากระแสไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการอัดหรือคายประจุ โดยค่ากระแสไฟฟ้าทั่วไปขิงกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังต่อไปนี้

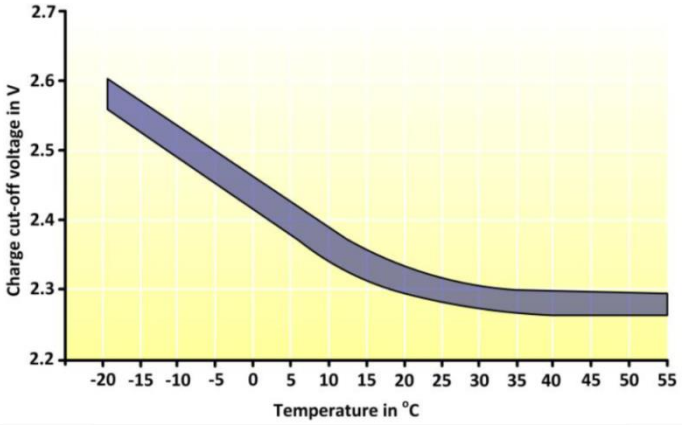
- กระแสไฟฟ้าสูงสุดขณะอัดประจุ (Maximum Charge Current) $I_{20} = C_{20}/20h$
- กระแสไฟฟ้าปานกลางขณะอัดประจุ (Medium Charge Current) $I_{50} = C_{50}/50h$
- กระแสไฟฟ้าปานกลางขณะคายประจุ (Medium Charge Current) $I_{120} = C_{120}/120h$

2.5.7.3 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ค่าแรงดันไฟฟ้าทั่วไปของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด คือ ประมาณ 2 โวลต์ เซลล์ส่วนใหญ่จะมีทั้งหมด 6 เซลล์ โดยที่ต่อกันแบบอนุกรมอยู่ภายในกล่อง และแรงดันรวมประมาณ 16 โวลต์ ต่อแบตเตอรี่หนึ่งตัว ซึ่งค่าแรงดันที่แท้จริงจะเปลี่ยนแปลงเสมอขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงาน และเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่จำเป็นต้องจำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าใน 2 สภาวะต่อไปนี้ คือ จำกัดค่าแรงดันสูงสุดในสภาวะการอัดประจุ

และจำกัดค่าแรงดันต่ำสุดในสภาวะการคายประจุนอกจากนี้ยังจำกัดค่าแรงดันเพื่อป้องกันการเกิดก๊าซในสภาวะการอัดประจุอีกด้วย

ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าหรือแรงดันวงจรเปิดของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดจะไม่สามารถวัดได้ทันที ภายหลังจากการอัดประจุหรือคายประจุ เนื่องจากกระบวนการทางเคมีและความร้อนยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งค่าแรงดันวงจรเปิดนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะการอัดประจุและชนิดของแบตเตอรี่โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.96-2.12 โวลต์ต่อเซลล์หรือแบตเตอรี่ตัวหนึ่งมีค่า 12-12.7 โวลต์

2.5.7.4 การอัดและการคายประจุ (Charging and Discharging) กระบวรการอัดประจุ ค่าแรงดันไฟฟ้าจองแบตเตอรี่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่งที่จะเริ่มเกิดก๊าซ (Gassing voltage) นั่นคือ น้ำถูกแยกตัวออกเป็นออกซิเจนและไฮโดรเจน เรียกว่า oxy-hydrogen gas ซึ่งสามารถจุดติดไฟและระเบิดได้ง่าย ดังนั้นผู้ผลิตเครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่จึงควรจำกัดแรงดันไฟฟ้าตอนอัดประจุไม่เกิดค่าๆหนึ่ง เป็นแรงดันออกเมื่ออัดประจุหรือ charge cut-off voltage นอกจากนี้เนื่องจากค่าแรงดันที่เริ่มเกิดก๊าซขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ดังนั้นเครื่องคุมการประจุแบตเตอรี่ควรต้องการมีวัดอุณหภูมิเพื่อนำมาคำนวณหาค่า charge cut-off voltage อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 2.47

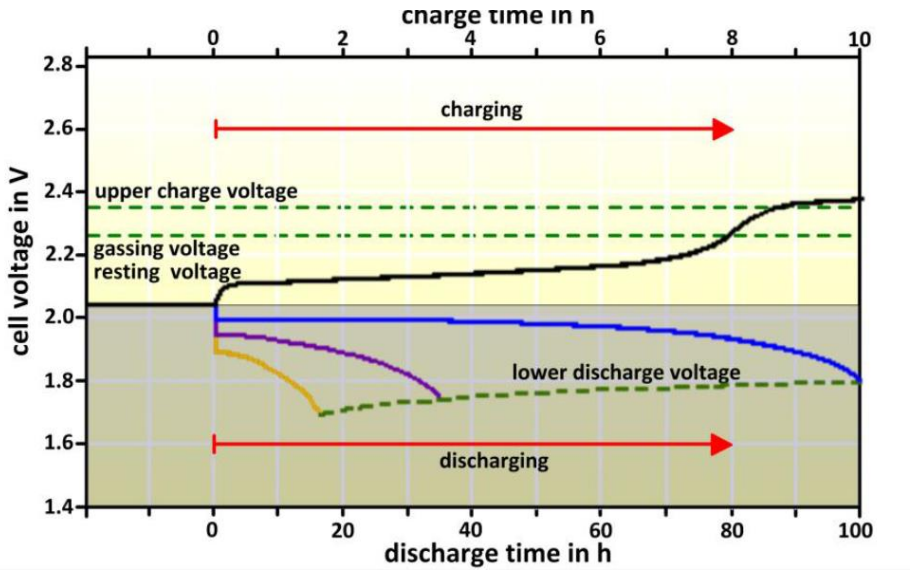


รูปที่ 2.47 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ charge cut-off voltage
ที่มา : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

แบตเตอรี่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานครบรอบ หรือไซเคิลในหนึ่งวัน คือ ช่วงการวันเป็นการอัดประจุและกลางคืนเป็นการคายประจุ โดยอาจคายประจุอยู่ระหว่าง 2 ถึง 20% ของความจุแบตเตอรี่ การทำงานของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับฤดูกาล เช่น ในฤดูหนาวหรือฤดูฝนแสงแดดมีน้อยทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานได้น้อยจึงไม่เพียงพอสำหรับกระอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่ให้เต็ม ส่งผลให้แบตเตอรี่ทำงานที่สภาวะการอัดประจุ (State of Charge, SOC) ที่ต่ำมากอาจจะประมาณ 20% ของความจุแบตเตอรี่ ขณะในช่วงฤดูร้อน แสงแดดมีมาก แผงเซลล์ผลิตพลังงานได้มากเพียงพอสำหรับอัดประจุ ให้แก่แบตเตอรี่จนเต็มหรือเกือบเต็ม ซึ่งอาจส่งผลให้

แบตเตอรี่ทำงานที่สภาวะการอัดประจุที่สูงคือ อาจถึง 80 หรือ 100% ของค่าความจุของแบตเตอรี่ได้ แต่อาจทำให้เกิดปัญหาการอัดประจุเกินพิกัด ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ จึงเป็นต้องมีการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแบตเตอรี่ ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดไว้ที่ 2.4 โวลต์ต่อเซลล์ โดยเครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่บางรุ่น อาจกำหนดค่าแรงดันสูงกว่านี้ในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อเหตุผลจำเป็นบางประการ เช่น เพื่อการอัดประจุแบบ Equalization หรือการอัดประจุแบบรวดเร็ว เป็นต้น

กระบวนการคายประจุ เมื่อเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าจะตกลงอย่างทันทีเนื่องจากแรงดันส่วนหนึ่งตกคร่อมบนตัวต้านทานภายในของแบตเตอรี่ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร จากนั้นแรงดันไฟฟ้าจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องและจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใกล้สิ้นสุดกระบวนการหรือจนถึงค่าแรงดันปลดออก เมื่อคายประจุกหรือ discharge cut-voltage หากปล่อยให้แรงดันไฟฟ้าลดลงต่อไปจนกระทั่งต่ำกว่าค่า discharge cut-voltage จะทำให้ความเข้มของกรดจะมีค่าสูงมากจนเกิดเป็นผลึกซัลเฟต หรือ เรียกว่าเฟชัน ซึ่งควรหลีกเลี่ยงไม่เกิดสภาวะนี้



รูปที่ 2.48 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ในช่วงเวลาเกิดกระบวนการอัดละคายประจุ
ที่มา : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

ในรูปที่ 2.48 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ในช่วงเวลาเกิดกระบวนการอัดและคายประจุ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในกระบวนการอัดและคายประจุรวมทั้ง Discharge cut-voltage หรือ (Upper Charge Voltage), Ddischarge cut-out Voltage (หรือ Lower discharge voltage) และ gassing voltage

สภาวะการอัดประจุ (State of Charge, SOC) การทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่มีแบตเตอรี่จำเป็นต้องทราบจำนวนเวลาที่ระบบยังสามารถจ่ายไฟให้แก่ภาระทางไฟฟ้าได้ในช่วงเวลาที่ไม่มีแดดเพื่อประมาณการหรือเตรียมมาตรการรอบรับหรือป้องกันการขาด

แคลนไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบเวลาว่าปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่มากน้อยเพียงใด ซึ่งโดยทั่วไปมี 2 วิธีที่จะทำให้ทราบปริมาณที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ (State of charge)

วิธีที่ 1 สำหรับ unsealed แบตเตอรี่ หรือแบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลท์เป็นของเหลวสามารถทราบได้จากค่าความหนาแน่นของกรด (Acid density) ซึ่งวัดโดยไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) โดยแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะมีค่าต่างกัน

วิธีที่ 2 สำหรับ Sealed แบตเตอรี่ หรือแบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลท์ที่เป็นเจล ซึ่งไม่สามารถวัดค่าความหนาแน่นของเกรด (Acid density) ได้จึงต้องวัดระดับแรงดันไฟฟ้าแทน อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องทราบระดับแรงดันวงจรเปิดขณะเริ่มต้น (Resting voltage) ก่อนทุกครั้งเพื่อใช้อ้างอิงเป็นค่าเริ่มต้นที่สภาวะการประจุเป็น 0% และต้องปล่อยแบตเตอรี่ไว้โดยไม่ต้องต่อวงจรไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนทำการวัดแรงดัน

2.5.7.6 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ (Ageing Effect) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด มีจุดบกพร่องเนื่องจากอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น โดยที่การใช้งานระหว่าง 100 ถึง 800 จะมีอายุการใช้งานประมาณ 3 ถึง 8 ปี แต่ในขณะที่แบตเตอรี่แบบ Stationary จะมีอายุการใช้งานประมาณ 10 ถึง 15 ปี สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเสมอแม้ว่าจะไม่มีการคายประจุใดๆ จากแบตเตอรี่ กระบวนการทางเคมีก็ยังคงเกิดขึ้นและเป็นให้เกิดการคายประจุภายในตัวแบตเตอรี่เอง ทั้งนี้ไม่ควรเกิดการคายประจุเกิน 30% ต่อเดือน จากกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ประกอบด้วยการแบ่งชั้นของกรด (Acid stratification) การเกิดซัลเฟชัน (Sulfation) การกัดกร่อน (Corrosion) การเกิดเป็นตะกอน (Sludging) และการสูญเสียน้ำ (Drying out)

- การแบ่งชั้นของกรด หรือ (Acid stratification) เป็นปฏิกิริยาสามารถย้อนกลับ เนื่องจากการที่ กรดมีองค์ประกอบเป็นโลหะหนัก ซึ่งความหนาแน่นของกรดบริเวณด้านล่างของแบตเตอรี่จึงมากกว่าด้านบน ที่ให้เกิดค่าต่างศักย์ระยะกรดชั้นบนและชั้นล่าง เป็นเหตุให้เกิดการคายประจุบางส่วนอยู่ภายในตัวกล่องแบตเตอรี่ กระบวนการนี้เรียกว่า Acid stratification ในกรณีที่ทำให้เกิดก๊าช ทั้งนี้ในแต่ละช่วงเวลาของการบำรุงรักษาจึงควรช่วยให้เกิดการผสมของกรดชั้นบนและชั้นล่าง และช่วยการคายประจุภายในแบตเตอรี่

- การเกิดซัลเฟชัน Sulfationเป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ ในกรณีที่แบตเตอรี่ไม่ได้รับการอัดประจุอย่างเพียงพอหลังจากที่คายประจุแล้ว จะทำให้เกิดผลึกของตะกั่วซัลเฟตตกตะกอนอสะสมอยู่ด้านล่าง ซึ่งไม่สามารถละลายกลับเข้าในสารอิเล็กโทรไลท์ได้อีก และการสูญเสียซัลเฟตนี้ทำให้ความสามารถในการอัดประจุครั้งต่อไปลดลง กระบวนการนี้เรียกว่า Sulfation

- การกัดกร่อน Corrosion เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ โดยที่กระบวนการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นกับแผ่นธาตุกริดที่ขั้วบวกแบตเตอรี่ เมื่อแรงดันที่ขั้วบวกสูงเกินกว่าปกติจะทำให้ความต้านทานของแผ่นกริดเพิ่มขึ้น จนในที่สุดการกัดกร่อนเป็นบริเวณกว้างจะทำให้เกิดการลัดวงจรภายในระหว่างขั้วบวกกับอิเล็กโทรด

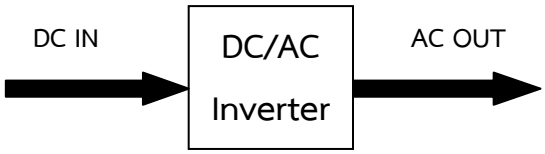
■ การเกิดเป็นตะกอน หรือ Sludgign เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ โดยที่ปริมาตรขององค์ประกอบทางเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการอัดและการคายประจุจะทำให้องค์ประกอบบางส่วนหายไปหากเกิดก๊าซขึ้นจะทำให้เกิดการ

สะสมเป็นตะกอนของตะกั่ว หรือตะกั่วซัลเฟตที่ด้านล่างแบตเตอรี่และเมื่อสะสมจนสูงมากพอจะทำให้เกิดการลัดวงจรภายใน

2.6 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

2.6.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

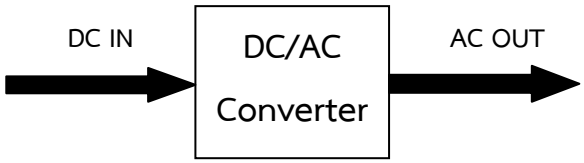
อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยไฟฟ้ากระแสตรงที่จะนำมาทำการเปลี่ยนนั้นมาจาก แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงหรือแผงโซล่าเซลล์ได้ ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้มานั้นจะเหมือนกับไฟฟ้า ตามผนังบ้านทุกอย่าง โดย Inverter ทำอุปกรณ์ต่างๆ เช่น มอเตอร์ พัดลม หรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับสามารถใช้ได้กับกระแสตรง



รูปที่ 2.49 Inverter

ที่มา : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/

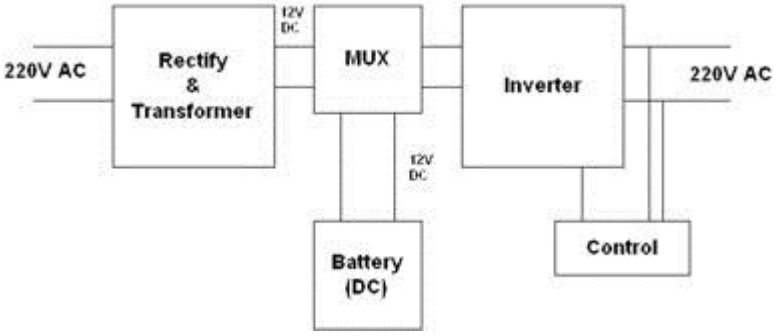
Convreter เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยไฟฟ้ากระแสสลับที่จะนำมาทำการเปลี่ยนนั้น มาจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับทั่วไป



รูปที่ 2.50 Converter

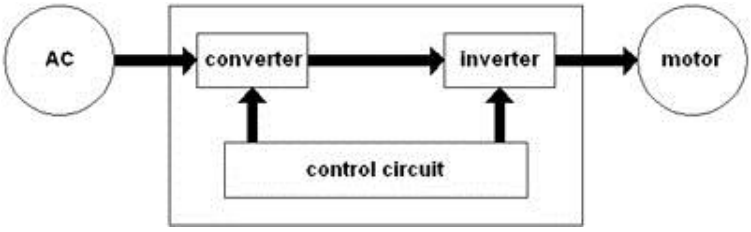
ที่มา : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/

เนื่องจากปัจจุบันกระแสไฟฟ้าที่ใช้อยู่ไม่มีความแน่นอน และในอุปกรณ์ที่ใช้ในธุรกิจที่สำคัญๆ จึงต้องการการป้องกันจาก ความผิดปกติของกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่องานนั้นๆ ได้ US (Uninterruptible Powre Supply) จึงเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้อย่างเช่น ไฟเกิน, ไฟตก,ไฟดับคลื่นรบกวนโดยจะทำงานร่วมกับแบตเตอรี่ที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าสำรองทันที ที่ไฟฟ้าเกิดดับซึ่งแบตเตอรี่นี้จะจ่ายไฟฟ้าที่เพียงพอที่จะทำให้มีเวลาในการรักษาข้อมูลและรักษาระบบโดยมีหลักการทำงานดังรูป



รูปที่ 2.51 UPS
ที่มา : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/

จากรูป 2.51 กระแสไฟฟ้า 220 V AC จะจ่ายเข้าไปยังส่วน Rectify และ transformer ในส่วนนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงจาก ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง แล้วลดระดับแรงดันไฟฟ้ามาให้เท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ โดยจะมี Multiplexer ซึ่ง ที่สภาวะปกติ MUX ตัวนี้จะสวิทช์ให้ไฟจาก Rectify ผ่านออกไปยัง อินเวอร์เตอร์ แต่ถ้ากระแสไฟฟ้าดับ MUX จะทำ การสวิทช์มาใช้ไฟจากแบตเตอรี่โดยทันที ต่อจากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจะเข้าสู่อินเวอร์เตอร์โดยอินเวอร์เตอร์ก็จะเปลี่ยน ไฟกระแสตรงนั้นให้เป็นไฟกระแสสลับซึ่งปรับความถี่ได้โดยไฟกระแสสลับที่ออกมาจากอินเวอร์เตอร์ก็จะป้อนสู่เครื่อง ไฟฟ้าทั่วไปโดยที่ไฟกระแสสลับที่ได้ออกมาจะถูกนำไปป้อนกลับมาทำการเปรียบเทียบกับความถี่อ้างอิงค่าหนึ่งแล้วนำ ผลจากการเปรียบเทียบไปควบคุมการกำเนิดความถี่ของอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่คงที่และถูกต้อง ตามที่เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับต้องการ

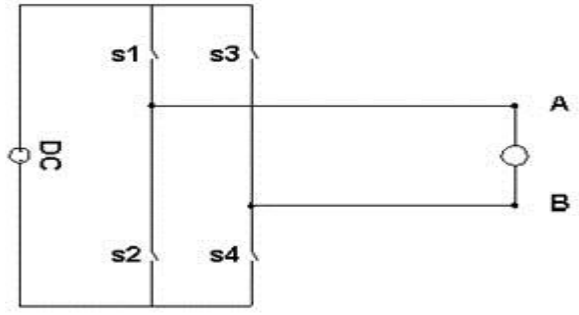


รูปที่ 2.52 หลักการทำงานของ Inverter
ที่มา : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงาน โดยนำพลังงานที่ได้นี้ไปทำ การขับเคลื่อนเครื่องจักร อื่นๆ ต่อไปความเร็วของมอเตอร์ สามารถกำหนดได้โดยแรงบิดของโหลด, จำนวนขั้วมอเตอร์, ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์, แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์, ความเร็วของมอเตอร์สามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

ความเร็วรอบ N = {[120 * ความถี่ f (Hz)] / จำนวนขั้ว P} * (1-S)

โดยเทอม 1-S กำหนดโดยโหลด จากสูตรข้างต้นจะพบว่า ถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ เปลี่ยนแปลงไปก็มีผลทำให้มอเตอร์ มีความเร็วเปลี่ยนแปลงได้ด้วย แต่เมื่อทำการเปลี่ยนความถี่ โดยให้แรงดันคงที่ จะมีผลทำให้เกิดฟลักซ์ แม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัว ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์ร้อนจนเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องทำการเปลี่ยน แรงดันควบคู่ไปกับความถี่ด้วย และการที่จะเปลี่ยนแปลง ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ สามารถทำได้โดย การใช้อินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีหลักในการทำงานดังรูป

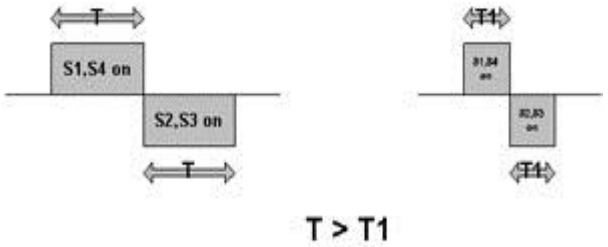


รูปที่ 2.53 แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ
ที่มา : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/

จากรูปข้างต้น แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ไปยังคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้า กระแสสลับให้เป็น ไฟฟ้ากระแสตรง แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรง ที่ได้ต่อเป็นอินพุตเข้าไป ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแส ตรงนี้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเลือกความถี่ได้ เพื่อไปควบคุมมอเตอร์ ให้มีความเร็วตามต้องการได้หลักการทำงานของส่วนอินเวอร์เตอร์ และคอนเวอร์เตอร์ มีรายละเอียดดังนี้

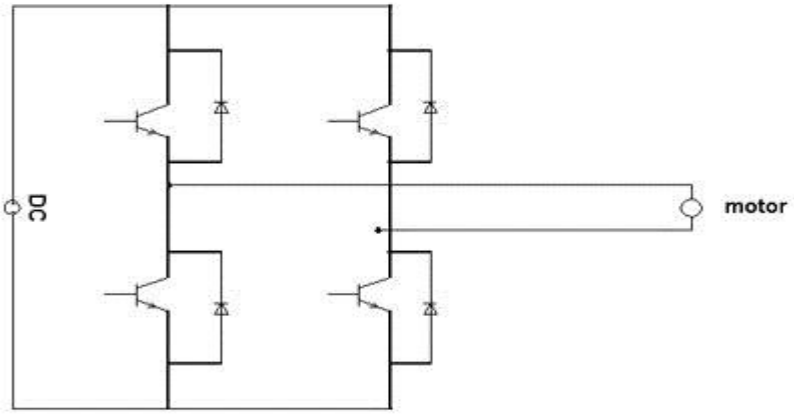
2.6.2 ส่วนอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนไฟฟ้า กระแสตรงเป็นกระแสสลับ โดยจะนำไฟฟ้ากระแสตรงต่อ เข้ากับสวิตช์ 4 ตัว และทำการเปิด-ปิด สวิตช์ทั้ง 4 เป็นจังหวะทำให้ เกิดไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูป 2.55



รูปที่ 2.54 สวิตช์ 4 ตัว และทำการเปิด-ปิด สวิตช์ทั้ง 4
ที่มา : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/

จากรูปที่ 2.54 เมื่อปิดสวิตช์ S1 และ S4 ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางจากจุด A ไปยังจุด B เมื่อปิดสวิตช์ S2 และ S3 ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางจากจุด B ไปยังจุด A ดังนั้นถ้าเปิด-ปิดสวิตช์ S1 และ S4 สลับกับสวิตช์ S2 และ S3 จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นนั่นเอง โดยถ้ามีการควบคุมเวลา ในการเปิด-ปิดสวิตช์ ที่ต่างกัน ก็จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่แตกต่างกันไป



รูปที่ 2.55 ความเป็นจริงแล้วอินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตช์
ที่มา : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/

ในความเป็นจริงแล้ว อินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตช์ เนื่องจากทรานซิสเตอร์สามารถ เปิด-ปิดได้ในความถี่ที่สูงกว่าสวิตช์ ดังรูป 2.56

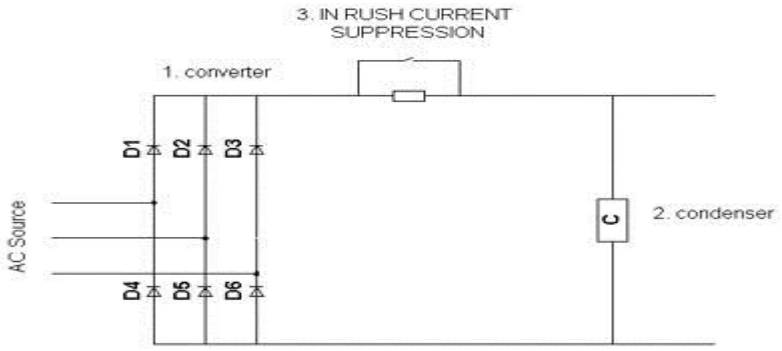
2.6.3 ส่วนคอนเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบไปด้วย

1. ส่วนของคอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยกลุ่มของไดโอด

2. ส่วนของคอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่กรองกระแส (ลด ripple) โดยใช้ตัวเก็บประจุ

3. วงจรจำกัดกระแสอินรัช (IN RUSH CURRENT SUPPRESSION) ทำหน้าที่จำกัดกระแส ขณะที่มีการเปิดสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์เป็นครั้งแรก ดังรูป 2.56



รูปที่ 2.56 การเปิดสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์

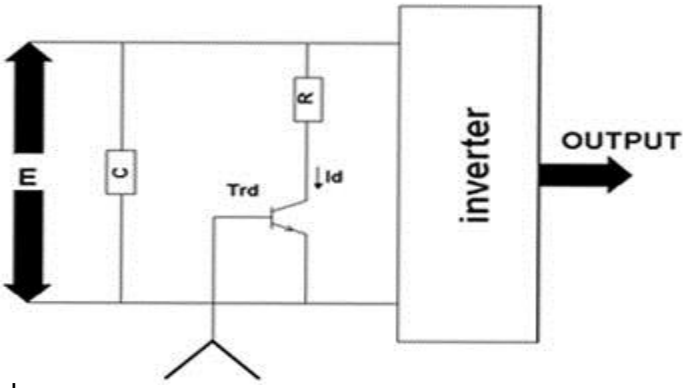
ที่มา : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/

2.6.4 การควบคุมอเตอร์

1. การสตาร์ท ทำได้โดยให้สัญญาณตั้งความถี่แก่อินเวอร์เตอร์ด้วยความถี่สตาร์ท มอเตอร์ก็จะผลิตแรงบิด จากนั้นอินเวอร์เตอร์จะค่อย ๆ เพิ่มความถี่ขึ้นไป จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์สูงกว่าแรงบิดของ โหลด มอเตอร์จึงเริ่มหมุน

2. การเร่งความเร็วและการเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่ หลังจากสตาร์ทอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์แล้ว ความถี่ขา ออกจะค่อยๆ เพิ่มขึ้น จนถึงความถี่ที่ต้องการ ช่วงเวลาในการเพิ่มความถี่นี้คือเวลาการเร่งความเร็ว และเมื่อความ ถี่ขาออกเท่ากับความถี่ที่ต้องการ การเร่งความเร็วก็จบ อินเวอร์เตอร์จะเข้าสู่การทำงานในช่วงเวลาการเดินเครื่อง ด้วยความเร็วคงที่

3. การลดความเร็ว ทำได้โดยตั้งความถี่ให้ต่ำกว่าความถี่ขาออก อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงมาเรื่อย ๆ ตามช่วง เวลาการลดความเร็วที่ได้ตั้งไว้ ในขณะลดความถี่ ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่ามากกว่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ มอเตอร์จะทำงาน เหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผลิตไฟจ่ายกลับไปให้อินเวอร์เตอร์ (Regeneration) ทำให้แรงดันไฟตรง (แรงดัน คร่อมคอนเดนเซอร์) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นภายในอินเวอร์เตอร์จะมีวงจรที่ทำหน้าที่รับพลังงานที่เกิดจากการ regeneration ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเบรคมอเตอร์ วงจรนี้เรียกว่า วงจรเบรคคืนพลังงาน ดังรูป 2.57



รูปที่ 2.57 วงจรเบรกคืนพลังงาน
ที่มา : https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/

พลังงานที่เกิดจากการ regeneration จะป้อนกลับมาชาร์จประจุที่คอนเดนเซอร์ C ทำให้แรงดัน E มีค่าสูงขึ้น ถ้าแรงดันสูงกว่าค่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ T ในวงจรเบรคจะทำงาน ทำให้มีกระแส I ไหล ผ่านตัวต้านทานเบรค R ทำให้ตัวต้านทานร้อน เป็นการเผาผลาญพลังงานที่เกิดจากการ regeneration และพลังงานที่เก็บสะสมใน คอนเดนเซอร์ C ก็จะถูกคายออกมาด้วย ทำให้แรงดัน E มีค่าลดลง เมื่อลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ T จะหยุดทำงาน กระแสเบรคก็จะหยุดไหล

ในช่วงการลดความเร็วจะทำงานในลักษณะนี้หลาย ๆ ครั้ง ถ้าพลังงานมีค่าน้อย (แรงบิดที่จำเป็นสำหรับการลด ความเร็วมีขนาดเล็ก) อัตราการใช้งานวงจรเบรคก็จะต่ำ บางครั้งอาจจะไม่ทำงานเลยก็มี

อัตราการใช้งานวงจรเบรคนี้ ได้รับการออกแบบโดยการพิจารณาในแง่ของการระบายความร้อนไว้ที่ 2-3 % เท่านั้น ถ้ามีการใช้เบรคบ่อย หรือใช้เบรคนานเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาการระบายความร้อนของตัวต้านทาน และอาจ ทำให้ทรานซิสเตอร์เสื่อมได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาธิต สังข์ทอง และสิทธิชัย ดาวเรือง (2556) ศึกษาการสร้างโคมไฟสนามพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ระบบโซล่าเซลล์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับโคมไฟในสนาม โดยใช้โปรแกรม Homer เป็นตัววิเคราะห์ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์จริง เพื่อหาทิศทางและองศาของแผงโซล่าเซลล์ และความจุของแบตเตอร์รี่ จากผลการศึกษาพบว่าผลดารทดสอบในห้องปฏิบัติการประสิทธิภาพพิกัดสูงสุดของอินเวอร์เตอร์ 79 % และการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 0.63 % ผลการทดสอบการใช้งานจริง ประสิทธิภาพสูงสุดของอินเวอร์เตอร์ 78 % และการคุมค่าแรงดันสูงสุด 1.68 % เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์เท่ากับ 45 วัตต์ และค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดด้านนอกเท่ากับ 30 วัตต์ มาคำนวณหาประสิทธิ์ภาพ ทำให้ทราบประสิทธิภาพสูงสุด 60 % แบะในตอนกล่าคืนโคมไฟสนามสามารถทำงานได้ไม่ต่ำกว่า 5 ชั่วโมง

สุชาติ เขียวนอก (2556) ศึกษาชุดโคมไฟส่องสว่างถนนหลอด LED พลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการทดสอบระยะเวลาในการชาร์จเข้าแบตเตอร์รี่ในแต่ละวัน ซึ่งพบว่าในสภาวะท้องฟ้ามีเมฆบดบังจะได้ค่าเฉลี่ยรวม 6 ชั่วโมง 12 นาที และในสภาวะไม่มีเมฆบดบังได้ค่าเฉลี่ยรวม 4 ชั่วโมง 43 วินาที ทดสอบระยะเวลาในการทำงานของหลอดLED ในช่วงเวลากลางวัน มีเวลาเฉลี่ย 6 ชั่วโมง 9 นาทีมีค่าความส่องสว่างที่ 120 ลักซ์ ที่ระยะสูง 3 เมตร

บรรจบ สุขประภาภรณ์ (2551) ได้ทำการวิจัย พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และออกแบบระบบโซล่าเซลล์การใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยการใช้แผงโซล่าเซลล์ หากมีการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหลัก จะมีข้อจำกัดทางด้านพลังงานที่ได้รับอาจไม่คงที่ หรือมีความเสถียรต่ำ การรับแสงอาทิตย์จะไม่คงที่แน่นอน ในวันที่มีฝนตก เมฆหมอกมาก ซึ่งทำให้ได้พลังไฟฟ้าน้อยกว่าปกติ นอกจากนี้การรับแสงอาทิตย์ก็รับได้เพียงตอนกลางวันเท่านั้น หากต้องการความเสถียรของระบบก็จะต้องต่อเชื่อมกับระบบอื่นๆ เป็นระบบไฮบริดจ์ (Hydride System) โดยใช้เป็นผลิตพลังรวมกับระบบอื่นๆ เช่นพลังงานน้ำ พลังงานลม เป็นต้น ในส่วนต้นทุนการผลิตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ถึงแม้ว่าพลังงานที่ได้รับจะเป็นพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ แต่ก็มีปัจจัยที่มาเกี่ยวข้อง ได้แก่ การลงทุนด้าน อุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีราคาแพง ถึงกว่าวัตต์ละ 150 บาท อุปกรณ์การติดตั้งต่างๆ รวมทั้งอุปกรณ์ควบคุม ระบบการทำงานชาร์จคอนโทรล และอินเวอร์เตอร์ต่างๆ นอกจากนี้อุปกรณ์ที่สำคัญได้แก่ แบตเตอรี่ ซึ่งอุปกรณ์ทุกๆชนิดดังที่กล่าวแล้ว ล้วนมีอายุการใช้งาน ที่ต้องมีการซ่อมบำรุงรักษาทั้งสิ้น จึงเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องนำมาคำนวณเป็นต้นทุนของงระบบ

ประสพ โห้ทองคำ และสุดาพร อร่ามรุณ (2552) ทำการวิจัยเรื่อง เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการนำแสงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีขนาดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 12 Vdc ส่งผ่านไปยังวงจร Boost Converter เพื่อทำให้ค่าเท่ากับ 24 Vdc จากนั้นส่งผ่านไปยังแบตเตอรี่เพื่อนนำไปอัดประจุ จะเหลือแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมแบตเตอรี่ค่าประมาณ 12.6 Vdc – 3.3 Vdc เพื่อส่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้ไปเป็น Input ให้กับโหลดชนิดต่างๆ ซึ่งระยะเวลาและความยาวนานที่โหลดใช้พลังงานจากแบตเตอรี่นั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ

พุทธพร เศวตสกุลานนท์ และจักราวุธ เดชวิเศษ (2550) ทำวิจัยเรื่อง โคมไฟถนนอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์โคมไฟอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบสร้างจะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงโซล่าเซลล์ขึ้นอู่กับค่าความเข้มแสง ดังนั้น ขนาดของแผงโซล่าเซลล์จะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับพิกัดโคมไฟถนนซึ่งโคมไฟถนนที่ออกแบบสร้างโดยใช้หลอด LED จะมีความเหมาะสมที่จะพัฒนาใช้แทนโคมไฟถนนที่ใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากไม่เกิดความร้อนเมื่อเปิดใช้เป็นเวลานานๆ ทำให้มีอายุใช้งานที่ยาวนานกว่ารวมทั้ง สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าของประเทศได้และสามารถนำไปติดตั้งใช้งานในบริเวณที่ไม่มีไฟฟ้าถึง สำหรับการพัฒนางานวิจัยชิ้นนี้จะพัฒนาในส่วนของระบบควบคุมความสว่างของโคมไฟถนน