

บทที่ 2

ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ สามารถติดตั้งใช้งานได้ในทุกสถานที่ทั้งในพื้นที่ชนบทห่างไกลและพื้นที่ที่มีและไม่มีกรปักเสาพาดสายบริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งมีรูปแบบ หลักการสำคัญในการทำงาน และเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในระบบฯ สามารถสรุปในเบื้องต้นได้ คือ

- รูปแบบของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไป และตามโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคถ่ายโอนให้องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น สามารถแบ่งการใช้งานโดยรวมได้เป็น 3 ระบบด้วยกัน คือ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกอิสระ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งไฟฟ้า และระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน

- หลักการสำคัญในการทำงาน สำหรับการทำงานของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบจะมีหลักการสำคัญในการทำงานที่แตกต่างกันออกไป โดยจะมีทั้งที่ผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียว และร่วมกับพลังงานทดแทนอื่นๆ

- สำหรับเทคโนโลยีที่นำมาใช้งานในระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 3 ระบบ ประกอบด้วย เซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ ชนิดและลักษณะของแบตเตอรี่ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และระบบอินเวอร์เตอร์ เป็นต้น

ทั้งนี้ รายละเอียดและสาระสำคัญของรูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ หลักการสำคัญในการทำงาน และเทคโนโลยีต่างๆ ของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แต่ละรูปแบบ มีดังนี้

2.1 รูปแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

รูปแบบของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ สามารถแบ่งลักษณะการใช้งานโดยรวมได้ 3 ระบบ ได้แก่

- 1) **ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกอิสระ (Stand Alone PV System)** เป็นระบบที่ผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานแสงอาทิตย์แหล่งเดียว และใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีการปักเสาพาดสายบริการของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเข้าไปถึง
- 2) **ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งไฟฟ้า (Grid Connected PV System)** เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้า การใช้งานจะอยู่ในบริเวณที่มีการปักเสาพาดสายของการไฟฟ้าเข้าไปถึงเท่านั้น
- 3) **ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน (Hybrid Renewable Energy Electrification System)** เป็นระบบที่พัฒนาจากระบบที่ 1 หรือ 2 โดยการผสมผสานแหล่งพลังงานทดแทนหลายๆ แหล่ง เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ หรือเครื่องยนต์ผลิตไฟฟ้าที่อาจใช้เชื้อเพลิงจากชีวมวลหรือน้ำมันดีเซล มีการผสมผสานแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพในแต่ละช่วงเวลา กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้อาจใช้งานในพื้นที่ที่ไม่มีการปักเสาพาดสายของการไฟฟ้าเข้าไปถึง หรือใช้งานเชื่อมต่อกับระบบสายส่ง

หลักการทำงานสำคัญๆ ของระบบดังกล่าว มีดังนี้

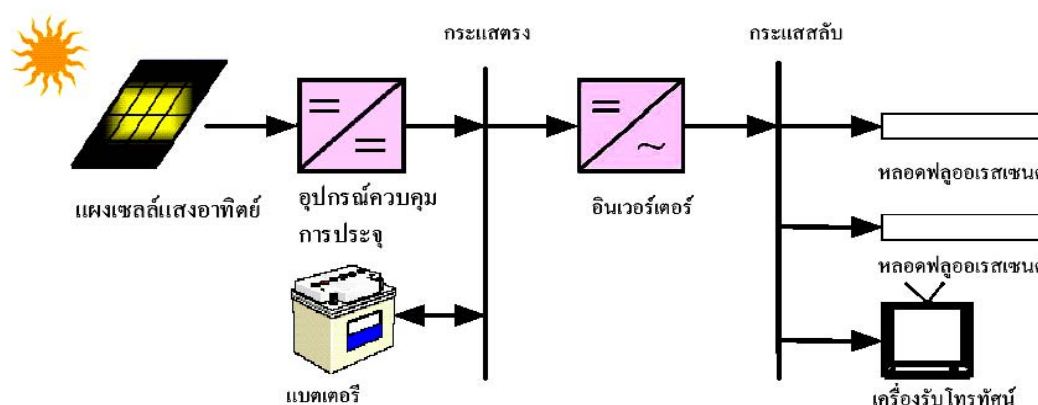
2.1.1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกอิสระ (Stand Alone PV System)

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกอิสระนี้ จัดเป็นระบบที่ใช้งานอยู่ในพื้นที่ห่างไกลนอกเขตระบบสายส่ง เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานหลัก ในประเทศไทยมีการนำมาใช้งาน 2 รูปแบบ คือ

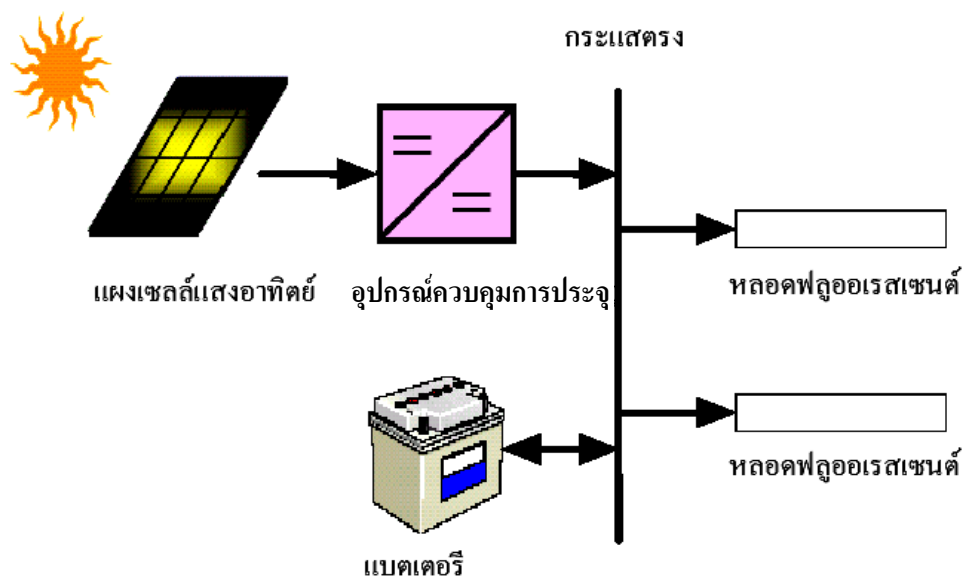
1) ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือน (Solar Home System : SHS)

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดนี้ เป็นระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือน ประกอบด้วยแผงเซลล์ 1-2 แผง แบตเตอรี่ และอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ชีตความสามารถในการจ่ายไฟของระบบมีค่อนข้างจำกัด เนื่องจากมีต้นทุนสูง

ดังนั้นภาระไฟฟ้าจึงมีเพียงแสงสว่าง และวิทยุ / โทรทัศน์ เท่านั้น คิดเป็นประมาณ 200 วัตต์ชั่วโมง ต่อวันต่อครัวเรือน ดังนั้นรูปแบบของการจ่ายไฟแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ โดยระบบ SHS แบบที่ 1 สามารถจ่ายไฟให้ภาระไฟฟ้าแสงสว่างและวิทยุ/โทรทัศน์ โดยใช้ระบบไฟฟ้าภายในบ้านเป็นแบบ กระแสสลับ (AC) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2-1 ส่วนระบบ SHS แบบที่ 2 สามารถจ่ายไฟ ให้ภาระไฟฟ้าที่มีเพียงแสงสว่างเท่านั้น โดยใช้ระบบไฟฟ้าภายในบ้านเป็นแบบกระแสตรง (DC) ซึ่ง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2-2



รูปที่ 2-1 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือน (SHS) แบบ กระแสสลับ (AC)



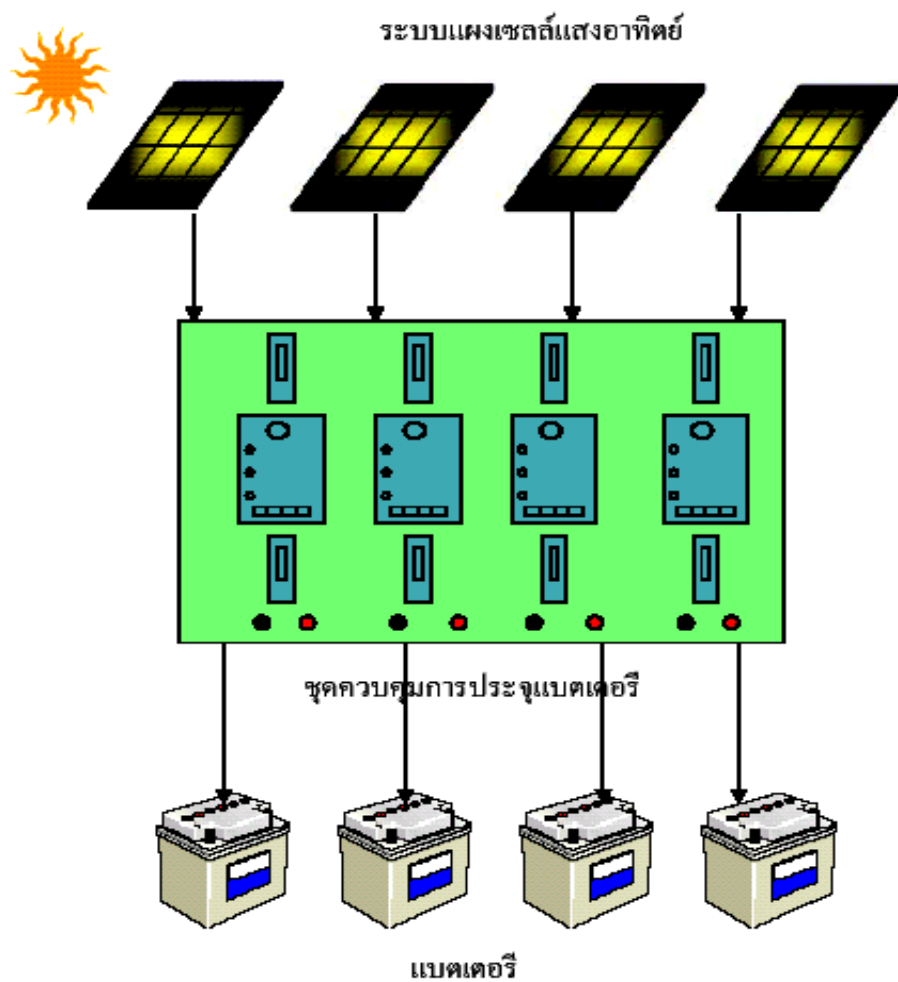
รูปที่ 2-2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับคร้วเรือน (SHS) แบบ กระแสตรง (DC)

2) ระบบประจุแบตเตอรี่แบบรวมศูนย์ (PV Battery Charging Station)

เป็นแบบที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์รวมกันที่จุดศูนย์กลางของหมู่บ้าน และมีช่องสำหรับประจุแบตเตอรี่หลายๆ ช่อง ชาวบ้านจะนำแบตเตอรี่ของตนเองมาทำการประจุ ที่สถานีในช่วงเช้า และนำกลับไปใช้ที่บ้านของตนเองในตอนเย็น ภาระทางไฟฟ้าที่ใช้มีทั้ง หลอดไฟแสงสว่างและเครื่องรับวิทยุหรือโทรทัศน์ ทั้งแบบกระแสตรงและกระแสสลับ สำหรับคร้วเรือนที่ใช้กระแสสลับจะมีอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กสำหรับแปลงไฟ ในการ ติดตั้งระบบแบบนี้จะมีการมอบหมายให้มีผู้บริการดูแลและจัดคิวการประจุแบตเตอรี่ รวมทั้ง เก็บค่าบำรุงสมาชิก เพื่อเก็บเข้ากองทุนหมู่บ้านเอาไว้ใช้ในกรณีที่อุปกรณ์ของระบบชำรุด

โครงการที่มีการนำระบบนี้ไปใช้งานคือ โครงการที่ดำเนินการโดย กรมโยธาธิการ (เดิม) กระทรวงมหาดไทย ปัจจุบันคือกรมโยธาธิการและผังเมือง ติดตั้งช่วงปี พ.ศ. 2531-2540 จำนวน 948 ระบบ ระบบละประมาณ 800 วัตต์ และกรมพัฒนาพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (เดิม) ปัจจุบันคือกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ติดตั้งช่วงปี พ.ศ. 2536-2540 รวม 182 ระบบ ระบบละ ประมาณ 3 กิโลวัตต์ โดยในปัจจุบัน โครงการทั้ง 2 ระบบนี้ หน่วยราชการทั้งสองได้ส่งมอบระบบ ให้องค์การบริหารส่วนตำบล โดยมีชุมชนร่วมกันรับผิดชอบบริหารระบบ

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบนี้ จะเหมือนกับระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับ ครัวเรือน เนื่องจากชาวบ้านจะนำแบตเตอรี่กลับไปใช้ในบ้านเรือนตัวเอง ลักษณะของอุปกรณ์ ใน ระบบฯ แสดงดังรูปที่ 2-3 ถึง 2-5



รูปที่ 2-3 แผนภาพระบบประจุแบตเตอรี่แบบรวมศูนย์ด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์



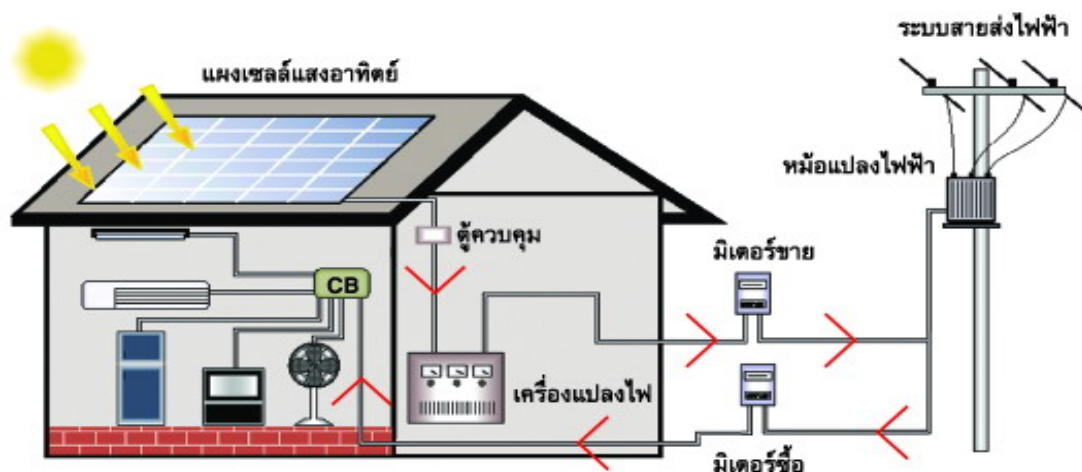
รูปที่ 2-4 ระบบประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมศูนย์ ขนาดระบบ
ละ 800 วัตต์ดำเนินการโดยกรมโยธาธิการ (เดิม) กระทรวงมหาดไทย ติดตั้ง
ปี พ.ศ. 2531-2540



รูปที่ 2-5 ระบบประจุแบตเตอรี่ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบรวมศูนย์ ขนาดระบบ
ละ 3 กิโลวัตต์ดำเนินการโดยกรมพัฒนาพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม (เดิม) ติดตั้งปี พ.ศ. 2536-2540

2.1.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อสายส่งไฟฟ้า (Grid Connected PV System)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งใช้งานในพื้นที่ที่มีระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระบบจะผลิตพลังงานไฟฟ้าเมื่อมีแสงแดด พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านได้โดยตรง ถ้าพลังงานเหลือสามารถส่งเข้าระบบสายส่งของการไฟฟ้าทำให้มิเตอร์หมุนกลับ เวลากลางคืนเมื่อต้องการใช้ไฟฟ้าพลังงานไฟฟ้าก็จะถูกดึงมาจากระบบสายส่งของการไฟฟ้า ทำให้ไม่ต้องออกแบบระบบให้มีอุปกรณ์สะสมพลังงาน เช่น แบตเตอรี่ในระบบเลย อย่างไรก็ตาม การเชื่อมต่อนี้กับระบบของการไฟฟ้าต้องมีมาตรฐานในการเชื่อมต่อ เพื่อป้องกันอันตรายของระบบสายส่งในกรณีที่ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าดับ แต่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ยังทำงาน อุปกรณ์แปลงไฟฟ้าจะต้องได้รับการออกแบบเป็นพิเศษ เรียกว่าอินเวอร์เตอร์เชื่อมต่อนี้กับระบบสายส่ง (Grid Connected Inverter) และต้องได้รับการอนุญาตจากการไฟฟ้าก่อน ถึงจะสามารถเชื่อมต่อนี้กับระบบได้



รูปที่ 2-6 แผนภาพระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อระบบสายส่ง



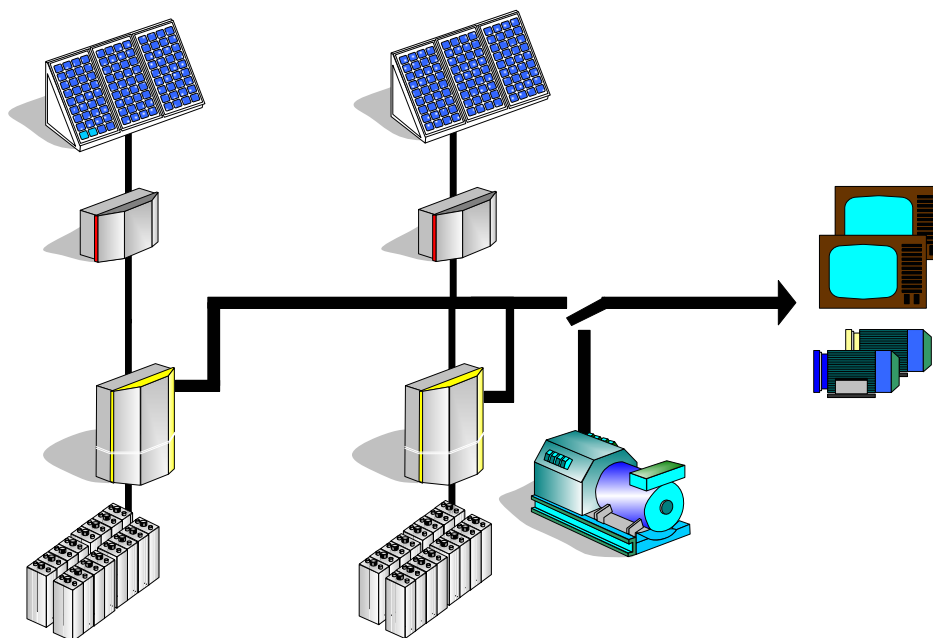
**รูปที่ 2-7 ตัวอย่างการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อสายส่ง
ณ วังสวนจิตรลดา ดำเนินการโดยกรมการพลังงานทหาร ศูนย์อุตสาหกรรม
ป้องกันประเทศและพลังงานทหาร สำนักปลัดกระทรวงกลาโหม**

ระบบลักษณะนี้มีข้อดีคือไม่ต้องมีระบบแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงาน พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกนำไปใช้ในบ้านหรืออาคารที่ติดตั้งระบบ ถ้ามีพลังงานเหลือสามารถส่งพลังงานไฟฟ้าคืนระบบสายส่งของการไฟฟ้า และถ้าต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากก็ใช้จากการไฟฟ้า ทำให้มีพลังงานไฟฟ้าใช้ตลอดเวลา และไม่มีข้อจำกัดของชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งาน นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานด้านความปลอดภัยและมีกฎหมายรองรับการรับซื้อไฟฟ้าจากการไฟฟ้า ระบบนี้มีการนำร่องโครงการในหน่วยงานรัฐบาลบางหน่วยงาน และในบ้านพักอาศัยแล้ว

2.1.3 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน (Hybrid Renewable Energy Electrification System)

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานทดแทนแบบผสมผสาน เป็นระบบผลิตไฟฟ้าจากหลายแหล่งพลังงาน ทั้งจากแหล่งพลังงานสะอาด และจากพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล โดยแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าอาจจะประกอบด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เซลล์แสงอาทิตย์ กังหันลม

กั้นหน้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานชีวมวล/ชีวภาพ เป็นต้น การทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า อาจจะผลิตไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานเดียว หรือหลายแหล่งพลังงาน ขึ้นอยู่กับศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าของแต่ละแหล่งจ่ายพลังงาน และความต้องการพลังงานไฟฟ้าของการใช้ไฟฟ้า การประยุกต์ใช้งานสามารถแสดงดังรูปที่ 2-8 และ 2-9



รูปที่ 2-8 แสดงตัวอย่างระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
กับเครื่องยนต์ดีเซล สำหรับหมู่บ้านชนบท ขนาด 85 kWp ที่บ้านบาตูปูเต๊ะ
ตำบลเกาะลิบง อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง

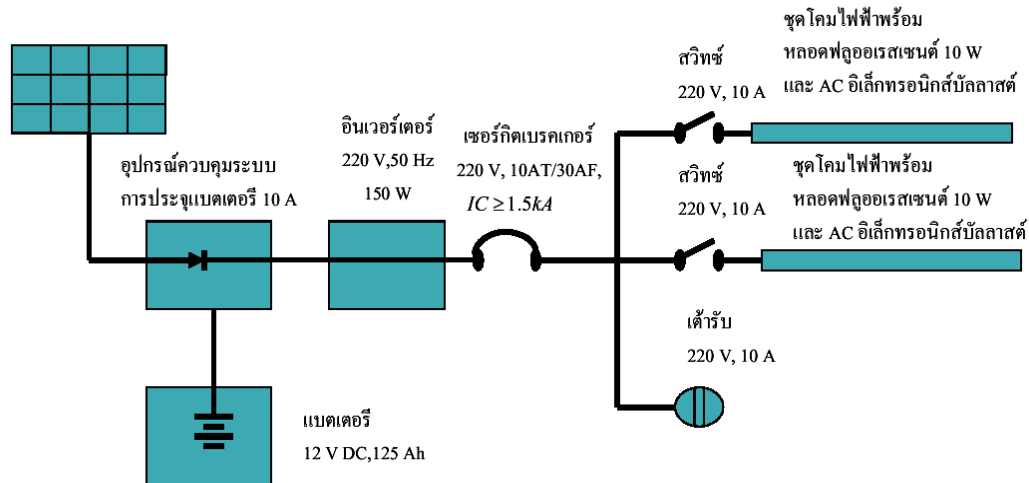


รูปที่ 2-9 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานกับเครื่องยนต์ดีเซลสำหรับหมู่บ้านชนบท ขนาด 85 kWp บ้านบาตูปูเต๊ะ ตำบลเกาะลิบง อำเภอกันตัง จังหวัดตรัง

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ตามโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

โครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ได้นำระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือน ซึ่งเป็นรูปแบบอิสระ มีแหล่งจ่ายพลังงานในหน่วยเล็กๆเพียงหน่วยเดียว อุปกรณ์สำคัญของระบบประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดไม่น้อยกว่า 120 วัตต์ ติดตั้งบนโครงสร้างรองรับแผง เดินสายไฟจากแผงถึงภายในบ้าน ซึ่งติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่และอินเวอร์เตอร์ แบตเตอรี่ และสวิทช์ตัดต่อวงจร ชุดโคมไฟฟ้าพร้อมหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 10 วัตต์ และอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ 2 ชุด และได้รับ 1 จุด ดังแสดงในรูปที่ 2-10 พร้อมการเดินสายไฟเข้าอุปกรณ์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 120 วัตต์



รูปที่ 2-10 รายละเอียดระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้า



รูปที่ 2-11 ระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับครัวเรือน (SHS) (ดำเนินโครงการโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)

ข้อกำหนดรายละเอียดทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในโครงการฯ

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ มีขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่น้อยกว่า 120 วัตต์ สูงสุด ต่อระบบ โดยมีรายละเอียดเฉพาะอุปกรณ์ดังนี้

1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 1 ชุด ต่อระบบ มีรายละเอียดดังนี้

(1) ต้องเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตและ/หรือประกอบในประเทศไทย โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าว ต้องมีการผ่านกระบวนการและ/หรือมีการประกอบเชื่อมวงจร และเคลือบสารป้องกันความชื้น ตามกรรมวิธีที่ได้มาตรฐานประกอบกันเป็นแผงเซลล์สำเร็จรูปแล้ว ในประเทศไทย

(2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิด Crystalline Silicon หรือชนิด Amorphous Silicon หรือ Thin Film หรือ Hybrid Thin Film ผลิตตามมาตรฐาน UL, JIS, IEC หรือเทียบเท่า ดังแสดงในรูป 2-12



ก. แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกผสม
(Crystalline Silicon)



ข. แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง
(Amorphous Silicon หรือ Thin Film)

รูปที่ 2-12 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการฯ

ในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิด **Crystalline Silicon** จะต้องมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

- มีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่าร้อยละ 12 ณ Standard Test Condition
- เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแบบ Square Cell หรือ Pseudo Square Cell หรือ Round Cell ถ้าเป็นแบบ Round Cell จะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางของแต่ละเซลล์ไม่น้อยกว่า 12 เซนติเมตร

- แผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาประกอบภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทุกเซลล์ ต้องไม่มีรอยด่างอันเนื่องมาจากความบกพร่องในการผลิต

- ต้องมี Bypass Diode ต่ออยู่ในกล่องรวมสายไฟ (Junction Box or Terminal Box) หรือติดตั้งภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิด **Amorphous Silicon** หรือ **Thin Film** หรือ **Hybrid Thin Film** จะต้องมีรายละเอียดเพิ่มเติมดังนี้

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตและ/หรือประกอบในประเทศไทย ต้องมีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่าร้อยละ 7 ณ Standard Test Condition (STC)

(3) ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเครื่องหมายการค้า รุ่น และขนาดเหมือนกันทุกแผงในการต่อขนานและ/หรือนุกรมกันกรณีที่มีมากกว่า 1 แผง

(4) แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องไม่น้อยกว่า 20 V ณ Standard Test Condition (STC)

(5) ต้องมีกรอบที่แข็งแรงไม่เป็นสนิมและ/หรือเคลือบสาร ที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของสภาพแวดล้อมและสภาพภูมิอากาศ หุ้มโดยรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

(6) ด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ติดตั้งกล่องรวมสายไฟฟ้า (Junction Box) หรือหัวต่อสาย (Terminal Box) ที่มั่นคงแข็งแรง ทนต่อสภาพอากาศและสภาวะแวดล้อมได้ดี สามารถป้องกันการซึมเข้าของน้ำได้ ทนทานต่อสภาวะการใช้งานภายนอกและมีอายุการใช้งานยาวนานเทียบเท่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์

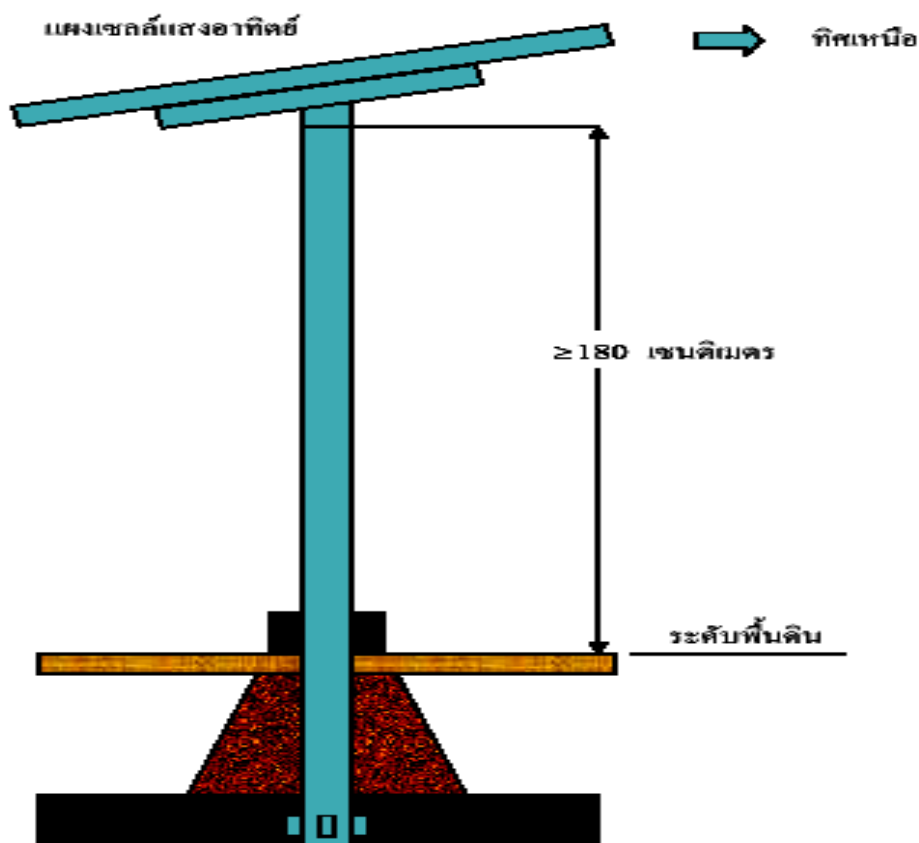
(7) ภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องมีการผนึกด้วยสารกันความชื้น Ethylene Vinyl Acetate (EVA) หรือวัสดุอื่นที่เทียบเท่าหรือดีกว่า ด้านหน้าแผงเซลล์ฯ ปิดทับด้วยกระจกใส

หรือวัสดุอื่นที่มีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือดีกว่า ที่สามารถรับแรงกระแทกจากลูกเห็บ ตามมาตรฐาน IEC หรือเทียบเท่า

(8) วัสดุและอุปกรณ์ใช้ยึดชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องเป็นเหล็กไร้สนิม

(9) มีขนาดกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดไม่ต่ำกว่า 40 วัตต์ต่อแผง ที่ความเข้มแสงอาทิตย์ 1000 W/m^2 อุณหภูมิแผงเซลล์ 25°C และ Air mass 1.5

2) โครงสร้างรองรับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 1 ชุด ต่อระบบ มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 2-13 โครงสร้างรองรับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น

(1) วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างเป็นเหล็กเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot Dip Galvanized Steel) โดยมีความหนาของสังกะสีตามมาตรฐาน ASTM ติดตั้งให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำมุมเอียงกับแนวนอนเป็นมุมระหว่าง 15 ถึง 20 องศา

(2) สามารถถอดออกเป็นชิ้นและประกอบได้สะดวก

(3) วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ยึดโครงสร้างรองรับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกตัวต้องมีขนาดที่เหมาะสม และเป็นวัสดุที่ทำจากเหล็กไร้สนิม

(4) การออกแบบเชิงวิศวกรรม กำหนดให้โครงสร้างรองรับชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีความแข็งแรง สามารถทนต่อแรงลมที่มีความเร็วไม่ต่ำกว่า 20 เมตรต่อวินาที (72 กิโลเมตรต่อชั่วโมง)

3) อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Charging Controller) จำนวน 1 ตัวต่อระบบ มีรายละเอียดดังนี้

(1) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย

(2) มีอุปกรณ์ หรือวงจรป้องกันการเกิด Over Charge และการชำรุดเนื่องจากการต่อกลับขั้วด้าน Input และ Output

(3) มีอุปกรณ์ หรือวงจรป้องกัน Transient voltage

(4) มีพิกัดกระแสไม่น้อยกว่า 10 A และมีแรงดันไฟฟ้า ที่เหมาะสมกับการประจุแบตเตอรี่

(5) มีหลอดสัญญาณ LED แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ เช่น แสดงค่าระดับของแรงดันต่างๆ ในแบตเตอรี่

(6) สามารถตัดการใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ได้ เมื่อแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่เหลือต่ำกว่า 11.0-11.50 โวลต์ (ในขณะมีโหลด) และเมื่อกระแสไฟฟ้าในแบตเตอรี่เหลือต่ำกว่าร้อยละ 40 ของพิกัด หรือเมื่อค่า Depth of Discharge เกินกว่าร้อยละ 60

4) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) จำนวน 1 เครื่องต่อระบบ มีรายละเอียดดังนี้

(1) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย

(2) เป็นชนิด Stand alone, เฟสเดียว สองสาย (1 Phase, 2 wires) มีพิกัดกำลังไฟฟ้า ต่อเนื่องไม่น้อยกว่า 150 วัตต์

(3) Nominal battery voltage 12 Vdc.

- (4) Rated output voltage อยู่ในช่วง $220 \text{ Vac} \pm 3\%$, 50 Hz
- (5) Maximum surge power ไม่น้อยกว่า 2 เท่า ของพิกัดกำลังไฟฟ้าต่อเนื่อง
- (6) Nominal output waveform เป็น Modified sine wave หรือดีกว่า
- (7) ประสิทธิภาพไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 ที่ Rated power ที่ $\text{PF} = 1$
- (8) มีระบบป้องกัน สำหรับ Overload, Short circuit, Over temperature, Over discharge และการป้องกันการชำรุดเนื่องจากต่อกลับขั้วด้าน Direct Current (DC)

ในโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้า อุปกรณ์ข้อ 3 และข้อ 4 รวมอยู่ในตัวเดียวกัน และมีคุณสมบัติของอุปกรณ์ไม่น้อยกว่าข้อกำหนดรายละเอียดที่กำหนดไว้ข้างต้น

5) แบตเตอรี่ (Battery) จำนวน 1 ลูกต่อระบบ มีรายละเอียดดังนี้

- (1) เป็นผลิตภัณฑ์ขององค์การแบตเตอรี่ กระทรวงกลาโหม หรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่ผลิตในประเทศไทย
 - (2) เป็นแบตเตอรี่ชนิด ตะกั่ว-กรด (Lead Acid) ประเภท Deep Discharge มีขนาดไม่น้อยกว่า 125 Ah, 12 V ณ อัตราการคายประจุ 20 ชั่วโมง (Capacity at C_{20}) ที่แรงดันไฟฟ้าสุดท้าย 1.75 โวลต์ ต่อเซลล์ ที่อุณหภูมิ 30°C
 - (3) Cycle life ไม่น้อยกว่า 350 ครั้ง ที่ค่า DOD ร้อยละ 60
 - (4) แบตเตอรี่ผลิตตามมาตรฐาน JIS, DIN, BCI หรือมาตรฐานสากล
- กรณีแบตเตอรี่ที่เสนอ มีค่าความจุไฟฟ้าที่แรงดันสุดท้ายต่อเซลล์ (V/cell) และอุณหภูมิแตกต่างจากข้อ 5 (2) ผู้เสนอราคาต้องแสดงรายละเอียดวิธีการคำนวณให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ และแนบเอกสารยืนยันว่ามีคุณสมบัติเทียบเท่าจากบริษัทผู้ผลิตมาพร้อมเอกสารประกอบราคาเพื่อประกอบการพิจารณา

6) ชุดโคมไฟพร้อมหลอดไฟฟ้าแสงสว่างสำหรับติดตั้งภายในครัวเรือน จำนวน 2 ชุดต่อระบบ แต่ละชุดมีรายละเอียดดังนี้

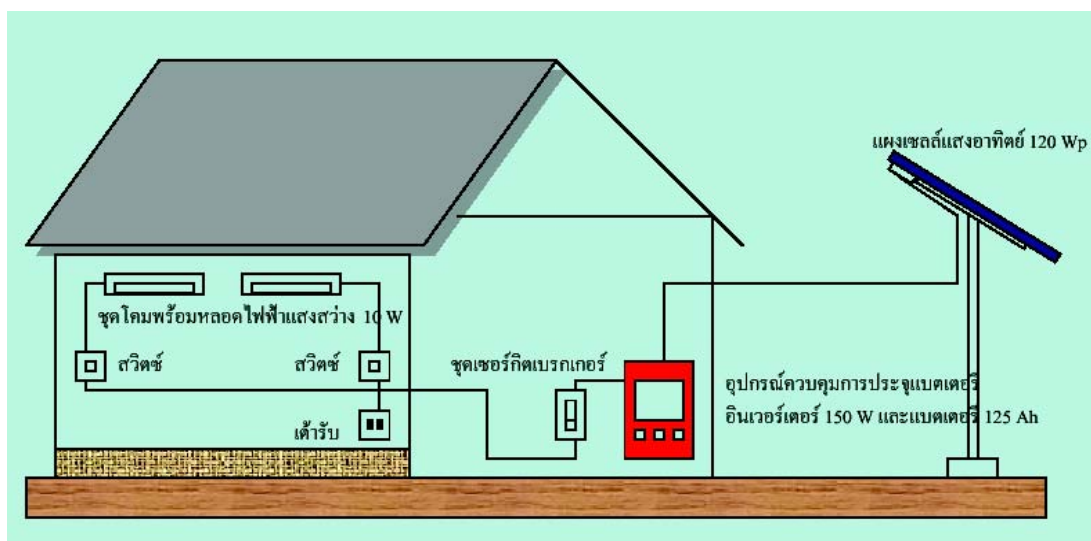
- (1) โคมไฟฟ้า มีรายละเอียดดังนี้
- ตัวโคมไฟฟ้าเป็นรางโครงโลหะทำด้วยเหล็กพับหนาไม่น้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร (Coating steel sheet) พื้นด้วยสีฝุ่น มี Reflector แบบ Anodized aluminum ตามมาตรฐาน ASTM หรือเทียบเท่า เหมาะสำหรับการติดตั้งแบบ Surface mounted
- เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย

- ใช้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 10 วัตต์ จำนวน 1 หลอด
 - มีขีดยึดหลอดตามมาตรฐาน มอก. 344-2530
- (2) หลอดไฟฟ้า มีรายละเอียดดังนี้
- เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย
 - เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 10 วัตต์ 220 VAC, 50Hz
- (3) อิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ มีรายละเอียดดังนี้
- เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย
 - ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ 220 VAC, 50Hz
 - สามารถใช้ได้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 10 วัตต์ จำนวน 1 หลอด
 - มีค่า Power factor ไม่น้อยกว่า 0.85
 - มีค่าตัวประกอบยอดคลื่นของกระแสผ่านหลอด (Crest factor) ไม่เกิน 1.70
 - มีการป้องกันคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ตาม มอก. 1955-2542
 - ผลิตตามมาตรฐานบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ มอก. 1506-2541
 - มีวงจรป้องกันความเสียหายจากภาวะผิดปกติของหลอด
 - บรรจุอยู่ในกล่องโลหะที่มีความแข็งแรงและปลอดภัย

7) ชุด Circuit Breaker สวิตช์และตัวรับสำหรับติดตั้งภายในครัวเรือน มีรายละเอียดดังนี้

- (1) Circuit Breaker จำนวน 1 ตัวต่อระบบ มีรายละเอียดดังนี้
- เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย
 - เป็นชนิด 2 pole 220 Vac มีขนาดไม่เกิน 10 AT และขนาดไม่น้อยกว่า 30 AF
 - ขนาด IC (Interrupting Current) ไม่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 1.5 kA ที่ 220 V
 - ได้มาตรฐาน มอก., NEMA, IEC, JIS, DIN หรือ BS พร้อมเอกสารประกอบ

- (2) สวิตช์ จำนวน 2 ตัว ต่อระบบ แต่ละตัวมีรายละเอียดดังนี้
- เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย
 - เป็นชนิดสวิตช์เดี่ยว ขนาดไม่น้อยกว่า 10 A, 220 V
 - บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติก พร้อมฝาปิดแบบ 1 ช่อง
- (3) เต้ารับ จำนวน 1 ตัวต่อระบบ มีรายละเอียดดังนี้
- เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในประเทศไทย
 - เป็นชนิดเต้าเดี่ยว ขนาดไม่น้อยกว่า 10 A , 220 V
 - บรรจุอยู่ในกล่องพลาสติก พร้อมฝาปิดแบบ 1 ช่อง



รูปที่ 2-14 การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้า

2.3 เทคโนโลยีที่ใช้ในโครงการ

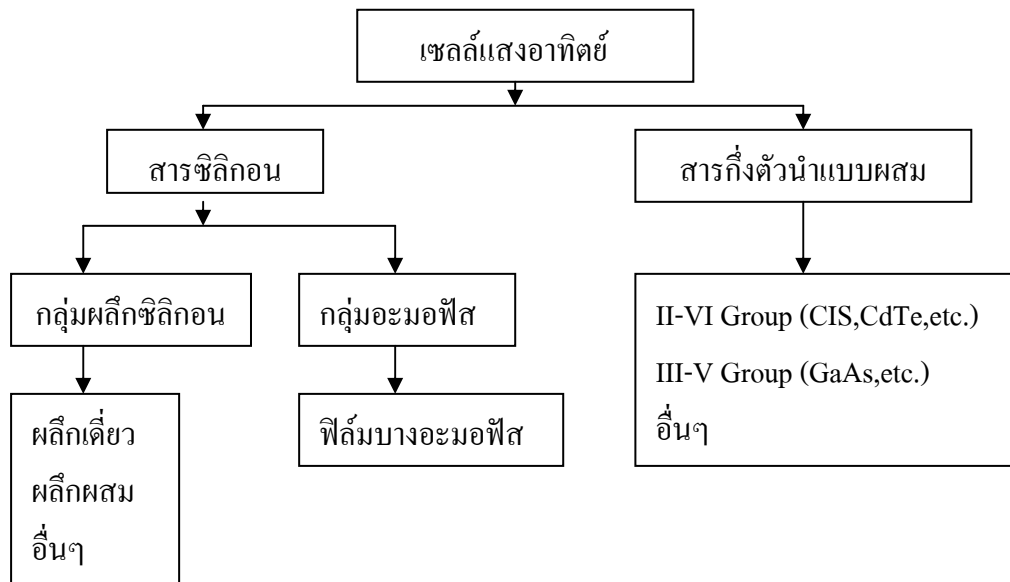
2.3.1 เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์

วิวัฒนาการของเซลล์แสงอาทิตย์ได้มีมาเมื่อหลายทศวรรษแล้ว เซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงแรกผลิตขึ้นจากซิลิเนียม ซึ่งมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานประมาณ 1-2% จึงทำให้การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ไม่แพร่หลายมากนักจนถึงในช่วง พ.ศ. 2493 ได้มีการผลิตซิลิกอนขึ้นได้สำเร็จเป็นครั้งแรกโดยกระบวนการ Czochraski ซึ่งเป็นจุดสำคัญต่อวิวัฒนาการของเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้มีการพัฒนากรรมวิธีการผลิตเรื่อยมา เพื่อลดราคาของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ถูกลง เพิ่มอายุการใช้งานและเพิ่มประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานให้สูงขึ้นด้วย ในปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์มีมากมายหลายประเภทดังแสดงในรูปที่ 2-15

เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน สามารถแบ่งออกตามชนิดของสารกึ่งตัวนำได้ 2 ประเภทคือ

1) เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึก (Crystalline solar cell)

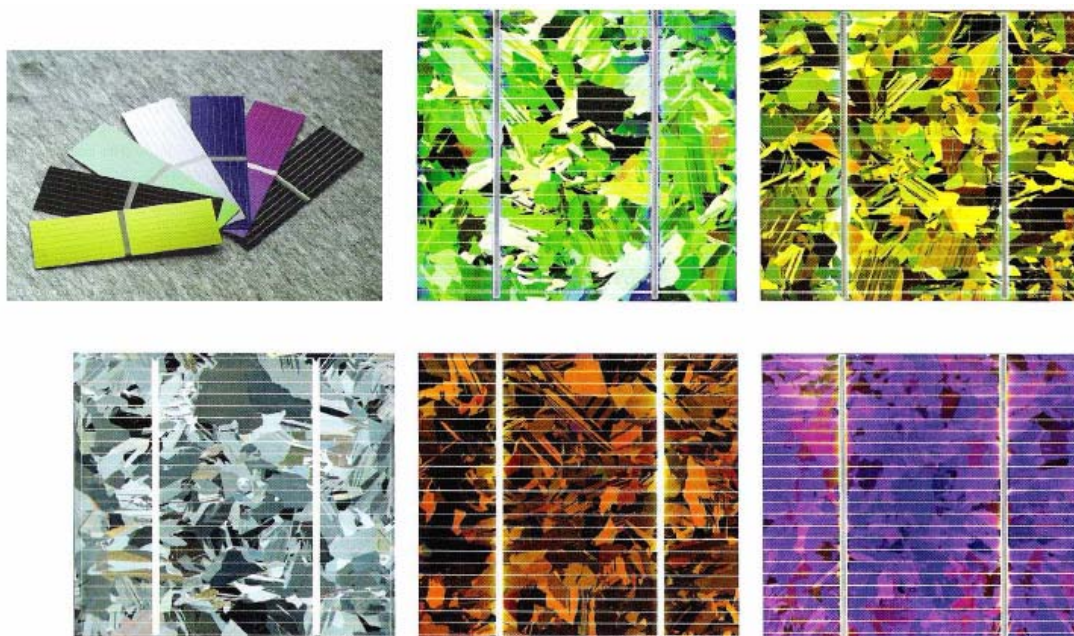
เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกที่ใช้งานในปัจจุบันส่วนมากผลิตจากซิลิกอน เนื่องจากได้มีการพัฒนาทั้งด้านราคา อายุการใช้งาน และประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานเรื่อยมา ในช่วงแรกเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวจะมีราคาประมาณ 1,000 บาทต่อวัตต์ ในช่วง พ.ศ. 2516 ลดลงเป็นประมาณ 125 บาทต่อวัตต์ ในปี พ.ศ. 2534 และได้มีการพัฒนาอายุการใช้งานให้เพิ่มขึ้นเกิน 30 ปี ในด้านประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว ในปัจจุบันมีค่าประมาณ 23% ในห้องปฏิบัติการ ส่วนในการใช้งานจริงในภาคสนาม ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานจะลดลงเหลือประมาณ 12-14% และถ้าเคลือบสารป้องกันการสะท้อนแสงบนผิวหน้าของเซลล์จะเพิ่มประสิทธิภาพได้ประมาณ 4% เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวที่ใช้เทคโนโลยีการทำชั้นชนิดพิกซ์จากสกรีนนั้น มีค่าแรงดันวงจรเปิด ประมาณ 580-620 มิลลิโวลต์ ขึ้นกับค่าสภาพต้านทานของโลหะที่ทำเป็น แผ่นรอง (substrate) มีค่าความหนาแน่นของกระแสตัววงจรประมาณ 28-32 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร มีค่าฟิลแฟกเตอร์ ประมาณ 70-75% สำหรับเซลล์ที่มีพื้นที่มากช่วงทางไฟฟ้าจะบังพื้นที่รับแสงประมาณ 10-15% ปัจจุบันมีการรับประกันอายุการใช้งานนานถึง 30 ปี และมีการเติมสีเข้าไปในผิวหน้าเพื่อความสวยงามของการนำไปใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-15 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2-16 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึก



รูปที่ 2-17 ชนิดผลึกผสมแบบซิลิกอน (Polycrystalline Silicon) ที่มีการผสมสีต่างๆ เพื่อความสวยงามในการนำไปใช้งาน

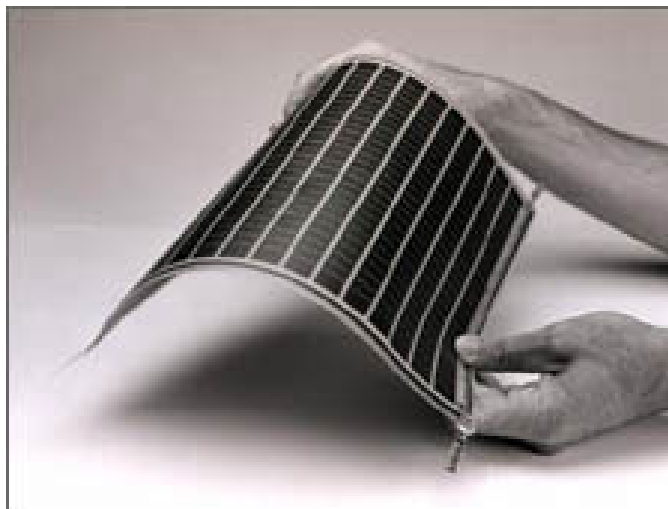
สำหรับโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกผสมในการติดตั้งในบางพื้นที่

2) เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin-film solar cell)

เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้นมาเพื่อลดราคาให้ถูกลงกว่าแบบแรก เนื่องจากในกระบวนการผลิตจะใช้ปริมาณสารกึ่งตัวนำน้อยกว่าแบบแรก โดยปกติใช้อะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-si) จำนวนเล็กน้อยจากบนผิวของวัสดุชนิดอื่น แต่จะมีข้อเสียคือ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานต่ำกว่าแบบแรก มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานประมาณ 12% ในห้องปฏิบัติการ และมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานในการใช้งานจริงในภาคสนามประมาณ 8% ประสิทธิภาพ

ในการเปลี่ยนพลังงานสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางที่ทำจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน มีค่าสูงสุดได้ไม่เกิน 27% เนื่องจากถูกจำกัดโดยคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอะมอร์ฟัสซิลิกอน

ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์ให้สูงขึ้น ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยี อะมอร์ฟัสแบบหลายชั้น (multi-junction) ในแต่ละชั้นได้รับการพัฒนาให้สามารถเลือกรับพลังงาน ที่ความยาวคลื่นต่างกัน (spectrum splitting capability) แต่เทคโนโลยีนี้ยังมีการลดลงของ ประสิทธิภาพในช่วง 8-10 สัปดาห์แรกที่ใช้งาน ดังนั้นการเลือกอุปกรณ์ประกอบใช้งานร่วมกับ แผงชนิดนี้ต้องคูณด้วยแฟกเตอร์ 125% เพื่อความปลอดภัยของระบบ ปัจจุบันมีประสิทธิภาพ สูงสุดในห้องปฏิบัติการประมาณ 15% และในสนามประสิทธิภาพประมาณ 7-8% มีการ รับประกันอายุการใช้งานสูงสุด 10 ปี



รูปที่ 2-18 ลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin-film solar cell)

สำหรับโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้า ด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จะใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางในการติดตั้ง ในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

นอกจากนี้ในปัจจุบันยังมีการนำสารกึ่งตัวนำชนิดอื่น มาผลิตเป็นเซลล์ แสงอาทิตย์อีกมากมาย เช่น แคดเมียม-เทลลูไรด์ (CdTe) มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงาน

ในห้องปฏิบัติการ 17% มีค่าประมาณ 11% สำหรับการใช้งานจริงในภาคสนาม และมีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานสูงสุดประมาณ 27% นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นบางโดยการนำซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยวมาเคลือบบนเซรามิกส์ พบว่าประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานในห้องปฏิบัติการมีค่าสูงถึงประมาณ 15% ในขณะที่ราคาถูกกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยวมาก

สำหรับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวแปรที่มีผลต่อคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ และขนาดของสายไฟที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นี้ (ศึกษารายละเอียดได้จากภาคผนวก ก)

2.3.2 แบตเตอรี่ (Battery)

เป็นอุปกรณ์สะสมพลังงานที่ทำหน้าที่สะสมพลังงานทดแทนต่างๆ ไว้ในรูปพลังงานไฟฟ้าเคมี แล้วนำกลับมาใช้ในช่วงเวลาที่ต้องการ เช่น ประจุไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในตอนกลางวันแล้วนำไปใช้กับระบบแสงสว่างในตอนกลางคืน แบตเตอรี่ที่ใช้งานจึงเป็นแบบที่สามารถประจุกลับได้

ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงส่วนใหญ่ไม่ได้นำมาใช้โดยตรงขณะที่ทำการผลิต เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานมักไม่ตรงกับความสามารถในการผลิต เพราะพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้นั้นเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้รับ แต่การใช้งานขึ้นกับชนิดของภาระทางไฟฟ้า ดังนั้นจึงมีการนำระบบแบตเตอรี่มาใช้ในระบบ วัตถุประสงค์ของการใช้งานระบบแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระสามารถสรุปได้ดังนี้

1) Energy Storage Capacity and Autonomy แบตเตอรี่จะทำหน้าที่เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และจ่ายพลังงานให้ภาระทางไฟฟ้าตามที่ต้องการตลอดเวลา

2) Voltage and Current Stabilization แบตเตอรี่ทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ภาระทางไฟฟ้าด้วยกระแสและแรงดันคงที่ และขจัดปัญหา transients ซึ่งเกิดจากการผลิต ด้วยระบบเซลล์แสงอาทิตย์

3) Supply Surge Current แบตเตอรี่ทำหน้าที่จ่ายกระแสสูงๆ เมื่อมีความต้องการใช้ไฟฟ้าปริมาณมาก ทำให้สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้หลายชนิดกับระบบ

ชนิดของแบตเตอรี่และการจัดแบ่งประเภท

ในปัจจุบันมีแบตเตอรี่หลายชนิดและหลายลักษณะผลิตจำหน่าย บางชนิดมีการออกแบบพิเศษให้เหมาะสมกับเฉพาะงาน แบตเตอรี่ทุกชนิดที่ออกแบบมามีข้อเด่นและข้อด้อยแตกต่างกัน ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด เป็นชนิดที่มีการใช้งานมากที่สุดเนื่องจากมีหลายขนาดให้เลือกใช้ มีราคาถูก และคุณสมบัติเป็นที่รู้จักดีแล้ว ในบางสภาวะแวดล้อม เช่นในสภาพที่อุณหภูมิต่ำมีการใช้เซลล์แบบนิเกิล-แคดเมียม แต่เนื่องจากมีราคาเริ่มต้นที่แพง ทำให้มีการใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในวงจำกัด ยังไม่มีแบตเตอรี่ที่สมบูรณ์ ดังนั้นจะเป็นหน้าที่ของผู้ออกแบบระบบที่จะเลือกระบบแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานนั้นๆ

ก. การแบ่งชนิดของแบตเตอรี่ โดยทั่วไปแบตเตอรี่จะจัดแบ่งเป็นสองชนิดใหญ่ๆ คือ แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (primary battery) และแบตเตอรี่ทุติยภูมิ (secondary battery)

(1) แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (primary battery) สามารถเก็บพลังงานเคมีและจ่ายเป็นพลังงานไฟฟ้าออกมาได้ แต่ไม่สามารถที่จะประจุกลับ เช่น แบตเตอรี่ชนิดเซลล์คาร์บอน-สังกะสี และเซลล์ลิเทียม ที่ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงทั่วไป บางครั้งเรียกถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่แบบปฐมภูมินี้ ไม่นำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

(2) แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (secondary battery) สามารถเก็บพลังงานเคมีแล้วจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ และสามารถประจุกลับได้ โดยการจ่ายกระแสในทิศทางตรงข้ามกับ การคายประจุ แบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ที่ใช้ในรถยนต์เป็นตัวอย่างของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ตารางที่ 2-1 แสดงชนิดของแบตเตอรี่ชนิดทุติยภูมิ และคุณสมบัติที่สำคัญในการออกแบบในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดดังที่จะกล่าวต่อไป

ตารางที่ 2-1 ชนิดของแบตเตอรี่ชนิดหุติยภูมิ และคุณสมบัติที่สำคัญในการออกแบบ

ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด (Lead-Acid Battery)	ราคา	คุณสมบัติ การคายประจุ แบบลึก (Deep cycle)	การบำรุงรักษา
แบตเตอรี่ชนิดเติมน้ำละลาย (Flooded Lead-Acid)			
1. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี	ต่ำ	ดี	สูง
2. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Open Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ปานกลาง
3. ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม Sealed Vent	ต่ำ	ไม่ดี	ต่ำ
4. ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียม	ปานกลาง	ดี	ปานกลาง
แบตเตอรี่ชนิด Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA)			
1. เจลแบตเตอรี่ (Gelled)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
2. Absorbed Glass Mat (AGM)	ปานกลาง	มาก	ต่ำ
นิเกิล-แคดเมียม			
1. ชนิดเพลทแบบ Sintered	สูง	ดี	ไม่มี
2. ชนิดเพลทแบบ Pocket	สูง	ดี	ปานกลาง

ข. การแบ่งประเภทของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีหลายชนิด แต่ละชนิดมีการออกแบบและมีคุณสมบัติเฉพาะกับการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยทั่วไปจะจัดแบ่งเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

(1) **แบตเตอรี่รถยนต์ (Starting Lighting and Ignition : SLI)** เป็นแบตเตอรี่ที่ออกแบบมาใช้กับงานลักษณะการคายประจุน้อย (shallow cycle) ใช้กับระบบรถยนต์เป็นส่วนใหญ่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีแผ่นเพลทบางทั้งเพลทบวกและลบ ลักษณะการออกแบบแบบนี้ เพื่อเพิ่มพื้นที่การทำปฏิกิริยา การที่เพลทมีพื้นที่ทำปฏิกิริยามากต่อเซลล์ ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้จ่ายกระแสสูงๆ ในช่วงเวลาสั้นๆ ได้ ถึงแม้ว่าไม่ได้รับการออกแบบให้มีอายุการใช้งานนานกับลักษณะการคายประจุแบบลึก (deep cycle) แบตเตอรี่แบบนี้ ก็ยังมีการนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศกำลังพัฒนา ที่มีอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่เพียงชนิดเดียว ถึงอย่างไรก็ตามเมื่อนำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ อาจใช้งานได้ถึงสองปี กับระบบอิสระขนาดเล็กที่มีการใช้งานไม่เกิน 10-20% DOD ต่อวัน และจำกัดไว้มากที่สุด ไม่เกิน 40-60% DOD

(2) **แบตเตอรี่รถไฟฟ้า (Motive Power or Traction Battery)** แบตเตอรี่ชนิดนี้ได้รับการออกแบบสำหรับการใช้งานที่มีการคายประจุมาก (deep cycle) ส่วนใหญ่ใช้ในรถยนต์ไฟฟ้า รถยกไฟฟ้า รถไฟฟ้าในสนามกอล์ฟ แบตเตอรี่ชนิดนี้ จะมีจำนวนเพลทต่อเซลล์น้อยกว่าแบบที่ใช้กับรถยนต์ แต่อย่างไรก็ตามลักษณะเพลทจะหนาและทนทานกว่า วัสดุที่นำมาทำกริดแบบนี้ในยุคแรกๆ จะใช้ ตะกั่ว-แอนติโมนี เพื่อให้สามารถคายประจุได้มาก แบตเตอรี่ชนิดนี้ เป็นที่รู้จักกันดี และมีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างกว้างขวาง เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก (deep cycle) อายุการใช้งานนาน และออกแบบมาให้มีความทนทาน

(3) **แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้า (Stationary battery)** แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS) เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองให้กับระบบคอมพิวเตอร์ ระบบโทรศัพท์ และระบบไฟฟ้าอื่นๆ แบตเตอรี่สำหรับระบบไฟฟ้ามีคุณลักษณะคล้ายกับทั้งแบตเตอรี่รถยนต์และแบตเตอรี่รถไฟฟ้า และจะออกแบบให้มีการคายประจุมาก (deep cycle)

ค. ชนิดของแบตเตอรี่ตะกั่วกรด

ปัจจุบันมีแบตเตอรี่ชนิดเติมสารละลายหรือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด ผลิตออกมาจำหน่ายหลายชนิด ที่จะกล่าวต่อไปนี้ เป็นชนิดที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

1) **แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี** เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแอนติโมนี (Sb) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท การใช้สารแอนติโมนีผสมกับตะกั่วในเพลทมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ข้อดีคือการเพิ่มความแข็งแรงทนทานของแผ่นกริด ให้มากกว่าใช้ตะกั่วธรรมดา และทำให้สามารถใช้ในงานคายประจุมาก (deep cycle) หรือที่เรียกว่า ประจวบลึก และงานที่มีอัตราการคายประจุสูงได้เป็นอย่างดี กริดแบบตะกั่ว-แอนติโมนี ยังจำกัดการปลดปล่อยตัวของสารทำปฏิกิริยาทำให้มีอายุการใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แคลเซียม เมื่อใช้งานในสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูง

ข้อเสียของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แอนติโมนี คือการมีอัตราการคายประจุในตัวเองสูง และจากที่อัตราการประจุเกินพอทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นบ่อยๆ ขึ้นกับอุณหภูมิและจำนวนครั้งของการประจุเกิน

แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แอนติโมนี ส่วนใหญ่แล้วเป็นแบบเดิมสารละลายมีช่องระบายก๊าซ เป็นเกลียวเปิด สำหรับเปิดเติมน้ำ แบตเตอรี่แบบนี้เหมาะสมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากความสามารถในการคายประจุมาก และความสามารถในการใช้ด้านอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม แบตเตอรี่ชนิดนี้ ต้องการการเติมน้ำเป็นระยะเวลาที่แน่นอน การลดความถี่ของการเติมน้ำอาจจะโดยการใช้ฝาปิดที่ดักจับน้ำที่ระเหยไปกลับ หรือการออกแบบแบตเตอรี่ที่มีการแลกเปลี่ยนสารละลายจากด้านนอก การเช็ควัดความผิดปกติของแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำได้โดยการวัดความถ่วงจำเพาะของสารละลายโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์

แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-แอนติโมนี แบบเพลทหนาและการออกแบบที่แข็งแรง ส่วนใหญ่แล้วจะถูกจัดอยู่ในกลุ่มแบตเตอรี่สำหรับรถไฟฟ้า เพราะเป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการลักษณะการคายประจุสูงและอายุการใช้งานนาน

2) **แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม** เป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดแบบหนึ่งที่ใช้สารแคลเซียม (Ca) ผสมกับตะกั่วในกริดเพลท เหมือนแบบตะกั่ว-แอนติโมนี เช่นเดียวกัน การใช้ส่วนผสมแคลเซียมในเพลทตะกั่วมีทั้งประโยชน์และข้อเสีย ส่วนที่เป็นข้อดีคือการเพิ่มความแข็งแรงของแผ่นเพลท มีอัตราการคายประจุในตัวเองต่ำ และลดผลการศึกษาซึ่ง ทำให้มีการสูญเสียเล็กน้อยลง การบำรุงรักษาก็ลดลงด้วย ข้อเสียของการผสมแคลเซียมคือ มีคุณสมบัติการประจุที่ไม่ดีในสถานะที่คายประจุมากๆ และเมื่อนำไปใช้งานในสถานะอุณหภูมิสูง หรือใช้งานคายประจุมากกว่า 25% DOD บ่อยๆ อายุการใช้งานจะสั้นลง มี 3 ชนิด

(1) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม **Open Vent** แบตเตอรี่ชนิดนี้ มักจัดอยู่ในชนิดใช้สำหรับระบบไฟฟ้า ส่วนใหญ่แล้วจะมีขนาดลูกละ 2 โวลต์ มีความจุหลายขนาด และมากถึง 1000 AH แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีข้อดีที่มีอัตราการคายประจุด้วยตัวเองต่ำและมีการสูญเสียเล็กน้อย และอาจมีอายุการใช้งานนานถึง 20 ปี ถ้าใช้ในโหมดไฟฟ้าสำรอง สำหรับการประยุกต์ใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ยังมีประสบการณ์ไม่มากนักเนื่องจากปัญหาเรื่อง ปรากฏการณ์ซัลเฟชัน และปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (stratification)

(2) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียม **Sealed Vent** การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้ เริ่มต้นใช้ชื่อ maintenance free ใช้กับรถยนต์ มีความจุในช่วง 50 ถึง 200 AH ขนาด 12 V และมีคุณสมบัติเหมือนกับแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แคลเซียมธรรมดา คือทนต่อการประจุเกิน สภาวะแวดล้อมอุณหภูมิสูงและการทำงานในลักษณะการคายประจุมาก ความหมายของการไม่มีการบำรุงรักษา คือ การไม่ต้องเติมน้ำกลั่น ซึ่งมีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นการออกแบบแบตเตอรี่จะมีการสำรองสารอิเล็กโทรไลต์ เพื่อให้แบตเตอรี่ทำงานได้ตลอดอายุการใช้งาน แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้กับระบบโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก เช่นระบบที่ใช้ในบ้าน ระบบแสงสว่าง แต่ต้องระมัดระวังในการประจุ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่สูงสุดและอายุงานที่สุด ถึงแม้จะมีราคาถูก แต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ ได้รับการออกแบบสำหรับการคายประจุน้อย (shallow cycle) และจะมีอายุการใช้งานสั้นเมื่อนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

(3) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-แอนติโมนี/แคลเซียม **ไฮบริด** แบตเตอรี่ชนิดนี้ ส่วนใหญ่จะเป็นชนิดเติมน้ำกลั่น มีความจุถึง 200 Ah ลักษณะการออกแบบที่สำคัญของแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือการใช้ตะกั่ว-แคลเซียม เป็นกริดแบบแท่งในขั้วบวก และใช้ตะกั่ว-แอนติโมนีในขั้วลบ การออกแบบนี้ได้รวมข้อดีของแบตเตอรี่ทั้งสองชนิด คือมีประสิทธิภาพดีที่การคายประจุมาก มีการสูญเสียน้ำน้อย และอายุการใช้งานนาน ปัญหาปรากฏการณ์ซัลเฟชันและปรากฏการณ์แบ่งชั้นของสารละลาย (stratification) ยังคงมีอยู่ แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีการนำมาใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบขนาดใหญ่

3) แบตเตอรี่ ชนิด **Captive Electrolyte Lead-Acid (VRLA)** เป็นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดอีกชนิดหนึ่ง โดยสารอิเล็กโทรไลต์ จะถูกอิมโมบิไลซ์ (immobilized) และปิดผนึกในภาชนะบรรจุ ถ้าเกิดสภาวะประจุเกิน ช่องระบายอากาศจะเปิดโดยแรงดันอากาศภายในแบตเตอรี่

ส่วนใหญ่แล้วจะเรียกแบตเตอรี่ชนิดนี้ว่า Valve Regulated Lead-Acid (VRLA) สารอิเล็กโทรไลต์ จะไม่สามารถเติมได้ในแบตเตอรี่ชนิดนี้ ดังนั้นในการใช้แบตเตอรี่ชนิดนี้ ต้องไม่ทำการประจุเกิน

แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมนำมาใช้กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพราะ ได้รับการพิสูจน์ใช้งานแล้ว และสะดวกต่อการขนส่ง แต่ที่สำคัญคือไม่ต้องเติมน้ำกลั่นซึ่งเป็น แบตเตอรี่ในอุดมคติของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ห่างไกล แต่อย่างไรก็ตามสาเหตุที่จะทำให้ แบตเตอรี่ชนิดนี้เสียหายได้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คือการประจุเกินทำให้สูญเสียสารอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งมักเกิดในสภาวะอุณหภูมิสูง ดังนั้นสำหรับกรณีนี้ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ จะต้อง ตั้งจุดควบคุมไม่ให้มีสภาวะประจุเกิน

เทคโนโลยีของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีผลกระทบเร็วมากต่อสภาวะการ ประจุ โดยเฉพาะข้อจำกัดระดับแรงดันและอุณหภูมิ การประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะต้องปฏิบัติตาม ข้อกำหนดของผู้ผลิต ถ้าไม่มีข้อมูล ไม่ควรประจุเกิน 14.2 V ที่ 25 °C สำหรับแบตเตอรี่ 12 V ข้อแนะนำสำหรับการประจุแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือให้ทำการประจุที่ระดับแรงดันและอุณหภูมิคงที่ เพื่อป้องกันการประจุเกิน มี 2 ชนิด คือ

(1) แบตเตอรี่แบบเจล (Gelled battery) แบตเตอรี่ชนิดนี้ ออกแบบ สำหรับใช้ในงานเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป ส่วนใหญ่ใช้กรดแบบตะกั่ว-แคลเซียม แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการเติมซิลิกอนไดออกไซด์เข้าไปในสารอิเล็กโทรไลต์ก่อนที่จะทำให้เป็นเจล ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารวมกันภายใน เพื่อลดการเกิดก๊าซและลดการสูญเสีย

แบตเตอรี่แบบเจลบางชนิดมีการผสมกรดฟอสฟอริกใน สารละลาย อิเล็กโทรไลต์ เพื่อปรับปรุงความสามารถในการคายประจุมากของแบตเตอรี่

(2) แบตเตอรี่ Absorbed Glass Mat (AGM) แบตเตอรี่ชนิดนี้ แตกต่างจากแบบเจล คือสารอิเล็กโทรไลต์จะซับด้วย glass mats และวางเป็นชั้นๆ ระหว่างเพลท แต่มีลักษณะทางกายภาพเหมือนกับเจล การพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดนี้ ทำให้สามารถใช้งานในสภาวะ ประจุเกินและสภาพแวดล้อมอุณหภูมิสูงได้ ดังนั้นข้อแนะนำในการประจุสำหรับแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะกำหนดแรงดันคงที่สูงกว่าแบตเตอรี่แบบเจลได้

ลักษณะเด่นของแบตเตอรี่แบบ AGM คือปรากฏการณ์การรวมตัว ของก๊าซภายใน เมื่อเราทำการประจุแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดใกล้ถึงสภาวะประจุเต็ม จะเกิดก๊าซ ไฮโดรเจนและออกซิเจน จากปฏิกิริยาในขั้วบวกและลบ ถ้าเป็นแบตเตอรี่แบบเติมน้ำกลั่นก๊าซ

ที่เกิดขึ้นจะระบายออกมาภายนอก ทำให้ต้องเติมน้ำกลั่นเข้าไปทดแทน แต่ใน AGM แบตเตอรี่ โมเลกุลออกซิเจนที่เกิดขึ้นในเพลมทวสามารถเคลื่อนที่ไปรวมกับโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจนที่เพลมทวและรวมตัวกลับเป็นน้ำอีกครั้ง ดังนั้นแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะปิดสนิทเพื่อป้องกันการสูญเสียและก๊าซที่เกิดขึ้นภายใน

4) แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม เป็นแบตเตอรี่แบบทุติยภูมิ สามารถนำมาประจุใหม่ได้ และมีการนำไปใช้ประโยชน์ในวงกว้างมากกว่าแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ทำให้เป็นที่น่าสนใจที่จะนำมาใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ข้อดีของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ มีอายุการใช้งานนาน บำรุงรักษาน้อย สามารถทนการประจุที่ผิดปกติได้ ทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ ไม่มีข้อจำกัดที่ต้องควบคุมแรงดันให้คงที่ขณะประจุ ข้อเสียคือราคาแพงและมีขนาดให้เลือกใช้งานน้อย

เซลล์แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียม อิเล็กโทรดเพลมทวทำจาก นิเกิลไฮดรอกไซด์ (Ni(OH)_2) ส่วนขั้วลบทำจากแคดเมียม (Cd) และจุ่มในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ในสภาวะคายประจุ นิเกิลไฮดรอกไซด์จะเปลี่ยนรูปเป็น (Ni(OH)_2) และแคดเมียมจะเปลี่ยนรูปเป็นแคดเมียมไฮดรอกไซด์ (Cd(OH)_2) ความเข้มข้นของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ไม่เปลี่ยนแปลงระหว่างการทำปฏิกิริยา ดังนั้นจุดเยือกแข็งของสารอิเล็กโทรไลต์มีค่าต่ำคงที่

แรงดันต่อเซลล์ของแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียม คือ 1.2 V เมื่อเปรียบเทียบกับแบตเตอรี่ตะกั่วกรด เซลล์ละ 2.1 โวลต์ ต้องใช้เซลล์นิเกิล-แคดเมียมถึง 10 เซลล์เพื่อต่อเป็นแบตเตอรี่ 12 V แรงดันของแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียมนี้ยังคงมีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าจะมีการคายประจุใกล้หมดแล้วก็ตาม และแรงดันจะลดลงทันทีทันใดเมื่อคายประจุหมด แบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียม สามารถรับการประจุด้วยอัตรากระแสสูงถึง C/1 และสามารถทนการประจุเกินอย่างต่อเนื่องที่อัตรา C/15 แบตเตอรี่แบบนี้ แบ่งได้เป็นสองลักษณะ คือ

(1) Sintered Plate Ni-Cads แบตเตอรี่ชนิดนี้ ใช้กันทั่วไปในงานเครื่องมือวัด และอุปกรณ์ไฟฟ้าในบ้าน การออกแบบใช้ขบวนการความร้อนกับวัสดุทำปฏิกิริยาและมวลเพลมทวดังกล่าวเป็นวงใส่ในภาชนะบรรจุ และสารอิเล็กโทรไลต์ใช้วิธีอิมโมบิไลซ์ ป้องกันการรั่วซึม และสามารถติดตั้งได้หลายลักษณะ ปัญหาของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ ผลของหน่วยความจำ (memory effect) คือการที่แบตเตอรี่คายประจุได้เฉพาะอัตราที่มีการประจุเข้าไป ในรอบนั้นเท่านั้น

และจะทำให้ความจุลดลง ในบางกรณี ผลของหน่วยความจำสามารถลบได้ โดยทำการประจุและคายประจุแบบพิเศษให้เหมือนสภาวะเริ่มต้นใช้งาน

(2) **Pocket Plate Ni-Cads** แบตเตอรี่นิเกิล-แคดเมียมที่ใช้กับระบบสื่อสารในพื้นที่ห่างไกล และการประยุกต์งานด้านอื่นๆ มักใช้แบบที่เติมสารอิเล็กโทรไลต์เรียก Flooded pocket plate การออกแบบจะเหมือนกับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ต้องมีการเติมน้ำกลั่นเป็นระยะเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามสารอิเล็กโทรไลต์เป็นสารอัลคาไลน์โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์แทนกรดซัลฟริก แบตเตอรี่ชนิดนี้ สามารถใช้งานในสภาวะคายประจุมาก และอุณหภูมิต่ำได้ดีกว่าแบบตะกั่วกรด และไม่มีผลของหน่วยความจำเหมือนในแบบ Sintered Plate Ni-Cads ข้อเสียของแบตเตอรี่แบบนี้คือ มีราคาเริ่มต้นที่ยังแพงอยู่ และอย่างไรก็ตามถ้าเทียบกับอายุที่นานอาจเป็นแบตเตอรี่ที่มีราคาตลอดอายุการใช้งานถูกที่สุดในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ก็เป็นได้

สำหรับโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เลือกใช้แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบบใช้ในงานคายประจุมาก (deep cycle) ขนาด 12 V 125 AH

2.3.3 อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Battery Charge Controller)

ในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ฟังก์ชันพื้นฐานคือการรักษาแบตเตอรี่ให้มีสถานะของความจุอยู่ในช่วงใช้งานตลอดเวลา ในขณะที่เดียวกันป้องกันไม่ให้เกิดการประจุเกินจากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และป้องกันไม่ให้ภาระทางไฟฟ้าดึงกระแสออกไปใช้งานมากจนแบตเตอรี่เสียหาย แต่อย่างไรก็ตามในระบบเซลล์แสงอาทิตย์บางระบบอาจออกแบบโดยไม่มีระบบป้องกันการประจุได้ แต่ในกรณีระบบที่ไม่สามารถคำนวณการใช้ภาระทางไฟฟ้าล่วงหน้าได้ มีผู้ใช้งานเพิ่มเติมโดยควบคุมไม่ได้ หรือระบบที่ออกแบบแบตเตอรี่ให้พอดีหรือให้มีขนาดเล็กกว่าความต้องการ (ในกรณีงบประมาณมีจำกัด) จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ทั้งสิ้น วิธีการในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่นั้นจะบ่งบอกถึงผลตอบแทนที่จะได้จากระบบแบตเตอรี่และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และทำให้ระบบตอบสนองความต้องการทางภาระทางไฟฟ้าแก่ผู้ใช้งานได้เพียงพอ การเพิ่มเติมส่วนประกอบการทำงานอื่นๆ เช่น ส่วนปรับแก้อุณหภูมิ สัญญาณเตือนต่างๆ มิเตอร์แสดงผล และการวัดแรงดันระยะไกลเพื่อนำไปควบคุมอุปกรณ์ประกอบภายนอกนั้น เป็นการเพิ่มความสามารถของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ให้รักษาอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ให้นานเท่าที่แบตเตอรี่สามารถใช้งานได้

ฟังก์ชันที่สำคัญของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ มีดังนี้

- 1) **การป้องกันการประจุเกิน (Overcharge)** เป็นการจำกัดหรือลดการประจุไฟให้กับแบตเตอรี่จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อแบตเตอรี่ถูกประจุเต็ม
- 2) **การป้องกันการคายประจุเกิน (Over discharge)** เป็นการตัดแบตเตอรี่ออกจากภาระทางไฟฟ้า เมื่อความจุแบตเตอรี่ลดลงถึงสถานะต่ำเกินไป
- 3) **ควบคุมภาระทางไฟฟ้า (Load Control Function)** เป็นการตัดหรือต่อภาระทางไฟฟ้าแบบอัตโนมัติตามช่วงเวลา เช่น การเปิดระบบแสงสว่างจากช่วงดวงอาทิตย์ตกถึง ดวงอาทิตย์ขึ้นเป็นต้น

ก. การป้องกันการประจุเกิน

สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระในพื้นที่ห่างไกล ที่มีระบบแบตเตอรี่ จะได้รับการออกแบบ ให้สามารถจ่ายไฟให้กับภาระทางไฟฟ้าได้ที่สภาวะเลวร้ายที่สุด (worst-case condition) เช่น การเลือกเดือนที่มีสัดส่วนของพลังงานแสงอาทิตย์ต่อภาระทางไฟฟ้าต่ำสุดมาทำการออกแบบเป็นต้น เมื่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้ดีในช่วงเดือนที่มีพลังงานแสงอาทิตย์เพียงพอ เช่น ในช่วงฤดูร้อน พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ มักจะมากเกินไปเกินความต้องการใช้งาน ในการป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายที่ระบบแบตเตอรี่เนื่องจากการประจุเกินในช่วงนี้จึงต้องใช้ระบบควบคุมการประจุแบตเตอรี่ การที่จะป้องกันได้ มากน้อยเพียงใด นั้น ยังต้องคำนึงถึงพารามิเตอร์อื่นๆ ประกอบ เช่น การออกแบบระบบ การเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าตามฤดูกาล อุณหภูมิแวดล้อม และลักษณะของพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

การกำหนดแรงดันควบคุมในการประจุ เป็นฟังก์ชันแรกของอุปกรณ์ควบคุมการประจุ และอาจจะเป็นฟังก์ชันที่สำคัญที่สุด ที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ วัตถุประสงค์ของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ คือการควบคุมการประจุแบตเตอรี่ที่ยังไม่เต็มให้มีการประจุเต็มโดยไม่เกิดการประจุเกิน ถ้าไม่มีอุปกรณ์ควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประจุเข้าแบตเตอรี่ มีสัดส่วนมากหรือน้อยตามความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ โดยไม่คำนึงว่าแบตเตอรี่ต้องการหรือไม่ เมื่อแบตเตอรี่ได้รับการประจุเต็ม แรงดันประจุแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้น ไปถึงจุดที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาแก๊ซซึ่ง ทำให้สารละลายอิเล็กโทรไลต์แห้งลง เกิดความร้อนขึ้นภายใน และแรงทำให้เกิดการร่วของแผ่นเพลทเร็วขึ้น เป็นต้น

ในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่นั้นอาจทำได้โดยการตัดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ออก หรือการลดกระแสที่มาจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ลง เมื่อแบตเตอรี่ใกล้จะถูประจุเต็ม ในการกำหนดแรงดันควบคุม โดยทั่วไปทำได้โดยการกำหนดจุดแรงดันสูงสุดในการประจุแบตเตอรี่ (Voltage regulation set point : VR) และกลับมาต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์อีกเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงมาถึงจุดแรงดันต่อกลับ (Array reconnect voltage set point : ARV)

ข. การป้องกันการคายประจุเกิน

ในช่วงระยะเวลาที่พลังงานแสงอาทิตย์ต่ำกว่าค่าที่ใช้ออกแบบ หรือช่วงที่มีการใช้ภาระทางไฟฟ้าเพิ่มมากกว่าที่ออกแบบไว้ พลังงานที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอที่จะรักษาให้แบตเตอรี่เต็มตลอดเวลา เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้งานจนแรงดันลดลงเรื่อยๆ ปฏิกริยาจะเกิดที่กรดมากขึ้น แรงยึดเหนี่ยวระหว่างวัสดุทำปฏิกริยาและกรดจะลดลง เมื่อแบตเตอรี่ถูกคายประจุไปเรื่อยๆ จะทำให้อายุการใช้งานและขนาดความจุเต็มลดลงในที่สุด การป้องกันไม่ให้แบตเตอรี่ได้รับการคายประจุเกิน อุปกรณ์ควบคุมการคายประจุส่วนใหญ่จะเพิ่มฟังก์ชันการตัดภาระทางไฟฟ้าออกเมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงถึงจุดแรงดันต่ำหรือสถานะความจุต่ำสุดเสมอ

ในบางกรณีภาระทางไฟฟ้าที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องการแรงดันไฟฟ้าที่สูงเพียงพอเพื่อทำงาน ถ้าแบตเตอรี่มีความจุลดลงจนแรงดันแบตเตอรี่ลดต่ำกว่าแรงดันที่ภาระทางไฟฟ้าใช้งานได้ ภาระทางไฟฟ้าจะถูกตัดออกโดยอัตโนมัติ เมื่อแรงดันไฟฟ้ากลับขึ้นมาสู่สถานะปกติ ถ้าภาระทางไฟฟ้าไม่ได้กำหนดการทำงานอัตโนมัติไว้ อาจเป็นปัญหาต่อผู้ใช้งานได้ จึงเป็นเหตุผลสำคัญที่จะต้องออกแบบเพื่อกำหนดจุดป้องกันการคายประจุเกินของระบบแบตเตอรี่

การป้องกันการคายประจุเกินในอุปกรณ์ป้องกันการคายประจุ มักทำโดยการตัดภาระทางไฟฟ้าออกจากระบบแบตเตอรี่เมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงถึงจุดแรงดันต่ำ (Low voltage load disconnect set point : LVD) อุปกรณ์ควบคุมการประจุส่วนใหญ่มีสัญญาณเตือนในลักษณะไฟสัญญาณหรือเสียงเตือน เพื่อแจ้งผู้ใช้งานทราบว่าการตัดภาระทางไฟฟ้าออกจนกระทั่งแบตเตอรี่ได้รับการประจุจนแรงดันกลับมาปกติ ภาระทางไฟฟ้าจะถูกต่อกลับมาเช่นเดิม

ในระบบที่ภาระทางไฟฟ้าสามารถปิดได้ มักป้องกันการคายประจุเกิน โดยการต่อรีเลย์หรืออุปกรณ์ตัดวงจรภาระทางไฟฟ้าออกเมื่อแรงดันลดลงถึงจุดที่กำหนด ส่วนระบบที่

ภาระทางไฟฟ้าไม่สามารถปิดได้ ระบบจะไม่ตัดภาระทางไฟฟ้าออกโดยอัตโนมัติ อย่างไรก็ตาม ภาระทางไฟฟ้าประเภทนี้จะทำให้แบตเตอรี่มีการคายประจุเกินได้ ต้องมีการต่ออุปกรณ์เตือนให้ ผู้ใช้งานทราบล่วงหน้าก่อนที่จะแรงดันจะลดลงจนถึงจุดที่ทำความเสียหายให้กับแบตเตอรี่ได้

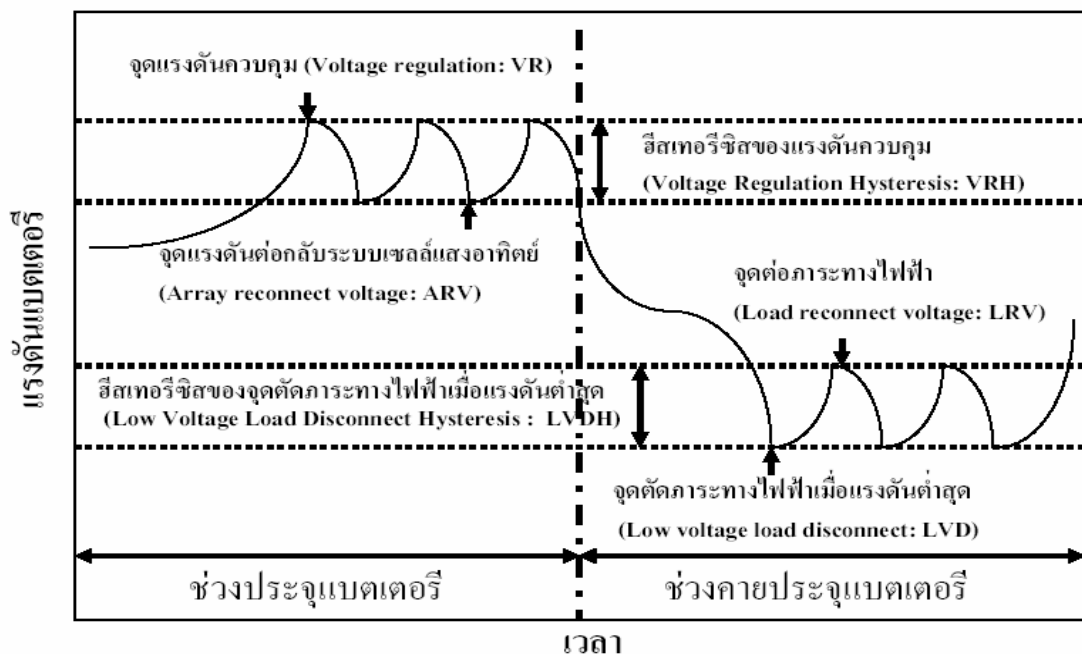
ค. นิยามที่ใช้ในการควบคุมการประจุแบตเตอรี่

การควบคุมแรงดันในการประจุเป็นฟังก์ชันแรก ของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ และบางครั้งอาจเป็นฟังก์ชันเดียวที่สำคัญที่สุด วัตถุประสงค์ของอุปกรณ์ควบคุมการประจุคือการควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยไม่ทำให้เกิดการประจุเกิน การควบคุมแรงดันหรือการจำกัดกระแสจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำได้หลายวิธี วิธีการที่นิยมมากที่สุดคือการวัดแรงดันของแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามยังมีวิธีการวัดพลังงานที่ประจุในรูปแบบของแอมแปร์ชั่วโมง

ถึงแม้มีวิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าหรืออัลกอริทึมต่างๆ นำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมการประจุต่างๆ กัน แต่มีพารามิเตอร์และคุณสมบัติพื้นฐานเหมือนกัน คือ บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์ควบคุมการประจุจะกำหนดขอบเขตของการควบคุม เช่น ความลึกของกระแสจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และภาระทางไฟฟ้า อุณหภูมิใช้งาน การสูญเสีย จุดกำหนดต่างๆ และค่ากำหนดคิสเทอร์ริชิส ในบางกรณีจุดกำหนดต่างๆ แปรผันตามอุณหภูมิของแบตเตอรี่ และ/หรือของอุปกรณ์ควบคุมการประจุ และขนาดของกระแสที่ทำการประจุ ดังนั้นต้องทำความเข้าใจกับนิยามต่างๆ ที่ใช้กับอุปกรณ์ควบคุมการประจุ ที่จะกล่าวถึงต่อไป

1) การกำหนดจุดการควบคุมการประจุแบตเตอรี่

ระดับแรงดันแบตเตอรี่ ที่อุปกรณ์ควบคุมการประจุใช้ในการควบคุมหรือฟังก์ชันการสวิตช์เรียกว่า จุดควบคุม (Controller set point) สำหรับอุปกรณ์ควบคุมการประจุทั่วไปมีจุดควบคุมหลัก 4 จุด คือ จุดแรงดันควบคุม (Voltage regulation : VR) จุดแรงดันต่อกลับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Array reconnect voltage : ARV) ทั้งสองจุดเป็นแรงดันที่ทำหน้าที่ควบคุมการตัดต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับแบตเตอรี่ จุดตัดภาระทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันต่ำสุด (Low voltage load disconnect : LVD) และจุดต่อภาระทางไฟฟ้า (Load reconnect voltage : LRV) ทั้งสองจุดทำหน้าที่ควบคุมการตัดต่อภาระทางไฟฟ้าเพื่อป้องกันสถานะการคายประจุเกิน รูปที่ 2-19 แสดงหลักการพื้นฐานในการกำหนดจุดควบคุมการประจุและคายประจุของแบตเตอรี่ ในลักษณะกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันแบตเตอรี่กับเวลา



รูปที่ 2-19 การกำหนดจุดควบคุมของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่

(1) จุดแรงดันควบคุม (Voltage regulation : VR) เป็นคุณสมบัติหนึ่งของอุปกรณ์ควบคุมการประจุ ความหมายของจุดแรงดันควบคุม คือ จุดแรงดันสูงสุดที่อุปกรณ์ควบคุมยอมให้เกิดขึ้นที่แบตเตอรี่ได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการประจุเกินขึ้นที่แบตเตอรี่เมื่ออุปกรณ์ควบคุมวัดแรงดันของแบตเตอรี่ได้ถึงจุดควบคุมนี้แล้ว อุปกรณ์ควบคุมจะทำการตัดแบตเตอรี่ออกจากการประจุทันทีหรือทำการจำกัดกระแสที่ประจุเข้าแบตเตอรี่ ในบางระบบออกแบบใช้จุดแรงดันควบคุมสองจุดควบคู่กัน เช่น ใช้จุดแรงดันควบคุมค่าสูงสำหรับการประจุรอบแรกของวัน เพื่อป้องกันการประจุเกิน การเกิดก๊าซซิง และการอิกวอไลเซชัน ขณะที่จุดแรงดันควบคุมค่าต่ำใช้ในการควบคุมรอบต่อไปของการประจุ เพื่อให้แบตเตอรี่มีการประจุแบบโฟลต (float charge)

ในการกำหนดจุดแรงดันควบคุม สำหรับอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ มักกำหนดให้มีค่าสูงกว่าแรงดันประจุแบบโฟลท ที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต เนื่องจากในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ได้รับการประจุในช่วงเวลาที่มีแสงเท่านั้น ในขณะที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดเวลาการประจุไว้นานสำหรับการประจุแบบโฟลท โดยการกำหนดค่าแรงดันควบคุมไว้สูงกว่าที่บริษัทกำหนด แบตเตอรี่จะสามารถประจุเต็มได้ในระยะเวลาสั้นลง แต่อย่างไรก็ตามมักเกิดการประจุเกินและเกิดก๊าซซึ่งตามมา ผู้ออกแบบจึงต้องเลือกแรงดันควบคุมที่แบตเตอรี่สามารถรักษาสภาวะการประจุเต็มได้มากที่สุด โดยไม่มีผลกระทบทำให้เกิดปัญหาจากการประจุเกิน

(2) จุดแรงดันต่อกลับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Array reconnect voltage : ARV) ในอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่แบบเปิดปิด เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ถูกตัดออกจากระบบ แรงดันแบตเตอรี่จะค่อยๆ ลดลง อัตราการลดลงของแรงดันแบตเตอรี่ขึ้นกับหลายตัวแปร ซึ่งรวมไปถึงอัตราการประจุ และอัตราการคายประจุ ก่อนที่จะตัดวงจร ถ้าอัตราการประจุและคายประจุมีค่าสูง อัตราการลดลงของแรงดันแบตเตอรี่ก็จะเร็วกว่า เมื่อมีอัตราการประจุและคายประจุต่ำกว่า เมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงถึงจุดที่กำหนดและระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าประจุ แบตเตอรี่ได้อีกครั้ง เรียกจุดนั้นว่าจุดแรงดันต่อกลับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Array reconnect voltage : ARV)

ถ้าระบบเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงถูกตัดออกเมื่อแรงดันถึงจุดแรงดันควบคุมครั้งแรกแล้วและไม่ต่อกลับเมื่อแรงดันลดลง แบตเตอรี่อาจจะไม่ได้รับการประจุเต็ม เพื่อเป็นการทำให้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกลับได้เมื่อแรงดันลดลงถึงจุดต่อกลับ อาจเพิ่มฟังก์ชันการประจุแบตเตอรี่เป็นลูกคลื่น(พัลส์) ตลอดเวลา แทนที่การตัดเซลล์แสงอาทิตย์ออกโดยสิ้นเชิง วิธีการนี้แบตเตอรี่จะถูกประจุจนเต็มก่อนที่จะถูกตัดระบบเซลล์แสงอาทิตย์ออก

(3) ฮิสเทอรีซิสของแรงดันควบคุม (Voltage Regulation Hysteresis : VRH) ช่วงแรงดัน หรือความแตกต่างระหว่างจุดแรงดันควบคุมกับจุดแรงดันต่อกลับ จะเรียกว่าฮิสเทอรีซิสของแรงดันควบคุม ค่านี้เป็นแฟกเตอร์หลักที่ประเมินความมีประสิทธิภาพของการประจุแบตเตอรี่ที่ใช้ระบบควบคุมแบบเปิดปิด ถ้าค่าฮิสเทอรีซิสของแรงดันควบคุมมีค่าสูงเกินไป กระแสจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกตัดในช่วงเวลานาน ทำให้ประสิทธิภาพการได้รับพลังงานต่ำลงและทำให้มีความลำบากเพิ่มขึ้นในการประจุแบตเตอรี่ให้เต็ม แต่ถ้าค่าฮิสเทอรีซิสของแรงดัน

ควบคุมมีค่าต่ำระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกตัดต่อบ่อยมากขึ้น บางทีอาจทำให้เกิดความเสียหายที่อุปกรณ์ควบคุมที่ใช้ระบบตัดต่อแบบอิเล็กทรอนิกส์ได้ ผู้ออกแบบต้องระมัดระวังในการคำนวณค่าฮีสเทอรีซิส บนฐานข้อมูลอัตราการประจุและคายประจุของระบบและแบตเตอรี่ที่ใช้จริง

อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่แบบเปิดปิดทั่วไปจะกำหนดค่าฮีสเทอรีซิสระหว่าง 0.4 ถึง 1.4 โวลต์ สำหรับระบบแบบ 12 โวลต์ เช่นสำหรับระบบที่กำหนดแรงดันควบคุมที่ 14.5 โวลต์ และมีฮีสเทอรีซิส 1 โวลต์ แรงดันที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะต่อกลับคือ 13.5 โวลต์ โดยทั่วไปการกำหนดค่าฮีสเทอรีซิสค่าต่ำๆ จะใช้กับระบบที่ไม่มีภาระทางไฟฟ้าตอนกลางวัน

(4) จุดตัดภาระทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันต่ำสุด (Low voltage load disconnect : LVD) การคายประจุเกินของแบตเตอรี่ สามารถทำให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลดลงได้ ถ้าแรงดันแบตเตอรี่ต่ำ อาจจะเป็นเนื่องจากไม่มีพลังงานอาทิตย์ประจุเข้าเป็นเวลานาน ภาระทางไฟฟ้าจะถูกตัดออก เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันแบตเตอรี่ลดลงไปเรื่อยๆ การตัดภาระทางไฟฟ้าออกจะกำหนดโดยแรงดันที่จุดตัดภาระทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันต่ำสุด (Low voltage load disconnect : LVD) อุปกรณ์ที่ใช้อาจเป็น รีเลย์หรือ สวิตช์แบบ สารกึ่งตัวนำ (solid-state) ซึ่งสามารถแยกการไหลของกระแสจากแบตเตอรี่และภาระทางไฟฟ้าได้ บางกรณีอาจรวมอยู่ในการออกแบบวงจรควบคุม บางกรณีอาจแยกออกมาจากวงจรควบคุม ขึ้นอยู่กับขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ทำการตัดต่อ

ในอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ที่มีฟังก์ชันการควบคุมการตัดต่อภาระทางไฟฟ้า จุด LVD เป็นจุดแรงดันที่ภาระทางไฟฟ้าจะถูกตัดออกจากระบบแบตเตอรี่ การกำหนดจุด LVD หมายถึง การกำหนดค่าสถานะการประจุแบตเตอรี่สูงสุดที่ยอมรับได้ หรือคือค่าความจุแบตเตอรี่สูงสุดที่ใช้ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ระบบนั้น ดังนั้นในการออกแบบระบบจะต้องระมัดระวังเป็นพิเศษว่าได้นำความจุจริงหลังจากการกำหนดค่า LVD แล้วมาหาขนาดของแบตเตอรี่

ค่า LVD ที่เหมาะสมจะช่วยยืดอายุการใช้งานแบตเตอรี่ ในการคำนวณจุด LVD ของแบตเตอรี่ผู้ออกแบบต้องคำนึงถึงอัตราการคายประจุ เนื่องจากแรงดันแบตเตอรี่แปรผันกับอัตราการคายประจุ การกำหนดจุด LVD ต่ำๆ มักทำกับระบบที่มีการคายประจุสูง เพื่อให้เป็นจุดเดียวกับสถานะการคายประจุ (DOD) โดยทั่วไปสำหรับระบบที่มีการคาย

ประจุเข้าเช่นในระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระขนาดเล็ก (SHS) มักใช้แรงดัน LVD ประมาณ 11.0 ถึง 11.5 โวลต์ ซึ่งจะสัมพันธ์กับสถานะการคายประจุของแบตเตอรี่ (DOD) ที่ 75-90% สำหรับระบบแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดขนาด 12 โวลต์ ที่อัตราการคายประจุต่ำกว่า C/30

ในการสั่งซื้ออุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ ข้อควรระมัดระวัง คือ บริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่จะกำหนดอัตราการคายประจุ สำหรับการกำหนดจุดแรงดันต่ำสุด เมื่อเทียบกับสถานะการคายประจุเต็มที่ 100% สำหรับแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรด ค่าแรงดัน LVD ประมาณ 10.5 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ 12 โวลต์ (1.75 โวลต์ต่อเซลล์) ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์เราไม่ต้องการให้แบตเตอรี่คายประจุถึงจุดนี้ซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานสั้นลงโดยทั่วไป การกำหนดจุด LVD มักไม่เกิน 75-80% DOD

(5) จุดต่อภาระทางไฟฟ้า (Load reconnect voltage : LRV) แรงดัน ที่อุปกรณ์ควบคุมการประจุ ยอมให้แบตเตอรี่ต่อภาระทางไฟฟ้ากลับมาเรียกจุดต่อภาระทางไฟฟ้า (Load reconnect voltage : LRV) หลังจากที่ถูกอุปกรณ์ควบคุมการประจุตัดภาระทางไฟฟ้าออกไปที่จุด LVD แรงดันแบตเตอรี่จะเพิ่มขึ้นไปที่แรงดันวงจรเปิดของแบตเตอรี่ เมื่อมีการประจุไฟฟ้าเข้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แรงดันแบตเตอรี่จะสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่ออุปกรณ์ควบคุมวัดแรงดันแบตเตอรี่ได้สูงเพียงพอ ก็จะทำการต่อภาระทางไฟฟ้าเข้ามา เรียกจุดแรงดันที่ต่อภาระทางไฟฟ้ากลับมาว่าจุดต่อภาระทางไฟฟ้า (Load reconnect voltage : LRV)

การเลือกจุดต่อกลับภาระทางไฟฟ้าจะต้องเลือกค่าสูงเพียงพอที่แบตเตอรี่ได้รับการประจุกลับแล้ว แต่การเลือกค่าสูงมากจะทำให้ภาระทางไฟฟ้าถูกตัดออกเป็นระยะเวลานาน อุปกรณ์ควบคุมหลายชนิดเลือกการตัดภาระทางไฟฟ้าทั้งวัน หรือจนกระทั่งตรวจสอบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มีการประจุกลับเข้าแบตเตอรี่แล้ว ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระขนาดเล็ก กำหนด LRV ระหว่าง 12.5 ถึง 13 โวลต์ สำหรับแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบ 12 โวลต์ ถ้าทำการเลือก LRV ค่าต่ำ ภาระทางไฟฟ้าจะได้รับการต่อกลับก่อนที่แบตเตอรี่จะถูกประจุทำให้เกิดวงจรการตัดต่อภาระทางไฟฟ้าบ่อยๆ ทำให้แบตเตอรี่อยู่ในสถานะความจุต่ำตลอดเวลา ส่งผลให้อายุการใช้งานแบตเตอรี่สั้นลง

ในการเลือกจุด LRV ผู้ออกแบบต้องพิจารณาอัตราการประจุ สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และอัตราการคายประจุสำหรับภาระทางไฟฟ้า และพิจารณาว่าอัตราการประจุและคายประจุมีผลต่อแรงดันแบตเตอรี่ที่สถานะการคายประจุต่างๆ อย่างไร

(6) อีสเทอริซิสของจุดตัดภาระทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันต่ำสุด (Low Voltage Load Disconnect Hysteresis : LVDH) ช่วงแรงดัน หรือความแตกต่างระหว่างจุด LVD และ LRV เรียกอีสเทอริซิสของจุดตัดภาระทางไฟฟ้าเมื่อแรงดันต่ำสุด (LVDH) ถ้าค่า LVDH มีค่าต่ำ ภาระทางไฟฟ้าจะถูกตัดต่อบ่อยเกินไปที่สถานะการประจุ (SOC) ค่าต่ำ อาจมีผลทำให้เกิดความเสียหายต่อภาระทางไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ควบคุมได้ และยังทำให้แบตเตอรี่ต้องใช้เวลาอันยาวนานขึ้นในการประจุเต็ม แต่ถ้าค่า LVDH มีค่ามาก ภาระทางไฟฟ้าจะถูกตัดเป็นระยะเวลานาน จนกระทั่งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ประจุแบตเตอรี่จนเต็ม โดยการกำหนดค่า LVDH สูงนี้ทำให้แบตเตอรี่มีอายุการใช้งานนานแต่ลดความมั่นคงของระบบทางผู้ใช้งาน ค่า LVDH ที่เหมาะสมนั้นจะต้องพิจารณาความต้องการความมั่นคงทางระบบ ปฏิบัติการเคมี และขนาดของแบตเตอรี่ รวมทั้งกระแสของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบแบตเตอรี่

2) การเลือกอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่

การออกแบบและการเลือกอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีข้อควรพิจารณาหลายแฟกเตอร์ ขึ้นกับความซับซ้อน และทางเลือกของการควบคุม ขณะที่ฟังก์ชันเบื้องต้นคือป้องกันไม่ให้เกิดการประจุแบตเตอรี่ เกินหลาย ๆ ฟังก์ชันมีการนำมาเพิ่มเติม ทั้งการตัดภาระทางไฟฟ้าออกเมื่อแรงดันต่ำ ควบคุมแหล่งพลังงานชนิดอื่น จ่ายพลังงานบางส่วนให้ภาระทางไฟฟ้าที่จำเป็น หรือแม้กระทั่งการแสดงค่าทางไฟฟ้าของระบบ ผู้ออกแบบต้องตัดสินใจเลือกทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน อาจใช้รายการต่อไปนี้ในการพิจารณาเลือกอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

- (1) แรงดันของระบบ
- (2) กระแสของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และภาระทางไฟฟ้า
- (3) ชนิดและขนาดของแบตเตอรี่
- (4) วิธีการในการควบคุมและการออกแบบอุปกรณ์ตัดต่อ
- (5) จุดแรงดันควบคุมและจุดตัดต่อภาระทางไฟฟ้า
- (6) เงื่อนไขสถานะแวดล้อมการใช้งาน
- (7) การออกแบบทางเครื่องกลและการบรรจุผลิตภัณฑ์
- (8) การแสดงผลระบบ ลักษณะสัญญาณเตือน และมีเตอร์ต่างๆ

(9) อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน อุปกรณ์ตัดต่อ และอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินชั่วขณะ

(10) ราคา การรับประกัน และความน่าเชื่อถือผลิตภัณฑ์

2.3.4 ระบบอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่แน่นอน อินเวอร์เตอร์มีฟังก์ชันการทำงานหลัก 4 แบบคือ

1) ฟังก์ชันแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter)

ทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบพลังงานทดแทน หรือแบตเตอรี่ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่มีแรงดันไฟฟ้าและความถี่ที่แน่นอน วงจรภายในอินเวอร์เตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่เป็นสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง และวงจรควบคุมการทำงานของสวิทช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อให้ได้ขนาดของแรงดันไฟฟ้าและความถี่ตามต้องการ ลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์ขึ้นอยู่กับคุณภาพและราคาของอินเวอร์เตอร์ อินเวอร์เตอร์ที่มีสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทางด้านออกคล้ายคลื่นรูปไซน์ จะมีราคาสูงเนื่องจากมีขนาดของฮาร์มอนิกส์รวมต่ำ

2) ฟังก์ชันการจัดรูปแบบสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ (Waveshaping) ในทางอุดมคติแล้วรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับเป็นสัญญาณคลื่นรูปไซน์ สำหรับภาระทางไฟฟ้าที่เป็นความต้านทาน สามารถใช้ได้กับทั้งไฟฟ้ากระแสตรงและกระแสสลับ ดังนั้นลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าจึงไม่มีผลกระทบต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าชนิดนี้ ในขณะที่ภาระทางไฟฟ้าแบบอินดักทีฟ เช่น มอเตอร์ พัดลม สัญญาณไฟฟ้าที่ส่งให้มอเตอร์จะต้องมีลักษณะเป็นคลื่นรูปไซน์หรือใกล้เคียงมากที่สุด เนื่องจากประสิทธิภาพการหมุนของมอเตอร์ (พลังงานกล) จะเกิดจากความถี่พื้นฐาน 50 Hz ของสัญญาณรูปคลื่นไซน์ ส่วนความถี่ฮาร์โมนิกอื่นที่สูงกว่า ที่ถูกส่งมารวมกับสัญญาณรูปคลื่นไซน์ จะไม่ทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ แต่จะทำให้เกิดความร้อน ในขดลวดทองแดง และตัวของมอเตอร์เอง และที่มักเกิดบ่อยๆ คือทำให้ฉนวนที่หุ้มขดลวดมีอายุการใช้งานสั้นลง ทำให้มอเตอร์ไหม้เสียหายได้

3) **ฟังก์ชันการควบคุมแรงดัน (Regulation)** ฟังก์ชันนี้ควบคุมโดย พัลส์วิดโมดูเลชัน (PWM) เนื่องจากแรงดันกระแสตรงที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่งมายังอินเวอร์เตอร์ มีการเปลี่ยนแปลง ทำให้แรงดันไบแอสที่อุปกรณ์สวิตช์แบบสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ส่งผลให้กระแสที่ส่งไปยังภาระทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง หมายถึงอัมพลิจูดของพัลส์ที่ทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ไม่คงที่ ดังนั้นจึงต้องทำการมอดูเลทความกว้างของเอาต์พุตพัลส์ (ให้แคบลงหรือกว้างขึ้น) เพื่อรักษาค่าแรงดันทางด้านเอาต์พุตให้คงที่ Pure square-wave inverter ไม่สามารถควบคุมแรงดันโดย PWM ได้ เนื่องจากไม่สามารถทำการมอดูเลทความกว้างของสัญญาณได้ จึงมีการออกแบบเทคนิคการควบคุมแรงดันเอาต์พุตเช่นการเลือกสวิตช์ทางด้านขดเหนี่ยวนำของทรานส์ฟอเมอร์สวิตช์ เป็นต้น

การใช้ทรานส์ฟอเมอร์ในอินเวอร์เตอร์ ไม่ได้ใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการแปลงสัญญาณไฟฟ้า การจัดรูปสัญญาณ หรือการควบคุมแรงดันไฟฟ้าง่ายๆตามที่กล่าวมาข้างต้น สามารถตัดออกจากการออกแบบอินเวอร์เตอร์ได้ แต่อย่างไรก็ตามยังมีการนำทรานส์ฟอเมอร์มาใช้ในอินเวอร์เตอร์เพื่อวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

- เพื่อสร้าง galvanic isolation ระหว่างระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบสายส่งของการไฟฟ้า หรือระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อความปลอดภัยในการใช้งาน
- ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการเลือกขนาดแรงดันของระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบแบตเตอรี่ หรือแรงดันของแบตเตอรี่
- ทำให้มีระบบ grounding สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อความปลอดภัยในการใช้งานระบบ

4) **ฟังก์ชันทำงานที่จุดกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Maximum Power Point Tracker)** ปกติแล้วเมื่อนำภาระทางไฟฟ้าชนิดต่างๆ เช่นชนิดความต้านทาน ชนิดที่เป็นคาปาซิเตอร์ หรือขดลวดมาต่อกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ลักษณะของจุดทำงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายพลังงานงานออกมาจะถูกกำหนดโดยคุณสมบัติของภาระทางไฟฟ้าแบบต่างๆ เหล่านั้น ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด การเพิ่มฟังก์ชันการทำงาน ที่จุดกำลังสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นการเพิ่มวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่กำหนดจุดทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ทำงานที่จุดกำลังสูงสุดตลอดเวลา ผู้ใช้งานจึงได้รับประโยชน์ทางด้านพลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด

อินเวอร์เตอร์ที่ใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแยกออกเป็น 2 ประเภท

1) **อินเวอร์เตอร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ (Stand Alone Inverter)** อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้บางครั้งเรียก Self-commutated inverter หรือ Voltage-fed inverter สามารถนำไปใช้งานได้อิสระ แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแหล่งกำเนิด เช่น ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นกระแสสลับได้ทันที

2) **อินเวอร์เตอร์สำหรับระบบเชื่อมต่อสายส่ง (Grid Connected Inverter)** อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้บางครั้งเรียก Line-commutated inverter หรือ Current-fed inverter อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีแรงดันทางด้านเอาต์พุตก่อนเท่านั้น โดยอาจเป็นแรงดันจากระบบสายส่งของการไฟฟ้าหรือแหล่งกำเนิดไฟฟ้าอื่นๆ ที่ต่อทางด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ เช่น เครื่องยนต์ดีเซล UPS อินเวอร์เตอร์ หรือกังหันลมผลิตไฟฟ้า

สำหรับโครงการเร่งรัดขยายบริการไฟฟ้าโดยระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทั้งอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่และอินเวอร์เตอร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระประกอบอยู่ในชุดเดียวกัน มีคุณสมบัติการควบคุมและการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ ตามข้อกำหนดทางเทคนิค ในหัวข้อ 2.2