

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ เราใช้พลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้า การคมนาคม การบริการ และการผลิตทั้งในเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม การใช้พลังงานในประเทศในปัจจุบัน พลังงานที่เราใช้กันอยู่ทุกวันนี้ ส่วนใหญ่ได้จากพลังงานสิ้นเปลือง โดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิง นับวันมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกที ในขณะที่ประเทศของเราไม่มีแหล่งน้ำมันเพียงพอกับความต้องการใช้ในประเทศ ในแต่ละปี รัฐจึงต้องสูญเสียงบประมาณในการนำเข้าน้ำมันดิบเป็นจำนวนมหาศาล ดังนั้นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานสิ้นเปลือง ก็คือ การใช้พลังงานทดแทน ซึ่งจากสภาพภูมิศาสตร์และตำแหน่งที่ตั้งของประเทศไทย พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนที่มีความเหมาะสมในการนำมาใช้ประโยชน์เป็นอย่างมาก โดยพลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยการใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำการเปลี่ยนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

ดังนั้น การรณรงค์ให้ประชาชนรู้จักการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ หรือการใช้พลังงานทดแทนอื่นๆ การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ก็เป็นพลังงานทดแทนทางเลือกหนึ่ง และสถาบันการศึกษาเองควรจะเป็นต้นแบบในการส่งเสริมการใช้พลังงาน สนับสนุนการกิจการเรียนการสอนด้านพลังงานทดแทน และเป็นศูนย์เผยแพร่ถ่ายทอดการใช้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเป็นการศึกษาวิจัยและเป็นศูนย์เรียนรู้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนและขยายผลแก่ผู้สนใจภายนอกต่อไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เซลล์แสงอาทิตย์มาเป็นส่วนหนึ่งของอาคารเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ภายในอาคาร และเพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคาร

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
2. เพื่อศึกษาผลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย

1. สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าได้
2. ทราบถึงปริมาณการใช้ไฟฟ้า ที่ได้รับจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
3. เพื่อสนับสนุนการกิจการเรียนการสอนด้านพลังงานทดแทน

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับห้องห้องปฏิบัติไฟฟ้า ใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบแสงสว่างที่มีโหลดไฟฟ้า 800 วัตต์
2. วัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์
3. ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาดแผงละ 120 วัตต์ ขนาดแรงดัน 12 โวลท์ จำนวน 2 แผง เป็นตัวรับแสงอาทิตย์และแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าชาร์จเก็บในแบตเตอรี่



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานแสงอาทิตย์

เป็นที่ทราบกันดีว่าเราได้พลังงานมาจากดวงอาทิตย์ทุกวัน ในขณะที่พลังงานเชื้อเพลิงอื่นกำลังจะหมดโลกและแพงขึ้นเรื่อยๆ จึงมีการสร้าง เซลล์แสงอาทิตย์ หรือ Solar Cell ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นไฟฟ้า เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่มีปริมาณการรับแสงแดดจากดวงอาทิตย์สูงมาก การนำเอาพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยนำมาเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าเพื่อมาใช้ในชีวิตประจำวัน จึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เพราะนอกจากจะช่วยชาติประหยัดพลังงานประหยัดค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าแล้ว พลังงานจากแสงอาทิตย์ ยังเป็นพลังที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย การนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า ต้องอาศัยแผงโซลาร์เซลล์หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์ขึ้นมาสำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงจากดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยจะนำซิลิกอนมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์ผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นเซลล์ ก็จะถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดประจุบวกและลบขึ้นในสารกึ่งตัวนำสารกึ่งตัวนำประเภท N จะดึงประจุลบ ส่วนสารกึ่งตัวนำประเภท P จะดึงประจุบวก ทำให้มีการสะสมของประจุที่ขั้วทั้งสองขึ้น ดังนั้นเมื่อมีการเชื่อมวงจรภายนอก เช่น เอาหลอดไฟมาต่อคร่อมขั้วต่อ ก็จะทำให้เกิดพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันทีหรือนำไปกักเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานภายหลังได้

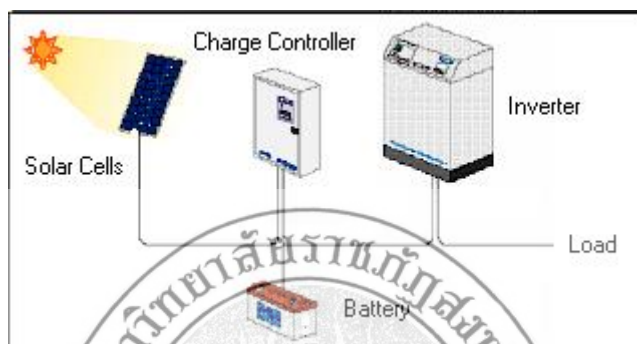
2.2 เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์เป็น พลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาด ปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

1. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand alone system)

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าจาก National Grid โดยมีหลักการทำงานแบ่งได้เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดพร้อมทั้งประจุพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ในแบตเตอรี่พร้อมๆ กัน ส่วนในช่วงกลางคืน เซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแสงแดดจึงไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ ดังนั้น พลังงานจากแบตเตอรี่ที่เก็บประจุไว้ในช่วงกลางวันจะถูกจ่าย

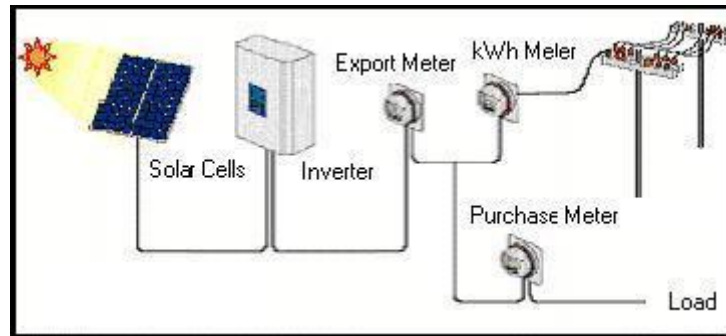
ให้แก่โหลด จึงสามารถกล่าวได้ว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้โหลดได้ทั้งกลางวัน และกลางคืน อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด Stand alone



รูปที่ 2-1 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

2. ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)

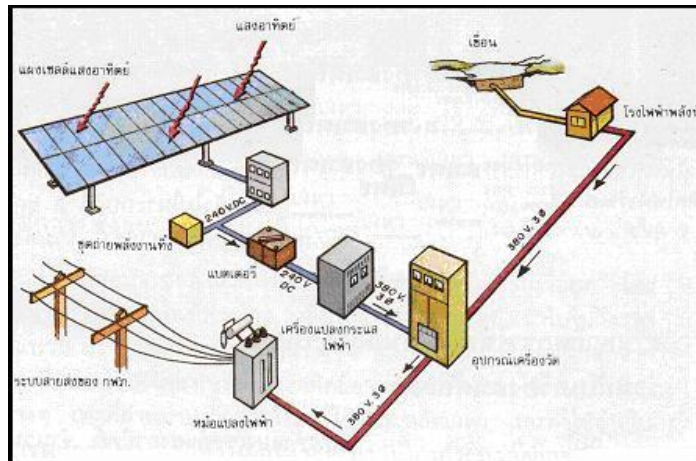
เป็นระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า National Grid โดยตรง มีหลักการทำงานแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าจ่ายให้แก่โหลดได้โดยตรง โดยผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ และหากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินจะถูกจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า สังเกตได้เนื่องจากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนกลับทาง ส่วนในช่วงกลางคืนเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ กระแสไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าจะจ่ายให้แก่โหลดโดยตรง สังเกตได้จากมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าจะหมุนปกติ ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย จะเป็นการใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า Grid connected



รูปที่ 2-2 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย

3.ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับกรออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล มีหลักการทำงาน กล่าวคือ ในช่วงเวลากลางวัน เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงแดดสามารถผลิตไฟฟ้าได้ จะจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิด Multi function ทำงานร่วมกับไฟฟ้าจากพลังงานลม จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลดพร้อมทั้งทำงานประจุไฟฟ้าส่วนที่เกินไว้ในแบตเตอรี่ ในกรณีพลังงานลมต่ำไม่สามารถผลิตไฟฟ้าหรือเวลากลางคืนไม่มีไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดแบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่โหลด และกรณีแบตเตอรี่จ่ายกระแสไฟฟ้ามากจนถึงพิกัดที่ออกแบบไว้ เครื่องยนต์ดีเซลจะทำงานโดยอัตโนมัติเป็นอุปกรณ์สำรองพลังงาน กล่าวคือจะจ่ายกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่โดยตรงและแบ่งจ่ายให้แก่โหลดพร้อมกัน และหากโหลดมีมากเกินไประบบจะหยุดทำงานทันที และจะทำงานใหม่อีกครั้งเมื่อเซลล์แสงอาทิตย์หรือพลังงานลมสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าประจุแบตเตอรี่ได้ปริมาณตามพิกัดที่ออกแบบไว้พร้อมทั้งขนาดโหลดอยู่ในพิกัดที่ชุดแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้



รูปที่ 2-3 แสดงระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

2.2.1 การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในทางไฟฟ้า

การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า จำแนกได้ 2 วิธี คือ การเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงเรียกว่า กระบวนการโฟโตโวลเทอิก (Photovoltaic Conversion) และการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนแล้วเปลี่ยนต่อเป็นไฟฟ้าโดยผ่านกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์เรียกว่า กระบวนการความร้อน (Solar Thermodynamic Conversion System)

กระบวนการโฟโตโวลเทอิก (Photovoltaic Conversion) เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยแสงตกกระทบผ่านอุปกรณ์ที่เรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)

กระบวนการความร้อน (Solar Thermodynamic Conversion System) การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้กระบวนการความร้อนประกอบไปด้วย 2 องค์ประกอบหลักคือ ชุดเก็บสะสมความร้อน และอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนให้เป็นไฟฟ้า

เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง เซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สะอาดและไม่สร้างมลภาวะขณะใช้งาน ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม เพียงแค่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ไว้กลางแจ้งก็สามารถใช้งานได้ทันที เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้โดยไม่สร้างเสียงรบกวนหรือการเคลื่อนไหวเนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เท่านั้น จึงเป็นการประหยัดและอนุรักษ์พลังงานและยังไม่เกิดมลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม การผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์นี้เป็นพลังงานซึ่งได้มาฟรีและไม่มีสิ้นสุดอายุ

การใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ยาวนานกว่า 20 ปี ดังนั้นเมื่อลงทุนติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในครั้งแรกแล้ว ก็แทบจะไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นอีกต่อไป (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงานกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2542)

เซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยโครงสร้างหลักคือหัวต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ (Semi-Conductor) สารกึ่งตัวนำที่นำมาทำเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ ซิลิคอน (Silicon; Si) เจอร์เมเนียม (Germanium; Ge) แคดเมียมซัลไฟด์ (Cadmium Sulfide; CdS) การทำให้เป็นสารกึ่งตัวนำแบบเอ็นหรือพี โดยใส่สารเจือปน แพร่ลงไปในสารกึ่งตัวนำ สารกึ่งตัวนำที่ไม่มีการเจือปนด้วยสารอื่นเรียกว่า สารกึ่งตัวนำแบบอินทรินสิก จะไม่สามารถนำไปใช้งานได้ เนื่องจากมีค่าความต้านทานสูง การเจือปนด้วยสารอื่นทำให้ค่าความต้านทานลดลง ถ้าเจือปนด้วยสารที่ทำให้สารกึ่งตัวนำมีจำนวนอิเล็กตรอนเกิน สารกึ่งตัวนำนี้จะแสดงตัวเป็นกระจุบซึ่งเรียกว่า สารกึ่งตัวนำแบบเอ็น (n - type) แต่ถ้าเจือปนด้วยสารที่ทำให้สารกึ่งตัวนำมีจำนวน อิเล็กตรอนขาด สารกึ่งตัวนำนี้จะแสดงตัวเป็นกระจุบววกซึ่งเรียกว่า สารกึ่งตัวนำแบบพี (p - type) สารกึ่งตัวนำแบบเอ็นและพี อาจทำมาจากสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกันหรือคนละชนิดก็ได้ สารกึ่งตัวนำที่นิยมนำมาทำเซลล์แสงอาทิตย์คือ ซิลิคอน เพราะเป็นธาตุที่มีมากที่สุดในโลก มีราคาถูก และมีการพัฒนามานานแล้ว เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงอาทิตย์เต็มที่ จะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรประมาณ 30 มิลลิแอมป์ต่อตารางเซนติเมตร และให้แรงเคลื่อน ไฟฟ้าประมาณ 0.4 – 0.6 โวลต์ต่อเซลล์ มีกำลังไฟฟ้าประมาณ 1 วัตต์ เมื่อนำมาต่ออนุกรมก็จะเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและใช้งานในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 4 ชนิดคือ

1) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell) เป็นแบบที่มีราคาสูง เนื่องจากมีความยุ่งยากในการเลี้ยงผลึก มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าประมาณร้อยละ 15-17

2) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกมัลติคริสตัลไลน์ซิลิคอน (Multi Crystalline Silicon Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้จะใช้วิธีการเลี้ยงผลึกเพื่อให้ผลึกซิลิคอนที่มีการจัดเรียงตัวหลายทิศทาง มีอายุการใช้งานนานตั้งแต่สิบปีขึ้นไป มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้าประมาณร้อยละ 12-15

3) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Thin - Film Amorphous Silicon Solar Cell) เป็นแบบที่ใช้พลังงานในการผลิตน้อยกว่าแบบผลึกและมีราคาถูกที่สุด ส่วนใหญ่ใช้ในเครื่องคิดเลข มีประสิทธิภาพประมาณร้อยละ 6-8

4) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกแกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide Solar Cell) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงมากประมาณร้อยละ 25 ไม่นิยมใช้บนพื้นโลก ส่วนใหญ่ใช้สำหรับงานดาวเทียม

กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ได้มีการพัฒนานำเทคโนโลยีขั้นสูงมาใช้ในการปฏิบัติเพื่อให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เทคโนโลยีที่ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สรุปได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 กลไกและเทคโนโลยีพื้นฐานเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

กลไกพื้นฐานที่จำเป็น	เทคโนโลยีทางปฏิบัติ
(A) ชักทำให้พลังงานแสงเข้าสู่สารกึ่งตัวนำให้มากที่สุดและขยายผลตอบสนองทางสเปกตรัมให้กว้างที่สุด	a – 1) เคลือบวัสดุลดการสะท้อนแสงที่ผิวด้านหน้า (Antireflective coating; AR) a – 2) ทำให้ผิวขรุขระ เพิ่มระยะทางเดินแสงใน สารกึ่งตัวนำ a – 3) เพิ่มการสะท้อนแสงที่ผิวด้านหลัง (Back Surface Reflection; AR)
(B) ผลิตคู่อิเล็กตรอนและโฮลให้ได้มากที่สุด	b – 1) เลือกสารกึ่งตัวนำที่มีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงสูงและมีสภาพนำไฟฟ้าแสงสูง b – 2) ปรับปรุงคุณภาพสารกึ่งตัวนำโดยพยายามเพิ่มผลคูณของอายุพาหะและความคล่องตัว (MT) b – 3) ลดการรวมตัวกันของคู่อิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกผลิตโดยการลดการรวมตัวที่รอยต่อ p – n, p – I และ I – n (ทำรอยต่อแบบ graded เพื่อลด lattice mismatch) และที่ผิวด้านหน้าผิวด้านหลัง
(C) กวาดคู่อิเล็กตรอนและโฮลที่ผลิต	c – 1) ใช้ปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิกแบบพัดพา (drift type) เช่นใช้ - รอยต่อ p – i – n - ช่องว่างพลังงานแบบ graded - การได้ป้ สารเจือปนแบบ graded (back surface field; BSF) c – 2) ใช้ปรากฏการณ์ minority carrier mirror c – 3) ใช้โครงสร้างซูเปอร์แลตทิซ (เช่น a – Si/ poly Si)
(D) ลดการสูญเสียอันเนื่องมาจากความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์	d – 1) ลดความต้านทานของขั้วโปรงแสงด้านหน้า d – 2) ออกแบบรูปร่างของขั้วโลหะให้เหมาะสมที่สุด d – 3) ใช้ปรากฏการณ์ tunneling injection (MIS)
(E) ลดการสูญเสียของแรงดันไฟฟ้า	e – 1) ลดการรวมตัวกันของคู่อิเล็กตรอนและโฮลโดยใช้ mirror effect ของรอยต่อแบบเฮเทโร e – 2) ใช้ปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิกแบบพัดพา e – 3) ใช้ BSF
(F) เพื่อตอบสนองทางสเปกตรัมให้มีความกว้างมากที่สุด	f – 1) ใช้เซลล์ฯ แบบ stack 4 ขั้ว f – 2) ใช้เซลล์ฯ แบบ stack 2 ขั้ว f – 3) ใช้รอยต่อแบบเฮเทโร f – 4) ใช้ชั้นหน้าต่างที่มีช่องว่างพลังงานกว้าง (รอยต่อแบบเฮเทโรซูเปอร์แลตทิซ)

ที่มา : คู่มือ เครื่องาม, 2540: 16-18

2.2.2 หลักการทำงานและการใช้งานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์สร้างจากรอยต่อ พี-เอ็น โดยรอยต่อ พี-เอ็น ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับแสงและไฟฟ้า (Photo Voltaic) จะแบ่งออกได้ 3 ลักษณะ คือ ตัวตรวจจับแสง (Photo Detector) เซลล์แสงอาทิตย์ (PV; Photo Voltaic Cell or Solar Cell) และ ไดโอดเปล่งแสง (LED; Light Emitting Diode) ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ถูกผลิตให้จ่ายกำลังได้สูงถึง 10,000 เมกกะวัตต์

การเกิดแรงดันของรอยต่อพี-เอ็น (V_{pn}) ที่อุณหภูมิห้องปกติมีค่าเป็น

$$V_{pn} = (K \cdot T_j / q) \ln [(N_A = N_D / n_i^2)] \quad \dots (1)$$

เมื่อ	n_i	= จำนวนอะตอมของสารใช้ในการโด๊ป (Donor & Acceptor)
		$= N_A + N_D$ $N_A = N_D = 10^{15} / \text{cm}^3$
	N_A	= จำนวนอะตอมของสารรับอิเล็กตรอน (Hole)
	N_D	= จำนวนอะตอมของสารจ่ายอิเล็กตรอน (Free electron)
	K	= 1.38×10^{-23} , Boltzmann's Constant
	q	= 1.6×10^{-19} , The Electronic Charge
	T_j	= อุณหภูมิของรอยต่อประมาณ 300 K

ในทางปฏิบัติสำหรับรอยต่อ พี-เอ็น ที่มีซิลิกอน เป็นสารหลักในการสร้างและอุณหภูมิแวดล้อมมีค่า 25 องศาเซลเซียส รอยต่อ พี-เอ็น จะมีแรงดันเกิดขึ้นประมาณ 0.6 ~ 0.7 โวลต์จากสมการที่ 1 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงปริมาณพลังงานแสงเป็นกำลังไฟฟ้าสำหรับรอยต่อ พี-เอ็น อธิบายโดยย่อๆ ดังนี้

พลังงานของ โฟตรอน ; E

$$E = h \nu \quad ; \text{electron volt: eV} \quad \dots (2)$$

เมื่อ h = ค่าคงที่ของพลังค์; 6.63×10^{-34} joule-sec

$\nu = C / \lambda$; ความถี่ของแสง; c = ความเร็วของแสง; 3×10^{10} m*sec⁻¹

λ = ความยาวคลื่นแสง; 400 nm-780 nm

จากความสัมพันธ์ของสมการที่ 2 เมื่อทราบความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบบนรอยต่อ พี-เอ็น ค่าพลังงานที่จะเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าบนรอยต่อมีค่าเป็น

$$E_{ph} = \frac{1.24}{\lambda} \quad \text{eV} \quad \dots (3)$$

ค่าแสงที่ได้อิโอดกำหนดขึ้นจะมีค่าเป็น

$$I = I_0 [\exp (-ax)] \quad \dots (4)$$

เมื่อ I_0 = ความเข้มของแสงขณะที่ไม่มีความสว่าง

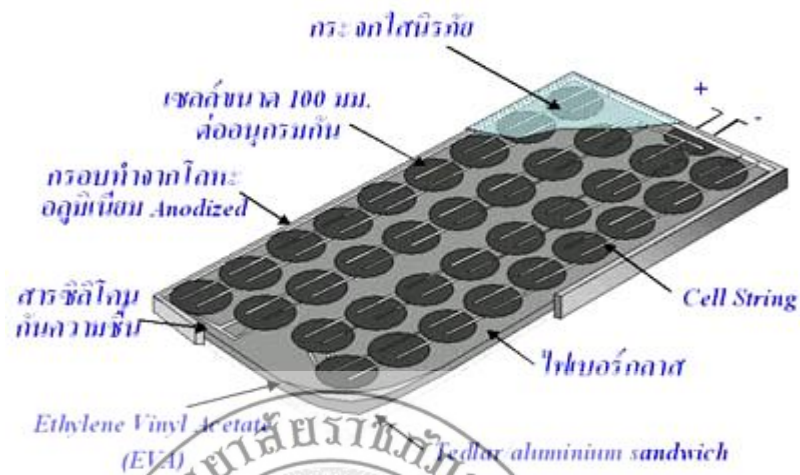
A = สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง

X = ระยะห่างของระดับพลังงาน

โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันมากที่สุดได้แก่ รอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำที่ใช้ซิลิคอนเป็นวัสดุหลักสำหรับกึ่งตัวนำหลักที่ราคาถูกที่สุดและมีมากที่สุดบนพื้นโลก ซิลิคอนถูกล้างจากควอตซ์หรือทราย และผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ ตลอดจนการทำให้เป็นผลึกเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผ่นอาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลม (เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว) หรือแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ด้านละ 5 นิ้ว) มีความหนา 200-400 ไมครอน (ประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร) จะต้องนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนในเตาอุณหภูมิสูง (ประมาณ 1000°C) เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็น ขั้วไฟฟ้าด้านหลังเป็นผิวสัมผัสโลหะเต็มหน้าส่วนขั้วไฟฟ้าด้านหน้าที่ได้รับแสงจะมี ลักษณะเป็นลายเส้นคล้ายก้างปลา

กลไกการทำงานระดับควมตรัมของอิเล็กทรอนิกส์จะปรากฏ เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้นซึ่งได้แก่ อิเล็กตรอนและโฮล โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนให้ไหลไปที่ขั้วลบและทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไหลไปที่ขั้วบวก ซึ่งเป็นสภาวะของการไบอัสรอยต่อ พี เอ็น ในลักษณะกลับขั้ว ซึ่งการอิเล็กตรอนใหม่จะเกิดขึ้นตลอดเวลาเมื่อมีแสงตกกระทบรอยต่อ ด้วยเหตุผลนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสขึ้นที่ขั้วทั้งสองเมื่อ ต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับเครื่องไฟฟ้า สถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ควรเป็นที่โล่ง ไม่มีเงามาบังเซลล์ ไม่อยู่ใกล้สถานที่ เกิดฝุ่น อาจอยู่บนพื้นดินหรือบนหลังคาบ้านก็ได้ ควรวางให้แผงเซลล์มีความลาดเอียงประมาณ 10 -15 องศา จากระดับแนวนอนและหันหน้าไปทางทิศใต้ การวางแผงเซลล์ให้มีความลาดดังกล่าว จะช่วยให้เซลล์รับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด และช่วยระบายน้ำฝนได้รวดเร็ว

ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์



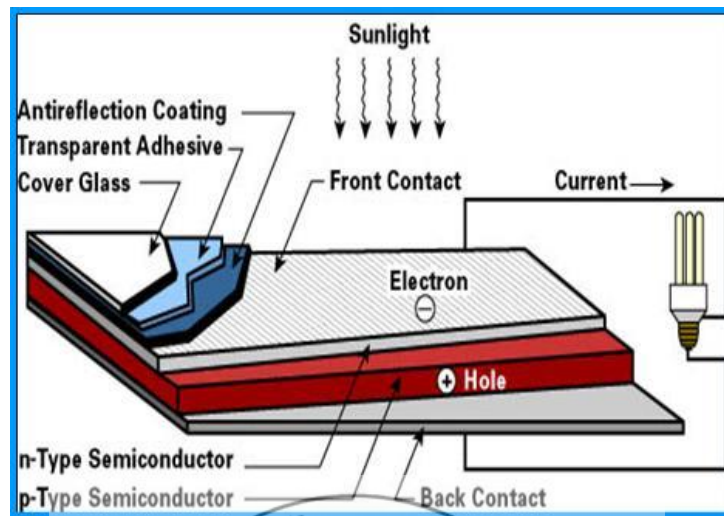
รูปที่ 2-4 แสดงส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา www2.egat.co.th/re/solarcell/sol...cell.htm

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจะต้องนำเซลล์หลาย ๆ เซลล์ มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมเรียกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module หรือ Solar Panel) การทำเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นแผงก็เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ ประกอบด้วยแผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กตั้ง ซึ่งมีความสำคัญในการยอมให้แสงผ่านได้ดี และยังเป็นเกราะป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์มีการ ป้องกันความชื้น เพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งกลางฝนเป็นเวลานาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความทนทานและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคนและ อีวีเอ (Ethylene Vinyl Acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์ จึง ต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรง

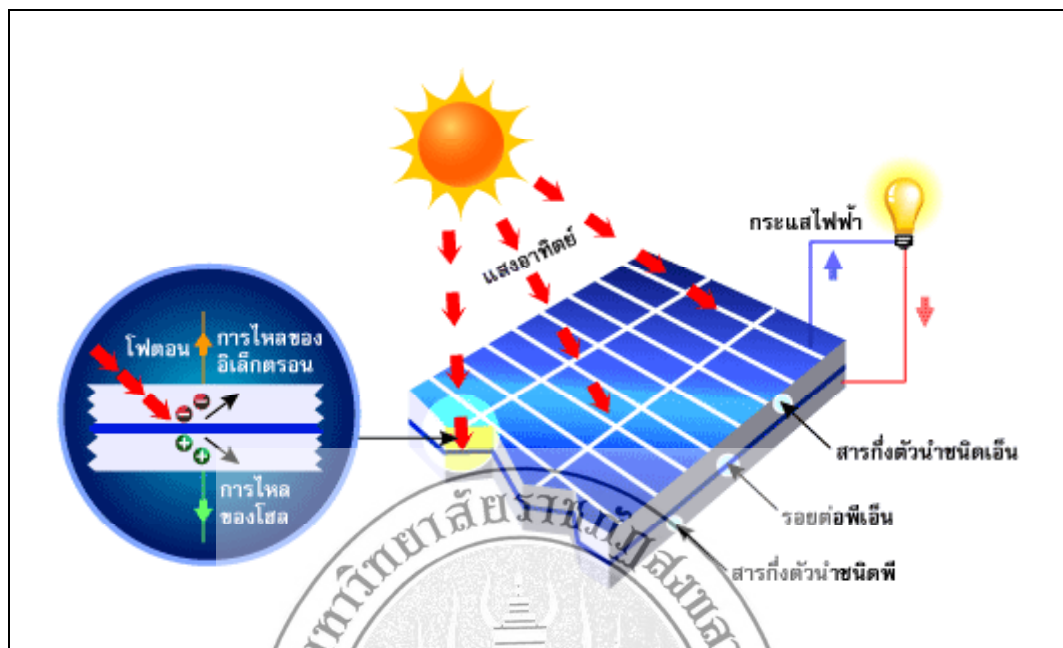
2.2.3 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นขบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้ (ตามรูปที่ 2-5)



รูปที่ 2-5 แสดงการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์
ที่มา www.mt.kmutt.ac.th/advanced_poly_solar.htm

N - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ P - type ซิลิคอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) เมื่อรับพลังงาน จากแสง อาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด มาประกบต่อกันด้วย P-N Junction จึงทำให้เกิดเป็น เซลล์แสงอาทิตย์ ในสถานะที่ยังไม่มีแสงแดด N - type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ ส่วนประกอบส่วนใหญ่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมีโฮล ปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย ด้านหน้าของ N - type จะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Contact ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วน P-N type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านหลังของเซลล์ โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นโฮลแต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อยด้านหลังของ P - type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Contact ทำหน้าที่เป็นตัวรวบรวมโฮล N - type ซิลิคอน ซึ่งอยู่ด้านหน้าของเซลล์ คือ สารกึ่งตัวนำที่ได้รับการโด๊ปด้วยสารฟอสฟอรัส มีคุณสมบัติเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน และโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อพลังสูงพอทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กันอิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น N - type และโฮลจะวิ่งไปยังชั้น P - type อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Contact และโฮล วิ่งไปรวมกันที่ Back Contact เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Contact และ Back Contact ให้ครบวงจร ก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน ดังรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 แสดงการเกิดกระแสไฟฟ้า

2.2.4 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้

2.2.4.1 ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่า เมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตารางเซนติเมตร หรือ 1,000 W ต่อ ตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้าแสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศาับพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตารางเซนติเมตร หรือ 750 W ต่อ ตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตนั้นจะแปรผันตรงกับพลังงานของแสงที่ส่องกระทบมัน (ส่วนประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานจะเป็นเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์

แสงอาทิตย์) สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ตัวเดียวกันถ้าพลังงานแสงเข้าเพิ่ม (ลด) เป็น 2 เท่าพลังงานที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะเพิ่ม (ลด) 2 เท่าในช่วงกลางวันที่มีอากาศโปร่งใส

พลังงานของแสงอาทิตย์จะเป็นประมาณ 1,000 W ต่อตารางเมตรโดยถ้าพูดเป็นหน่วยของความสว่างก็ จะเท่ากับ 100,000-120,000 ลักซ์ (Lux) ตารางที่ 2.2 แสดงความเข้มของแสงอาทิตย์ในกรณีต่างๆ รวมทั้งแสงจากไฟนีออนตามที่แตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลทั่วไปด้วยจะเห็นว่าในวันที่มีเมฆพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์จะตกอยู่ ระดับ 1/10 – ครึ่งหนึ่งของวันที่อากาศดี ถ้าหากฝนตกก็จะตกอยู่ระดับ 1/20-1/5 ของวันอากาศดีนี้คือจุดอ่อนหนึ่งในการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงหนึ่งวัน จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณแสงอาทิตย์ที่ได้รับตอนช่วงเช้าและเย็นที่ความเข้มของแสงอาทิตย์น้อยกว่าตอนช่วงกลางวัน นั้นเอาที่พูดจากเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตามไปด้วยในการใช้งาน กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับโดยผ่านอินเวอร์เตอร์ (เปลี่ยนกระแสตรง เป็นกระแสสลับ) นั้นถ้าหากเอาที่พูดต่ำกว่าค่าหนึ่ง อินเวอร์เตอร์จะไม่ทำงานนั่นก็คือช่วงเช้าๆหรือเย็นๆ อาจจะใช้งานไม่ได้ เนื่องจากมุมตำแหน่งของดวงอาทิตย์มองจากจุดต่างๆ บนโลกจะเปลี่ยนไปตามเดือนต่างๆของปีจึงทำให้ในการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงจุดนี้ด้วยสำหรับประเทศไทยนั้นอยู่ในตำแหน่งที่การติดตั้งเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงอาทิตย์ไม่ยาก

ตารางที่ 2-2 แสดงปริมาณความเข้มของแสง

แหล่งแสง	สภาพอากาศ/สถานที่	ความสว่าง(Lux)
แสงอาทิตย์ (กลางวัน)	อากาศดีมาก	100,000-120,000
	อากาศดี	50,000 - 100,000
	มีเมฆ	50,000 - 10,000
	ฝนตก	20,000 - 5,000
หลอดไฟนีออน	โต๊ะเขียนแบบ	- 1,000
	สำนักงาน	300 - 600
	ห้องอาหาร ทางเดิน	ต่ำกว่า 200
	บันได	ต่ำกว่า 100

2.2.4.2 อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5% และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 โวลต์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5$ องศา C) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ VDC จะลดลง 0.525 โวลต์ ($21 \text{ V} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 โวลต์ ($21\text{V} - 0.525\text{V}$) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วยจากข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น ก่อนที่ผู้ใช้จะเลือกใช้แผงแสงอาทิตย์ จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติของแผงที่ระบุไว้ในแผงแต่ละชนิดด้วยว่า ใช้มาตรฐานอะไร หรือมาตรฐานที่ใช้วัดแตกต่างกันหรือไม่ เช่นแผงชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 80 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,200 วัตต์ ต่อตารางเมตร ณ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ขณะที่อีกชนิดหนึ่งระบุว่า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 75 วัตต์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ ต่อตารางเมตร และอุณหภูมิมาตรฐาน 25 องศาเซลเซียส แล้วจะพบว่าแผงที่ระบุว่าให้กำลังไฟฟ้า 80 วัตต์ จะให้กำลังไฟฟ้าต่ำกว่า จากสมการดังกล่าว ผู้ที่จะใช้แผงจึงต้องคำนึงถึงข้อกำหนดเหล่านี้ในการเลือกใช้แผงแต่ละชนิดด้วย

2.2.5 การประยุกต์นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์

พลังงานแสงอาทิตย์นับเป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติที่สำคัญที่สุด มนุษย์ได้นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ มากมายตั้งแต่ยุคโบราณ ทั้งในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยตรงเป็นพลังงานปฐมภูมิในรูปของพลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า และพลังงานแสงสว่าง และใช้ทางอ้อมในรูปของพลังงานลม พลังงานชีวมวล พลังงานน้ำ พลังงานคลื่น เป็นต้น

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยตรงเป็นพลังงานปฐมภูมิ (Primary source) ถ้าพิจารณาจากผลสุดท้ายที่นำมาใช้ประโยชน์สามารถจำแนกการประยุกต์ได้เป็น 2 แนวทางคือ การประยุกต์ ในทางความร้อน และการประยุกต์ในทางไฟฟ้า กระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ ที่นำมาใช้ประโยชน์นั้นเป็นกระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 8 กระบวนการ ดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 กระบวนการทางอุณหพลศาสตร์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานรูปต่างๆ

กระบวนการ	พลังงานในรูปแบบต่างๆ
1. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อน (Solar Thermal Conversion)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานความร้อน
2. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานกล (Solar Thermo Mechanical Conversion)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานความร้อน → พลังงานกล
3. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า (Solar Thermal Electric Conversion; STEC)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานความร้อน → พลังงานกล → พลังงานไฟฟ้า
4. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเคมี (STEC + Electrolysis)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานความร้อน → พลังงานกล → พลังงานไฟฟ้า → พลังงานเคมี
5. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเคมี (Solar thermo Chemical Conversion)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานความร้อน → พลังงานเคมี
6. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า (Solar Electric Conversion)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานไฟฟ้า
7. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเคมี (Solar Chemical Conversion)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานเคมี
8. เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานเคมี (Solar Electrochemical Conversion)	พลังงานแสงอาทิตย์ → พลังงานไฟฟ้า → พลังงานเคมี

ที่มา : Boyle, 1996: 87

2.3 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

ปัจจุบันอินเวอร์เตอร์ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว และมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ในภาคอุตสาหกรรม อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้า ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยไฟฟ้ากระแสตรงที่จะนำมาทำการเปลี่ยนนั้นมาจาก แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หรือแผงโซลาร์เซลล์ก็ได้ ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้มานั้น จะเหมือนกับไฟฟ้าที่ได้จากปลั๊กไฟตามผนังบ้านทุกอย่าง โดย Inverter ทำให้อุปกรณ์ต่างๆ เช่น มอเตอร์ พัดลม หรืออุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ไฟฟ้า

กระแสสลับ สามารถใช้ได้กับไฟฟ้ากระแสตรง การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ นิยมเรียกกันว่าอินเวอร์เตอร์ (Inverters) ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลง หรือควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้า และความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับได้ อินเวอร์เตอร์ได้นำไปใช้ประโยชน์ต่างๆได้

2.3.1 การแบ่งชนิดของอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

อินเวอร์เตอร์มีชนิดต่างๆ ด้วยกันมากมายจนอาจหาที่สิ้นสุดไม่ได้ ยกตัวอย่างเช่น อินเวอร์เตอร์ที่ให้หม้อแปลงเพื่อวัตถุประสงค์ในการลดจำนวนไตรสเตอร์หรืออินเวอร์เตอร์ซึ่งมี L ต่อแทรกซ์พพลาย เพื่อวัตถุประสงค์ของการทำให้กระแสที่ออกจากซัพพลายมีค่าคงที่ในช่วงระหว่าง การคอมมิเตท (อินเวอร์เตอร์แบบกระแสคงที่) เป็นต้นแต่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วเราอาจแบ่งชนิดของอินเวอร์เตอร์ออกตามคุณสมบัติหรือโครงสร้างของวงจรได้ดังนี้

1. แบ่งตามวิธีการป้อนพลังงานกลับเข้าซัพพลาย
 - 1.1 แบบอนุกรมและแบบขนาน (Self Excite)
 - 1.2 แบบแยกเดี่ยว (Separately Excite)
2. แบ่งตามคุณสมบัติของเอาต์พุต
 - 2.1 พิจารณาจากลักษณะคลื่น
 - แบบสแควร์เวฟ (Square Wave)
 - แบบไซน์เวฟ (Sine Wave)
 - 2.2 พิจารณาจากจำนวนเฟส
 - แบบ 1 เฟส (Single Phase)
 - แบบ 3 เฟส (Three Phase)
 - 2.3 พิจารณาจากย่านความถี่
 - แบบความถี่ต่ำ (Low Frequency)
 - แบบความถี่สูง (High Frequency)
 - 2.4 พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงความถี่
 - แบบความถี่คงที่ (Saturate Frequency)
 - แบบความถี่ปรับเปลี่ยนได้ (Valuable Frequency)
 - 2.5 พิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงโวลเตจ
 - แบบโวลเตจคงที่ (Saturate Voltage)
 - แบบปรับเปลี่ยนโวลเตจได้ (Valuable Voltage)

เนื่องจากในปัจจุบันอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของมนุษย์มากยิ่งขึ้น และเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ก็ได้จำกัดการใช้งานแต่เฉพาะภายในอาคารเท่านั้น ดังนั้นแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถ เคลื่อนย้ายได้จึงเป็นสิ่งจำเป็น อินเวอร์เตอร์ทำให้ความต้องการเหล่านี้เกิดขึ้นได้ และเมื่อเราประยุกต์ เข้ากับการใช้งานอื่นๆ ก็สามารถนำอินเวอร์เตอร์ไปใช้ได้ อีก เช่น การเก็บไฟฟ้าสำรองในระบบคอมพิวเตอร์

2.3.2 ประโยชน์ของอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสำรอง เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลักเกิดขัดข้องขึ้น ที่เรียกกันว่า Stand-by Power Supplies หรือ Uninterruptible Power Supplies โดยเรียกย่อๆ ว่า UPS ใช้เป็นระบบ ไฟฟ้าสำรองสำหรับอุปกรณ์ที่สำคัญๆ เช่น คอมพิวเตอร์ เมื่อแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลักเกิด ขัดข้อง Transfer Switch ซึ่งทำงานด้วยความเร็วถึง 1/1000 วินาที จะต่ออุปกรณ์เข้ากับอินเวอร์เตอร์ จ่ายไฟกระแสสลับให้แทน โดยแปลงจากแบตเตอรี่ซึ่งประจุไว้ ขณะที่แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ
2. ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับ โดยการเปลี่ยนความถี่ เมื่อความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับเปลี่ยนแปลงความเร็วของมอเตอร์จะเปลี่ยนแปลงตามสมการ $N=120f/P$ โดยที่ N = ความเร็วรอบต่อนาที f = ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าต่อวินาที และ P = จำนวนขั้วของมอเตอร์ ในการควบคุมนี้ถ้า ต้องการแรงบิดคงที่ จะต้องรักษาให้อัตราส่วนของแรงดันต่อความถี่ที่จ่ายเข้ามอเตอร์ คงที่ด้วย
3. ใช้แปลงไฟฟ้าจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงชนิดกระแสตรงให้เป็น ชนิดกระแสสลับ เพื่อจ่ายให้กับผู้ใช้
4. ใช้ในเตาหลอมเหล็กที่ใช้ความถี่สูง ซึ่งใช้หลักการเหนี่ยวนำด้วยสนามแม่เหล็กทำให้ร้อน (Induction Heating)

2.4 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ (Battery) คืออุปกรณ์จัดเก็บ และจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ที่มีการทำปฏิกิริยาเคมีภายใน ทำให้เกิดไฟฟ้า ถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานเคมีให้เป็นไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยการใช้เซลล์กัลวานิก (Galvanic cell) ที่ประกอบด้วยขั้วบวกและขั้วลบ พร้อมกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte Solution) แบตเตอรี่อาจประกอบด้วยเซลล์กัลวานิกเพียง 1 เซลล์ หรือมากกว่าก็ได้ แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บไฟฟ้าเท่านั้น ไม่ได้ผลิตไฟฟ้า สามารถประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ (Recharge) ได้หลายครั้ง และประสิทธิภาพจะไม่เต็ม 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% เพราะมีการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาเคมีจากการประจุและการจ่ายประจุ

แบตเตอรี่จัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและเสียหายได้ง่ายหากดูแลรักษาไม่ดีเพียงพอหรือใช้งานผิดวิธี รวมถึงอายุการใช้งานของแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะแตกต่างกันไป เนื่องด้วยวิธีการใช้ การบำรุงรักษา การประจุและอุณหภูมิ ฯลฯ โดยสามารถจำแนกแบตเตอรี่ออกได้ 2 กลุ่มสำคัญๆ คือ ตามการใช้งานและประเภทของโครงสร้าง

2.4.1 แบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์



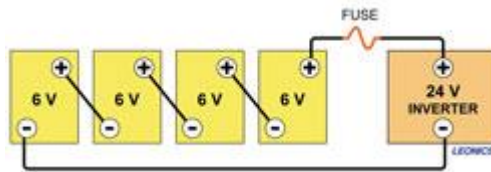
รูปที่ 2-7 แสดงแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่มีหน้าที่สะสมพลังงานที่ผลิตจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และจัดเก็บไว้ใช้ในเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าหรือเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ หรือเวลากลางคืน เปรียบเทียบกับระบบกักเก็บน้ำฝนก็คือถังเก็บน้ำ

2.4.2 ชนิดของแบตเตอรี่ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ในทางปฏิบัติแล้วแบตเตอรี่ทุกชนิดสามารถนำมาใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดเป็นแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด (Lead-Acid Battery) ด้วยเหตุผลราคาที่ถูกลงและหาซื้อได้ง่าย แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด มีส่วนประกอบสำคัญเป็นแผ่นตะกั่วที่เป็นขั้วบวกและลบจมอยู่ในสารละลายกรดซัลฟิวริกหรือเรียกว่าสารละลายอิเล็กโทรไลต์ เมื่อเซลล์มีการจ่ายประจุ โมเลกุลของซัลเฟอร์จากสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะติดอยู่กับแผ่นตะกั่วและปล่อยอิเล็กตรอนออกมาจำนวนมาก เมื่อเซลล์มีการประจุไฟฟ้าเข้าไปใหม่ อิเล็กตรอนจำนวนมากจะกลับเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ แบตเตอรี่จึงเกิดแรงดันได้จากปฏิกิริยาเคมีนี้เอง และไฟฟ้าเกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ภายในแต่ละเซลล์ของแบตเตอรี่ให้แรงดัน 2 โวลต์ แบตเตอรี่ 12 โวลต์ จึงมี 6 เซลล์ต่อกันแบบอนุกรม

เซลล์ทั้งหมดอาจบรรจุอยู่ในกล่องเดียวหรือแยกกล่อง ถ้าต้องการแรงดันมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่หลายลูกมาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันสูงขึ้นตามต้องการ



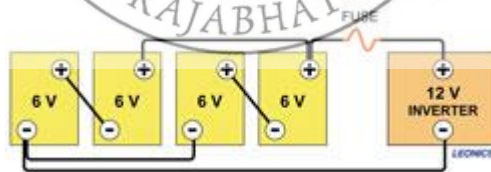
รูปที่ 2-8 แสดงการต่ออนุกรมของแบตเตอรี่

ถ้าต้องการกระแสมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่ 2 ลูกหรือมากกว่านั้นต่อกันแบบขนานจนได้กระแสที่ต้องการ



รูปที่ 2-9 แสดงการต่อขนานของแบตเตอรี่

ถ้าต้องการแรงดันมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่ 2 ลูกหรือมากกว่านั้นต่อกันแบบอนุกรมจนได้แรงดันที่ต้องการ และถ้าต้องการแรงดันและกระแสมากขึ้น ให้นำแบตเตอรี่มาต่อกันแบบอนุกรมผสมกับแบบขนาน



รูปที่ 2-10 แสดงการต่ออนุกรมผสมกับแบบขนาน

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดมีอยู่หลายแบบด้วยกันแต่ที่เหมาะสมสำหรับใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ออกแบบให้สามารถจ่ายพลังงานปริมาณเล็กน้อยได้อย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ โดยไม่เกิดความเสียหาย สามารถใช้ไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในแบตเตอรี่นี้ได้อย่างต่อเนื่องถึง 80% โดยแบตเตอรี่ไม่ได้รับความเสียหาย (แบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้ในการติดเครื่องยนต์ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูง ในช่วงเวลาสั้นๆ

ถ้าใช้ไฟฟ้ามากกว่า 20-30% ของพลังงานที่เก็บอยู่ จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้) ส่วนมากแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะมีลักษณะที่ฝาครอบด้านบนเปิดออกได้ เพื่อให้สามารถตรวจสอบเซลล์และเติมน้ำในเวลาที่เหมาะสมได้ เรียกว่า แบตเตอรี่แบบเซลล์เปิด (Open Cell หรือ Unsealed หรือ Flooded Cell Battery) มีบางชนิดที่ถูกปิดแน่นและไม่ต้องการการซ่อมบำรุง เรียกว่า แบตเตอรี่แบบไม่ต้องดูแลรักษา (Maintenance Free หรือ Sealed Battery)



รูปที่ 2-11 แสดงแบตเตอรี่แบบเซลล์เปิด (ซ้าย) และแบตเตอรี่แบบไม่ต้องดูแลรักษา (ขวา)

2.4.3. ความสามารถในการจัดเก็บพลังงานและการติดตั้งแบตเตอรี่

ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-Hour; Ah) พลังงานในแบตเตอรี่ 12 V 100 Ah เท่ากับ $12 \text{ V} \times 100 \text{ Ah}$ หรือ $12 \text{ V} \times 100 \text{ A} \times 3600 \text{ s}$ จะได้เท่ากับ 4.32MJ ถ้าแบตเตอรี่ 100 Ah เท่ากับว่าแบตเตอรี่จะจ่ายกระแส 1 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 100 ชั่วโมง หรือ แบตเตอรี่จ่ายกระแส 10 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง เช่นเดียวกับแบตเตอรี่จ่ายกระแส 5 แอมแปร์อย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 20 ชั่วโมง ซึ่งทั้งหมดนี้จ่ายกระแสเท่ากับ 100 Ah ทั้งสิ้น จะเห็นได้ว่า แบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความเร็วในการจ่ายกระแสต่างกันได้ ดังนั้น การจะทราบความจุของแบตเตอรี่ต้องทราบถึงอัตราการจ่ายกระแสด้วย มักกำหนดเป็นจำนวนชั่วโมงของการจ่ายกระแสเต็มที่กำหนดขนาดของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ในการจัดเก็บ พลังงาน อัตราการจ่ายประจุสูงสุด อัตราการประจุสูงสุดและอุณหภูมิต่ำสุดที่จะนำแบตเตอรี่ไปใช้งาน

แบตเตอรี่ใหม่ก่อนที่จะนำไปใช้จะต้องมีน้ำกรดอยู่เต็ม ให้ทำการต่อแบตเตอรี่แล้วปล่อยให้ประจุไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างน้อย 2 วันที่มีแสงอาทิตย์ถ้าในแบตเตอรี่ใหม่ไม่มีอิเล็กโทรไลต์ในเซลล์ ต่างๆ ให้เติมน้ำกรดสำหรับแบตเตอรี่ลงไปและแบตเตอรี่ที่เติมใหม่นี้ควรนำไปต่อใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทันทีแล้วปล่อยให้ทำการประจุไฟฟ้าอย่างน้อย 2 วันที่มีแสงอาทิตย์ ก่อนนำไปใช้งานและห้ามต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าใดๆ เข้ากับแบตเตอรี่ขณะทำการประจุ

2.5 สักยภาพและการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์

การพัฒนานำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์เป็นหัวข้อที่หลายๆ ประเทศในโลกให้ความสนใจ และได้มีการพัฒนามาเป็นลำดับอย่างต่อเนื่อง หลักจากเกิดวิกฤติการณ์ด้านพลังงานตั้งแต่ปี พ.ศ.2516 เป็นต้นมา ได้มีการศึกษาและวิจัยพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่องซึ่งรวมถึงพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย นับจากปี พ.ศ.2534 ทั่วโลกเริ่มตระหนักถึงปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นโดยเริ่มนำพลังงานธรรมชาติที่ปราศจากมลภาวะและมีอยู่อย่างมหาศาลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่ท้าทายความสามารถของมนุษย์เป็นอย่างมาก ยิ่ง เพราะว่าปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบมายังโลกมีค่ามหาศาล (1.7×10^{17} วัตต์) ถ้ามนุษย์สามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่ โดยเราคงไม่จำเป็นต้องพึ่งพาพลังงานจากแหล่งอื่น แต่การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในโลกปัจจุบัน ได้มีการใช้กันอย่างแพร่หลายเหมือนกับการใช้พลังงานแบบดั้งเดิมหรือพลังงานจากเชื้อเพลิงบรรพชีวิน เพราะว่าต้นทุนราคาพลังงานที่ผลิตจากแสงอาทิตย์มีราคาสูงเมื่อเทียบกับราคาที่ผลิตจากเชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม เนื่องจากเทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้าอยู่ในขั้นที่ต้องพัฒนาอีกมาก ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ไม่แพร่หลายมากนัก แต่ การพัฒนา มาเป็นลำดับก็ตาม จึงทำให้การใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ไม่แพร่หลายมากนัก แต่การพัฒนานำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ก็ได้มีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่องในประเทศต่างๆ ทั่วโลก เพื่อให้มีการใช้อย่างแพร่หลายและมีความเหมาะสมทั้งด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์มากขึ้นและสิ่งที่สำคัญก็คือการใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นการช่วยลดมลพิษที่เกิดจากการใช้และผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงบรรพชีวิน ซึ่งเป็นปัญหารุนแรงต่อโลกในปัจจุบันนี้

การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในประเทศต่างๆ ทั่วโลก มีการใช้งานใน 2 ลักษณะ คือ ในรูปของการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ไปใช้ประโยชน์โดยตรง และ การนำพลังงานแสงอาทิตย์ไปผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศต่างๆ ทั่วโลกได้มีการพัฒนาระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในรูปแบบต่างๆ มากมาย ตัวอย่างการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น โรงงานไฟฟ้าระบบห่อรับกลางที่บาร์สโตว์ เป็นโรงงานห่อพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ตั้งอยู่ที่เมืองบาร์สโตว์ในมลรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา มีกำลังผลิต 10 เมกะวัตต์ ประกอบด้วยตัวเก็บรังสีอาทิตย์จำนวน 1,818 ชุด มีเนื้อที่รับแสงรวมทั้งสิ้น 73,200 ตารางเมตร และโรงไฟฟ้าอาระบบตัวรับแสงแบบพาราโบลิคในทะเลทรายโมจาเว่ (Mojave) ในมลรัฐแคลิฟอร์เนีย และโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศเยอรมนีตั้งอยู่บริเวณไหล่เขา ระหว่างเมืองโกเบินและกอนดอฟ (Koborn – Gondorf) บริเวณนี้จะได้รับความเข้มข้นจากรังสีอาทิตย์ประมาณ 1,100 กิโลวัตต์ – ชั่วโมงต่อตารางกิโลเมตรต่อไป โรงไฟฟ้ามีกำลังผลิต 340 กิโลวัตต์ โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศสวิตเซอร์แลนด์ตั้งอยู่บนเทือกเขาโซไล (Soleil) มีกำลังผลิต 500

กิโวลต์ บนพื้นที่ 20,000 ตารางเมตร โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศสหรัฐอเมริกาและ
โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศอิตาลี เป็นต้น (Boyle, 1996 : 121-125)

การติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกประมาณว่ามีกำลังผลิตไม่ต่ำกว่า 760 เมกะวัตต์ ระบบ
เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใหญ่ที่สุดในโลกอยู่ที่รัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา มีกำลังผลิต 7,000
กิโวลต์ และรองลงมาที่ประเทศญี่ปุ่นขนาดกำลังผลิต 2,000 กิโวลต์ การวิจัยและพัฒนาเซลล์
แสงอาทิตย์มีแนวทางในการปฏิบัติเป็นนโยบายอย่างชัดเจนในหลายๆ ประเทศ เช่น ประเทศ
สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่ใช้พลังงานมากที่สุดในโลกมีการวิจัย การผลิตและการใช้งานเซลล์
แสงอาทิตย์มากที่สุดประเทศหนึ่ง ปัจจัยสำคัญที่ทำให้อุตสาหกรรมเซลล์แสงอาทิตย์ของสหรัฐอเมริกา
ก้าวไกลเนื่องมาจาก การที่มีแผนและนโยบายอย่างชัดเจนที่จะลดราคาเซลล์แสงอาทิตย์ให้ถูกลงเพื่อ
แข่งขันกับราคาไฟฟ้าในตลาดปัจจุบัน โดยกรมพลังงาน (Department of Energy; DOE) ผู้รับผิดชอบ
โดยตรงต่อการวางนโยบายในการผลิตพลังงานทดแทนได้มอบหมายให้สถาบันวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์
(Solar Energy Research Institute; SERI) วางแผนและทำวิจัยพื้นฐานเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ และ
ห้องปฏิบัติการระบบขับเคลื่อนด้วยไอพ่น (Jet Propulsion Laboratories; JPL) ทำวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้
เซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีเป้าหมายที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นร้อยละ 15-25 ให้ได้
ในระหว่างปี พ.ศ.2553-2573 การพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศญี่ปุ่นได้รับความสำเร็จมากอีก
ประเทศหนึ่ง ได้จัดตั้งโครงการแสงตะวัน (Sunshine Project) ขึ้นเพื่อเป็นแกนกลางในการวิจัยพลังงาน
แสงอาทิตย์ โดยมีเป้าหมายที่จะพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้น และส่งเสริมให้มีการ
วิจัยเพื่อลดต้นทุนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540 : 19-20) บริษัท
พลังงานญี่ปุ่น (Japan Energy) จำกัด ได้ประสบผลสำเร็จในการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพ
ในการทำงานสูงมาก สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่าร้อยละ 30 ซึ่ง
มากกว่าสองเท่าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีในปัจจุบัน เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ประกอบด้วยเซลล์
แสงอาทิตย์ชนิดอินเดียม – แกลเลียม – ฟอสไฟด์ (Indium – Gallium – Phosphide) และชนิดแกลเลียม –
อาร์เซไนด์ (Gallium – Arsenide) (นิตยา พัฒนรัชต์, 2542 : 105) สำหรับในประเทศอื่นๆ ที่มีการพัฒนา
และติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น เยอรมนี อิตาลี ฝรั่งเศส สหราชอาณาจักร สาธารณรัฐประชาชน
จีน และอินเดีย (สำนักงานคณะกรรมการ วิจัยแห่งชาติ, 2540 : 21)

2.6 ศักยภาพและการพัฒนาพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทย

ประเทศไทยตั้งอยู่ที่ละติจูด 6-20 องศาเหนือ และลองจิจูด 97-106 องศาตะวันออก อยู่ใน
ตำแหน่งภูมิประเทศที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยของ
ประเทศมีค่าประมาณ 17 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อวัน หรือเทียบเท่ากับ 4.7 กิโวลต์ – ชั่วโมงต่อตาราง

เมตรต่อวัน ถ้าสามารถนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงมาบนพื้นที่ของประเทศไทยเพียงหนึ่งในร้อยส่วนของพื้นที่ทั้งหมดก็จะได้พลังงานเทียบเท่ากับการใช้น้ำมันดิบประมาณ 7,000,000 ตันต่อปี ซึ่งจะเห็นได้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีศักยภาพสูงที่จะพัฒนาเป็นแหล่งพลังงานหลักต่อไป (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, 2541 : 1)

การพัฒนานำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในประเทศไทย ได้มีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งการพัฒนาทางด้านเทคนิคและการจัดหาข้อมูลทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์โดยหน่วยงานที่ทำการศึกษาวิจัยได้แก่กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม สถาบันการศึกษาสาขาวิจัย และการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เป็นต้น สำหรับข้อมูลทางด้านพลังงานแสงอาทิตย์เป็นข้อมูลเบื้องต้นที่สำคัญที่บอกศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ ณ ตำแหน่งต่างๆ ภายในประเทศไทยได้จัดทำขึ้นโดยกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม โดยมีการจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นใหม่ แทนแผนที่พลังงานแสงอาทิตย์ฉบับแรก ที่ได้จัดทำขึ้นในปี พ.ศ.2527 โดยใช้เทคโนโลยีจากภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งแล้วเสร็จในเดือนมิถุนายน พ.ศ.2542 นับว่าเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญที่สุดเพื่อใช้ประกอบในการจัดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะทำให้การรายละเอียดความเข้มของแสงอาทิตย์ถึงในระดับตำบล และเพื่อให้มีการพัฒนาระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างจริงจัง และมีการใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้นภายในประเทศ ได้มีการวิจัยและพัฒนาเพื่อจัดทำข้อกำหนดผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมสำหรับสภาวะอากาศเขตร้อนชื้นของประเทศไทย และจัดตั้งโครงการ โรงงานต้นแบบผลิตภัณฑ์แสงอาทิตย์แห่งแรกในประเทศไทย การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในประเทศมีการใช้ในสองลักษณะ คือ การเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนและการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกระบวนการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน ได้พัฒนาใช้ในการอบแห้งพืชผลทางการเกษตร การทำน้ำร้อน การกลั่นน้ำ เป็นต้นสำหรับกระบวนการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเทคโนโลยีปัจจุบันต้นทุนการผลิตประมาณ 5-10 บาทต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งยังไม่สามารถแข่งขันกับการผลิตไฟฟ้าจากน้ำมัน ถ่านหินหรือก๊าซธรรมชาติได้ แต่จะมีความเหมาะสมในการใช้ในชนบทที่ห่างไกลซึ่งระบบสายส่งไฟฟ้าขยายไปไม่ถึง ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยมีการติดตั้งและใช้งานรวมประมาณ 3,734 กิโลวัตต์ โดยส่วนใหญ่เป็นการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้ระบบประจุแบตเตอรี่ (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2540: 29-30)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ศึกษามีสาระสำคัญที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการวิจัย ดังต่อไปนี้

วัฒนพงษ์ รัชวิเชียร และคณะ(2536) ได้ทำการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ จากสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บ้านเด่นไม้ซุง อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก เพื่อศึกษารวบรวม ข้อมูลทางเทคนิคการผลิตพลังงานไฟฟ้า การใช้พลังงานไฟฟ้าและวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บ้านเด่นไม้ซุง มีขนาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 60 kWp และขนาด แรงดัน 260 Vdc ซึ่งประกอบด้วยแผงเซลล์จำนวน 1,024 แผง มีแบตเตอรี่สำหรับเก็บพลังงานจำนวน 496 ลูก หมู่บ้านเด่นไม้ซุงมีประชากรจำนวน 961คน 254 ครัวเรือน มีการใช้ไฟฟ้าประมาณ 70.9% ของจำนวน ครัวเรือนทั้งหมดบ้าน การใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดปีประมาณ 47,275.1 kWh อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ คือหลอดไฟฟ้า ในแต่ละวันมีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load) ประมาณ 16 kW แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ปีละ 62,681.7 kWh ซึ่งผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุดในเดือนมีนาคม มีค่าประมาณ 233.93 kWh/day และผลิตได้น้อยที่สุดประมาณ 129.30 kWh/day ในเดือนตุลาคม

สมชาย สุรราชวรรณ (2537) ได้ทำการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคและเศรษฐกิจของระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อตรงเพื่อการเกษตร ลักษณะของระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของบริษัท Solar ARCO ขนาด 47 Wp จำนวน 15 แผงต่อแบบอนุกรม 3 แผง และขนานกัน 5 ชุด ชุดมอเตอร์/ ปั้มน้ำของบริษัท Mc Donald โมเดล I50307 DSU สายไฟขนาด 25 mm² ความยาว 306 เมตร ท่อน้ำชนิด PVC เส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 2 นิ้ว ความยาว 260 m และถังพักน้ำขนาด 24 m³ ผลการทดสอบระบบภาคสนามระยะสั้นพบว่า ประสิทธิภาพสูงสุดของระบบเท่ากับ 1.7 % ของชุดมอเตอร์/ ปั้มน้ำ เท่ากับ 24 % และของแผงเซลล์เท่ากับ 8 % ระบบมีอัตราการสูบน้ำสูงสุดเท่ากับ 2.4 m³/hr กระแสไฟฟ้าสูงสุด 11.5 A แรงดันไฟฟ้าสูงสุด 35 V กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 400 W และค่ารังสีแสงอาทิตย์วิกฤตเท่ากับ 400 W/ m² กระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการเปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์ จะมีรูปแบบไม่แน่นอนที่ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์น้อยกว่า 300 W/ m² เนื่องจากอยู่ในสถานะที่มอเตอร์ทำงานและหยุดทำงาน แต่ที่ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มากกว่า 400 W/ m² แรงดันไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพสูงสุดของระบบรวม และระบบย่อยของระบบอยู่ที่ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์เท่ากับ 750 W/ m² ผลการทดสอบระบบภาคสนามในระยะยาวพบว่า ค่าพลังงาน

แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงเซลล์เฉลี่ยรายวันเท่ากับ $4.46 \text{ kWh/m}^2 - \text{day}$ ระยะเสดสติด เฉลี่ยเท่ากับ 10.9 m

ธีรยุทธ์ เจนวิทยา (2537) ได้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่องการควบคุมแบบเหมาะสมสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์ โดยใช้ชุดเซนเซอร์หาตำแหน่งที่เหมาะสมของแผงเซลล์ จากผลการทดสอบปรากฏว่าแผงเซลล์มีความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น เฉลี่ยประมาณ 30–32% หรือประมาณ 310 วัตต์/ชั่วโมง หรือประมาณ 47 วัตต์ (เฉลี่ย) ในช่วงเวลา 9.30 – 16.00 น. ส่วนพลังงานที่ใช้สำหรับชุดขับเคลื่อนและส่วนควบคุมประมาณ 3 – 5 วัตต์ - ชั่วโมง ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างระบบติดตามด้วยการเคลื่อนที่ทิศทางเดียว โดยจำนวนมุมต่อเวลาองศาที่ (ประมาณ 15 องศาต่อชั่วโมง) กับระบบซึ่งติดตั้งอยู่กับที่ ปรากฏว่าแผงเซลล์มีความสามารถในการจ่ายพลังงานเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 26 – 28 % หรือประมาณ 270 วัตต์ - ชั่วโมง หรือประมาณ 41 วัตต์ (เฉลี่ย) ในช่วงเวลา 9.30 -16.00 น. ส่วนพลังงานที่ใช้ในชุดขับเคลื่อนและชุดควบคุมประมาณ 8-10 วัตต์ - ชั่วโมง แต่ในช่วงเวลาก่อน 9.30 น.(9.00–9.30 น.) และหลัง 16.00 น. (16.00 – 17.00 น.) จะไม่มีการเคลื่อนที่ของแผงเซลล์นั้น แผงเซลล์สามารถจ่ายพลังงานเพิ่มขึ้นประมาณ 30 – 40 วัตต์ - ชั่วโมง เทียบกับแผงเซลล์ซึ่งติดตั้งอยู่กับที่โดยไม่ต้องจ่ายพลังงานให้กับชุดขับเคลื่อน

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย: 2540 ได้ทำการวิจัยโครงการสาธิตระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านจำนวน 10 หลัง โดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ 2 ชนิด คือ แบบผลึกเดี่ยวผลิตไฟฟ้าได้หลังละ 2.25 kW และแบบหลายผลึกผลิตไฟฟ้าได้หลังละ 2.88 kW เป็นระบบที่ผลิตไฟฟ้ากระแสสลับจากเครื่องผกผันขนาด 5 kW ไม่มีแบตเตอรี่เก็บไฟฟ้าใช้หลักการต่อโดยตรงกับสายจำหน่ายของการไฟฟ้า และใช้มิเตอร์จ่ายไฟแบบหมุนได้สองทางหากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าที่ใช้จริงในบ้าน จะส่งผ่านมิเตอร์ขายให้การไฟฟ้าได้โดยมิเตอร์จะหมุนกลับ แต่ถ้ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ที่น้อยกว่าที่ต้องการใช้จริง จะดึงไฟฟ้าส่วนเกินมาจากไฟฟ้า

ผลการวิจัยจากโครงการ ดังกล่าวพบว่า

1. เซลล์จากแสงอาทิตย์ต่อบ้าน 1 หลัง สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 1,400 ถึง 1,600 กิโลวัตต์ - ชั่วโมง ต่อ กิโลวัตต์สูงสุดต่อปี
2. เซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกเดี่ยว เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าเท่ากับ 3.42 บาทต่อหน่วย (กิโลวัตต์ - ชั่วโมง)

3. เซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายผลึก (หรือแบบอะมอร์ฟัส) เสียค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า
เท่ากับ 3.76 บาทต่อหน่วย (กิโลวัตต์ - ชั่วโมง)

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย : 2541 ได้จัดทำโครงการเฉลิมพระเกียรติระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารศูนย์การพัฒนาอันเนื่องมาจากพระราชดำริทั้ง 7 แห่ง คือ ศูนย์ห้วยทราย ศูนย์ภูพาน ศูนย์เขาค้อ ศูนย์อ่าวคุ้งกระเบน ศูนย์ห้วยฮ่องไคร้ และโครงการคอยตุง แต่ละแห่งได้รับงบประมาณจากกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติแห่งละ 543,634 บาท สามารถผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 1,200 – 1,300 kWh – kWp ต่อปี หรือคิดเป็นพลังงานที่ผลิตได้ 21,600 – 24,300 หน่วย (kWh) ต่อปี โดยใช้ต้นทุนในการผลิตทั้งหมด 13.50 บาท ต่อหน่วย

มหาวิทยาลัยนเรศวร : 2542 โดยศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ ได้รับทุนวิจัยจากสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติประจำปี 2539 – 2542 เพื่อดำเนินการวิจัยในโครงการประเมินความเหมาะสมของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศ พบว่า ณ สิ้นปี 2542 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่ในประเทศมีกำลังไฟฟ้าติดตั้งรวมอยู่ประมาณ 4.4 MWp ผลการทดสอบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสูบน้ำและระบบประจุแบตเตอรี่ พบว่ามีประสิทธิภาพของระบบเป็น 5.7% และ 1.3% ตามลำดับ การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์โดยพิจารณาจากอายุการใช้งานของระบบ 20 ปี จะได้ราคาน้ำต่อหน่วยของระบบ สูบน้ำด้วยตัวแทนเท่ากับ 18.97 บาท / ลูกบาศก์เมตร และราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของระบบประจุแบตเตอรี่เท่ากับ 35.58 บาท / kWh ผลการศึกษา Sensitivity analysis แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน ลด จะมีผลต่อราคาต่อหน่วยของน้ำและราคาต่อหน่วยของไฟฟ้ามากกว่าการเปลี่ยนแปลงราคาแผงเซลล์

ผลการศึกษาพบว่า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แม้จะมีเทคโนโลยีที่ต้นทุนสูงแต่มีแนวโน้มลดต่ำลงในอนาคต ซึ่งมีข้อดีเรื่องพลังงานได้เปล่าและไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ระบบมีความเหมาะสมในการใช้งาน แต่ปัญหาของระบบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากการขาดการบริหารจัดการระบบที่ดีพอ ซึ่งปัญหาดังกล่าวมิได้เกิดจากตัวระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีความบกพร่องแต่อย่างใด ดังนั้นการที่จะส่งเสริมให้เกิดการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์อย่างแพร่หลายนั้น หน่วยงานที่รับผิดชอบโครงการจะต้องมีการจัดฝึกอบรมเพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจให้กับประชาชนในพื้นที่และจัดให้มีการสร้างองค์กรขึ้นภายในชุมชน เพื่อเข้ามาบริหารจัดการการใช้งานระบบเซลล์แสงอาทิตย์ คณะผู้วิจัยมีความเห็นว่า

หากได้มีการจัดการในลักษณะดังกล่าวแล้วจะเกิดประโยชน์อย่างยิ่ง ทั้งในแง่ความคุ้มค่าทาง เศรษฐศาสตร์และผลประโยชน์ที่ดีต่อสังคม

สถาบันพลังงานเพื่ออุตสาหกรรม สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย : 2545 ได้จัดทำโครงการ วิจัยชื่อ “โครงการนำร่องระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโรงงาน อุตสาหกรรม” โดยติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Grid connected ขนาด 4.2 กิโลวัตต์ ให้กับโรงงานอุตสาหกรรมจำนวน 10 แห่งที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว จากกลุ่มอุตสาหกรรมไม้ อาหาร เคมี ยานยนต์ สิ่งทอ ไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์และเหล็ก คิดเป็นกำลังการผลิตรวม 42 กิโลวัตต์ สามารถลดการ ใช้น้ำมันดีเซลในการผลิตกำลังไฟฟ้าลงได้ 18,000 ลิตรต่อปี ลดการปล่อยก๊าซ CO₂ ลงได้ 52.92 ตันต่อปี ลดผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและส่งเสริมในภาคอุตสาหกรรมมีส่วนร่วมในการใช้งานและผลิตไฟฟ้า จากเซลล์แสงอาทิตย์ ระยะเวลาโครงการนี้ระหว่าง พ.ศ. 2545-เม.ย. 2546 ใช้งบประมาณทั้งหมด 13,698,000 บาท ได้รับการสนับสนุนจากกองทุนอนุรักษ์พลังงาน 60% และผู้ร่วมโครงการลงทุนเอง 40 %

นายสิริชัย ปัญญาสมาริ (2548) วิจัยเรื่องการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโฟโตโวลตาอิกที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Solar Cell) โดยการออกแบบ แผงระบายความร้อนแบบท่อขดเซอร์เพนไทน์ และนำไปประกอบติดตั้งที่ด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อดึงความร้อนเปล่าประโยชน์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานในรูปแบบของน้ำร้อน การศึกษาได้ขยาย ผลไปถึงการจำลองระบบการต่อแผงระบายความร้อนเป็นระบบใหญ่ขึ้น ที่มีการต่อในแบบอนุกรมหรือ ขนานกันโดยใช้แผงระบายความร้อนทั้งหมด 6 แผง ผลการวิจัยพบว่า การออกแบบท่อขดเซอร์เพนไทน์ ดันแบบให้มีระยะห่างระหว่างท่อเป็น 10 เซนติเมตร มีการระบายความร้อนได้ดีที่สุด และมีอุณหภูมิเฉลี่ย อยู่ในช่วงประมาณ 43-50 องศาเซลเซียส จากการจำลองระบบโดยการต่อแผงระบายความร้อนจำนวน 6 แผง ในแบบต่างๆ 4 แบบพบว่า ปัจจัยหลักในการเพิ่มประสิทธิภาพทั้งทางไฟฟ้าและทางระบบน้ำ ร้อน ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลและค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบประสิทธิภาพโดยรวมของระบบในทุก แบบจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีอัตราการไหลเชิงมวลและค่ารังสีดวงอาทิตย์มากขึ้น อัตราการไหลเชิงมวลต่อพื้นที่ที่ เหมาะสมคือ 0.0352 กิโลกรัมต่อตารางเมตรต่อวินาที การเพิ่มอัตราการไหลเชิงมวลที่มากเกินไปทำให้อ ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเพิ่มขึ้นไม่มากนักนอกจากนี้ ในการต่ออนุกรมกันไม่ควรจะต่อเกินกว่า 3 แผง เพราะระบบโฟโตโวลตาอิกจะได้รับผลกระทบเนื่องจากอุณหภูมิของน้ำขาเข้าในแถวอนุกรม เมื่อ เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการระบายความร้อนโดยน้ำแล้ว พบว่า ระบบโฟโตโวลตาอิกแบบผสมระบบ ผลิตน้ำร้อนจะมีประสิทธิภาพของระบบโฟโตโวลตาอิกสูงกว่าประมาณ 1.20% -1.45%

เบญจมาศ อ่ำอิม และคณะ (2550) จัดทำโครงการ เรื่อง การหาจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม มีวัตถุประสงค์ คือ หาจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ และเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ โดยการนำโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งมีการทำงานเหมือนสมองมนุษย์มาช่วยในการวิเคราะห์หาจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม มีการกำหนดค่าตัวชี้วัดที่เหมาะสม ให้กับวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์ตามที่โครงข่ายประสาทเทียมวิเคราะห์ไว้ ณ ช่วงเวลานั้นๆ ผลการทดลองพบว่าไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ทำการส่งค่าตัวชี้วัดที่เหมาะสมให้กับวงจรบัสคอนเวอร์เตอร์ได้ตามที่โครงข่ายประสาทเทียมวิเคราะห์ ทำให้ได้กำลังไฟฟ้าสูงสุดตามต้องการ

ศุภชัย กวินวุฒิกุล (2551) วิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นการทดลองเพื่อหาอัตราการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดอะเมอร์ ฟลิซิลิคอนที่ใช้กระจกเงาสะท้อนแสงเพิ่มความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ให้กับแผงเซลล์พร้อมกับการเคลื่อนที่แผงเซลล์ตามแนวการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ เปรียบเทียบกับประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเดียวกันแต่ลักษณะการใช้แตกต่างกันอีก 2 รูปแบบคือ รูปแบบที่แผงเซลล์ไม่เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบแบบที่มีการติดตั้งกระจกเงากับไม่มีการติดตั้งกระจกเงา และรูปแบบที่แผงเซลล์เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบแบบที่มีการติดตั้งกระจกเงากับไม่มีการติดตั้งกระจกเงา ผลการวิจัยพบว่า แผงเซลล์ที่ติดตั้งกระจกเงาและเคลื่อนที่ตามแนวเคลื่อนที่อาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 15.33% และมีประสิทธิภาพสูงกว่าแผงเซลล์ที่เคลื่อนที่ตามแนวเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์และไม่ติดตั้งกระจกเงาคิดเป็น 14.12% ส่วนแผงเซลล์ที่ติดตั้งกระจกเงาและไม่เคลื่อนที่ตามแนวเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 13.05% และมีประสิทธิภาพสูงกว่าแผงเซลล์ที่ไม่เคลื่อนที่ตามแนวเคลื่อนที่ดวงอาทิตย์และไม่ติดตั้งกระจกเงาคิดเป็น 11.89%

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 แบบการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ เป็นการวิจัยเชิงทดลอง เพื่อที่จะศึกษาถึงประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์และศึกษาผลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

3.2 วิธีการดำเนินงาน

โครงการวิจัยนี้ได้กำหนดวิธีการ และขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในหัวข้อสำคัญดังนี้

1. ศึกษารวบรวมข้อมูล
2. ออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
3. ติดตั้งโครงสร้าง โครงเหล็กและชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
4. ติดตั้งเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์แสดงสถานะของระบบ
5. ทดสอบ และแก้ไข

3.3 ศึกษารวบรวมข้อมูล

การศึกษาข้อมูลเพื่อดำเนินการในโครงการวิจัยนี้ ได้ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเซลล์แสงอาทิตย์ คุณลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษางานที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดจน การศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์

3.4 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การกำหนดขนาดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ระบบที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานอย่างเพียงพอ จะต้องรู้ว่าจะใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าอะไรบ้าง ต้องการใช้นานเท่าใด ในแต่ละวันและต้องการสำรองพลังงานไว้ในแบตเตอรี่นานเท่าใดเพื่อใช้เวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สามารถผลิตพลังงานได้ ในช่วงเวลากลางคืนและเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้ โดยเริ่มจากการ สืบค้นข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้ไม่ว่าจะหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสร้างโครงสร้างชุดรับแสงพลังงานแสงอาทิตย์ วัดค่า ความเข้มของแสงอาทิตย์ ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ส่องกระทบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับตลอดทั้งวัน และการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีไหลคดังนี้ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด

32 วัตต์ จำนวน 6 หลอดใช้พลังงานไฟฟ้า วันละ 6 ชั่วโมง เครื่องใช้ไฟฟ้า ขนาด 30 วัตต์ จำนวน 1 ชุด ใช้พลังงานไฟฟ้า วันละ 4 ชั่วโมง รวมจำนวนปริมาณไฟฟ้าทั้งหมด 1272 วัตต์ กระแส 2 แอมป์

ตารางที่ 3-1 แสดงความต้องการพลังงานไฟฟ้า

เครื่องใช้ไฟฟ้า	จำนวน	วัตต์	เวลาใช้งาน	ผลการคำนวณ
	(1)	(2)	(3)	วัตต์-ชั่วโมง
หลอดฟลูออเรสเซนต์	6	32	6	1152
เครื่องใช้ไฟฟ้า	1	30	4	120
รวม	1272 วัตต์ / วัน			

ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์

ขนาดของแผง = ค่าการใช้พลังงานรวม / 6 ชั่วโมง (ปริมาณแสงอาทิตย์ที่นำจะได้ใน 1 วัน)

$$= \{(32 \text{ W} \times 6 \text{ ดวง}) \times 6 \text{ ชั่วโมง}\} + \{(30 \text{ W}) \times 4 \text{ ชั่วโมง}\} / 6 \text{ ชั่วโมง}$$

$$= 212 \text{ Ah}$$

ดังนั้น ขนาดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ คือ ขนาด 12 โวลท์ 212 วัตต์หรือมากกว่า โดยเลือกใช้ขนาดแผงละ 120 วัตต์ ขนาดแรงดัน 12 โวลท์ ขนาดกระแส 5 แอมป์ จำนวน 2 แผง

เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า (Charge Controller)

ทำหน้าที่ควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าลงในแบตเตอรี่ จะทำให้ยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ได้ ซึ่งต้องมีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า กระแสไฟฟ้า (Amp) ที่ไหลผ่านจากแผงโซลาร์เซลล์สู่แบตเตอรี่ ดังนั้น ขนาดของเครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า ควรมีขนาดเกินกระแสไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้า จากแบตเตอรี่ 12 โวลท์ เป็น 220 โวลท์ ซึ่งควรมีขนาดกำลังเพียงพอที่จะจ่ายไฟฟ้าให้แก่อุปกรณ์ จะได้

ขนาด ของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า $= (32 \text{ W} \times 6 \text{ ดวง}) + (30 \text{ W} \times 1 \text{ ตัว})$
 $= 222 \text{ W}$

ดังนั้นขนาดของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ควรมีขนาดมากกว่า 222 W ในโครงการวิจัยเลือกใช้ ขนาด 1000 W ใช้กับแบตเตอรี่ขนาด 12 โวลท์

แบตเตอรี่ (Battery)

ทำหน้าที่เก็บสำรองไฟฟ้าในเวลาที่ไม่สามารถรับแสงได้ในช่วงเวลากลางคืน แบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับการใช้งานในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ควรใช้แบตเตอรี่ชนิด Deep Cycle แต่จะมีราคาสูง ซึ่งเราสามารถเลือกใช้กับแบตเตอรี่ชนิดอื่นแทนได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ หรือ แบตเตอรี่แห้ง (Sealed Lead Acid Battery) ได้ ซึ่งจะมีราคาถูกกว่า

ขนาดกระแส/ชั่วโมง ของแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{Ah} &= \text{กำลังงานรวม} / [\text{แรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่} \times 0.6 (\% \text{ การใช้งานกระแสไฟฟ้าที่อยู่ในแบตเตอรี่}) \times 0.85 (\text{ประสิทธิภาพของ Inverter})] \\ &= \{(32\text{ W} \times 6 \text{ ดวง}) \times 6 \text{ ชั่วโมง} + (30 \text{ W}) \times 4 \text{ ชั่วโมง}\} / [12 \text{ โวลต์} \times 0.6 \times 0.85] \\ &= 207.8 \text{ Ah (แอมป์-ชั่วโมง)} \end{aligned}$$

ดังนั้นขนาดของแบตเตอรี่ที่ใช้จะเป็นขนาด 12 โวลต์ 207.8 Ah (แอมป์-ชั่วโมง) หรือมากกว่า โดยเลือกใช้ แบตเตอรี่ขนาด 100 แอมป์-ชั่วโมง จำนวน 4 ลูก

การคำนวณหาขนาดสายของแบตเตอรี่

ความจุของแบตเตอรี่ในการบรรจุพลังงานมีหน่วยเป็น แอมป์-ชั่วโมง (Ampere-Hour; Ah) โดยปกติแบตเตอรี่ที่มีความจุเท่ากันอาจมีความเร็วในการจ่ายกระแสไม่เท่ากัน ดังนั้น การจะทราบความจุของแบตเตอรี่ต้องทราบถึงอัตราการจ่ายกระแสด้วย มักกำหนดเป็นจำนวนชั่วโมงของการจ่ายกระแสเต็มที่การหาขนาดของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์นั้นขึ้นอยู่กับความจุของแบตเตอรี่ในการจัดเก็บ พลังงานและ อัตราการจ่ายประจุสูงสุด การชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่ ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด ไม่ควรเกิน 10% ของขนาดความจุแบตเตอรี่ เช่น แบตเตอรี่ขนาด 100 แอมป์-ชั่วโมง การจัดเก็บพลังงานให้กับแบตเตอรี่ ที่ 10 แอมป์ (Ampere-Hour; Ah) ถ้ากระแสน้อยต้องใช้เวลานานและกระแสสูงอาจทำให้แบตเตอรี่มี อุณหภูมิสูงอายุการใช้งานจะสั้นลง จากโหลดของโครงการวิจัย กระแสใช้งานด้านออก จากอินเวอร์เตอร์ เท่ากับ 3.63 แอมป์ วัดกระแสแบตเตอรี่ ขณะจ่ายโหลด ได้ เท่ากับ 28.5 แอมป์ เนื่องจากโครงการใช้แบตเตอรี่ ขนาด 200 แอมป์- ชั่วโมง (Ampere-Hour; Ah) เพราะฉะนั้น ที่กระแส 200 แอมป์แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสให้กับโหลดต่อเนื่องได้ 1 ชั่วโมง และที่กระแส 28.5 แอมป์ แบตเตอรี่จะสามารถจ่ายโหลดได้ เท่ากับ $200 / 28.5 = 7$ ชั่วโมง แต่เนื่องจากการใช้งานในระบบจริงมี อุปกรณ์ที่ต้องอาศัยแรงดันเพื่อใช้เลี้ยงวงจรและสูญเสียในระบบโดยรวมประมาณ 25% เช่น สูญเสียในรูปของความร้อนภายในอินเวอร์เตอร์เองและใช้กับพัดลมระบายความร้อนของชุดอินเวอร์เตอร์ ประมาณ 10% สูญเสียกับระบบที่เกี่ยวข้องเช่น หลอดไฟแสดงสถานะและรีเลย์ต่างๆประมาณ 15-20% (ตั้งค่าไว้ 30%) ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์ต่างที่นำมาต่อกับระบบสูญเสียในสาย ดังนั้นที่กระแสแบตเตอรี่ ขนาด 200

แอมแปร์-ชั่วโมงคงเหลือที่จ่ายให้กับโหลดจริงๆ เท่ากับ 20-30% คงเหลือ 140 แอมแปร์-ชั่วโมง หรือสามารถจ่ายกระแสต่อเนื่องเท่ากับ $140/28.5 = 5$ ชั่วโมง ดังนั้นในการคำนวณหาขนาดของแบตเตอรี่ต้องบวกค่าสูญเสียในระบบต่างๆเข้ากับโหลดที่ต้องการใช้งานด้วยเช่น ถ้าต้องการใช้งานต่อเนื่องที่ โหลด 100 แอมแปร์ต้องใช้แบตเตอรี่ขนาด 120 แอมแปร์-ชั่วโมง

การหาขนาดสายของแผงพลังงานแสงอาทิตย์

ขนาดสายใช้กับแผงพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 5 แอมแปร์ ใช้สาย THW ขนาด 10 ตร.มม. เดินในอากาศ รับกระแสโหลดได้ 82 แอมแปร์

การหาขนาดสายของชุดชาร์จเจอร์

ขนาดสายใช้กับชุดชาร์จเจอร์กระแสจาก แผงพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 5 แอมแปร์ ใช้สาย THW ขนาด 4 ตร.มม. เดินในอากาศ รับกระแสโหลดได้ 33 แอมแปร์

การหาขนาดสายของอินเวอร์เตอร์

ขนาดสายใช้กับอินเวอร์เตอร์ขนาด 1,000 วัตต์ กระแส 4.45 แอมแปร์ สายด้านเข้าจากแบตเตอรี่ ใช้ สาย THW ขนาด 4 ตร.มม. เดินในอากาศ รับกระแสโหลดได้ 33 แอมแปร์ ด้านออกจ่ายกระแส 4.55 แอมแปร์ ใช้สาย THW ขนาด 4 ตร.มม. เดินในอากาศ รับกระแสโหลดได้ 33 แอมแปร์

การหาขนาดสายของชุด Auto Transfer Switch (ATS)

ชุด ATS รับกระแสไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าภายนอกเพื่อจ่ายตรงให้โหลดและชุดชาร์จเจอร์ ใช้ สาย THW ขนาด 4 ตร.มม. เดินในอากาศ รับกระแสโหลดได้ 33 แอมแปร์

3.5 ติดตั้งโครงสร้างโครงเหล็กและชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อจัดทำโครงเหล็กตามแบบที่กำหนดเสร็จแล้วก็ดำเนินการติดตั้งโครงเหล็ก หอดัดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์โครงสร้างทำด้วยเหล็กชนิดอบสังกะสี ขนาด กว้าง 1.5 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 6 เมตร จากพื้นดิน โดยชุดฐานรากและปูพื้นด้วยซีเมนต์ โดยมีเสาเหล็กกลม 4 เสา และด้านบนทำเป็นฐานด้วยไม้เนื้อแข็งและทำการติดตั้งเสารองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และปรับให้รับกับแสงอาทิตย์



รูปที่ 3-1 แสดงการวัดค่าความเข้มของแสงในตอนเที่ยง





รูปที่ 3-3 แสดงการสร้างรากฐาน โครงสร้างภายนอก



รูปที่ 3-4 แสดงการสร้างแป้นและเสาเพื่อรับโครงสร้าง



รูปที่ 3-5 แสดงการจัดเตรียมเหล็กโครงสร้างภายนอก



รูปที่ 3-6 แสดงการเชื่อมโครงสร้าง



รูปที่ 3-7 แสดงการเชื่อมโครงสร้างกับรากฐานที่ดำเนินการไว้แล้ว



รูปที่ 3-8 แสดงการทาสีโครงสร้างเมื่อดำเนินการประกอบเสร็จ



รูปที่ 3-9 แสดงการเดินท่อร้อยสายชนิดพีวีซีจากแผงเข้าภายในห้อง



รูปที่ 3-10 แสดงการเชื่อมแบบเพื่อรับแผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 3-11 แสดงการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เข้ากับโครงสร้างที่สร้างไว้

3.6 ติดตั้งชุดเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และอุปกรณ์แสดงสถานะของระบบ

ดำเนินการสร้างตู้สำหรับติดตั้งชุดควบคุมของระบบและทำการติดตั้งระบบผกผันที่ใช้เป็นอินเวอร์เตอร์ ขนาด 1,000 วัตต์ ยี่ห้อ Leonic's รุ่น Apollo S-210 Series 1 เครื่องและติดตั้งเครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ ยี่ห้อ Leonic's รุ่น Solarcon Set-Series 1 เครื่อง สำหรับอุปกรณ์แสดงสถานะของระบบติดตั้งในตู้ควบคุมระบบ ประกอบด้วยเบรกเกอร์ ขนาด 32 แอมแปร์ จำนวน 4 ชุด แอมป์มิเตอร์ วัดกระแสด้าน AC จำนวน 1 ชุด แอมป์มิเตอร์ วัดกระแสด้าน DC จำนวน 1 ชุด โวลท์มิเตอร์ วัดแรงดันด้าน AC จำนวน 1 ชุด โวลท์มิเตอร์ วัดแรงดันด้าน DC จำนวน 1 ชุด ไฟลัดเลมปีโซว์สถานะด้าน AC และ DC จำนวน 2 ชุด

3.6.1 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่อง

โยก AC INPUT BREAKER ด้านท้ายเครื่องไฟที่ตำแหน่ง OFF เปิดฝาปิดขั้วต่อสายไฟ ออก ตั้งระบบ No load Shutdown โดยเลื่อน DIP SWITCH ที่ตำแหน่ง 1 ไปที่ ON เมื่อเครื่องทำงานในโหมด INVERTER หากปริมาณกำลังไฟของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อใช้งานในขณะนั้นมีน้อยกว่า 9 % เครื่องจะหยุดทำงาน เพื่อประหยัดพลังงานของแบตเตอรี่ (ระบบ No load Shutdown จะถูกตั้งเป็น OFF มาจากโรงงานผู้ผลิต)

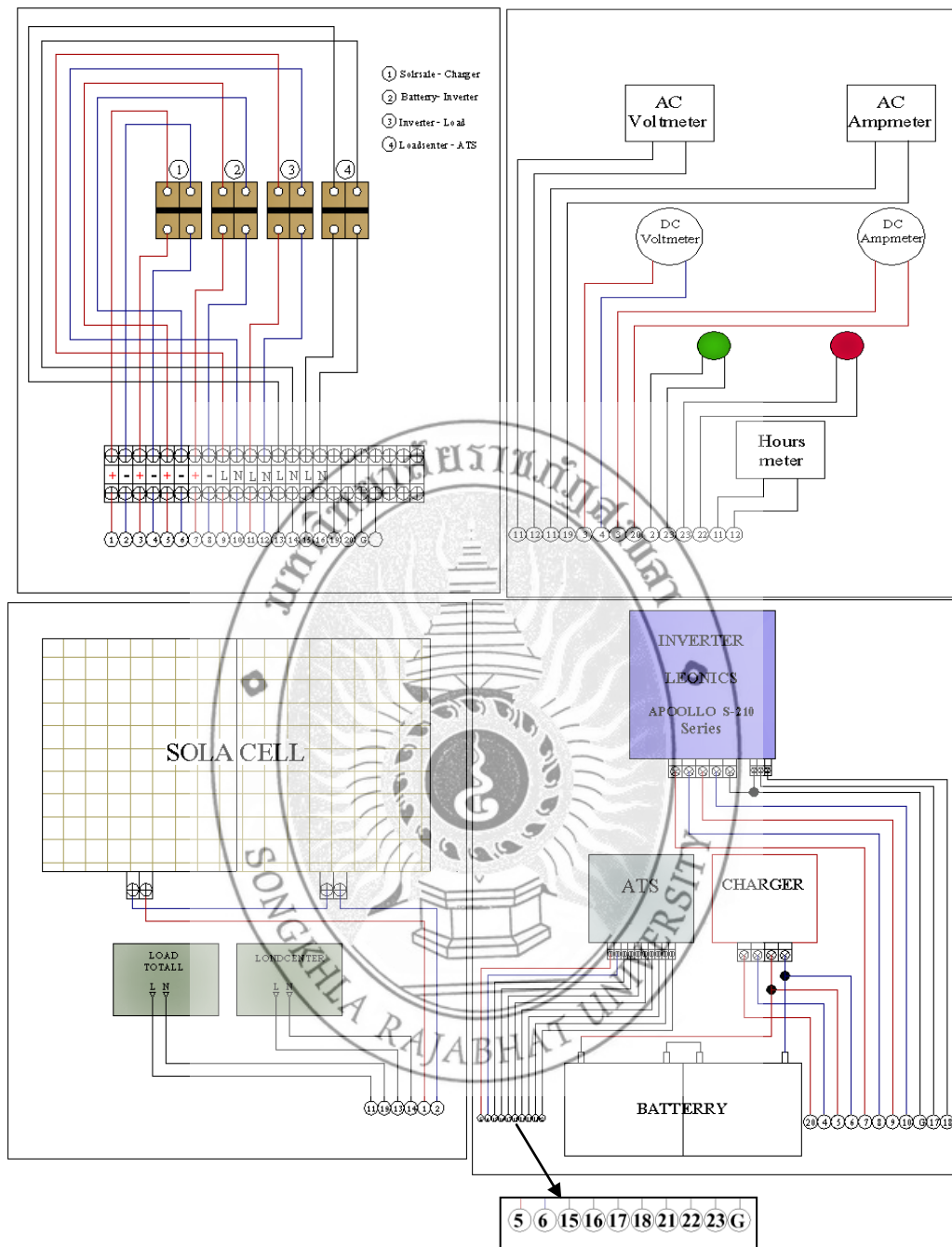
ปิดสวิทช์เครื่องใช้ไฟฟ้าจากนั้นทำการต่อเครื่องใช้ไฟฟ้าและสายดินเข้าที่ขั้วต่อ OUTPUT ด้านท้ายเครื่อง หรือเสียบเต้าเสียบของเครื่องใช้ไฟฟ้าเข้าที่เต้าจ่ายไฟ OUTPUT ด้านท้ายเครื่อง (ให้ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ระดับ 75% ของพิกัดกำลังของเครื่อง เพื่อสำรองกำลังไว้) ต่อสายไฟจากแบตเตอรี่เข้า

กับขั้วต่อ BATTERY ด้านท้ายเครื่อง โดยต่อผ่าน Battery Circuit Breaker และกำหนดให้ขั้วบวกของแบตเตอรี่ต่อเข้ากับขั้วบวก (+) ของขั้วต่อ BATTERY ด้านท้ายเครื่อง และขั้วลบของแบตเตอรี่ต่อเข้ากับขั้วลบ (-) ของขั้วต่อ BATTERY นำสายไฟ AC INPUT (สาย POWER CORD) ที่แถมมากับเครื่องต่อเข้ากับเต้ารับไฟ AC INPUT ด้านท้ายเครื่อง และทำการตรวจสอบการต่อสายไฟที่ขั้วต่างๆให้ถูกต้อง และปิดฝาปิดขั้วต่อสายไฟ

3.6.2 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่ (Chargers system)

ถอดฝาเปิดขั้วต่อ(Terminal) ต่อสายดินเข้าที่ขั้วต่อ EARTH ของเครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่ ต่อเครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่เข้ากับระบบแบตเตอรี่โดยต่อผ่านเบรกเกอร์ (Battery Circuit Breaker) และตรวจสอบขั้วสายให้ถูกต้อง ต่อเครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่เข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยต่อผ่านเบรกเกอร์ (PV Circuit Breaker) และตรวจสอบขั้วสายให้ถูกต้อง ต่อเครื่องชาร์จประจุแบตเตอรี่เข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Load) โดยต่อผ่านเบรกเกอร์ (DC Load Circuit Breaker) และตรวจสอบขั้วให้ถูกต้อง ตรวจสอบขั้วของสายไฟต่างๆให้ถูกต้อง จากนั้นปิดฝารอบขั้วต่อ





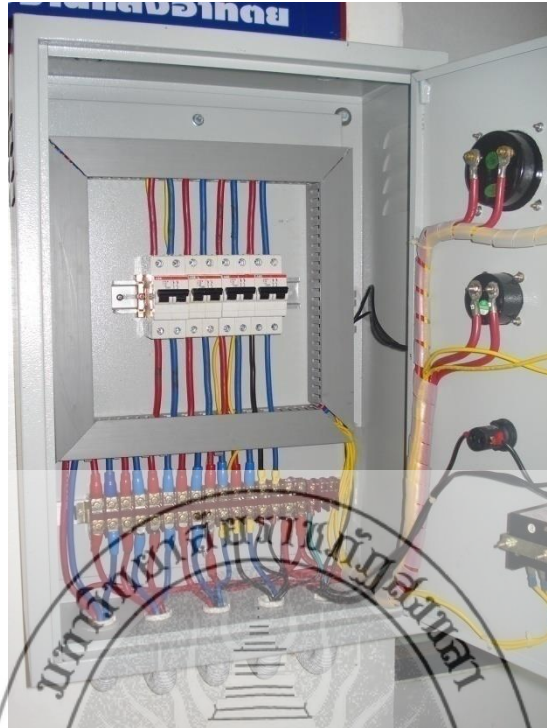
รูปที่ 3-12 แสดงวงจรการติดตั้งชุดควบคุม



รูปที่ 3-13 แสดงการติดตั้งและประกอบตู้ควบคุมของระบบ โซล่าเซลล์



รูปที่ 3-14 แสดงการติดตั้งมิเตอร์เพื่อแสดงการใช้ไฟฟ้าภายในห้อง



รูปที่ 3-15 แสดงการเดินสายไฟฟ้าภายในตู้ควบคุม



รูปที่ 3-16 ชุดควบคุมที่ติดตั้งเสร็จ

3.7 ทดสอบ และแก้ไข

เมื่อดำเนินการติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ชุดอินเวอร์เตอร์ แบตเตอรี่และอุปกรณ์แสดงผลทั้งระบบเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทำการตรวจสอบและทดสอบระบบดังนี้

3.7.1 การตรวจสอบและทดลองแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Sell System)



รูปที่ 3-17 แสดงการตรวจสอบและทดลองแผงพลังงานแสงอาทิตย์

ตรวจสอบความเรียบร้อยของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ก่อนนำไปติดตั้งใช้งาน ตรวจสอบรอยแตกร้าว ขนาดวัตต์ (120 วัตต์/แผง) ขนาดแรงดัน (12 โวลต์/แผง) ขนาดแอมแปร์ (5 แอมแปร์/แผง) หลังการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ กับ โครงสร้างแล้วเสร็จให้ปรับมุมเพื่อรับแสงอาทิตย์ไว้ที่มุม 15 องศา เพื่อให้แผงพลังงานแสงอาทิตย์สามารถรับแสงแดดได้เต็มที่ และลดการสะท้อนของ แสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงโซลาร์เซลล์เพื่อตรวจสอบแรงดัน โดยวัดกับปลายสายที่ต่อออกมาจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์วัดแรงดันได้ที่ 12 โวลต์ เมื่อต่ออนุกรมกัน 2 แผง วัดแรงดันไฟฟ้าได้ 24 โวลต์ และทำการทดลองชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่ วัดค่ากระแสที่ออกมาจากแผงได้ ประมาณ 6 – 8 แอมแปร์ (ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์ในขณะนั้น)

3.7.2 การตรวจสอบและทดลองชุดชาร์จประจุแบตเตอรี่ (Chargers system)



รูปที่ 3-18 แสดงการตรวจสอบและทดลองชุดชาร์จประจุแบตเตอรี่

ขั้นตอนการเปิดเครื่อง

โยก Battery Circuit Breaker ไปที่ตำแหน่ง ON สัญญาณไฟ CHARGING จะกระพริบ โยก PV Circuit Breaker ไปที่ตำแหน่ง ON เมื่อมีปริมาณแสงแดดที่เพียงพอ เครื่องจะเริ่มประจุแบตเตอรี่ โยก DC Load Circuit Breaker (ถ้ามี) ไปที่ตำแหน่ง ON เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Load) ที่ต่ออยู่กับชุดชาร์จประจุแบตเตอรี่ที่ละเครื่อง

ขั้นตอนการปิดเครื่อง

ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Load) ที่ต่ออยู่กับชุดชาร์จประจุแบตเตอรี่ที่ละเครื่อง โยก DC Load Circuit Breaker ไปที่ตำแหน่ง OFF และเมื่อไม่ต้องการประจุแบตเตอรี่ให้ทำการโยก PV Circuit Breaker และ Battery Circuit Breaker ไปที่ตำแหน่ง OFF ตามลำดับ

ทำการทดลองเปิดวงจรเพื่อทดสอบการชาร์จประจุแบตเตอรี่ในขณะทำงาน ไฟสีเขียวกระพริบเร็ว (แสดงสถานะ การชาร์จ) ไฟสีเหลืองติด (แสดงสถานะของแบตเตอรี่) เมื่อชาร์จแบตเตอรี่จนเต็มไฟสีเขียว จะกระพริบช้าๆ ไฟสีเหลืองติด และทำการทดลองวัดแรงดันที่ วัดได้ 26 โวลต์ (ขณะที่ไม่มีโหลด) เมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงเหลือประมาณ 23 โวลต์ ชุดชาร์จแบตเตอรี่ก็จะเริ่มทำงานชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่อีกครั้งจนเต็มและจะทำงานวนอยู่อย่างนี้ตลอดเวลา

3.7.3 การตรวจสอบและทดสอบอินเวอร์เตอร์ (Inverter System)



รูปที่ 3-19 แสดงการตรวจสอบและทดลองอินเวอร์เตอร์

ตรวจสอบความเรียบร้อยของอุปกรณ์ และทำการต่อสายตามขั้วที่กำหนดโดยมีขั้วต่างๆดังนี้ ขั้วที่ต่อเข้าแบตเตอรี่มีหลักการต่อดังนี้ ขั้วบวกให้ต่อเข้ากับขั้วบวกของแบตเตอรี่ขั้วลบ ให้ต่อเข้ากับขั้วลบของแบตเตอรี่ ขั้วที่ต่อนำไปใช้งานกับโหลดที่เป็นกระแสสลับมีหลักการต่อดังนี้ ขั้ว L ให้ต่อกับสายที่เป็นสายเฟส ขั้ว N ให้ต่อกับสายที่เป็นสายนิวตรอน ขั้ว Earth ให้ต่อกับหลักดิน

ขั้นตอนการเปิดเครื่องอินเวอร์เตอร์

ปิดสวิตช์เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกเครื่องที่ต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ ตรวจสอบการต่อสายไฟที่ขั้วต่อต่างๆให้ถูกต้องโยก Battery Circuit Breaker ให้อยู่ในตำแหน่ง ON นำสายไฟ AC INPUT (สาย POWER COAD) เสียบไปยังเต้าจ่ายไฟ AC หรือโยก AC Input Circuit Breaker ในตัวเครื่องไปที่ตำแหน่ง ON ทำการจ่ายไฟ AC ให้กับเครื่อง กดปุ่ม ON/OFF ด้านหน้าเครื่องค้างไว้ประมาณ 3 วินาที หรือจนกระทั่งได้ยินเสียงเตือนแล้ว จึงปล่อยมือสัญญาณไฟทุกดวงจะติดสว่างและสัญญาณไฟบางดวงจะกระพริบ หลังจากปล่อยมือ เพื่อเข้าสู่โหมดทดสอบตัวเองอัตโนมัติ (Start up Self-Test) หากไม่มีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น เครื่องจะเริ่มทำงานและแสดงสัญญาณไฟสถานะ การทำงานของเครื่องโยก Output Circuit Breaker ให้อยู่ในตำแหน่ง ON แล้วจึงเปิดสวิตช์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต่อเข้ากับ อินเวอร์เตอร์ทีละเครื่อง

หลังจากต่อสายต่างๆดำเนินการตรวจสอบระบบตามขั้นตอนดังนี้ สับเบรกเกอร์ควบคุมแผงพลังงานให้อยู่ในตำแหน่ง ON สับเซอร์กิตเบรกเกอร์ควบคุมแบตเตอรี่ ให้อยู่ในตำแหน่ง ON ตรวจสอบแรงดันจากแบตเตอรี่ กดสวิตช์ ON ที่หน้าปัทม์ชุด อินเวอร์เตอร์ค้างไว้ หลอดไฟโซลาร์สถานะดังนี้หลอด Inverter ติด (แสดงสถานะพร้อมใช้งาน) หลอด Battery Level โซลาร์สถานะแบตเตอรี่ (แสดงแรงดันแบตเตอรี่) สับเซอร์กิตเบรกเกอร์ทดลองจ่ายโหลดหลอด Load Level ติด แสดงเปอร์เซ็นต์ ของโหลดที่อยู่ในระบบ

ขั้นตอนการปิดเครื่องอินเวอร์เตอร์

ปิดสวิตช์เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกเครื่องที่ต่อกับอินเวอร์เตอร์ และโยก Output Circuit Breaker ให้อยู่ในตำแหน่ง OFF กดปุ่ม ON/OFF ด้านหน้าเครื่องค้างไว้ประมาณ 3 วินาทีหรือจนกระทั่งได้ยินเสียงเตือนแล้วจึงปล่อยมือเครื่องจะหยุดการทำงานเมื่อไม่ต้องการที่จะประจุแบตเตอรี่ให้ปลดเต้าเสียบไฟ AC INPUT ออกจากแหล่งจ่ายไฟ AC หรือ โยก AC Input Circuit Breaker ไปอยู่ที่ตำแหน่ง OFF

3.7.4 การตรวจสอบและทดลองแบตเตอรี่



รูปที่ 3-20 แสดงการตรวจสอบและทดลองแบตเตอรี่

ตรวจสอบความเรียบร้อยของแบตเตอรี่ ดังนี้

1. แรงดัน (ก่อนนำมาต่อใช้งานควรวัดแบตเตอรี่ให้เต็มก่อน)
2. ขั้วต่อสายการต่อสายเพื่อนำไปใช้งานกับวงจร

3.7.5 การตรวจสอบและทดลองชุด ATS (Auto Transfer Switch)



รูปที่ 3-21 แสดงการตรวจสอบและทดลองชุด ATS

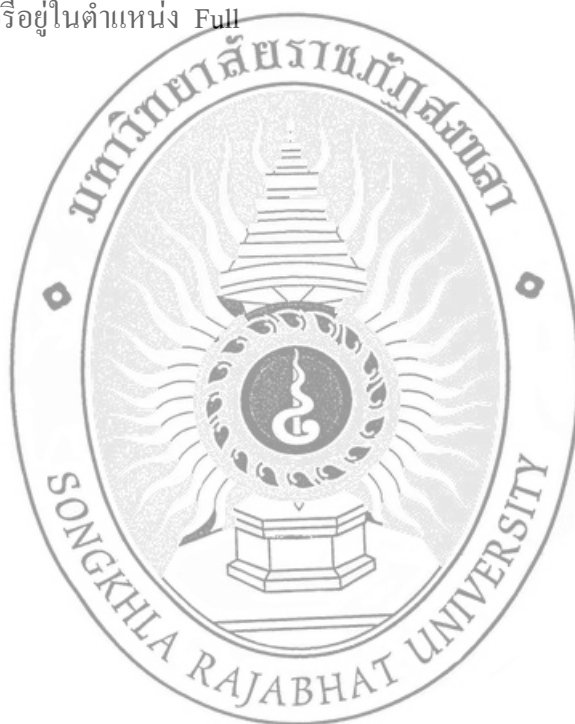
ทดลองป้อนแรงดันจากแบตเตอรี่

เมื่อป้อนแรงดันจากแบตเตอรี่ รีเลย์ (ปกติเปิด) จะเปลี่ยนการทำงานอยู่ในตำแหน่ง Close ป้อนกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เข้า อินเวอร์เตอร์ เมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงเหลือ 23 โวลต์ รีเลย์จะกลับมาอยู่ในตำแหน่ง Open เมื่อรีเลย์กลับมาอยู่ในตำแหน่ง Open เมื่อกดปุ่มรีเลย์ Contact ผ่าน Timer Switch ทำงานต่อกระแสไฟฟ้า ด้าน AC เข้าระบบจ่ายไฟให้กับอินเวอร์เตอร์ ทดแทนกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายโหลดและชาร์จประจุให้กับแบตเตอรี่เมื่อครบ 2 ชั่วโมง รีเลย์จะกลับมาอยู่ในตำแหน่งปิดเหมือนเดิม และปลดกระแสไฟฟ้าด้าน AC จากระบบไฟฟ้าออกจากระบบเพื่อกลับมารับกระแสไฟฟ้าจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์แทน

ทดสอบระบบโครงการ

เมื่อดำเนินการติดตั้งแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ชุดอินเวอร์เตอร์ แบตเตอรี่และอุปกรณ์แสดงผลทั้งระบบและทดลองระบบโดยเริ่มเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์สวิตช์ควบคุมแผงพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Module) ชุดชาร์จประจุแบตเตอรี่เริ่มทำงาน (ไฟสีเขียวกระพริบเร็ว) DC Voltage Meter ที่หน้าปัทม์วัดแรงดันได้ประมาณ 24-26 VDC Ammeter วัดกระแสประมาณ 4-6 แอมแปร์ (ขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงแดดขณะนั้น) ทดลองเปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์ควบคุมแบตเตอรี่ เพื่อป้อนกระแสไฟฟ้า

ให้ชุดอินเวอร์เตอร์ตรวจสอบแรงดัน ได้ 26 VDC กดปุ่ม NO ชุด อินเวอร์เตอร์ ไฟสถานะ Inverter (สีเขียวติด) ไฟแสดงสถานะของแบตเตอรี่อยู่ในตำแหน่ง Full ตรวจสอบแรงดันด้าน Output ได้ 220 VAC เปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดไฟแสดงเปอร์เซ็นต์ของโหลดติด AC Volt Meter ที่หน้าปัทม์ วัดแรงดันได้ 220 VAC ใช้ Amp Meter วัดค่ากระแสของโหลดในขณะนั้น เพิ่มโหลดจนครบ 1,000 วัตต์ หลอดไฟจะอยู่ที่ตำแหน่ง Full Load ปิดเซอร์กิตเบรกเกอร์สวิตช์ควบคุมแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ออกชั่วคราวเพื่อทดสอบชุด ATS (Auto Transfer Switch) ใช้มัลติมิเตอร์วัดแรงดันที่ขั้วแบตเตอรี่ค้างไว้เมื่อแรงดันแบตเตอรี่ลดลงเหลือ 23 VDC ชุด ATS ทำงานรับกระแสไฟฟ้า AC จากระบบไฟฟ้าเมื่อครบ 3 ชั่วโมง ชุด ATS ปรับโหมดมารับกระแสไฟฟ้าจากแผงเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์แทนไฟแสดงสถานะแบตเตอรี่อยู่ในตำแหน่ง Full



บทที่ 4

ผลการวิจัย

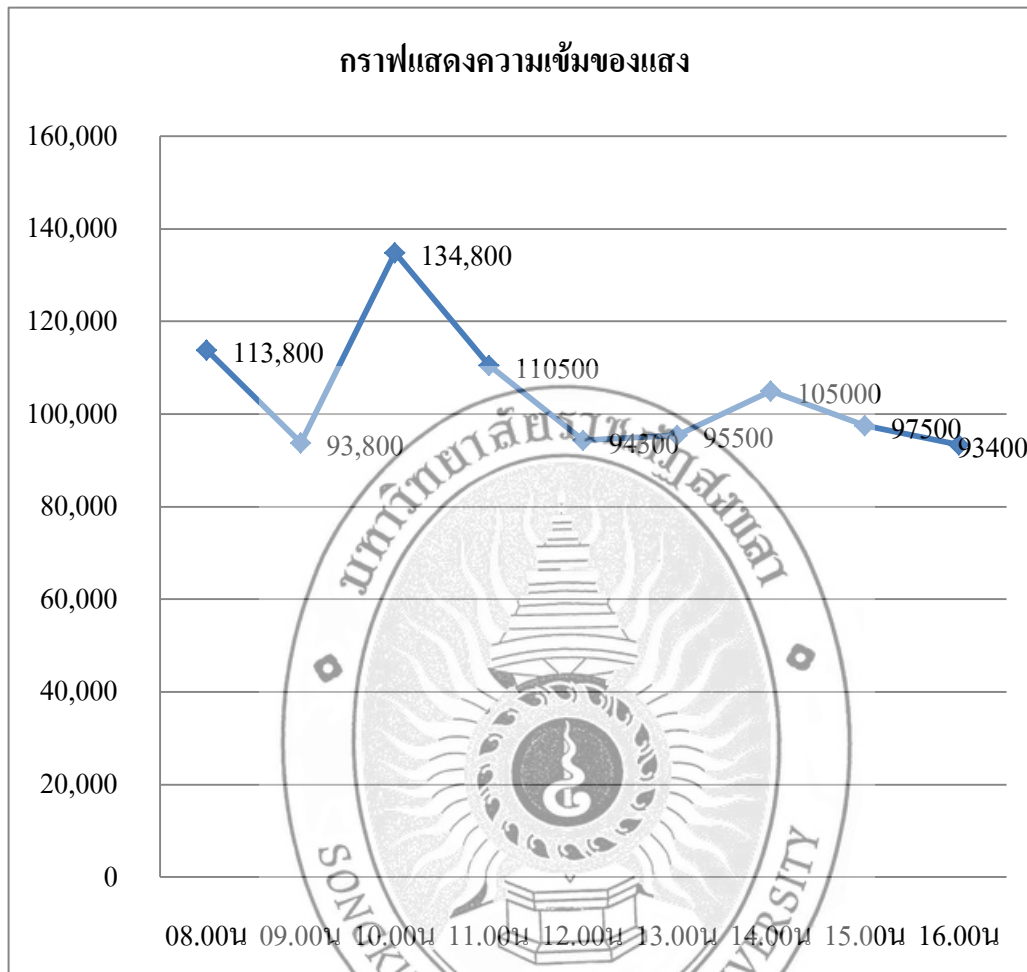
ผลของโครงการวิจัยนี้จะกล่าวถึงผลดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับห้องปฏิบัติไฟฟ้า ใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบแสงสว่าง และศึกษาผลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ในเบื้องต้นจะต้องทราบ หรือวางแผนจะไปใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอะไรบ้าง และปริมาณไฟฟ้าที่จะใช้ในหนึ่งวัน ซึ่งในการวิจัยนี้ โดยเริ่มจากการสืบค้นข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัยนี้ไม่ว่าจะหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับสร้างโครงสร้างชุดรับแสงพลังงานแสงอาทิตย์ การวัดค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ต้องกระทบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับตลอดทั้งวัน และการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีเหตุผลในการวิจัยดังนี้ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 32 วัตต์ จำนวน 6 หลอดใช้พลังงานไฟฟ้า วันละ 6 ชั่วโมง เครื่องใช้ไฟฟ้า ขนาด 30 วัตต์ จำนวน 1 ชุด ใช้พลังงานไฟฟ้า วันละ 4 ชั่วโมงรวมจำนวนปริมาณไฟฟ้าทั้งหมด 1,272 วัตต์ แล้วจึงนำมาคำนวณว่าต้องใช้แผงขนาดกี่วัตต์และจำนวนกี่แผง และพื้นที่ ใช้ในการติดตั้งเท่าไร พลังงานจากแสงอาทิตย์ (ค่าความเข้มของแสง) รวมทั้งปัจจัยต่างๆ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์นี้รับพลังงานได้วันละราวๆ 6 ชั่วโมงโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 120 วัตต์ จำนวน 2 แผง ในหนึ่งวันเราจะได้พลังงานมาสะสมไว้ในแบตเตอรี่เท่ากับ $240 \times 6 = 1440$ วัตต์ ชั่วโมง

4.1 ผลการวัดแสงอาทิตย์

ตารางที่ 4-1 การวัดแสงอาทิตย์วันที่ 2 ตุลาคม 2552 โดยเฉลี่ยบริเวณหอติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์

เวลา	ค่าความเข้มของแสง (LUX)
08.00	113,800
09.00	93,800
10.00	134,800
11.00	110,500
12.00	94,300
13.00	95,500
14.00	105,000
15.00	97,500
16.00	93,400

จากตารางที่ 4-1 สามารถนำค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอาทิตย์มาเปรียบเทียบกับช่วงเวลา ดังภาพที่ 4-1



รูปที่ 4-1 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงแดดในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ

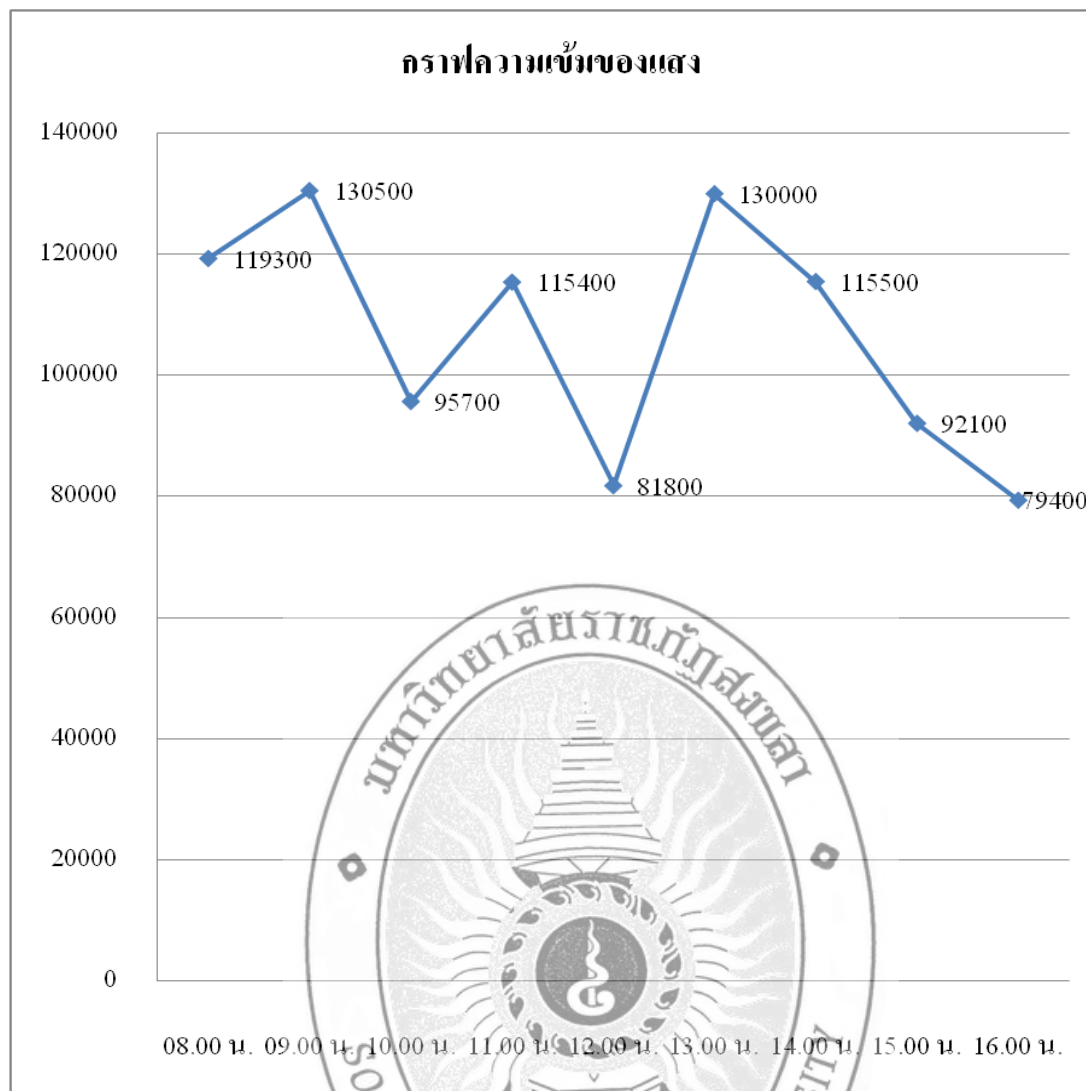
จากกราฟข้อมูลที่ได้ อาจไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสถานะของอากาศในขณะการวัดค่าที่ได้ อาจคลาดเคลื่อนได้ตลอดเวลา จากกราฟจะเห็นว่าในเวลา 10.00 น. มีค่าความเข้มของแสงแดดมากกว่าเวลา 12.00 น. เนื่องจากเวลา 12.00 น. มีฟ้าครึ้มทำให้ความเข้มของแสงแดดมีค่าน้อย

ตารางที่ 4-2 การวัดแสงอาทิตย์วันที่ 3 ตุลาคม 2552 โดยเฉลี่ยบริเวณหอดูดาวติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์

เวลา	ค่าความเข้มของแสง (LUX)
08.00	119,300
09.00	130,500
10.00	95,700
11.00	115,400
12.00	81,800
13.00	130,000
14.00	115,500
15.00	72,100
16.00	72,200

การวัดค่าตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 16.00 น. ของแผงโซลาร์เซลล์แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ที่โดยวัดค่าแรงดัน Output จากแผงและค่าความเข้มของแสงทุกๆ 1 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4-2 สามารถนำค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอาทิตย์มาเปรียบเทียบกับช่วงเวลาดังภาพที่ 4-2



รูปที่ 4-2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ

จากกราฟข้อมูลที่ได้ อาจไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสภาวะของอากาศในขณะที่ทำการวัดค่าที่ได้ อาจคลาดเคลื่อนได้ตลอดเวลา จากกราฟจะเห็นว่าในเวลา 13.00 น. มีค่าความเข้มของแสงอาทิตย์มากกว่าเวลา 12.00 น. เนื่องจากเวลา 12.00 น. มีฟ้าครึ้มทำให้ความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าน้อย

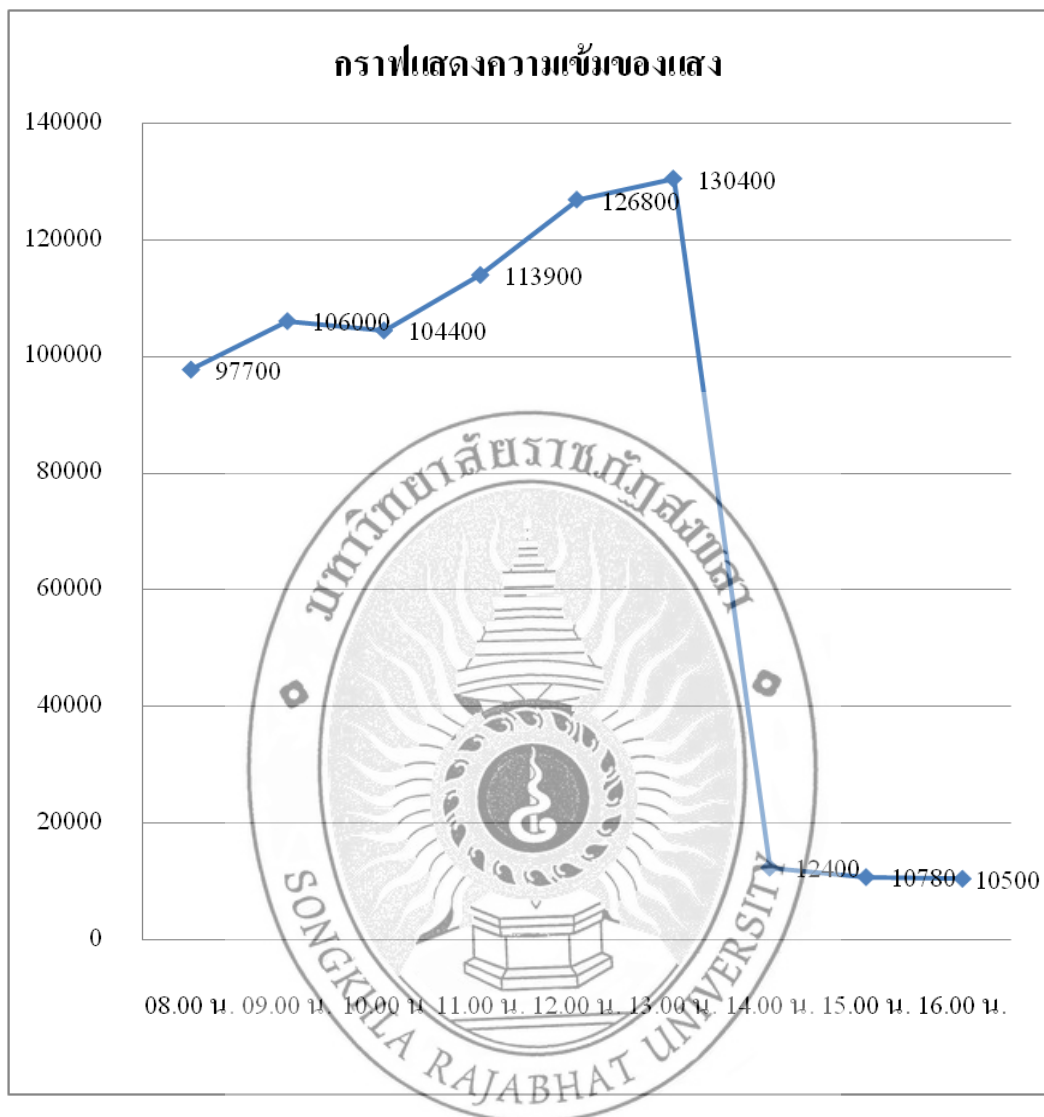
ตารางที่ 4-3 การวัดแสงอาทิตย์วันที่ 4 ตุลาคม 2552 โดยเฉลี่ยบริเวณหอดูดาวตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์

เวลา	ค่าความเข้มของแสง (LUX)
08.00	97,700
09.00	106,000
10.00	104,400
11.00	113,900
12.00	126,800
13.00	130,400
14.00	12,400
15.00	10,780
16.00	10,500

เป็นการวัดค่าตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 16.00 น. ของแผงโซลาร์เซลล์แบบอยู่กับที่โดยวัดค่าแรงดัน Output จากแผงและค่าความเข้มของแสงทุกๆ 1 ชั่วโมง



จากตารางที่ 4-3 สามารถนำค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอาทิตย์มาเปรียบเทียบกับ ช่วงเวลาดังภาพที่ 4-3



รูปที่ 4-3 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ

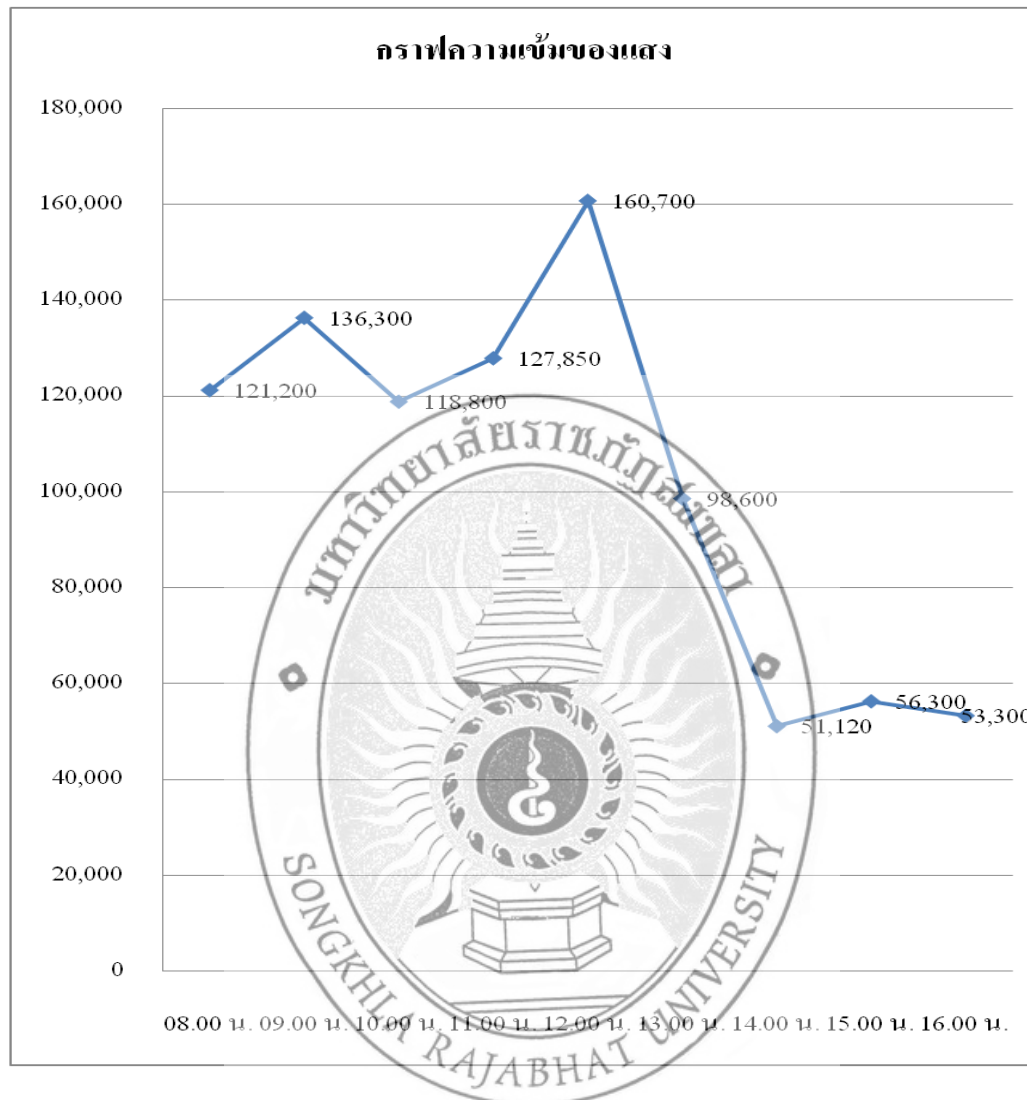
จากกราฟข้อมูลที่ได้อาจไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสถานะของอากาศในขณะที่ทำการวัดค่าที่ได้ อาจคลาดเคลื่อนได้ตลอดเวลา จากกราฟจะเห็นว่าในเวลา 13.00 น. มีค่าความเข้มของแสงอาทิตย์มากกว่าเวลา 12.00 น. เนื่องจากเวลา 12.00 น. ความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าน้อย

ตารางที่ 4-4 การวัดแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยบริเวณหอดูดาวตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ ทุกๆ 1 ชั่วโมง
วันที่ 5 ตุลาคม 2552

เวลา	ค่าความเข้มของแสง (LUX)
08.00	121,200
09.00	136,300
10.00	118,800
11.00	127,850
12.00	160,700
13.00	98,600
14.00	51,120
15.00	56,300
16.00	53,300

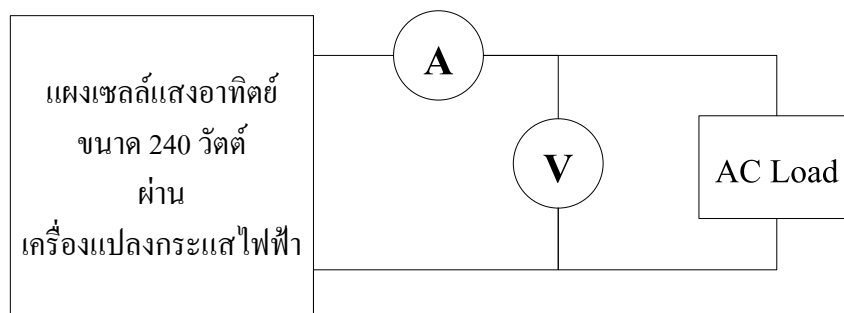
การวัดค่าตั้งแต่เวลา 08.00 น. ถึง 16.00 น. ของแผงโซลาร์เซลล์แบบหมุนตามดวงอาทิตย์ที่โดยวัด
ค่าแรงดัน Output จากแผงและค่าความเข้มของแสงทุกๆ 1 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4-4 สามารถนำค่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอาทิตย์มาเปรียบเทียบกับ ช่วงเวลาต่างๆ ดังภาพที่ 4-4



รูปที่ 4-4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ

จากกราฟข้อมูลที่ได้ อาจไม่คงที่ขึ้นอยู่กับสถานะของอากาศในขณะที่ทำการวัดค่าที่ได้ อาจคลาดเคลื่อนได้ตลอดเวลา จากกราฟจะเห็นว่าในเวลา 12.00 น. มีค่าความเข้มของแสงอาทิตย์มากกว่าเวลา 11.00 น. เนื่องจากเวลา 11.00 น. ความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าน้อย



รูปที่ 4-5 วงจรทดสอบหาค่าพลังงานไฟฟ้า

จากข้อมูลการทดลองวัดประสิทธิภาพผลต่างๆ ทางไฟฟ้า ค่าแรงดัน กระแส ความถี่ แรงดันตกและแรงดันเกิน สัญญาณรบกวนฮาร์มอนิกส์ กำลังไฟฟ้าและพลังงาน ในระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบ สำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำการทดลองบันทึกค่าข้อมูลที่จุดเชื่อมต่อโดยใช้Fluke 434 Three Phase Power Quality Analysis ภายใต้อุปกรณ์พื้นฐานการทดลองดังตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ข้อมูลพื้นฐานการทดลอง

รายการ	รายละเอียด
พิกัดแรงดัน	แรงดันไฟ 220 V 50 Hz
พิกัดกำลังเซลล์แสงอาทิตย์	ขนาด 240 วัตต์
มาตรฐานแรงดันที่จุดจ่ายไฟ	ต่ำสุด 200 โวลท์ สูงสุด 240 โวลท์
มาตรฐาน	มาตรฐานด้านเทคนิค (แรงดัน) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และ EN 50160
ลำดับฮาร์มอนิกส์แรงดัน	ลำดับที่ 1-15
การแสดงผล	ตาราง

4.2 ผลการทดลองการใช้พลังงาน

1. เปรียบเทียบค่าแรงดัน กระแส ความถี่ในแต่ละช่วงเวลา

Volts/Amps/Hertz				
0:00:05				
L1				
Vrms	223.8		108.3	
Vpk	310.5		150.7	
CF	1.39		1.39	
Hz	49.99			
L1				
Arms	27		2.7	
Apk	41		4.1	
CF	1.51		1.51	
07/15/09 08:14:43 230V 50Hz 1Ø EN50160				
TREND HOLD RUN				

รูปที่ 4-6 ค่าแรงดัน กระแส ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในช่วงเช้า

Volts/Amps/Hertz				
0:00:02				
L1				
Vrms	215.1		105.9	
Vpk	292.5		144.4	
CF	1.36		1.36	
Hz	49.98			
L1				
Arms	25		2.5	
Apk	38		3.8	
CF	1.49		1.49	
07/15/09 11:11:41 230V 50Hz 1Ø EN50160				
TREND HOLD RUN				

รูปที่ 4-7 ค่าแรงดัน กระแส ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในเวลา 11 นาฬิกา

Volts/Amps/Hertz				
0:00:02				
L1				
Vrms	207.2		100.3	
Vpk	284.2		138.4	
CF	1.37		1.38	
Hz	49.93			
L1				
Arms	24		2.4	
Apk	35		3.5	
CF	1.47		1.45	
07/15/09 13:04:01 230V 50Hz 1Ø EN50160				
TREND HOLD RUN				

รูปที่ 4-8 ค่าแรงดัน กระแส ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในเวลา 13 นาฬิกา

Volts/Amps/Hertz			
L1		0:00:01	N
Vrms	222.0		109.1
Vpk	304.4		150.3
CF	1.37		1.38
Hz	49.98		
L1			N
Arms	27		2.8
Apk	42		4.2
CF	1.51		1.50
07/15/09 16:12:31 230V 50Hz 1Ø EN50160			
VOLTAGE		TREND	HOLD RUN

รูปที่ 4-9 ค่าแรงดัน กระแส ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในเวลา 16 นาฬิกา

2. ผลการทดลองกำลังไฟฟ้าและพลังงานในแต่ละช่วงเวลา

Power & Energy			
L1		0:00:04	
kW	3.3		3.3
kVA	5.9		5.9
kVAR	4.8		4.8
PF	0.56		0.56
Cosφ	0.57		
Arms	27		
L1			
Vrms	223.3		
07/15/09 08:16:45 230V 50Hz 1Ø EN50160			
VOLTAGE		ENERGY	TREND HOLD RUN

รูปที่ 4-10 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเช้า

Power & Energy			
L1		0:00:06	Total
kW	3.1		3.1
kVA	5.3		5.3
kVAR	4.3		4.3
PF	0.57		0.57
Cosφ	0.58		
Arms	25		
L1			
Vrms	215.2		
07/15/09 11:12:03 230V 50Hz 1Ø EN50160			
VOLTAGE		ENERGY	TREND HOLD RUN

รูปที่ 4-11 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลา 11 นาฬิกา

Power & Energy			
FUND		0:00:02	
L1		Total	
kW	3.0	3.0	
kVA	4.9	4.9	
kVAR	3.9	3.9	
PF	0.59	0.59	
Cosφ	0.61		
Arms	24		
L1			
Vrms	207.9		
07/15/09 13:04:18		230V 50Hz 1Ø	EN50160
VOLTAGE	ENERGY	TREND	HOLD RUN

รูปที่ 4-12 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลา 13 นาฬิกา

Power & Energy			
FUND		1:00:13	
L1		Total	
kW	3.4	3.4	
kVA	6.0	6.0	
kVAR	4.9	4.9	
PF	0.55	0.55	
Cosφ	0.57		
Arms	28		
L1			
Vrms	222.2		
07/15/09 16:11:15		230V 50Hz 1Ø	EN50160
VOLTAGE	ENERGY	TREND	HOLD RUN

รูปที่ 4-13 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในเวลา 16 นาฬิกา

3. ผลการทดลองสัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกสัณในแต่ละช่วงเวลา

HARMONICS TABLE			
0:00:13			
Volt	L1	N	
THD%f	1.9	1.8	
H3%f	0.7	0.7	
H5%f	1.4	1.3	
H7%f	0.5	0.5	
H9%f	0.5	0.5	
H11%f	0.4	0.4	
H13%f	0.1	0.1	
H15%f	0.2	0.2	
07/15/09 08:16:21		230V 50Hz 1Ø	EN50160
U & W	HARMONIC GRAPH	TREND	HOLD RUN

รูปที่ 4-14 สัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกสัณในช่วงเช้า

HARMONICS TABLE			
Volt L1		0:00:14	N
THD%f	2.7		2.4
H3%f	2.0		1.9
H5%f	1.2		1.1
H7%f	0.8		0.7
H9%f	0.5		0.4
H11%f	0.4		0.3
H13%f	0.2		0.2
H15%f	0.4		0.3
07/15/09 14:23:11		230V 50Hz 1Ø	EN50160
W A W U&A	HARMONIC GRAPH	TREND	HOLD RUN

รูปที่ 4-15 สัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์ในเวลา 14 นาฬิกา

HARMONICS TABLE			
Volt L1		0:00:14	N
THD%f	2.5		2.3
H3%f	1.8		1.7
H5%f	1.2		1.1
H7%f	0.8		0.6
H9%f	0.5		0.4
H11%f	0.5		0.4
H13%f	0.3		0.2
H15%f	0.3		0.2
07/15/09 15:10:34		230V 50Hz 1Ø	EN50160
W A W U&A	HARMONIC GRAPH	TREND	HOLD RUN

รูปที่ 4-16 สัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์ในเวลา 15 นาฬิกา

HARMONICS TABLE			
Volt L1		0:00:03	N
THD%f	2.6		2.3
H3%f	1.8		1.7
H5%f	1.3		1.2
H7%f	0.7		0.5
H9%f	0.5		0.4
H11%f	0.4		0.3
H13%f	0.2		0.1
H15%f	0.3		0.2
07/15/09 16:11:48		230V 50Hz 1Ø	EN50160
W A W U&A	HARMONIC GRAPH	TREND	HOLD RUN

รูปที่ 4-17 สัญญาณรบกวนย่านฮาร์โมนิกส์ในเวลา 16 นาฬิกา

4. สรุปข้อมูลการทดลองต่างๆ

ผลการทดลองเก็บค่าข้อมูลวันที่ 15 กรกฎาคม 2552 เพื่อวัดสมรรถนะทางไฟฟ้าของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) เปรียบเทียบได้ดังตารางที่ 4-6 ซึ่งผลการทดลองจะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เนื่องจากเป็นระบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายเพราะฉะนั้นตัวแปรที่ส่งผลต่อระบบจำหน่ายก็เป็นตัวแปรที่ก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงในระบบเซลล์แสงอาทิตย์เช่นเดียวกัน จากข้อกำหนดมาตรฐานแรงดันในตารางที่ 4-5 จะเห็นว่าความสามารถในการเชื่อมต่อกับระบบไม่ก่อให้เกิดปัญหาแรงดันตกและยังสะท้อนให้เห็นถึงความเชื่อถือได้ของระบบมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 4.6 สรุปข้อมูลผลการทดลอง

ครั้งที่	แรงดัน Vrms	กระแส Arms	Hz	kW	kVA	kVAR	PF	cos Φ	%THD
1.	220.4	26	49.99	3.4	5.8	4.7	0.57	0.58	2.1
2.	223.8	27	49.99	3.3	5.9	4.8	0.56	0.57	1.9
3.	217.1	26	49.95	3.5	5.5	4.2	-0.62	-0.63	2.2

4.3 จุดคุ้มทุนของโครงการ

4.3.1 ค่ากระแสไฟฟ้า

1. หน่วยที่อ่านได้จากมิเตอร์เท่ากับ 156 หน่วยรวมหน่วย 4 เดือน

(กันยายน – ธันวาคม 2552)

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ สำหรับการใช้อำนาจไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ย 15 นาฬิกาส่งสูงสุดตั้งแต่ 1000 กิโลวัตต์ ขึ้นไปหรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน

2. ค่ากระแสไฟฟ้าหน่วยราชการไม่แสวงหาผลกำไร

1- 10 หน่วยแรกหน่วยละ	1.3578 บาท/หน่วย	13.578	บาท
11-146 หน่วยถัดไปหน่วยละ	2.4482 บาท/หน่วย	357.437	บาท
3. รวมค่ากระแสไฟฟ้าเท่ากับ	$13.576 + 357.4372 = 371.0132$ คูณ 20	7420.264	บาท
4. ค่า FT 0.6611ต่อหน่วย		103.131	บาท
5. รวมข้อ 3+4		7,523.395	บาท
6. ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%		26.637	บาท
7. ค่าบริการขั้นต่ำ		228.17	บาท

8. รวมข้อ 5+6+7	8,278.2026	บาท
9. เฉลี่ยเดือนละ 8278.2026/4	2,069.550	บาท/เดือน
10. รวมค่ากระแสไฟฟ้าทั้งปี เท่ากับ 2,069.550 คูณ 12	24,834.61	บาท/ปี

4.3.2 ค่าใช้จ่ายในการสร้างชุดสาธิต

ประกอบด้วย

1. แผงพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 120 วัตต์จำนวน 2 แผง	37,000	บาท
2. อินเวอร์เตอร์ขนาด 1,000 วัตต์ 24 โวลต์ จำนวน 1 ชุด	20,000	บาท
3. ชุดชาร์จประจุแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ จำนวน 1 ชุด	3,800	บาท
4. ชุดควบคุม จำนวน 1 ชุด	7,500	บาท
5. หอดัดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์ จำนวน 1 หอ	12,000	บาท
6. แบตเตอรี่ขนาด 100 แอมป์- ชั่วโมง จำนวน 4 ลูก	16,000	บาท

รวม

84,300 บาท

ค่ากระแสไฟฟ้าทั้งปี

24,834.61 บาท

จุดคุ้มทุนเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการสร้างชุดสาธิตกับค่ากระแสไฟฟ้า

ค่าใช้จ่ายในการสร้างชุดสาธิต

84,300 บาท

ค่ากระแสไฟฟ้า 24,834.61 บาทต่อปี คูณ 4 ปี

99,336 บาท

เพราะฉะนั้นการใช้งานชุดสาธิตการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้าจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 3.4 ปี

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นโครงการวิจัยที่ได้อบรมทุนทุนวิจัย จำนวน 45,000 บาท จากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ประจำปีการศึกษา 2551 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในโครงการวิจัยนี้เลือกใช้แผงพลังงานแสงอาทิตย์ ชนิดผลึกเดี่ยว ใช้ขั้วชนิดกันน้ำได้ ยี่ห้อ SHARP รุ่น ND-120T10 ขนาดแผงละ 120 วัตต์ ขนาดแรงดัน 12 โวลต์ ขนาดกระแส 5 แอมแปร์ ขนาด กว้าง 1.5 เมตร ยาว 1 เมตร จำนวน 2 แผง จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโหลดขนาด 1,000 วัตต์โดยจ่ายผ่านอินเวอร์เตอร์ ขนาด 1,000 วัตต์ เปลี่ยนกระแสไฟฟ้าจากกระแสตรงเป็นกระแสสลับให้แรงดัน 220 โวลต์ แบตเตอรี่สามารถสำรองกระแสไฟฟ้าและจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับระบบในขณะที่ไม่มีแสงอาทิตย์ ในเวลากลางคืน หรือมีฝนตกที่โหลด 798 วัตต์ ได้นาน 4 ชั่วโมง (ทดสอบในขณะที่แบตเตอรี่เต็ม)

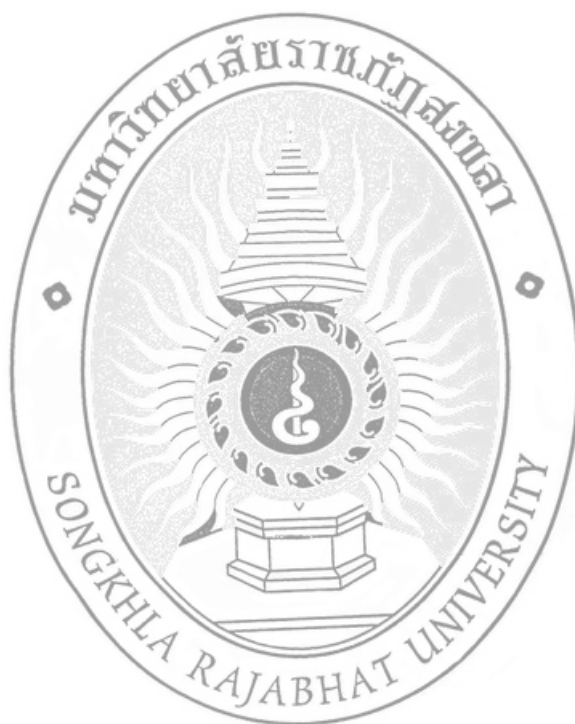
การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีโหลดในการวิจัยครั้งนี้ หลอดฟลูออเรสเซนต์ ขนาด 32 วัตต์ จำนวน 6 หลอด ใช้พลังงานไฟฟ้า วันละ 6 ชั่วโมง เครื่องใช้ไฟฟ้า ขนาด 30 วัตต์ จำนวน 1 ชุด ใช้พลังงานไฟฟ้า วันละ 4 ชั่วโมง รวมจำนวนปริมาณไฟฟ้าทั้งหมด 1272 วัตต์ และจากข้อมูลการวัดความเข้มของแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ ขณะทำการวัดที่ได้จากคลาคลเคลื่อนได้ตลอดเวลา จากผลการทดสอบการวัดค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ต่ำสุดที่ 10,500 ลักซ์ อยู่ในช่วงเวลา 15.00-16.00 น. และค่าความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุดที่ 160,700 ลักซ์ อยู่ในช่วงเวลา 12.00-14.00 น.

หลังจากติดตั้งระบบเสร็จได้ทำการทดลองวัดประสิทธิภาพผลต่างๆ ทางไฟฟ้า ค่าแรงดัน กระแส ความถี่ แรงดันตกและแรงดันเกิน สัญญาณรบกวนฮาร์โมนิกส์ กำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า โดยในระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ได้ต่อเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้าแบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system) และทำการทดลองบันทึกค่าข้อมูลที่จุดเชื่อมต่อโดยใช้ เครื่องวิเคราะห์คุณภาพพลังงานไฟฟ้า ยี่ห้อ Fluke รุ่น 434 Three Phase Power Quality Analysis จากผลการวิจัยพบว่าความสามารถในการเชื่อมต่อนี้ไม่ก่อให้เกิดปัญหาแรงดันตกและระบบมีประสิทธิภาพน่าเชื่อถือได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยครั้งนี้จะเห็นได้ว่าค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในการติดตั้งระบบหนึ่งจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก จากโครงการวิจัยนี้ผู้วิจัยได้งบประมาณเพียง 45,000 บาท จะต้องของบประมาณเพิ่มเติม และต้นทุนของการระบบผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ สูงกว่าค่าไฟฟ้าปกติทำให้ยังไม่มี ความเหมาะสมทางการลงทุน หากมีการสนับสนุนของภาครัฐบาล และมหาวิทยาลัยฯ

โดยการให้เงินอุดหนุนโครงการจะทำให้เกิดการลงทุนในโครงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นได้ ในการทำวิจัยครั้งต่อไปควรมีการศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเชื่อมระบบจำหน่ายของไฟฟ้า การศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตามดวงอาทิตย์ได้ แนวทางที่เหมาะสมของการสนับสนุนจากรัฐบาล และการศึกษาผลกระทบที่จะเกิดระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์



เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2541). โครงการเฉลิมพระเกียรติระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารศูนย์การพัฒนาน้ำร้อนมาจากพระราชดำริ. เข้าถึงได้จาก <http://www.egat.co.th/re>
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2541). โครงการสาธิตระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านระยะที่ 1 (จำนวน 10 หลัง). เข้าถึงได้จาก <http://www.egat.co.th/re>
- จิรภัทร จำญาติ. (2545). โครงการนำร่องระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโรงงานอุตสาหกรรม. วิศวกรรมสาร 55(10).
- ธีรยุทธ์ เจนวิทยา. (2537). การควบคุมแบบเหมาะสมสำหรับระบบติดตามดวงอาทิตย์. ปรินซ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เบญจมาศ อ่ำอ้อม. (2550). การหาจุดที่มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงโซลาร์เซลล์โดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม. ปรินซ์นิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วัฒน์พงษ์ รักษ์วิเชียร และคณะ. (2536). การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จากสถานีไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บ้านเด่นไม้ซุง อำเภอบ้านตาก จังหวัดตาก. พิษณุโลก : มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- วัฒน์พงษ์ รักษ์วิเชียร และคณะ. (2544). โครงการประเมินความเหมาะสมของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย. พิษณุโลก : ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- ศุภชัย กวินวุฒิกุล. (2551). การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- สมชาย สุรราชวรรณ. (2538). การวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคและเศรษฐกิจของระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเนื่องเพื่อการเกษตร. ปรินซ์นิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สิริชัย ปัญญาสมาธิ. (2548). การปรับปรุงประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.