บทที่ 5
การทดลองประยุกต์ใช้งานและผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

ภายในเนื้อหาของบทนี้จะว่าด้วยเรื่องของการทดลอง และทดสอบระบบโดยจำลองการใช้งานตามสภาพการใช้งานจริง เช่น ผลของปริมาณพลังงานที่ได้รับสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบที่แตกต่างกัน[28] ปริมาณกระแสที่ระบบจะได้รับจากผลของการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาต่อใช้งานร่วมกันในลักษณะต่าง ๆ พร้อมทั้งการยกตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้งานกันโหลดภาระที่ใช้งานจริงคือระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ โดยระบบดังกล่าวเหมาะสมสำหรับทดลองใช้งานเนื่องจากเป็นโหลดภาระที่ต้องการกระแสไฟฟ้าต่อเนื่องตลอดทั้งวัน ซึ่งตรงตามเงื่อนไขในการออกแบบระบบของวิธีการที่ได้นำเสนอ สำหรับทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้อ้างอิงในการทดลองแต่ละหัวข้อได้มีการนำเสนอ และกล่าวไว้โดยละเอียดในบทก่อนหน้านี้

โดยมีวัตถุประสงค์ในการนำเสนอสำหรับเนื้อหาการทดลองแต่ละหัวข้อ เพื่อนำข้อมูลและผลลัพธ์ที่ได้มาใช้การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าและประกอบการพิจารณาตัดสินใจสำหรับออกแบบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ให้มีความเหมาะสมต่อไป

5.2 การพิจารณาขนาดของระบบสะสมพลังงาน (แบตเตอรี่)

5.2.1 หลักการและเหตุผล

ในหัวข้อก่อนหน้านี้ (หัวข้อที่ 2.6) ได้มีการกล่าวถึงความสำคัญและความจำเป็นของแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นอุปกรณ์สะสมพลังงานสำหรับจ่ายพลังงานให้กับโหลดภาระในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยมีเงื่อนไขสำหรับการพิจารณาเลือกแบตเตอรี่ ได้แก่ ค่าความจุ, ชนิด, ราคาของแบตเตอรี่และอุปกรณ์ประกอบ เป็นต้น[29] โดยงานวิจัยนี้จะเน้นการใช้งานแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดเป็นหลัก ค่าความจุของแบตเตอรี่เป็นตัวแปรสำคัญที่จะกำหนด ราคาของแบตเตอรี่และอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ เช่น อุปกรณ์ควบคุมระบบ (CU) ชุดควบคุมการอัดประจุของแบตเตอรี่ เป็นต้น

จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ในหัวข้อนี้จะได้นำวิธีการวิเคราะห์ระบบด้วยคณิตศาสตร์เชิงเลขดังที่กล่าวไว้ข้างต้นมาประยุกต์ใช้ในการจำลองระบบ เพื่อหาค่าการอัดประจุและปล่อยประจุของแบตเตอรี่ สำหรับใช้เป็นข้อมูลประกอบการพิจารณาค่าความจุที่เหมาะสมในการเลือกขนาดของแบตเตอรี่ ของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ต่อไป

5.2.2 ทฤษฎีอ้างอิงและหลักการที่เกี่ยวข้อง

สำหรับระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ใช้งานกับโหลดภาระที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าตลอดทั้งวัน ความน่าเชื่อถือได้และความสามารถที่จะจ่ายพลังงานได้อย่างต่อเนื่องของชุดแหล่งจ่าย

น่าจะเป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ แต่ด้วยเหตุที่ว่ารังสีแสงอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ไม่สามารถตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วทำให้เกิดพลังงานในปริมาณที่คงที่และตลอดทั้งวันได้ แบตเตอรี่ในระบบไฟฟ้าอาทิตย์จึงเป็นอุปกรณ์ที่มีบทบาทสำคัญยิ่ง ที่จะนำพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลากลางวันสะสมเก็บไว้ และนำไปจ่ายโหลดได้อย่างต่อเนื่อง[30] เพื่อเพิ่มความมั่นคงและน่าเชื่อถือของระบบ มิให้เกิดความเสียหายและความผิดพลาดขึ้นแก่โหลดภาระได้

สำหรับหัวข้อการทดลองนี้มีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องประกอบการพิจารณา และวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่

- หัวข้อที่ 4.2 ที่ว่าด้วยการวิเคราะห์การจ่ายพลังงานของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ด้วยกราฟคุณลักษณะ โดยนำมาใช้วิเคราะห์หาปริมาณการอัดประจุและปล่อยประจุของแบตเตอรี่
- หัวข้อที่ 2.3 และหัวข้อที่ 2.4 ในเรื่องการวิเคราะห์ข้อมูลรังสีแสงอาทิตย์ สำหรับประกอบการพิจารณาความสัมพันธ์ของปริมาณพลังงานที่จะได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับปริมาณรังสี และอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนแผงเซลล์ เป็นต้น
- ข้อมูลในบทที่ 3 ทั้งหมด เพื่อใช้ประกอบการการวิเคราะห์หารูปแบบที่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ระบบตัวอย่างที่ยกมา
- หัวข้อที่ 4.2 และหัวข้อที่ 4.3 สำหรับการอ้างอิงถึงโปรแกรมที่นำมาใช้จำลองการทำงานและวิเคราะห์ระบบ

เงื่อนไขการทดลอง

การจำลองการทำงานของระบบตัวอย่างโหลดภาระที่ใช้จะเป็นโหลดภาระที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสตรง โดยให้มีการใช้งานต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง โปรแกรมจะจำลองการทำงานของระบบในลักษณะที่มีการจ่ายพลังงานให้แก่โหลดภาระในตอนกลางวัน และพลังงานส่วนที่เหลือจะทำการอัดประจุเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อจ่ายให้แก่โหลดภาระในช่วงเวลาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่สามารถจ่ายพลังงานให้แก่โหลดภาระได้ โดยทำการทดสอบบันทึกข้อมูลภายใต้รังสีแสงอาทิตย์ และสภาพแวดล้อมจริง

5.2.3 การเตรียมอุปกรณ์ทดสอบ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบมีอยู่ด้วยกัน 2 รุ่น ประกอบด้วย

1. รุ่น BPTS 1255 HP ของบริษัทบีพีไทยโซล่าร์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 4 แผง ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน และมีคุณสมบัติต่าง ๆ เป็นไปตามภาคผนวกที่ ข.

2. รุ่น US 64 ของบริษัท UNITED SOLAR SYSTEM Corp. ขนาด 64 วัตต์ จำนวน 2 แผง ซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน และมีคุณสมบัติต่าง ๆ เป็นไปตามภาคผนวกที่ ข.

สำหรับโหลดภาระที่ใช้ทดสอบเป็นหลอดไฟกระแสตรงขนาด 5 วัตต์ และ 3 วัตต์ ที่ระดับแรงดัน 12 โวลท์ ส่วนแบตเตอรี่ที่ใช้ทดสอบเป็นแบบตะกั่วกรดขนาด 70 แอมป์-ชั่วโมง นอกจากนี้ยังมีเครื่องมือประกอบการทดลองเพื่อใช้สำหรับการวัดผลข้อมูล และบันทึกค่า เช่น มิเตอร์ที่ใช้วัดค่าและส่งข้อมูลในการวัดบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์ คือ มิเตอร์รุ่น F41B ยี่ห้อ FLUKE พร้อมสายโพรบสำหรับวัดกระแสไฟตรง นอกจากนี้ยังได้ใช้มิเตอร์ที่มีความละเอียดอย่างน้อย 2 จุดทศนิยม มาใช้สำหรับวัดค่าแรงดัน และกระแส เพื่อบันทึกค่าลงในตารางบันทึกข้อมูล สำหรับนำไปใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ต่อไป คือ มิเตอร์รุ่น F89 และมิเตอร์รุ่น F77 ยี่ห้อ FLUKE ทั้งสองรุ่น

นอกจากนี้ยังได้ทำการวัดข้อมูลอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะทำการทดลอง โดยใช้มิเตอร์วัดอุณหภูมิด้วยแสงอินฟาเรด รุ่น 65 ยี่ห้อ FLUKE เช่นกัน

สำหรับเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ประกอบการทดลองต่าง ๆ สามารถดูได้จากข้อมูลที่อยู่ในภาคผนวก ข.

การต่อระบบเพื่อทำการทดลอง

สำหรับการทดลองและบันทึกข้อมูล จะมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะ คือ การทดลองบันทึกข้อมูลแบบอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ที่ส่งข้อมูลผ่านมิเตอร์วัดค่ารุ่น F41B โดยมีการรับส่งข้อมูลและบันทึกค่าในทุก ๆ 5 นาที และอีกลักษณะหนึ่งคือการบันทึกค่าข้อมูลต่าง ๆ ด้วยการจดบันทึกค่าลงในตารางบันทึกข้อมูลซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ค่าต่อไป ส่วนการต่อระบบเพื่อทำการทดสอบจะมีการต่ออยู่ 2 ลักษณะ คือ

1) ทำการทดลองโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BPTS 1255 HP ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 4 แผง โดยแยกเป็นชุดการบันทึกและแสดงค่าแบบอัตโนมัติจำนวน 2 แผง และการบันทึกพร้อมวิเคราะห์ค่าตามวิธีการที่ได้นำเสนออีกจำนวน 2 แผง โดยทั้ง 2 แบบจะตั้งเงื่อนไขการทดสอบเพื่อใช้กับโหลดภาระขนาด 5 วัตต์ที่ระดับแรงดัน 12 โวลล์เหมือนกัน
2) ทำการทดลองโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น US 64 ขนาด 64 วัตต์ จำนวน 2 แผง โดยแยกเป็นชุดการบันทึกและแสดงค่าแบบอัตโนมัติจำนวน 1 แผง และการบันทึกพร้อมวิเคราะห์ค่าตามวิธีการที่ได้นำเสนออีกจำนวน 1 แผง ทั้ง 2 แบบจะมีเงื่อนไขการทดลองเพื่อใช้กับโหลดภาระขนาด 3 วัตต์ ที่ระดับแรงดัน 12 โวลท์

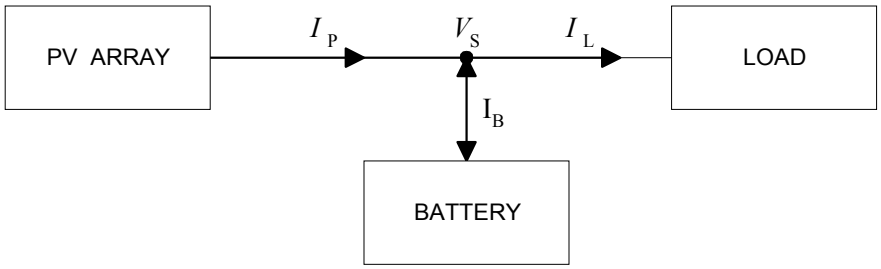
5.2.4 วิธีทดสอบ

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบการทดสอบได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 5.2.3 ก่อนหน้านี้ ส่วนภาพแสดงการต่อระบบทดสอบได้แสดงไว้ในรูปที่ 5.1

5.2.4.1 หัวข้อการทดสอบ

กรณีที่ 1 : ทดสอบการจ่ายพลังงานให้แก่โหลดภาระแบบต่อเนื่องด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน รุ่น BPTS 1255 HP ขนาด 55 วัตต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

กรณีที่ 2 : ทดสอบการจ่ายพลังงานให้แก่โหลดภาระแบบต่อเนื่อง ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน รุ่น US 64 ขนาด 64 วัตต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

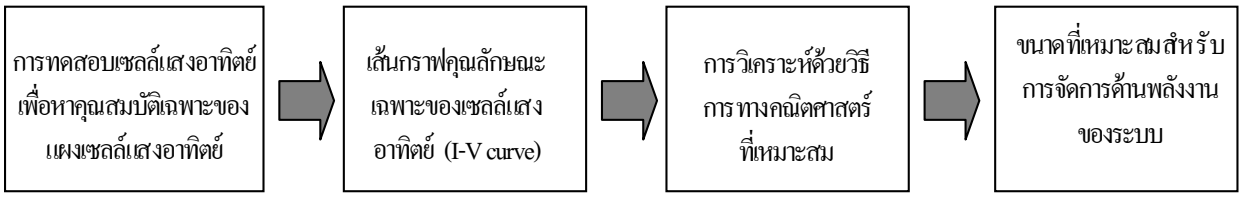


รูปที่ 5.1 การต่อระบบทดสอบการจ่ายโหลดภาระแบบต่อเนื่อง โดยมีแบตเตอรี่เป็นชุดสะสมพลังงาน

5.2.4.2 ลำดับขั้นการทดสอบ

กรณีที่ 1 : เริ่มทำการทดสอบ โดยต่อระบบทดสอบตามรูปที่ 5.1 โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BPTS 1255 HP ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 2 แผงต่อขนานกัน เป็นแหล่งจ่ายให้กับระบบ และโหลดภาระที่ใช้ทดสอบเป็นระบบไฟกระแสตรงขนาด 5 วัตต์ ที่ระดับแรงดัน 12 โวลท์ จากนั้นเริ่มทำการทดสอบและบันทึกข้อมูลทั้งแบบที่เป็นการบันทึกอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์ และการจดบันทึกข้อมูลพร้อมข้อมูลที่ได้จากการจดบันทึกค่าไปทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ตามลำดับขั้นการวิเคราะห์ที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.2 จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลเพื่อพิจารณาถึงความถูกต้องเหมาะสมในการจำลองระบบด้วยวิธีการที่นำเสนอ

กรณีที่ 2 : ทำการต่อระบบทดสอบตามรูปที่ 5.1 โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น US 64 ขนาด 64 วัตต์ จำนวน 1 แผง เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน และโหลดภาระเป็นระบบไฟกระแสตรงขนาด 3 วัตต์ ที่ระดับแรงดัน 12 โวลท์ จากนั้นทำการทดสอบบันทึกและวิเคราะห์ข้อมูล เหมือนกับการทดลองในกรณีที่ 1



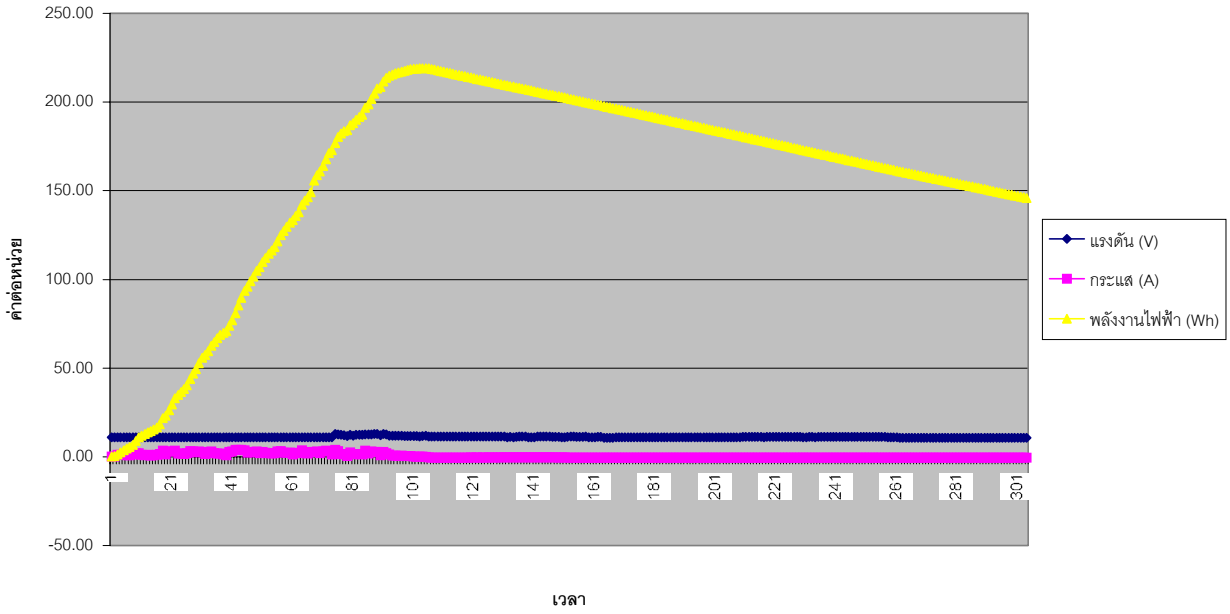
รูปที่ 5.2 ลำดับขั้นสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลการจ่ายโหลดภาระแบบต่อเนื่อง ที่มีแบตเตอรี่เป็นชุดสะสมพลังงาน

5.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากทำการทดลองบันทึกข้อมูลทั้ง 2 ลักษณะ คือแบบอัตโนมัติด้วยคอมพิวเตอร์และจดบันทึกค่า แล้วจะต้องนำข้อมูลที่ได้มาดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

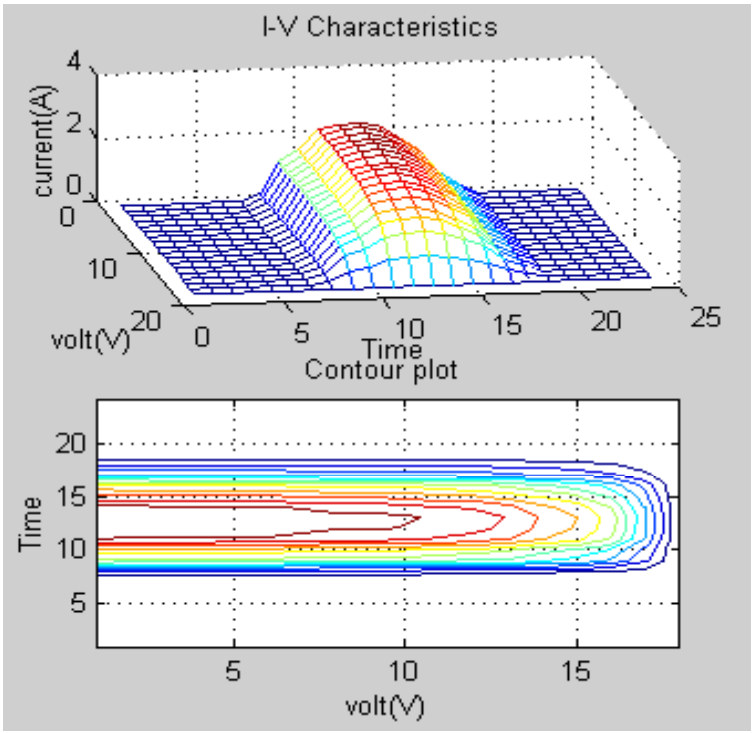
1) สำหรับระบบที่มีการบันทึกค่าอัตโนมัตินั้นสามารถนำข้อมูลที่ได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปได้ในทันที เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากเครื่องมือวัดเป็นข้อมูลเชิงตัวเลขที่สามารถใช้โปรแกรมสำเร็จรูปวิเคราะห์และแสดงผลได้ในทันที เช่น โปรแกรม Excel เป็นต้น [31] ดังตัวอย่างที่แสดงในรูป 5.3 และสามารถดูผลข้อมูลจากการทดลองได้ในภาคผนวกที่ ฉ.

2) กรณีที่มีการจดบันทึกค่าจะต้องนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ตามวิธีการที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้ (ตามวิธีการที่นำเสนอไว้ในบทที่ 4) โดยในการทำงานแต่ละขั้นตอนของโปรแกรมจะมีการแสดงผลลัพธ์ที่ได้ในทุก ๆ ขั้นตอนผ่านทางจอภาพ และสามารถพิมพ์ผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอนออกทางเครื่องพิมพ์ได้ อีกทั้งโปรแกรมที่ได้จัดสร้างขึ้นยังสามารถตรวจสอบ ความถูกต้องและแสดงผลของความผิดพลาดที่เกิดขึ้นขณะทำการวิเคราะห์ข้อมูลในแต่ละส่วน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทราบข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นเพื่อการแก้ไขให้ถูกต้องได้โดยสะดวก

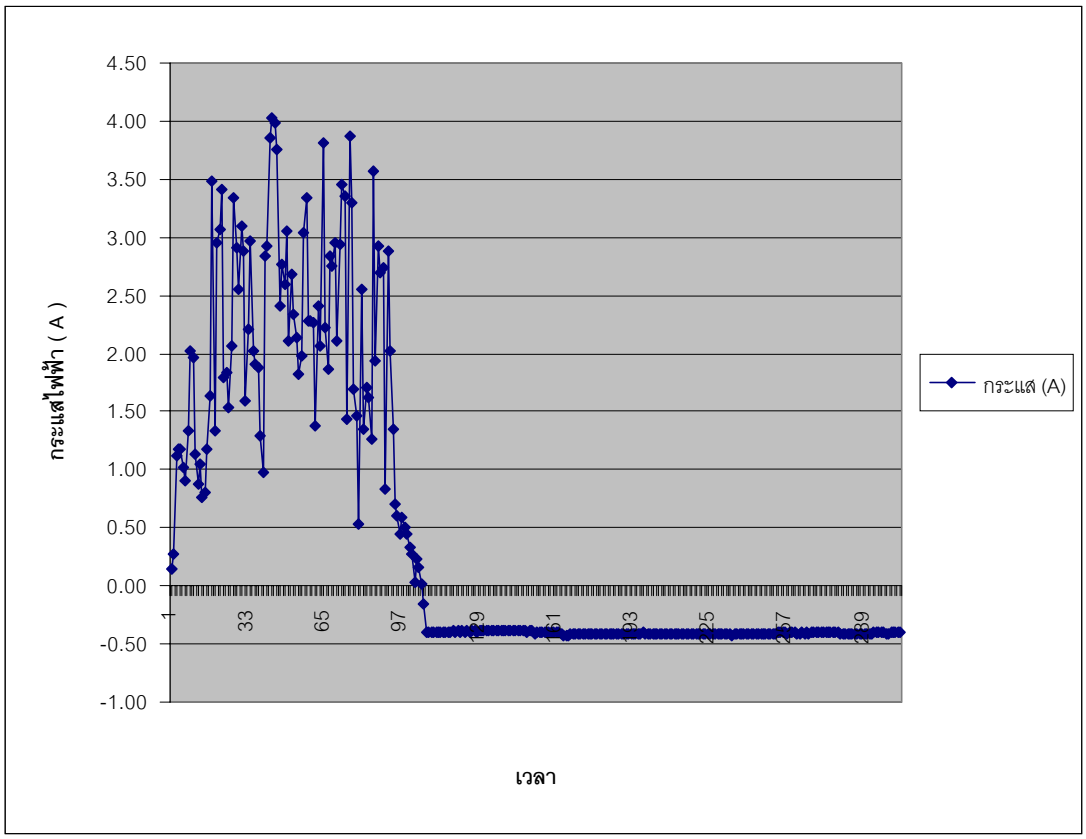


รูปที่ 5.3 การบันทึกค่าและแสดงผลด้วยโปรแกรม Excel

สำหรับตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลและการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมตามวิธีการที่ได้นำเสนอสามารถแสดงได้ ดังนี้



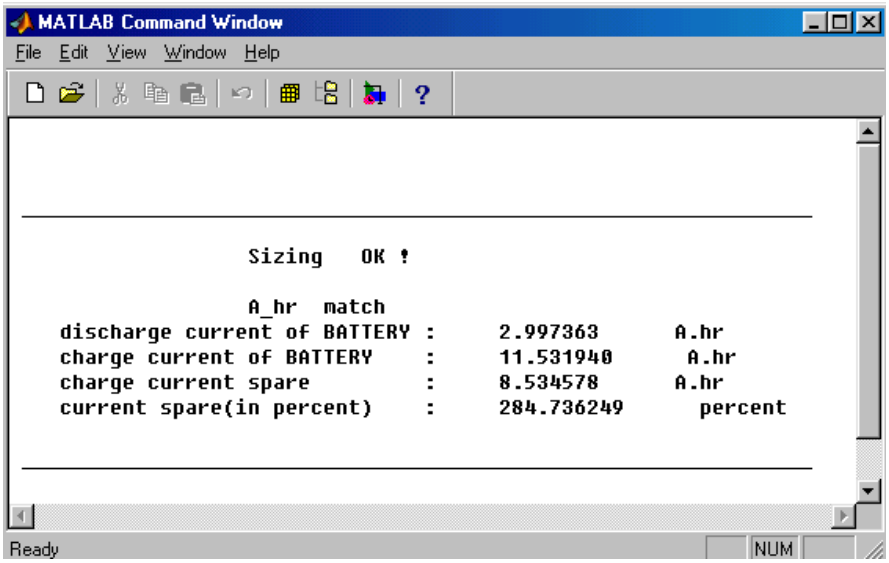
รูปที่ 5.4 ผลลัพธ์การบันทึกค่ากราฟคุณลักษณะของ กระแสและแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เวลาต่าง ๆ กัน



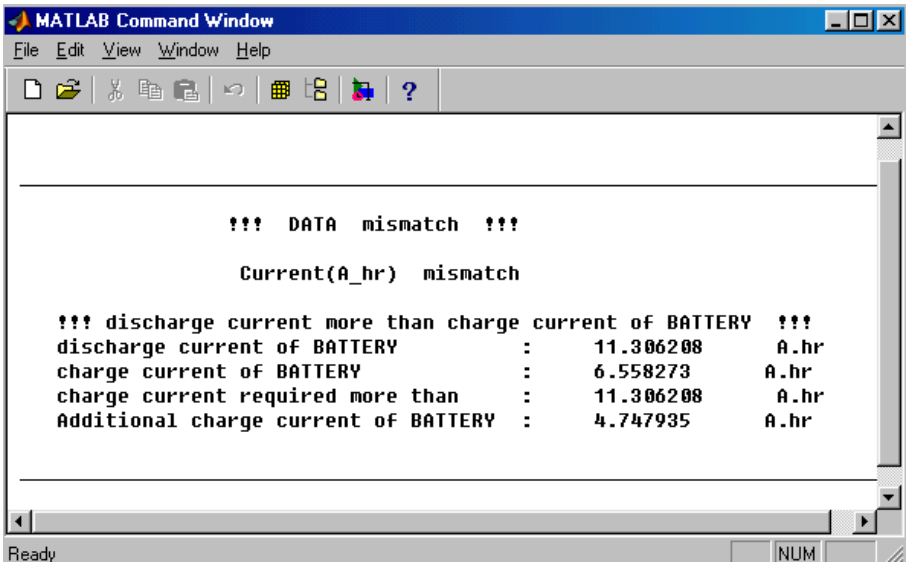
รูปที่ 5.5 ผลลัพธ์ในการวิเคราะห์ค่ากระแสที่แต่ละส่วนของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลาตลอด 24 ชั่วโมง

นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถแสดงค่าปริมาณกระแสที่อัดประจุไว้ในแบตเตอรี่ และปริมาณกระแสที่ถูกปล่อยออกไปให้แก่โหลดภาระ ซึ่งจะเป็นตัวบ่งบอกถึงความเพียงพอหรือไม่ของปริมาณกระแสค่าดังกล่าวเมื่อใช้งานกับโหลดภาระที่ผู้ใช้ระบุมา อีกทั้งข้อมูลที่ได้ยังเป็นข้อมูลจากการทดสอบใช้งานจริง ซึ่งน่าจะให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับสภาพใช้งานจริงมากที่สุด[32] โดยสามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการพิจารณาตัดสินใจ เลือกระบบที่มีความถูกต้องเหมาะสมยิ่งขึ้น จึงนับได้ว่าเป็นข้อได้เปรียบประการหนึ่งของวิธีการที่นำเสนอในขณะที่วิธีการคิดคำนวณแบบปกติทั่วไปไม่สามารถทำได้ พร้อมกันนี้ได้แสดงผลลัพธ์จากการแสดงค่าดังกล่าวสำหรับการวิเคราะห์ระบบตัวอย่างไว้ดังรูปที่ 5.6 และ 5.7 โดยรูปที่ 5.6 เป็นตัวอย่างในการแสดงผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ระบบสำหรับกรณีที่มีความสมดุลกันของระบบ คือ ปริมาณพลังงานที่ได้รับเพียงพอที่จะจ่ายให้แก่โหลดภาระได้ ส่วนในรูปที่ 5.7 เป็นตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์สำหรับกรณีที่ไม่มีความสมดุลกันของปริมาณพลังงานที่ได้รับกับปริมาIณพลังงานที่ต้องจ่ายออกไปให้แก่โหลดภาระตามที่ผู้ใช้งานระบุมา ซึ่งผู้ใช้งานสามารถที่จะนำเอาประโยชน์ดังกล่าวของโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่นำเสนอ มาใช้งานสำหรับการตรวจสอบการทำงานและความเพียงพอ

ของระบบ ถ้าหากมีการเปลี่ยนโหลดภาระไปเป็นค่าอื่น ๆ ที่มากขึ้นหรือน้อยลงจากเดิมได้อย่างสะดวกโดยมิต้องมีการทดสอบเก็บข้อมูลซ้ำอีก



รูปที่ 5.6 ตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์กรณีที่ระบบมีความสมดุลกันของพลังงาน



รูปที่ 5.7 ตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์ กรณีที่พลังงานของระบบไม่สมดุลกัน

5.2.6 ผลการทดลอง

กรณีที่ 1 : ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน รุ่น BPTS 1255 HP ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 2 แผง ต่อขนานกันจ่ายให้แก่โหลดภาระที่ใช้ไฟกระแสตรงขนาด 5 วัตต์ที่ระดับแรงดัน 12 โวลล์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดสอบบันทึกข้อมูล แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการต่อระบบใช้งานจริงกับโหลดภาระที่เป็นหลอดไฟ กับ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอ ซึ่งสามารถแสดงผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบค่าได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 2 แผง ต่อขนานกัน ที่โหลดภาระขนาด 5 วัตต์

พารามิเตอร์ เปรียบเทียบ	ผลลัพธ์จาก วิธีการที่นำเสนอ	ผลลัพธ์จาก การวัดข้อมูลของระบบจริง
โหลดภาระ (W)	5.00	5.00
แรงดันเฉลี่ยขณะอัดประจุ (V)	12.00	11.27
แรงดันเฉลี่ยขณะปล่อยประจุ (V)	12.00	11.10
กระแสเฉลี่ยขณะอัดประจุ (A)	2.01	1.98
กระแสเฉลี่ยขณะปล่อยประจุ (A)	0.41	0.40
พลังงานไฟฟ้าขณะอัดประจุ (Wh)	192.96	219.15
พลังงานไฟฟ้าขณะปล่อยประจุ (Wh)	78.70	73.25

กรณีที่ 2 : ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน รุ่น US 64 ขนาด 64 วัตต์ จำนวน 1 แผง จ่ายโหลดภาระที่เป็นระบบไฟกระแสตรงขนาด 3 วัตต์ ที่ระดับแรงดัน 12 โวลท์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมงทำการทดสอบ บันทึกข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลเหมือนกับวิธีการที่ใช้ในกรณีที่ 1 ซึ่งได้แสดงผลลัพธ์จากเปรียบเทียบค่าได้ตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน ขนาด 64 วัตต์จำนวน 1 แผง ที่โหลดภาระขนาด 3 วัตต์

พารามิเตอร์ เปรียบเทียบ	ผลลัพธ์จาก วิธีการที่นำเสนอ	ผลลัพธ์จาก การวัดข้อมูลของระบบจริง
โหลดภาระ (W)	3.00	3.00
แรงดันเฉลี่ยขณะอัดประจุ (V)	12.00	12.26
แรงดันเฉลี่ยขณะปล่อยประจุ (V)	12.00	11.26
กระแสเฉลี่ยขณะอัดประจุ (A)	1.42	1.19
กระแสเฉลี่ยขณะปล่อยประจุ (A)	0.25	0.23
พลังงานไฟฟ้าขณะอัดประจุ (Wh)	119.28	113.70
พลังงานไฟฟ้าขณะปล่อยประจุ (Wh)	39.00	36.51

5.2.7 บทวิเคราะห์การทดลอง

จากผลการทดลองระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ เพื่อการหาปริมาณกระแสที่อัดประจุให้แก่แบตเตอรี่ และปริมาณกระแสที่โหลดภาระใช้งานอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง สำหรับประกอบการพิจารณาขนาดที่เหมาะสมของชุดสะสมพลังงานโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่แตกต่างกัน ทั้งแบบที่เป็นแผงเซลล์ชนิดผลึกเดี่ยว และแผงเซลล์ชนิดอะมอร์ฟัสและมีการบันทึกข้อมูล แบบอัตโนมัติด้วยเครื่องมือที่มีความละเอียดและน่าเชื่อถือได้ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาทำการเปรียบเทียบค่าวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักการที่ได้นำเสนอไว้ในงานวิจัยนี้ (ดูผลการทดลองได้จากหัวข้อที่ 5.2.6 และภาคผนวก ฉ.1 ประกอบ) จะพบว่าผลลัพธ์จากวิธีการที่ได้นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลการทดสอบระบบจริงภายใต้สภาวะการทดสอบเดียวกันให้ผลลัพธ์ของพลังงานที่แตกต่างกันโดยเฉลี่ยไม่เกิน 8 เปอร์เซ็นต์ อีกทั้งโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบยังให้สามารถแสดงผลและให้ค่าผลลัพธ์ที่จำเป็นต่อการใช้งานของผู้ออกแบบ เพื่อประกอบการพิจารณาตัดสินใจเลือกพิกัดต่าง ๆ ของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ และเหมาะสมกับโหลดภาระที่ต้องการต่อไป สำหรับตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานเพื่อวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์กับโหลดภาระขนาดอื่น ได้มีการนำเสนอตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลบางส่วนไว้ในบทความวิชาการที่แนบประกอบงานวิจัยนี้ตามภาคผนวก ฌ.

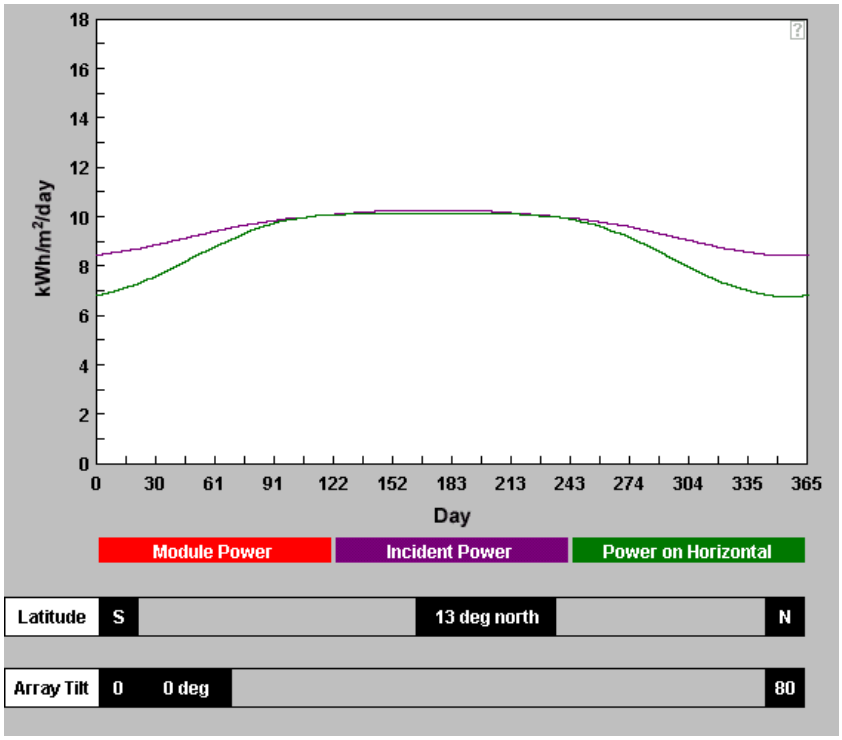
นอกจากนี้โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ได้นำเสนอยังมีจุดเด่นอยู่ที่สามารถแสดงความสมดุลของพลังระหว่างพลังงานที่ชุดสะสมพลังงานได้รับ และพลังงานที่จ่ายออกไปให้แก่โหลดภาระ ซึ่งเป็นการตรวจสอบระบบในเบื้องต้น และผู้ใช้งานยังสามารถที่จะทดลองเปลี่ยนค่าของโหลดภาระไปเป็นค่าอื่น ๆ ภายใต้ฐานข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้บันทึกข้อมูลค่าไว้ เพื่อเป็นการวิเคราะห์ และพิจารณาข้อมูลประกอบการตัดสินใจออกแบบระบบโดยมิต้องเก็บบันทึกข้อมูลซ้ำอีก

5.3 การพิจารณาผลของมุมเอียง และรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

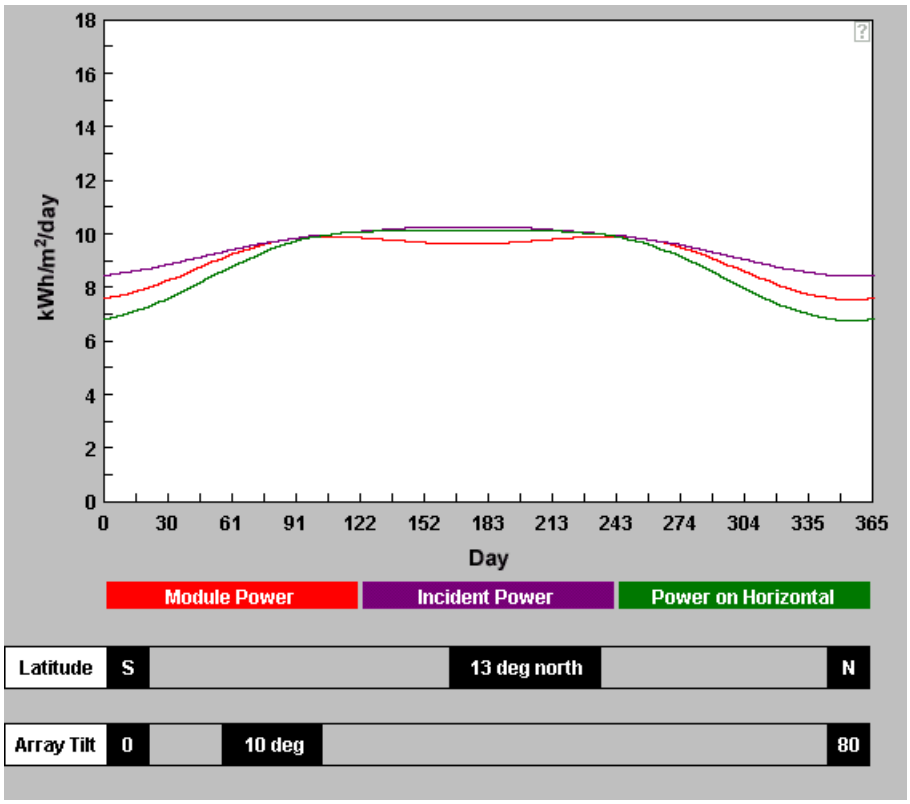
5.3.1 หลักการและเหตุผล

ปริมาณพลังงานที่ได้รับจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อันได้แก่ ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งแผงเซลล์, มุมเอียงของแผง, คุณสมบัติในการแปลงพลังงานของแผงเซลล์, สภาวะแวดล้อมเช่น ปริมาณแสง อุณหภูมิ และความเร็วลม เป็นต้น [33] ตัวแปรและเหตุปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนส่งผลต่อปริมาณพลังงานที่จะได้รับจากแผงเซลล์มากบ้าง น้อยบ้าง เป็นสัดส่วนกันไป ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบลงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบโดยตรง และเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์ โดยสามารถพิจาณาลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีการปรับมุมเอียงค่าต่างๆ ได้ดังรูปที่ 5.8 สำหรับการติดตั้งแผงเซลล์ในตำแหน่งการติดตั้งเดียวกัน มุมเอียงของแผงเซลล์และลักษณะที่มีการติดตามดวงอาทิตย์ของแผงเซลล์ ก็จะเป็นตัวแปรสำคัญที่จะบ่งบอกถึงปริมาณรังสีที่ตกกระทบลงบนแผงเซลล์ ซึ่งส่งผลถึงปริมาณพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตออกมาได้

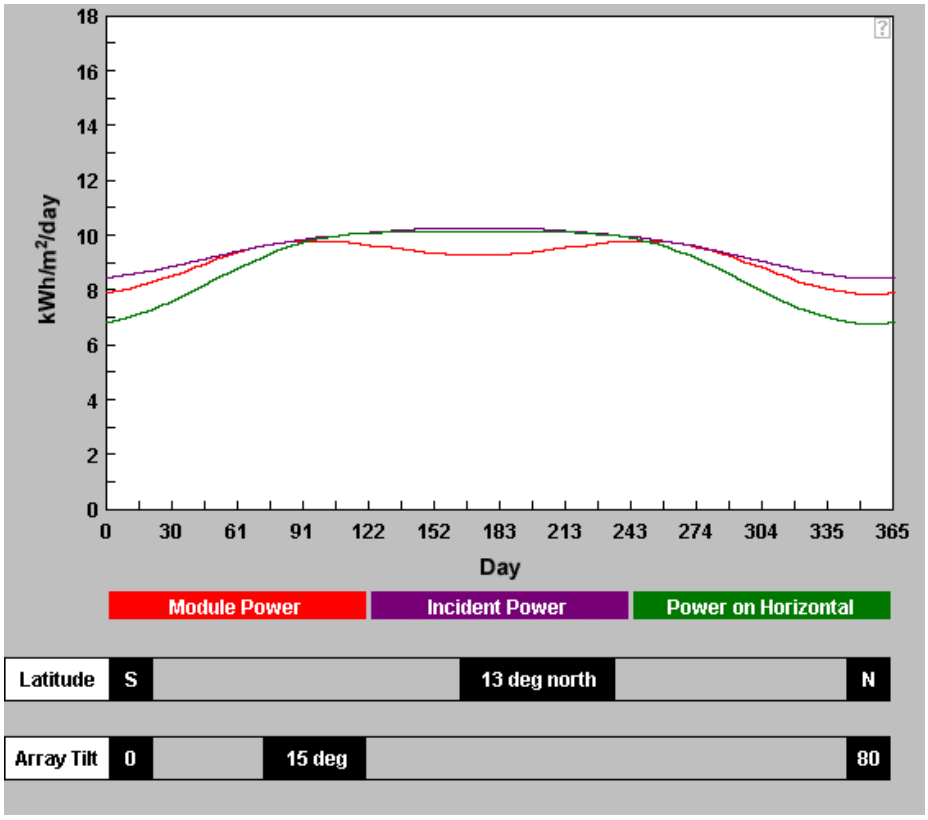
ด้วยเหตุผลดังกล่าวในหัวข้อการทดลองนี้ จะทำการพิจารณาถึงปริมาณพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตออกมาได้เมื่อมีมุมเอียง และรูปแบบการติดตั้งที่แตกต่างกันออกไป เพื่อนำเสนอข้อมูลที่ได้ประกอบการพิจารณาตัดสินใจเลือกมุมเอียงและรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความเหมาะสม ทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์ และปริมาณพลังงานที่ได้รับจากแผงเซลล์



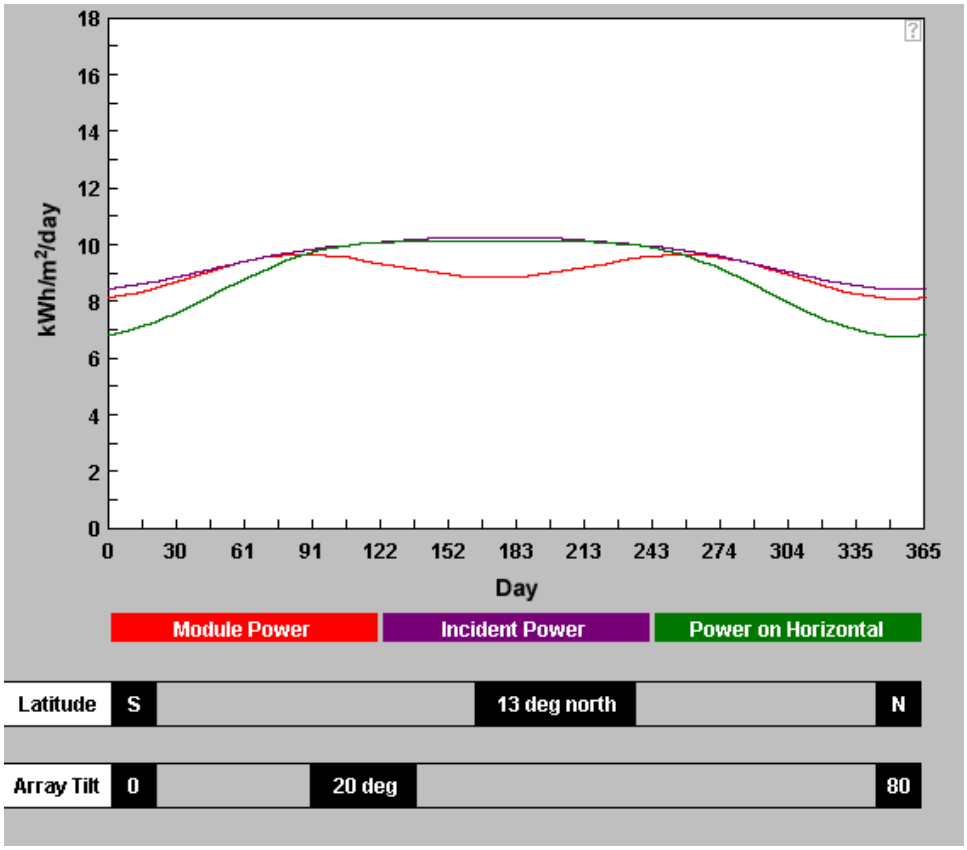
5.8 (ก)


kWh/m²/day
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
0 30 61 91 122 152 183 213 243 274 304 335 365
Day
Module Power
Incident Power
Power on Horizontal
Latitude
S
13 deg north
N
Array Tilt
0
10 deg
80

5.8 (ข)


kWh/m²/day
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
0 30 61 91 122 152 183 213 243 274 304 335 365
Day
Module Power
Incident Power
Power on Horizontal
Latitude
S
13 deg north
N
Array Tilt
0
15 deg
80

5.8 (ค)



5.8 (ง)

รูปที่ 5.8 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อมีการปรับมุมเอียงค่าต่างๆ ณ. ตำแหน่งละติจูดที่ 13 องศาเหนือ

ก) วางแผงในแนวระนาบ ข) มุมเอียง 10 องศา

ค) มุมเอียง 15 องศา ง) มุมเอียง 20 องศา

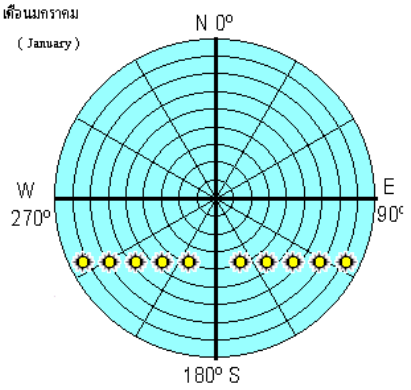
5.3.2 ทฤษฎีอ้างอิงและหลักการที่เกี่ยวข้อง

รูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานกันอยู่โดยทั่วไป จะมีลักษณะที่แตกต่างกันได้แก่ การติดตั้งแบบยึดติดอยู่กับที่ไม่มีการเคลื่อนไหว และการติดตั้งแบบที่มีการเคลื่อนที่ได้เพื่อติดตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ทั้งที่เป็นแบบแกนเดียว และสองแกน โดยอ้างอิงจากผลการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ ของแต่ละช่วงเวลาในรอบ 1 ปี ซึ่งดูผลดังกล่าวได้จากรูปที่ 5.9

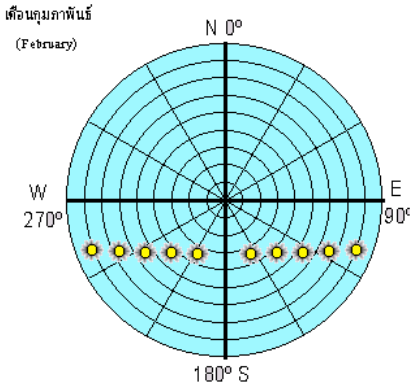
สำหรับการติดตั้งในแต่ละรูปแบบที่กล่าวมาข้างต้นนี้ก็ยังมีรายละเอียดที่แตกต่างกันออกไป ตามที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 2.4 ข้างต้น เช่น การติดตั้งที่มีการเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์แบบแกนเดียว ในทิศเหนือ – ใต้ หรือทิศตะวันออก – ตะวันตก รวมทั้งการติดตามดวงอาทิตย์ในทิศเหนือ – ใต้ และ ตะวันออก – ตะวันตก พร้อมกันทั้งสองแกน เป็นต้น ซึ่งพลังงานที่จะได้รับในแต่ละรูปแบบการติดตั้งใช้งานก็จะให้ค่าผลลัพธ์ที่มากน้อยต่างกันไป[34]

ทฤษฎีบทที่เกี่ยวข้องและใช้อ้างอิงประกอบการพิจารณา และวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับหัวข้อการทดลองนี้ได้แก่

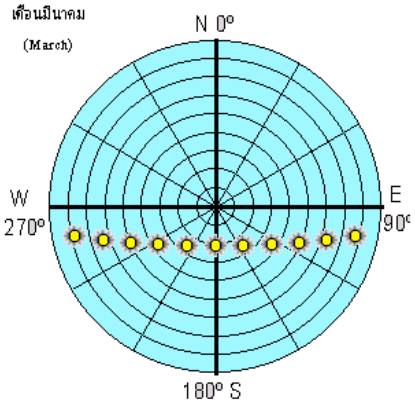
- หัวข้อที่ 2.3 และ 2.4 ที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ของรังสีแสงอาทิตย์ กับมุมเอียงและรูปแบบการติดตั้งใช้งานในลักษณะต่าง ๆ
- รายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอไว้ในส่วนเนื้อหาของบทที่ 3 และ 4 ทั้งหมด



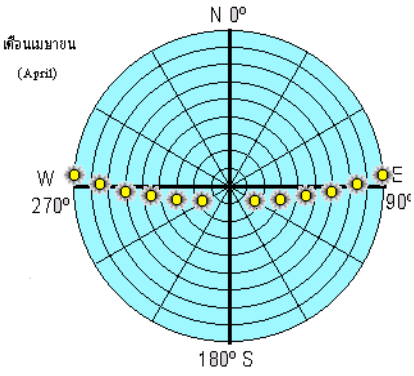
5.9 (ก)



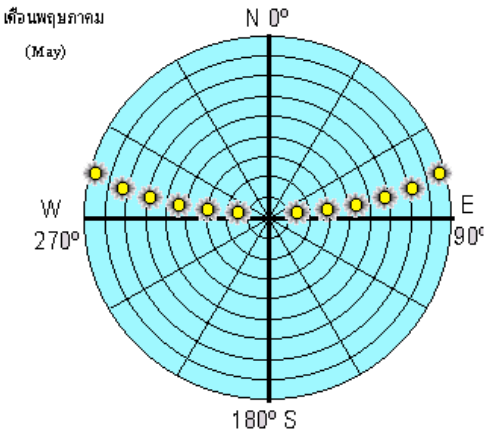
5.9 (ข)



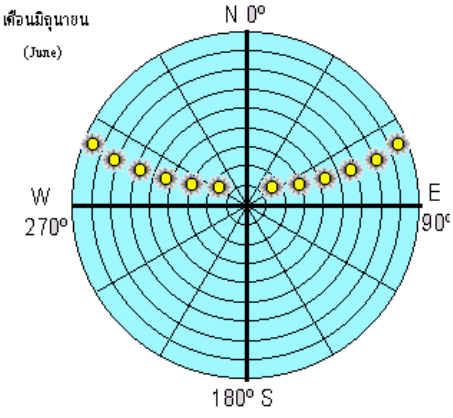
5.9 (ค)



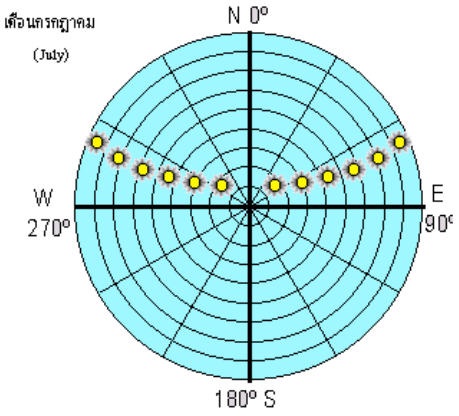
5.9 (ง)



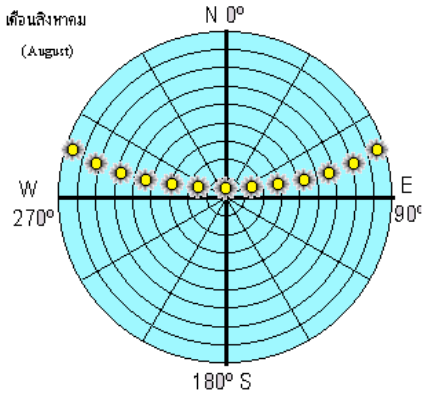
5.9 (จ)



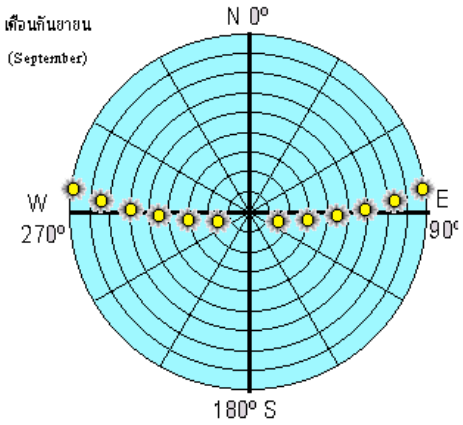
5.9 (ฉ)



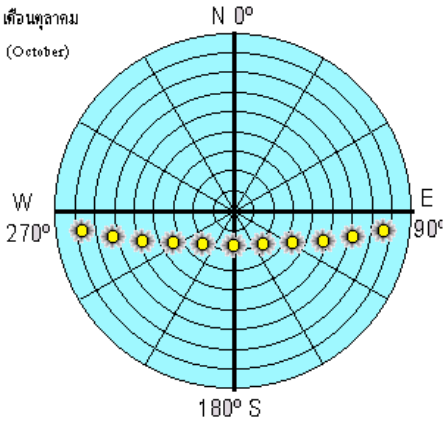
5.9 (ช)



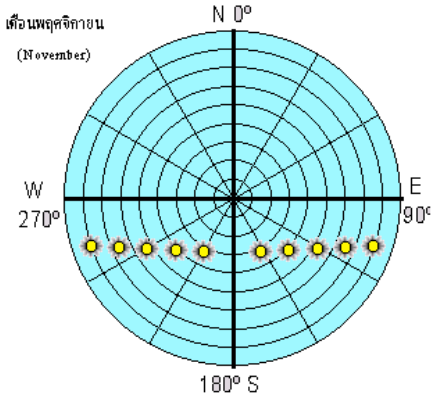
5.9 (ซ)



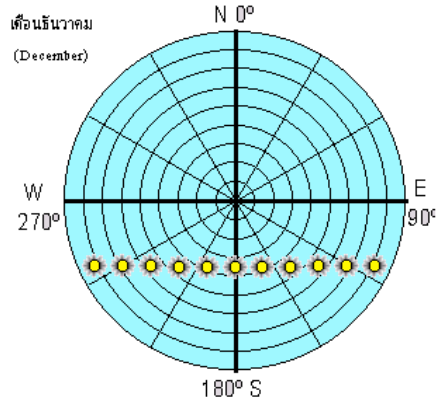
5.9 (ฌ)



5.9 (ญ)



5.9 (ฎ)



5.9 (ฏ)

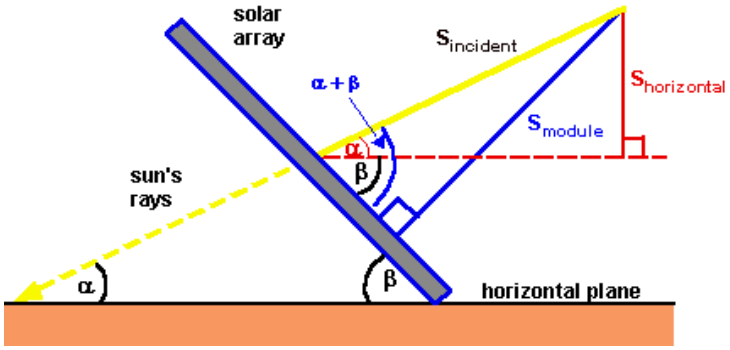
รูปที่ 5.9 ลักษณะการเคลื่อนที่ปรากฏของดวงอาทิตย์ ของแต่ละช่วงเวลาในรอบ 1 ปี ณ. ตำแหน่งละติจูดที่ 13 องศาเหนือ

ก) มกราคม	ข) กุมภาพันธ์	ค) มีนาคม	ง) เมษายน
จ) พฤษภาคม	ฉ) มิถุนายน	ช) กรกฎาคม	ซ) สิงหาคม
ฌ) กันยายน	ญ) ตุลาคม	ฎ) พฤศจิกายน	ฏ) ธันวาคม

เงื่อนไขการทดลอง

การวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณพลังงานที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทุกรูปแบบที่ทำการพิจารณาจะตั้งสมมุติฐานให้แผงเซลล์จ่ายพลังงานที่ได้ทั้งหมดสะสมเก็บไว้ในแบตเตอรี่ โดยยังไม่มีการจ่ายให้แก่โหลดภาระ สำหรับรูปแบบตัวอย่างที่มีการเคลื่อนที่ติดตามดวงอาทิตย์ที่ต้องมีอุปกรณ์และกลไกภายนอกมาขับเคลื่อนระบบ ชุดขับเคลื่อนดังกล่าวมีการสูญเสียและใช้พลังงานบางส่วนในการขับเคลื่อนระบบ ซึ่งยังมิได้มีการแสดงผลหรือพิจาราณาข้อมูลของชุดขับเคลื่อนไว้ในขณะนี้ การทดสอบเก็บข้อมูลทั้งหมดในหัวข้อนี้จะเป็นการทดสอบภายใต้ค่าความรับอาบรังสีแสงอาทิตย์จากดวงอาทิตย์ และในสภาพแวดล้อมจริง พร้อมทั้งทำการทดสอบบันทึกข้อมูลเพื่อการพิจารณาถึงความแตกต่างของผลลัพธ์ของแต่ละช่วงฤดูกาลในรอบปี

การพิจารณามุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รายละเอียดของการวิเคราะห์มุมเอียง และรูปแบบสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ได้มีการนำเสนอไว้แล้วในหัวข้อที่ 2.4 รวมทั้งสมการที่ใช้ประกอบการคำนวณหาค่าต่าง ๆ ก็ได้มีการแสดงไว้แล้วเช่นกัน โดยรูป 5.10 ได้แสดงมุมประกอบต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการคำนวณและวิเคราะห์ผลลัพธ์ไว้ ดังนี้



รูปที่ 5.10 มุมประกอบต่าง ๆ ที่ใช้คำนวณปริมาณรังสีตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยใช้สมการที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4 ประกอบในการคำนวณหาค่ามุมเอียงที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำค่าดังกล่าว ไปทำการควบคุมและปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการทดสอบ เก็บข้อมูลต่อไป

5.3.3 การเตรียมอุปกรณ์ทดสอบ

ในหัวข้อการทดลองนี้จะทำการทดสอบเปรียบเทียบค่าในลักษณะของมุมเอียง และรูปแบบการติดตั้งที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ อันได้แก่

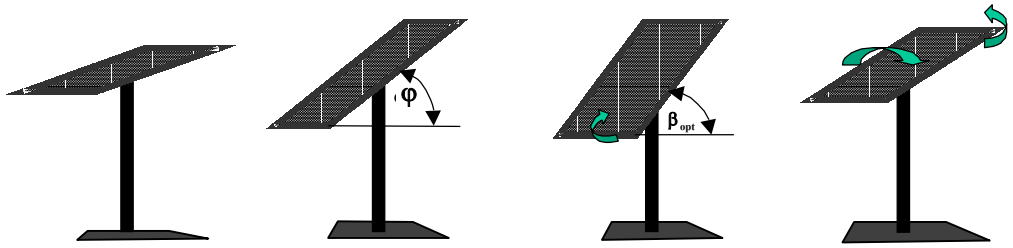
รูปแบบที่ 1 : ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวระดับที่ไม่มีการปรับมุมเอียง โดยติดตั้งตายตัวอยู่กับที่

รูปแบบที่ 2 : ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เอียงทำมุมตามตำแหน่งเส้นรุ้ง ของสถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และติดตั้งแบบอยู่กับที่

รูปแบบที่ 3 : ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีการปรับมุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามการคำนวณค่าจากสมการมุมเอียงที่เหมาะสม ในแต่ละวัน (ตามการคำนวณค่าที่แสดงไว้ในหัวข้อที่ 2.4.2.2 ข้างต้น)

รูปแบบที่ 4 : ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีการเคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์แบบระบบแอสซิมุธ (เป็นการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน คือในแนวทิศเหนือ – ใต้ และตะวันออก – ตะวันตก พร้อมกัน)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในหัวข้อการทดลองนี้จะใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน รุ่น BPTS 1255 HP ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 4 แผง ในการทดสอบจะทำการทดสอบเก็บข้อมูลทั้ง 4 รูปแบบพร้อมกันโดยใช้รูปแบบละ 1 แผงเซลล์ เพื่อเป็นการลดผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากตัวแปรหรือปัจจัยจากสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ให้ส่งผลต่อการทดลองน้อยที่สุด แต่ละรูปแบบที่ทำการติดตั้งทดสอบสามารถแสดงได้ดังนี้



รูปที่ 5.11 ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปแบบที่ทำการวิเคราะห์

สำหรับโหลดภาระที่ใช้ในการทดสอบเป็นโหลดภาระแบบความต้านทานที่สามารถปรับค่าได้ ส่วนของอุปกรณ์เครื่องมือวัดได้ใช้มิเตอร์ที่มีความละเอียดสามารถอ่านค่าได้อย่างน้อย 2 จุดทศนิยม โดยเครื่องมือวัดประกอบการทดลองได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข. ท้ายเอกสารนี้

5.3.4 วิธีการทดสอบ

นำอุปกรณ์ที่เตรียมไว้ มาทำการติดตั้งใน 4 ลักษณะ ตามรูปแบบที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 5.3.3 ดังรูปที่ 5.11

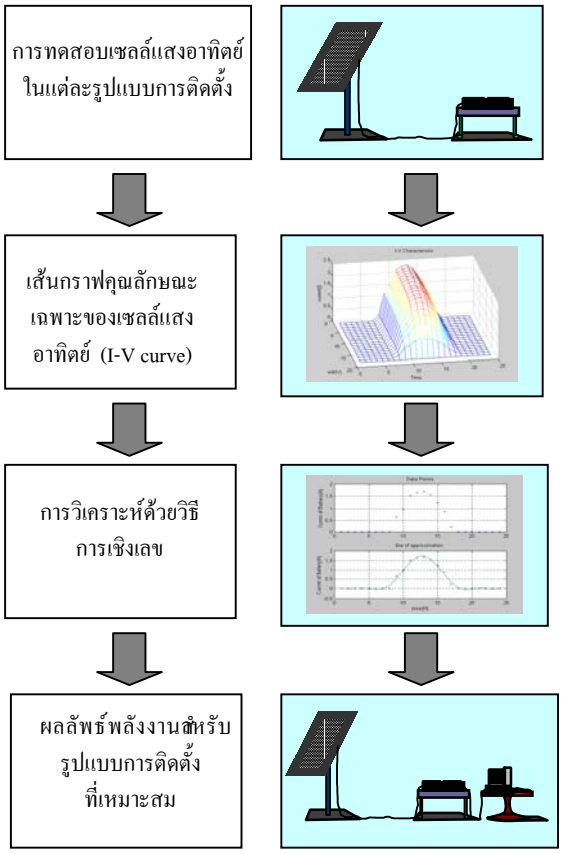
5.3.4.1 หัวข้อการทดสอบ

ทดสอบหาค่าคุณลักษณะเฉพาะของกระแสและแรงดันจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในแต่ละรูปแบบการติดตั้งที่เวลาเดียวกัน เพื่อการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของพลังงานที่แผงเซลล์แสง

อาทิตย์ผลิตออกมาได้ในแต่ละรูปแบบการติดตั้ง ตลอดช่วงเวลาที่มีปริมาณรังสีแสงอาทิตย์เพียงพอสำหรับการใช้งานกับระบบแบตเตอรี่ที่ระดับแรงดัน 12 โวลท์ได้

5.3.4.2 ลำดับขั้นการทดสอบ

ทำการทดสอบบันทึกข้อมูลของทั้ง 4 รูปแบบพร้อมกัน โดยบันทึกค่ากระแสและแรงดัน ที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปแบบที่ช่วงเวลาเดียวกัน ตลอดระยะเวลาที่มีแสงอาทิตย์ในตอนกลางวัน ตั้งแต่ช่วงเช้าจนถึงช่วงเย็นของวันโดยเฉลี่ยประมาณ 8 ชั่วโมง นำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 3 จะทำให้สามารถทราบค่าของปริมาณพลังงานที่ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละรูปแบบผลิตออกมาได้ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าผลลัพธ์ต่อไป โดยมีลำดับขั้นตอนในการทดสอบเปรียบเทียบค่าแสดงได้ดังนี้



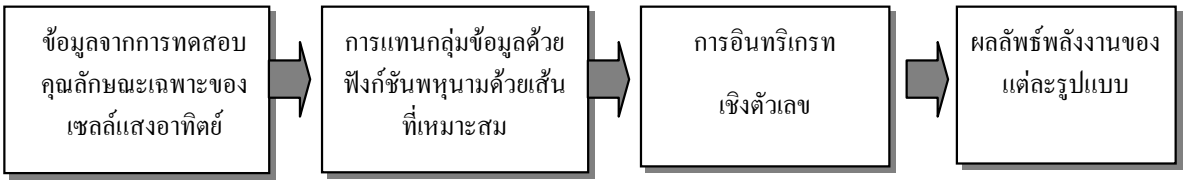
รูปที่ 5.12 ลำดับขั้นตอนการทดสอบ และการวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมาได้ในแต่ละรูปแบบการติดตั้ง

จากการทดสอบรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์ที่แตกต่างกันสำหรับกรณีของรูปแบบที่ 3 ที่มีการปรับมุมเอียงของแผงเพื่อให้ได้ค่ามุมเอียงที่เหมาะสมนั้น สามารถทำได้โดย นำค่าเลขวันใน

รอบปี(N) ที่ทำการติดตั้งทดสอบ ไปแทนค่าลงในสมการหาค่ามุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้ง ในหัวข้อที่ 2.4 ก่อนหน้านี้ จะทำให้ได้ค่าสำหรับการปรับมุมเอียงของแผงในกรณีที่ 3 จากนั้นจึงทำการเก็บข้อมูลและบันทึกค่าของแต่ละรูปแบบ เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบต่อไป ส่วนกรณีของรูปแบบที่ 2 ซึ่งติดตั้งแบบตายตัวและเอียงแผงตามตำแหน่งละติดจูดที่ติดตั้งแผงเซลล์ เนื่องจากตำแหน่งที่ทำการติดตั้งทดสอบอยู่ ณ ตำแหน่งละติจูด 13.0 องศาเหนือ ดังนั้นจึงต้องทำการปรับมุมเอียงของแผงเซลล์ของรูปแบบที่ 2 ให้หันไปทางทิศใต้โดยเอียงทำมุมกับแนวระนาบเท่ากับ 13 องศา

5.3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

เมื่อทำการทดสอบบันทึกข้อมูลจนครบตามช่วงเวลาที่ได้กำหนดได้แล้ว จะนำข้อมูลดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์คำนวณด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์เชิงตัวเลขที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 4.3 พร้อมทั้งได้แสดงลำดับขั้นตอนที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลไว้ดังรูปที่ 5.13 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์คำนวณดังกล่าว จะเป็นปริมาณพลังงานที่เซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตออกมาได้ในแต่ละวันของแต่ละรูปแบบการติดตั้ง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะมีประโยชน์อย่างมากต่อการตัดสินใจเลือกใช้ระบบที่มีความเหมาะสมและคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ สำหรับผู้ที่ต้องการใช้งานระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์



รูปที่ 5.13 ลำดับขั้นตอนการทดสอบ และการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการเชิงตัวเลขที่ได้นำเสนอ

5.3.6 ผลการทดลอง

ผลการทดลองบันทึกข้อมูลคุณลักษณะเฉพาะด้านกระแสและแรงดัน ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในแต่ละรูปแบบการติดตั้งทั้ง 4 กรณี ได้ทำการทดสอบบันทึกผลตามช่วงเวลาที่มีปริมาณรังสีแสงอาทิตย์เพียงพอต่อการใช้งานตลอดช่วงกลางวันโดยเฉลี่ย 8 ชั่วโมงใน 1 วัน พร้อมทั้งได้เก็บบันทึกข้อมูลแต่ละช่วงฤดูกาลในรอบปี เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์และพิจารณาค่าอื่น ๆ ต่อไปจึงทำให้มีปริมารของข้อมูลการทดสอบค่อนข้างมาก โดยได้แสดงผลการทดสอบบันทึกข้อมูลไว้ ในภาคผนวก ฉ. ท้ายเอกสาร และได้นำมาแสดงเฉพาะข้อมูลสรุปผลการวิเคราะห์คำนวณค่าแล้วเท่านั้น โดยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.3 ต่อไปนี้

ตารางที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลของแต่ละรูปแบบการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เลขวัน (N)	ปริมาณกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ใน 1 วัน (Ah)			
	รูปแบบที่ 1 ติดตั้งแนวระนาบแบบตายตัว	รูปแบบที่ 2 ติดตั้งตายตัวและปรับมุมเอียงตามตำแหน่งละติจูด	รูปแบบที่ 3 ปรับมุมตามการคำนวณมุมเอียงที่เหมาะสม	รูปแบบที่ 4 มีการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน
9	12.92	15.40	17.29	18.83
19	11.54	13.06	14.42	15.72
46	15.72	16.49	19.65	21.40
81	16.86	15.46	19.33	21.07
115	13.71	12.57	15.72	17.79
140	16.54	14.19	18.26	19.91
172	14.93	12.54	16.13	18.26
192	11.77	5.95 *	15.65	17.42
229	14.02	12.38	15.48	17.52
239	12.58	10.11	15.76	17.84
263	11.66	11.41	13.09	14.26
296	9.90	13.19	17.13	19.23
321	14.83	17.16	18.54	20.99
355	11.07	13.19	14.25	15.53

หมายเหตุ : *N* คือ เลขวันในรอบปี

* เป็นการแสดงค่าผลลัพธ์ ในช่วงเวลาที่ตำแหน่งปรากฏของดวงอาทิตย์อยู่เยื้องไปทางทิศเหนือค่อนข้างมาก ประกอบกับเป็นช่วงฤดูฝนที่มีเมฆมาก จึงส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ปรับมุมเอียงของแผงให้หันไปทางทิศใต้จ่ายพลังงานออกมาได้น้อยกว่ารูปแบบอื่น

ข้อมูลที่แสดงไว้ในตารางที่ 5.3 เป็นปริมาณกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละรูปแบบการติดตั้งทั้ง 4 กรณี ที่ผลิตออกมาได้ในแต่ละวันตามช่วงเวลาต่าง ๆ ในรอบปี ปริมาณกระแสที่ผลิตได้จะถูกเก็บไว้ในในชุดสะสมพลังงานและจ่ายให้แก่โหลดภาระต่อไป ซึ่งข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกระบบที่มีความเหมาะสมกับการใช้งานได้เป็นอย่างดี

5.3.7 บทวิเคราะห์การทดลอง

จากผลการทดลองวิเคราะห์ค่าการจ่ายกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ตามรูปแบบและมุมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน ระบบที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยให้มีการติดตามดวงอาทิตย์แบบระบบแอสซิมุธจะให้ค่าปริมาณการจ่ายกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ในรอบ 1 วัน สูงที่สุด โดยสูงกว่าการติดตั้งในรูปแบบอื่นมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทั้งนี้ควรต้องคำนึงถึงปริมาณพลังงานของระบบที่ติดตั้งแบบให้มีการติดตามดวงอาทิตย์ต้องใช้ไปในชุดขับเคลื่อนเพื่อให้สามารถติดตามการเปลี่ยนตำแหน่งไปของดวงอาทิตย์ได้ประกอบการพิจารณาด้วย

กรณีระบบที่มีการติดตั้งแบบอยู่กับที่ และมีการปรับมุมเอียงให้แตกต่างกันออกไปในลักษณะต่างๆ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามค่ามุมเอียงที่ได้จากการพิจารณาในสมการคำนวณค่ามุมเอียงที่เหมาะสม ($\beta_{optimum}$) จะให้ค่าปริมาณการจ่ายกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรอบ 1 วัน ที่สูงกว่าการติดตั้งแบบอยู่กับที่ในรูปแบบอื่นมากกว่า20 เปอร์เซ็นต์ และเพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถได้รับแสงจากดวงอาทิตย์สูงที่สุดในแต่ละวันค่าของมุม $\beta_{optimum}$ จะต้องมีการแปรเปลี่ยนค่าไปอีกด้วย

สำหรับการประยุกต์ใช้งานในการศึกษาถึงรูปแบบในการติดตั้งและมุมเอียงที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้แสดงให้เห็นว่าการปรับมุมเอียง β และมุมเยื้อง γ จะมีส่วนช่วยให้ได้รับรังสีตรงสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้ปริมาณความรับอาบรังสีรวมมีค่าสูงขึ้นได้ ทั้งนี้การปรับมุมเอียงแต่เพียงอย่างเดียวก็ช่วยได้ระดับหนึ่ง แต่ถ้ามีการปรับมุมกวาด หรือมุมแอสซิมุธของแผงให้เหมาะสม ก็ยังเป็นการเพิ่มปริมาณของรังสีตรง และปริมาณรังสีรวมได้อีกด้วย

นอกจากนี้ยังสามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้างต้นไปประยุกต์ใช้งานในลักษณะอื่นได้อีกเช่น ใช้ในการประกอบการพิจารณาเลือกรูปแบบในการติดตั้งชุดรับรังสีแสงอาทิตย์สำหรับเครื่องทำน้ำร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ หรือเครื่องอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรเป็นต้น เนื่องจากมีการนำระบบดังกล่าวมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายจะส่งผลให้มีการนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์กันมากขึ้น

5.4 การพิจารณาผลการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์

5.4.1 หลักการและเหตุผล

การใช้งานระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ มีพิกัดกำลังค่าสูง ๆ จะสามารถทำได้โดยการนำเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดย่อยมาต่อร่วมกันในลักษณะอนุกรม (กำหนดด้วยค่าแรงดันของระบบ) และการต่อกันแบบขนาน (กำหนดด้วยค่ากระแสของระบบ) ให้มีขนาดพิกัดกำลังตามความต้องการ ซึ่งค่าแรงดันจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามจำนวนแผงเซลล์ที่นำมาต่อเพิ่มแบบอนุกรม ส่วนค่ากระแสจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับจำนวนแผงเซลล์ที่นำมาต่อกันแบบขนาน แต่ในทางปฏิบัติมักจะมีผลของความสิ้นเปลืองกำลังไฟฟ้าภายในแผงเซลล์ แต่ละแผงทำให้ปริมาณพลังงานที่จะได้รับจากชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้ค่าตามการคำนวณค่าในทางทฤษฎี อันเกิดได้จากคุณสมบัติที่แตกต่างกันของแผงเซลล์ที่นำมาต่อร่วมกัน การถูกบังเงาของแผงเซลล์บางส่วน และผลจากความไม่คู่ควรกันของเซลล์ เป็นต้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวในหัวข้อการทดลองนี้จะทำการทดสอบผลของการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีจำนวนแผงเซลล์และลักษณะการต่อร่วมที่แตกต่างกัน โดยจะทำการศึกษาเปรียบผลลัพธ์ที่ได้ทั้งในแง่ของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตออกมา

5.4.2 ทฤษฎีอ้างอิงและหลักการที่เกี่ยวข้อง

จากผลของความไม่เป็นอุดมคติของแผงเซลล์แต่ละแผง รวมทั้งการนำเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณสมบัติและคุณลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน มาต่อร่วมกัน จะส่งผลให้เกิดความไม่คู่ควรกันของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยรวม ทำให้ค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้า ไม่เป็นไปตามที่คำนวณไว้จากสมการที่นำเสนอไว้ในตอนต้น (ข้อมูลในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.5) รวมทั้งผลจากการทำงานของบายพาสไดโอดบนแผงเซลล์ที่ติดตั้งไว้ เพื่อป้องกันความเสียหายอันจะเกิดแก่แผงเซลล์จากผลของการถูกบังเงา ก็มีส่วนทำให้เกิดความไม่เข้ากันของแผงเซลล์ในระบบได้เช่นกัน จึงจำเป็นต้องการศึกษาถึงผลกระทบที่จะเกิดแก่ระบบ รวมทั้งปริมาณพลังงานที่สูญเสียไปเนื่องจากเหตุผลต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยมีทฤษฎีอ้างอิงเพื่อประกอบการพิจารณาดังนี้

- หัวข้อที่ 2.5 ได้กล่าวถึงสมการที่ใช้ในการคำนวณค่าและผลของการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งในลักษณะอนุกรมและขนาน
- ข้อมูลในบทที่ 3 และ 4 เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอ

เงื่อนไขการทดลอง

ทำการทดสอบและจำลองการทำงานในห้องทดลองที่สามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ ภายใต้ระบบแสงอาทิตย์จำลอง โดยทำการทดสอบทั้งกรณีที่ไม่มีการจ่ายพลังงานให้แก่โหลดภาระ

และกรณีที่มีการจ่ายพลังงานให้แก่โหลดภาระค่าต่าง ๆ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 2 กรณีเป็นเซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน และเซลล์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

5.4.3 การเตรียมอุปกรณ์ทดสอบ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ทดสอบมีอยู่ด้วยกัน 2 รุ่น คือ

1) รุ่น BPTS 1255 HP ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 4 แผง
2) รุ่น US 64 ขนาด 64 วัตต์ จำนวน 2 แผง

(รายละเอียดและคุณสมบัติต่าง ๆ สามารถดูได้จากภาคผนวกที่ ข) โหลดภาระที่ใช้ทดสอบเป็นหลอดไฟขนาด 3 วัตต์, 5 วัตต์, 8 วัตต์ และ 10 วัตต์ ที่ระดับแรงดัน 12 โวลท์ เครื่องมือวัดที่ใช้ในการวัดค่ากระแส และแรงดันมีความละเอียดอย่างน้อย 2 จุดทศนิยม รวมทั้งเครื่องมือวัดที่สามารถส่งผ่านข้อมูลการทดสอบไปยังคอมพิวเตอร์ได้โดยอัตโนมัติ

การต่อระบบเพื่อทำการทดลอง

ตอนที่ 1 ไม่พิจารณาผลของโหลดภาระ

กรณีที่ 1 : ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น BPTS 1255 HP ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 4 แผง นำมาต่อร่วมกันทั้งแบบอนุกรมและขนาน โดยใช้จำนวนแผงที่ต่อตั้งแต่ 2 แผง, 3 แผง และ 4 แผงเซลล์ ตามลำดับ

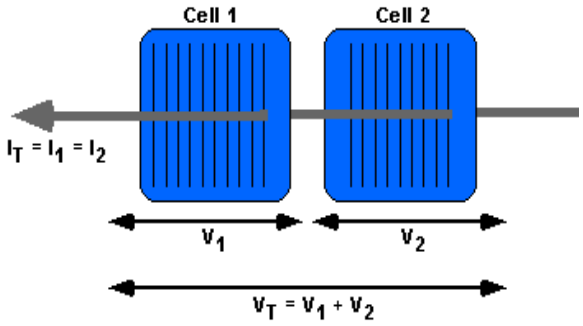
กรณีที่ 2 : ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น US 64 ขนาด 64 วัตต์ จำนวน 2 แผง ต่อร่วมกันทั้งแบบอนุกรม และขนาน

ตอนที่ 2 มีการพิจารณาผลของโหลดภาระค่าต่าง ๆ กัน

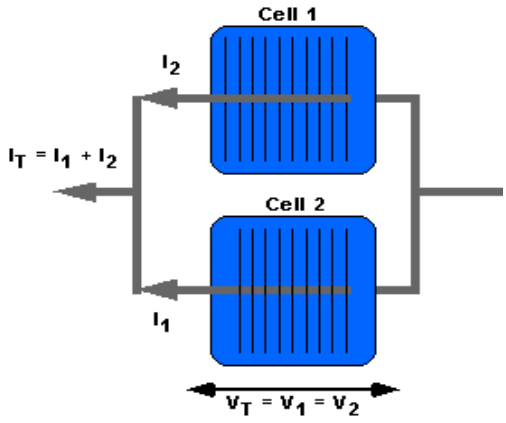
กรณีที่ 1 : ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น BPTS 1255 HP ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 4 แผง โดยนำมาต่อขนานกันจำนวน 2 ชุด ชุดละ 2 แผงเซลล์ โดยมีการจ่ายพลังงานให้แก่โหลดภาระขนาด 3 วัตต์, 5 วัตต์, 8 วัตต์ และ 10 วัตต์ ทำการบันทึกข้อมูลทั้ง 2 ชุด พร้อมกัน

กรณีที่ 2 : ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น US 64 ขนาด 64 วัตต์ จำนวน 2 แผงเซลล์นำมาต่อขนานกัน โดยมีการจ่ายพลังงานให้แก่โหลดภาระขนาด 3 วัตต์

สามารถพิจารณาผลการต่อแผงเซลล์ในแต่ละแบบได้ดังรูปที่ 5.14



(ก)



(ข)

รูปที่ 5.14 ผลการต่อร่วมกันของเซลล์แสงอาทิตย์ ในลักษณะอนุกรม และขนาน
ก) การต่อแบบอนุกรม ข) การต่อแบบขนาน

5.4.4 วิธีทดสอบ

5.4.4.1 หัวข้อการทดสอบ

ตอนที่ 1 ในทั้งสองกรณีจะทำการทดสอบเพื่อพิจารณาพลังงานที่ชุดแผงเซลล์สามารถผลิตได้ โดยไม่คำนึงถึงผลของโหลดภาระ

ตอนที่ 2 ทั้งสองกรณี ทำการทดสอบเพื่อพิจารณาค่าแรงดัน กระแส และพลังงานที่ชุดแผงเซลล์จ่ายให้แก่โหลดภาระค่าต่าง ๆ

5.4.4.2 ลำดับขั้นการทดสอบ

ตอนที่ 1 ในการทดสอบทั้งสองกรณีใช้ทำการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ก่อนหน้านี้ (หัวข้อที่ 5.4.3) จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลและนำไปวิเคราะห์คำนวณ เพื่อนำผลที่ได้มาทำการพิจารณา เปรียบเทียบค่าต่อไป

ตอนที่ 2

กรณีที่ 1 : ทำการต่อแผงเซลล์ในลักษณะขนาน 2 แผงเซลล์ จำนวน 2 ชุด และทำการทดสอบโดยพิจารณาผลของโหลดภาระค่าต่าง ๆ กัน ทั้ง 4 ขนาด คือ 3 วัตต์, 5 วัตต์, 8 วัตต์ และ 10 วัตต์ ซึ่งมีช่วงระยะเวลาที่กำหนดสำหรับการอัดประจุ และปล่อยประจุของแบตเตอรี่ที่แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ระยะเวลาการอัดประจุ และปล่อยประจุที่โหลดภาระค่าต่าง ๆ สำหรับแผงเซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

ขนาดของโหลดภาระ (วัตต์)	ระยะเวลาในการอัดประจุ (ชั่วโมง)	ระยะเวลาในการปล่อยประจุ (ชั่วโมง)
3	1	1
5	1	1
8	1	1
10	2	1

กรณีที่ 2 : ต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น US 64 ขนานกัน 2 แผง แล้วทำการทดสอบชุดแผงเซลล์กับโหลดภาระขนาด 3 วัตต์ โดยกำหนดให้มีระยะเวลาในการอัดประจุ 3 ชั่วโมง และระยะเวลาในการปล่อยประจุ 1 ชั่วโมง

5.4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการทดลองในตอนที่ 1 ทั้งสองกรณีจะนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกค่ามาการวิเคราะห์ข้อมูล ตามวิธีการที่ได้นำเสนอไว้ในตอนต้น (ข้อมูลในบทที่ 4 หัวข้อ 4.3) โดยไม่คำนึงถึงผลของโหลดภาระ

ส่วนในการทดลองตอนที่ 2 ทั้งสองกรณี จะได้นำข้อมูลจากการทดสอบทั้งสองกรณีมาทำการวิเคราะห์คำนวณเพื่อเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์ที่ได้ ทั้งรูปแบบที่มีการบันทึกค่าอัตโนมัติ และรูปแบบการวิเคราะห์ด้วยวิธีการที่นำเสนอ เหมือนกับหัวข้อการทดลอง ที่ 5.2.5 ข้างต้น

5.4.6 ผลการทดลอง

<u>ตอนที่ 1</u> ไม่พิจารณาผลของโหลดภาระ

กรณีที่ 1 : ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น BPTS 1255 HP เป็นเซลล์ชนิดผลึกเดี่ยว ขนาด 55 วัตต์ โดยใช้จำนวน 4 แผง มาต่อร่วมกันในลักษณะต่าง ๆ เพื่อเพิ่มพิกัดกำลังของระบบ ซึ่งสามารถแสดงผลลัพธ์การวิเคราะห์ เปรียบเทียบข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า จากผลการต่อร่วมเซลล์ในลักษณะและจำนวนที่ต่างกันได้ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ปริมาณกระแสที่ได้รับจากการต่อร่วมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อร่วมกัน	ลักษณะการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่แรงดัน 12 V (วัตต์)
1	แผงเดี่ยว	7.20
2	ขนาน	16.20
3	ขนาน	25.85
4	ขนาน	31.20
2	อนุกรม	9.60
3	อนุกรม	10.80
4	อนุกรม	10.92

กรณีที่ 2 : การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น US 64 ซึ่งเป็นเซลล์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน ขนาด 64 วัตต์ นำมาต่อร่วมกันในลักษณะต่าง ๆ ตามข้อกำหนดและเงื่อนไขในหัวข้อที่ 5.4.3 แล้วจึงนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลและได้ผลลัพธ์เป็นดังตารางที่ 5.6

<u>ตอนที่ 2</u> เมื่อมีการพิจารณาผลของโหลดภาระค่าต่าง ๆ

กรณีที่ 1 : ทำการต่อร่วมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนขนานกัน 2 แผง แล้วทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ เมื่อมีการพิจารณาผลของโหลดภาระค่าต่าง ๆ โดยมีการกำหนดระยะเวลาในการอัดประจุ และปล่อยประจุของแบตเตอรี่ที่แตกต่างกันตามตารางที่ 5.4 ข้างต้น ซึ่งสามารถแสดงผลลัพธ์จากการวิเคราะห์และคำนวณค่าในการอัดประจุ และปล่อยประจุของแบตเตอรี่ได้ดังตารางที่ 5.7 และตารางที่ 5.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.6 ปริมาณพลังงานที่ได้รับจากการต่อร่วมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อร่วมกัน	ลักษณะการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่แรงดัน 12 V (วัตต์)
1	แผงเดี่ยว	2.08
2	อนุกรม	3.84
2	ขนาน	4.20

ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบผลการอัดประจุ สำหรับแผงเซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

ขนาดของโหลดภาระ (วัตต์)	ผลลัพธ์จากวิธีการที่นำเสนอ		
	แรงดันไฟฟ้า (โวลท์)	ปริมาณกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์ -ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
3	12	1.52	18.24
5	12	1.31	15.72
8	12	1.10	13.21
10	12	2.25	27.05
ขนาดของโหลดภาระ (วัตต์)	ผลลัพธ์จากการทดสอบวัดค่าจริง		
	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (โวลท์)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (แอมแปร์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
3	12.41	1.44	17.85
5	11.98	1.26	15.49
8	12.06	1.04	12.74
10	11.97	1.09	13.39

กรณีที่ 2 : ทำการต่อร่วมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนขนานกัน 2 แผง แล้วทำการทดสอบบันทึกผลโดยพิจารณาการจ่ายโหลดภาระขนาด 3 วัตต์ ที่มีระยะเวลาการอัดประจุ และปล่อยประจุเป็น 3 ชั่วโมง และ 1 ชั่วโมง ตามลำดับ และแสดงผลการวิเคราะห์คำนวณได้ตามตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.8 การเปรียบเทียบผลการปล่อยประจุ สำหรับแผงเซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

ขนาดของโหลดภาระ (วัตต์)	ผลลัพธ์จากวิธีการที่นำเสนอ		
	แรงดันไฟฟ้า (โวลท์)	ปริมาณกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์ -ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
3	12.00	0.24	2.88
5	12.00	0.41	4.92
8	12.00	0.66	7.92
10	12.00	0.83	9.90
ขนาดของโหลดภาระ (วัตต์)	ผลลัพธ์จากการทดสอบวัดค่าจริง		
	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (โวลท์)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (แอมแปร์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
3	11.30	0.20	2.70
5	11.07	0.38	5.32
8	11.46	0.54	6.91
10	11.54	0.75	8.90

ตารางที่ 5.9 ผลการอัดประ จุและปล่อยประจุ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนที่โหลดภาระ 3 วัตต์

สภาวะการทำงาน	เวลาดำเนินการ (ชั่วโมง)	**ผลลัพธ์จากวิธีการที่นำเสนอ**		
		แรงดันไฟฟ้า (โวลท์)	ปริมาณกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์ -ชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
ช่างการอัดประจุแบตเตอรี่	3	12	0.71	8.52
ช่างปล่อยประจุแบตเตอรี่	1	12	0.25	2.99
สภาวะการทำงาน	เวลาดำเนินการ (ชั่วโมง)	**ผลลัพธ์จากการทดสอบวัดค่าจริง**		
		แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย (โวลท์)	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (แอมแปร์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
ช่างการอัดประจุแบตเตอรี่	3	11.32	0.70	7.95
ช่างปล่อยประจุแบตเตอรี่	1	11.02	0.23	2.57

5.4.7 บทวิเคราะห์การทดลอง

สำหรับผลลัพธ์จากการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะและจำนวนต่าง ๆ โดยไม่พิจารณาถึงผลของโหลดภาระ ทั้งสองกรณีสำหรับแผงเซลล์ทั้ง 2 ชนิดพบว่า สัดส่วนการเพิ่มขึ้นของกระแส แรงดัน และ กำลังไฟฟ้าเป็นไปในลักษณะที่เป็นเชิงเส้นต่อเนื่องกันคล้ายคลึงกับผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการปกติ แต่ทั้งนี้อาจจะมีในบางช่วงของการต่อร่วมที่มีผลลัพธ์คลาดเคลื่อนออกไปจากค่าที่ควรจะเป็น อันเนื่องมาจากคุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แต่ละแผงที่มีความแตกต่างกันอยู่บ้างหลังจากใช้งานไประยะหนึ่ง แม้แผงเซลล์นั้นจะเป็นชนิดเดียวกัน มีการทดสอบ และระบุพิกัดมาเท่ากันก็ตาม

ส่วนกรณีการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิดโดยมีการพิจารณาผลของโหลดภาระด้วยนั้นผลที่ได้ระหว่างข้อมูลการวิเคราะห์จากวิธีการที่นำเสนอ กับการวัดข้อมูลจริงจากเครื่องมือวัดค่าแบบอัตโนมัติ ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกันโดยเฉลี่ย 10 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งเกิดจากโหลดภาระหลอดไฟที่นำมาทดสอบ มีการดึงกระแสไฟฟ้าไม่ตรงตามค่าวัตต์ที่ระบุมาจากผลของแรงดันที่ขั่วจ่ายของแบตเตอรี่ และมีจุดน่าสังเกตุว่าในรูปแบบที่การต่อร่วมแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนานกัน และนำไปจ่ายให้แก่โหลดภาระค่าต่าง ๆ ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการรักษาเสถียรภาพทางด้านแรงดันที่ดีกว่าการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงแผงเดียว ทั้งที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความเข้มแสง และสภาวะแวดล้อมไป โดยสามารถพิจารณาผลลัพธ์ดังกล่าวจากทฤษฎีบทที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 2.5 ข้างต้น

5.5 ศึกษาการดึงกำลังสูงสุดด้วยโปรแกรมจำลองระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์

5.5.1 หลักการและเหตุผล

จากวิธีการและประโยชน์ที่จะได้รับจากการที่มีชุดควบคุมจุดกำลังสูงสุด (หัวข้อที่ 2.4) เพื่อให้สามารถใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างเต็มสมรรถนะ และเกิดประโยชน์สูงสุด มีความคุ้มค่าในแง่เศรษฐศาสตร์ อีกทั้งยังเป็นการช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบอีกด้วย ตามข้อมูลที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อที่ 2.4 ข้างต้น ในหัวข้อการทดลองนี้จะนำวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลตามที่ได้นำเสนอไว้ มาทำการวิเคราะห์ระบบเพื่อการศึกษาถึงผลการดึงกำลังสูงสุดด้วยโปรแกรมช่วยจำลองระบบ และนำข้อมูลที่ได้มาทำการแสดงผลเปรียบเทียบค่าเพื่อประโยชน์สำหรับการออกแบบ และพิจารณาเลือกใช้งานรูปแบบที่เหมาะสมและคุ้มค่าต่อไป

จุดเด่นของโปรแกรมจำลองการทำงานของชุดควบคุมจุดกำลังสูงสุด คือ สามารถนำฐานข้อมูลเดิมที่ได้ทำการทดสอบบันทึกผลไว้ มาทำการคิดคำนวณเพิ่มเติมเข้าไปเพื่อดูผลลัพธ์ และตรวจสอบการทำงานได้ก่อนที่จะติดตั้งใช้งานจริง จึงเป็นการสะดวกและคุ้มค่าสำหรับการใช้งานระบบดังกล่าว

5.5.2 ทฤษฎีอ้างอิงและหลักการที่เกี่ยวข้อง

สำหรับวิธีการวิเคราะห์ และคำนวณค่าต่าง ๆ ของการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ณ จุดกำลังสูงสุด รวมทั้งอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ได้มีการกล่าวไว้โดยละเอียดแล้วในหัวข้อก่อนหน้านี้ อันได้แก่

- หัวข้อที่ 2.4 ได้กล่าวถึงหลักการและวิธีการพิจารณาค่าต่าง ๆ เมื่อมีการทำงาน ณ จุดกำลังสูงสุด
- ข้อมูลในบทที่ 3 และ 4 เป็นการนำเสนอวิธีการ และลำดับขั้นตอนในการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบดังกล่าวโดยเฉพาะในหัวข้อที่ 4.3

เงื่อนไขการทดลอง

การจำลองการทำงานของชุดควบคุมการดึงกำลังสูงสุดของแผงเซลล์ จะมีการวิเคราะห์ข้อมูลการทดสอบ ณ ห้องปฏิบัติการภายใต้แสงอาทิตย์จำลอง โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการต่อร่วมกันในลักษณะและขนาดที่ต่างกัน ส่วนการทดสอบภายใต้การรับอาบรังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์ จะทดสอบกับระบบที่มีการปรับมุมเอียงและรูปแบบในการติดตั้งใช้งานที่ต่างกัน เพื่อเป็นการนำเสนอข้อมูลเชิงเปรียบเทียบของทั้งสองสภาวะ

5.5.3 การเตรียมอุปกรณ์ทดสอบ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานจะมี 2 ชนิด คือ

1) รุ่น BPTS 1255 HP ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 4 แผง เป็นเซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

2) รุ่น US 64 ขนาด 64 วัตต์ จำนวน 2 แผง เป็นเซลล์ชนิดเซลล์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

สำหรับเครื่องมือวัด และอุปกรณ์ประกอบการทดลองอื่น ๆ จะใช้แบบเดียวกันกับการทดลองในหัวข้อที่ผ่านมา

การต่อระบบเพื่อทำการทดลอง

<u>ตอนที่ 1</u> การทดลองบันทึกข้อมูลในห้องทดสอบที่สามารถควบคุมผลของปัจจัยต่าง ๆ ได้ โดยทำการทดสอบภายใต้แสงอาทิตย์จำลอง โดยทำการทดสอบภายใต้

กรณีที่ 1 : ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น BPTS 1255 HP ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 4 แผง ต่อร่วมกันแบบขนาน และอนุกรม จำนวน 2 แผง, 3 แผง, และ 4 แผง ตามลำดับ

กรณีที่ 2 : ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น US 64 ขนาด 64 วัตต์ จำนวน 2 แผง ต่อร่วมกันทั้งแบบขนานและอนุกรม

<u>ตอนที่ 2</u> การทดลองบันทึกข้อมูลภายใต้การรับอาบรังสีจากดวงอาทิตย์ สำหรับการทดลองในหัวนี้จะใช้เซลล์แสงอาทิตย์ รุ่น BPTS 1255 HP ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 4 แผง ทำการติดตั้งแผงเซลล์แต่ละแผงที่มีมุมเอียง และรูปแบบการติดตั้งใช้งานที่แตกต่างกัน 4 ลักษณะโดยสามารถดูรายละเอียดต่าง ๆ ได้จากหัวข้อการทดลองที่ 5.3 ข้างต้น

5.5.4 วิธีทดสอบ

5.5.4.1 หัวข้อการทดสอบ

<u>ตอนที่ 1</u> ทั้งสองกรณีของการทดสอบจะทำภายใต้แสงอาทิตย์จำลองที่สามารถควบคุมปัจจัยต่าง ๆ ได้ โดยจะศึกษาถึงผลของการดึงพลังงานสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการนำมาต่อร่วมกันในลักษณะและจำนวนที่ต่างกัน และใช้ข้อมูลการทดลองจากแผงเซลล์ทั้งสองชนิด

<u>ตอนที่ 2</u> ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาผลการดึงกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรูปแบบในการติดตั้งที่แตกต่างกัน ภายใต้การรับอาบรังสีจากดวงอาทิตย์

5.5.4.2 ลำดับขั้นการทดสอบ

<u>ตอนที่ 1</u> การทดลองสองกรณีจะใช้ระบบฐานข้อมูลจากการทดสอบบันทึกค่าเช่นเดียวกับหัวข้อการทดลองที่ 5.4 (ตอนที่ 1) มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลตามวิธีการและลำดับขั้นตอนที่ได้นำเสนอไว้ใน บทที่ 3 และ 4 เพื่อศึกษาการใช้งานและวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า

<u>ตอนที่ 2</u> สำหรับการทดลองในหัวข้อนี้จะใช้ระบบฐานข้อมูลการทดสอบ เช่นเดียวกับหัวข้อการทดลองที่ 5.3 มาทำการศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบกับข้อมูลผลการทดลองเดิม ที่ไม่มีการพิจารณาผลของการดึงกำลังสูงสุด

5.5.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ในตอนที่ 1 จะนำข้อมูลจากฐานข้อมูลที่ทำการทดสอบไว้มาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการตามที่ได้เสนอไว้ในบทที่ 4 (หัวข้อที่ 4.3) จากนั้นนำผลที่ได้มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่ากับข้อมูลจากการทดลองในหัวข้อที่ 5.4 (ตอนที่ 1) ซึ่งเป็นข้อมูลในกรณีที่ไม่พิจารณาผลของการทำงานที่จุดกำลังสูงสุด

ส่วนในตอนที่ 2 จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละรูปแบบจะผลิตออกมาโดยทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ในแต่ละรูปแบบ เช่นเดียวกับการทดลองในหัวข้อที่ 5.3

5.5.6 ผลการทดลอง

<u>ตอนที่ 1</u> การทดลองภายใต้ระบบแสงอาทิตย์จำลอง

กรณีที่ 1 : เป็นการศึกษาผลของการทำงาน ณ จุดกำลังสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ขนาน 55 วัตต์ จำนวน 4 แผง ที่มีการต่อร่วมกันในลักษณะต่าง ๆ และนำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบค่ากับข้อมูลในกรณีที่ไม่ได้พิจารณาการทำงานที่จุดกำลังสุงสุด โดยเสนอผลการเปรียบเทียบค่าไว้ในตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ได้รับ ณ จุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อร่วมกัน	ลักษณะการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์	กำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังสูงสุด (วัตต์)
1	แผงเดี่ยว	8.51
2	ขนาน	16.62
3	ขนาน	25.86
4	ขนาน	34.09
2	อนุกรม	17.68
3	อนุกรม	23.33
4	อนุกรม	34.03

กรณีที่ 2 : เป็นการศึกษาเปรียบเทียบค่าจากผลการทำงาน ณ จุดกำลังสูงสุด ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอนขนาด 64 วัตต์ จำนวน 2 แผง ที่มีการต่อกันแบบขนานและอนุกรมและแสดงผลลัพธ์การเปรียบเทียบไว้ในตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ได้รับ ณ จุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาต่อร่วมกัน	ลักษณะการต่อร่วมเซลล์แสงอาทิตย์	กำลังไฟฟ้าที่จุดกำลังสูงสุด (วัตต์)
1	แผงเดี่ยว	2.40
2	อนุกรม	4.24
2	ขนาน	4.26

<u>ตอนที่ 2</u> ผลการทดลองในหัวข้อนี้ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 5.12 ซึ่งเป็นการศึกษาเปรียบเทียบค่าของการทำงาน ณ. จุดกำลังสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ขนาด 55 วัตต์ จำนวน 4 แผง ที่มีการปรับมุมเอียง และรูปแบบในการติดตั้งแตกต่างกัน 4 ลักษณะ โดยทำการทดสอบการรับอาบรังสีภายใต้ดวงอาทิตย์ทั้ง 4 รูปแบบ (ดูรายละเอียดของแต่ละรูปแบบการติดตั้งได้จากหัวข้อที่ 5.3)

ตารางที่ 5.12 การเปรียบเทียบผลการดึงพลังงานสูงสุดกับวิธีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบต่าง ๆ

เลขวัน (N)	ปริมาณพลังงานที่จุดกำลังสูงสุดของเซลล์แสงอาทิตย์ (Wh)			
	รูปแบบที่ 1 ระนาบแบบตายตัว	รูปแบบที่ 2 ติดตั้งตายตัวและปรับมุมเอียงตามตำแหน่งละติจูด	รูปแบบที่ 3 ปรับมุมตามการคำนวณมุมเอียงที่เหมาะสม	รูปแบบที่ 4 มีการติดตามดวงอาทิตย์แบบ 2 แกน
9	194.64	200.88	234.00	249.84
19	150.00	168.12	187.44	205.68
46	206.40	224.04	265.80	290.52
81	232.80	198.00	243.72	278.04
115	173.40	158.88	205.68	231.00
140	240.72	184.56	216.84	258.72
172	194.76	149.64	210.48	240.60
192	153.00	* 89.28	193.44	229.32
229	187.20	162.60	188.16	230.76
239	166.44	124.44	205.92	234.48
263	175.44	146.04	165.96	181.92
296	125.04	174.36	210.60	254.28
321	194.52	221.04	244.80	273.96
355	143.16	170.64	187.32	199.20

หมายเหตุ : N คือ เลขวันในรอบปี

* เป็นการแสดงค่าผลลัพธ์ ในช่วงเวลาที่ตำแหน่งปรากฏของดวงอาทิตย์อยู่เยื้องไปทางทิศเหนือค่อนข้างมาก ประกอบกับเป็นช่วงฤดูฝนที่มีเมฆมาก จึงส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ปรับมุมเอียงของแผงให้หันไปทางทิศใต้จ่ายพลังงานออกมาได้น้อยกว่ารูปแบบอื่น

5.5.7 บทวิเคราะห์การทดลอง

จากการศึกษาผลการทำงาน ณ จุดกำลังสูงสุด ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่มีการต่อร่วมกันในลักษณะและจำนวนที่ต่างกัน ค่าพลังงานที่แผงเซลล์สามารถผลิตได้จะสูงกว่าโดยเฉลี่ย 10 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่พิจารณาผลการทำงาน ณ จุดกำลังสูงสุดก่อนหน้านี้

ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่พิจารณาการทำงาน ณ จุดกำลังสูงสุด จะมีค่าสูงกว่าโดยเฉลี่ย 8 เปอร์เซ็นต์

สำหรับการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถผลิตออกมาได้ เมื่อมีการใช้งาน ณ จุดกำลังสูงสุด กับการติดตั้งใช้งานในลักษณะที่ไม่มีการควบคุมจุดกำลังสูงสุด โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีรูปแบบของการติดตั้งใช้งานที่แตกต่างกันพบว่า การดำเนินการที่จุดกำลังสูงสุดจะให้ผลลัพธ์ของผลลัพธ์ของพลังงานที่สูงกว่ากรณีที่ไม่มีการพิจารณาจุดกำลังสูงสุดร่วมด้วย โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยที่สูงกว่าสำหรับแต่ละรูปแบบ เป็นดังนี้

- รูปแบบที่ 1 สูงกว่า 5.27 เปอร์เซ็นต์
- รูปแบบที่ 2 สูงกว่า 8.32 เปอร์เซ็นต์
- รูปแบบที่ 3 สูงกว่า 11.0 เปอร์เซ็นต์

และ - รูปแบบที่ 4 สูงกว่า 9.41 เปอร์เซ็นต์

จากผลดังกล่าวทำให้สามารถพิจารณาตัดสินใจเลือกใช้งานควบคุมการดึงกำลังสูงสุดสำหรับแต่ละกรณีตัวอย่างที่ยกมาได้ตามความเหมาะสมทั้งทางด้านพลังงานที่ได้รับ และผลของความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แต่ทั้งนี้ข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้นำเสนอไว้ ยังมิได้มีการพิจารณาผลอันเนื่องจากค่าการสูญเสียต่าง ๆ อันจะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ภายในชุดควบคุมการดึงกำลังสูงสุด ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องเหมาะสมควรได้มีการศึกษาและพิจารณาผลของการสูญเสียดังกล่าว เพื่อประกอบการพิจารณาตัดสินใจร่วมด้วย

5.6 กรณีศึกษาการจ่ายพลังงานของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์เพื่อใช้งานกับระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ (ส่วนที่ 2 : การทดสอบระบบจริง)

5.6.1 หลักการและเหตุผล

ในหัวข้อการทดลองนี้จะกล่าวถึงการประยุกต์ใช้งานของวิธีการที่ได้นำเสนอ กับโหลดภาระที่มีการใช้งานจริงโดยมีระยะเวลาการใช้งานต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง เพื่อดูผลลัพธ์ของการวิเคราะห์ และเปรียบเทียบกับการทดสอบวัดจากข้อมูลจริง ในที่นี้ได้ทำการเลือกโหลดภาระที่ทำการทดสอบเป็นระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ (Cathodic Protection) ทั้งนี้เพราะระบบดังกล่าวมีความสอดคล้องกับเงื่อนไขการใช้งานของวิธีการที่ได้นำเสนอไว้ในตอนต้น คือ เป็นระบบที่มีการใช้พลังงานตลอด 24 ชั่วโมง อีกทั้งระบบดังกล่าวยังต้องการความน่าเชื่อถือของระบบที่สูง ด้วยเหตุที่ว่าถ้าระบบดังกล่าวมีการขาดความต่อเนื่องของพลังงานไฟฟ้าไปในบางช่วงเวลาจะส่งผลให้ท่อโลหะที่ต้องการป้องกันเกิดปฏิกิริยาที่ไม่สมดุล[35] ซึ่งจะทำให้ท่อโลหะเกิดการผุกร่อนและเป็นสนิมได้ วิธีการที่ได้นำเสนอไว้จึงมีความเหมาะสมสำหรับการพิจารณาระบบดังกล่าว

5.6.2 ทฤษฎีอ้างอิง และหลักการที่เกี่ยวข้อง

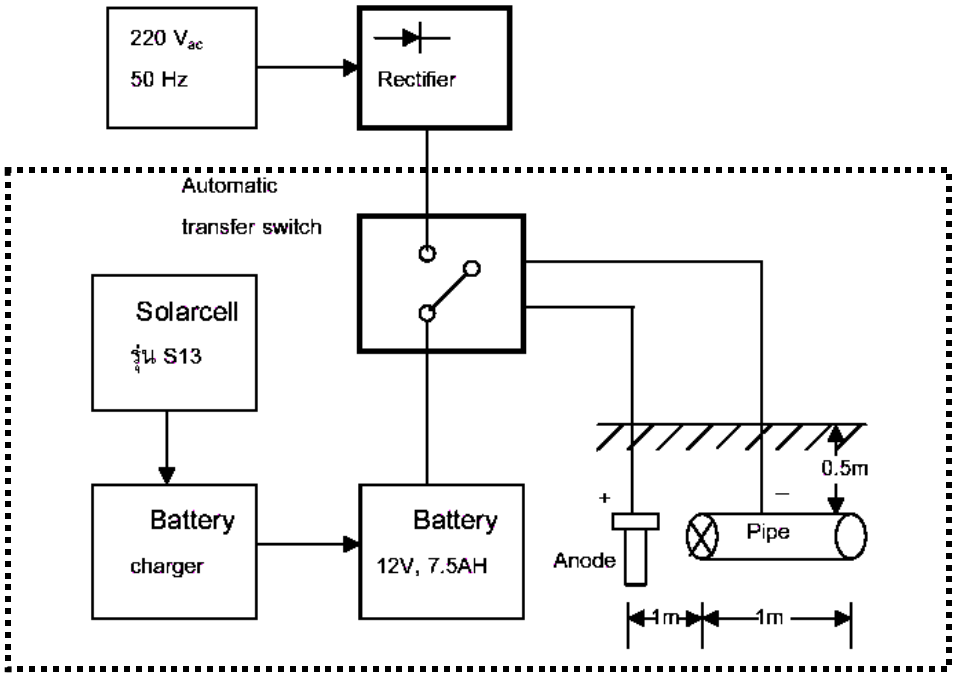
สำหรับหลักการในการออกแบบ และวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ ของชุดป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะด้วยระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ สามารถแสดงได้ดังนี้

- หัวข้อที่ 4.4 ซึ่งได้กล่าวถึงวิธีการพิจารณาและออกแบบระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ
- หัวข้อในบทที่ 3 และบทที่ 4 ได้กล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์ระบบ ตามแนวทางที่ได้นำเสนอ

โดยรูปที่ 5.15ได้แสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะแบบ Impressed Current ที่ใช้ในหัวข้อการทดลองนี้

เงื่อนไขการออกแบบ

ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยแบตเตอรี่และอุปกรณ์ควบคุมต่าง ๆ จะเป็นชุดแหล่งจ่ายหลักที่จะป้อนพลังงานให้แก่ระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ โดยมีระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าเป็นแหล่งจ่ายสำรอง ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์มีการชำรุดเสียหายจนไม่สามารถจ่ายพลังงานได้อีก[36] ทั้งนี้เนื่องจากข้อกำหนดของระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะที่จะต้องมีแหล่งจ่ายพลังงานจากภายนอกป้อนให้กับระบบอยู่ตลอดเวลา มิฉะนั้นท่อโลหะจะเกิดการผุกร่อนและเป็นสนิมขึ้นได้



รูปที่ 5.15 องค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะแบบ Impressed Current

5.6.3 การเตรียมอุปกรณ์ทดสอบ

อุปกรณ์ประกอบการทดลองสำหรับระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะทั้งในส่วนของชุดแหล่งจ่ายพลังงาน และโหลดภาระมีดังต่อไปนี้

1) ชุดโหลดภาระมีรายละเอียดดังนี้

- ท่อโลหะมีลักษณะดังรูป 5.16
  - ท่อโลหะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว
  - ท่อมีความยาว 1 เมตร
  - ต้องการฝังลึกจากพื้นดิน 0.5 เมตร

รูปที่ 5.16 ท่อโลหะที่ใช้ทดสอบการป้องกันการผุกร่อนแบบ Impressed Current

เมื่อนำมาคำนวณความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโหลดภาระจะได้ผลลัพธ์ดังนี้ ระดับแรงดันใช้งานที่ 12 โวลท์ ความต้องการกระแส 43 มิลลิแอมแปร์ ต้องการพลังงานตลอด 24 ชั่วโมง

- ชุดแอโนดที่ใช้กับระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ (ดังรูปที่ 5.17)
  - เป็นโลหะชนิดแมกนีเซียม
  - น้ำหนัก 0.8 กิโลกรัม
  - จำนวน 1 แท่ง

รูปที่ 5.17 แอโนดชนิดแมกนีเซียมที่ใช้กับชุดป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะแบบ Impressed Current

2) ชุดแหล่งจ่ายพลังงาน

- แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ดังรูปที่ 5.18)

  แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นเซลล์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน
  - ขนาดพิกัดกำลัง 13.59 วัตต์
  - แรงดันไฟฟ้าปกติ 16.45 โวลท์
  - แรงดันไฟฟ้าเมื่อเปิดวงจร 21.46 โวลท์
  - กระแสไฟฟ้าปกติ 0.83 แอมแปร์
  - กระแสไฟฟ้าเมื่อลัดวงจร 0.92 แอมแปร์

รูปที่ 5.18 เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กับชุดป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะแบบ Impressed Current

- แบตเตอรี่ เป็นแบบตะกั่วกรดชนิดปิดผนึก มีขนาดความจุ 7.5 แอมแปร์ – ชั่วโมง แรงดันใช้งาน 12 โวลท์
- ชุดควบคุมการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ เป็นชุดควบคุมการประจุของแบตเตอรี่ที่มีการป้องกันการอัดประจุเกิน และป้องกันกระแสที่ย้อนกลับจากระบบได้
- สวิทย์ถ่ายโอนอัตโนมัติเป็นอุปกรณ์ที่คอยควบคุมการทำงานระหว่าง ชุดแหล่งจ่ายของระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กับ ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า ในกรณีที่ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ไม่สามารถใช้งานได้ เพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพของระบบและป้องกันความเสียหายอันจะเกิดขึ้นกับโหลดภาระ
- ระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้า (ชุดจ่ายกำลังสำรอง) เป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับที่แรงดัน 220 โวลท์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ จ่ายผ่านชุดแปลงผันไฟตรง (Rectifier) ให้ได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรงที่ระดับแรงดัน 12 โวลท์ เพื่อจ่ายให้แก่โหลดภาระต่อไป

การต่อระบบเพื่อทำการทดลอง

นำอุปกรณ์ต่าง ๆ มาต่อร่วมกันดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 5.19 เพื่อทำการติดตั้งและทดสอบใช้งานต่อไป

รูปที่ 5.19 การต่อระบบเพื่อทำการทดสอบใช้งานชุดป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะแบบ Impressed Current

5.6.4 วิธีทดสอบ

5.6.4.1 หัวข้อการทดสอบ

ตอนที่ 1

กรณีที่ 1 : ทดสอบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ก่อนนำไปต่อใช้งานกับระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ

กรณีที่ 2 : ทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

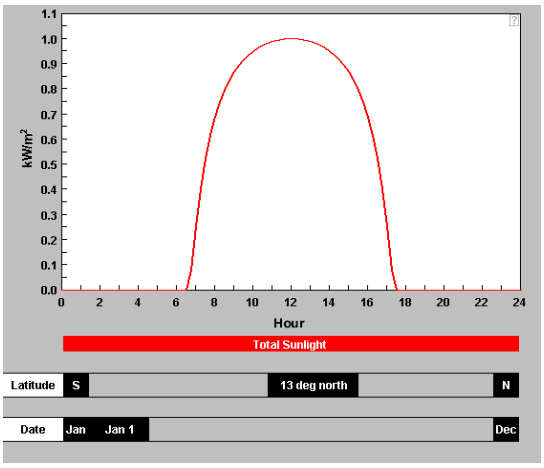
ตอนที่ 2 ทดสอบผลการใช้งานของระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ โดยมีการจำลองสภาวะการขาดพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบการพิจารณาด้วย

5.6.4.2 ลำดับขั้นการทดสอบ

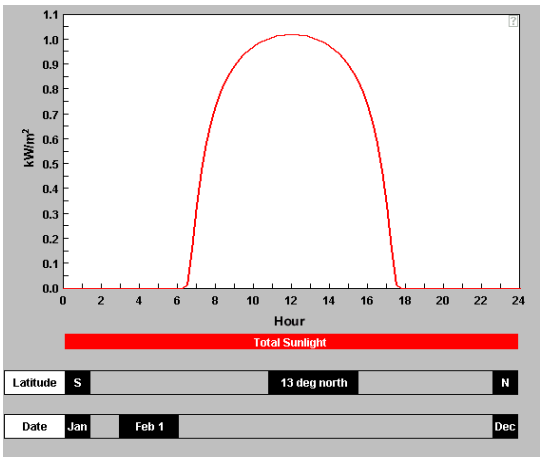
ตอนที่ 1

กรณีที่ 1 : ทำการทดสอบเก็บข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อหาปริมาณพลังงานที่แผงเซลล์สามารถจ่ายออกมาได้ในแต่ละช่วงเวลา โดยพิจารณาร่วมกับปริมาณพลังงานที่ตกกระทบบนพื้นโลก ณ. ตำแหน่งที่ทำการติดตั้งใช้งานดังรูปที่ 5.20 จากนั้นนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีการที่ได้นำเสนอ เพื่อดูปริมาณการจ่ายพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

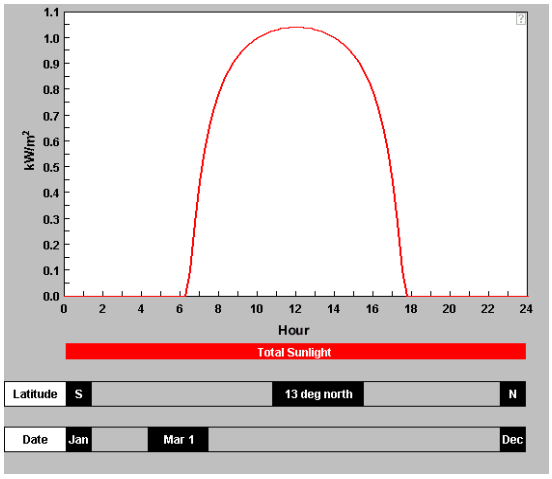
กรณีที่ 2 : ทดสอบการอัดประจุให้กับแบตเตอรี่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบวัดข้อมูลจริงกับวิธีการที่นำเสนอไว้ในบทที่ 3 และ 4



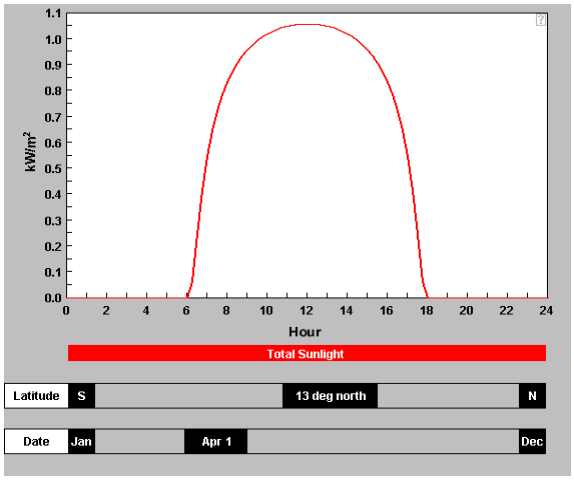
5.20 (ก)



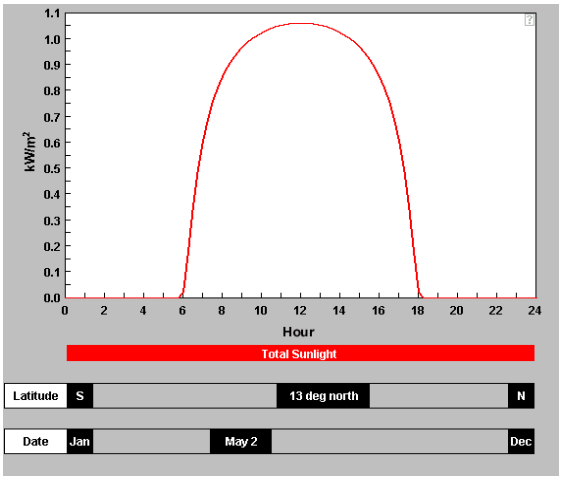
5.20 (ข)



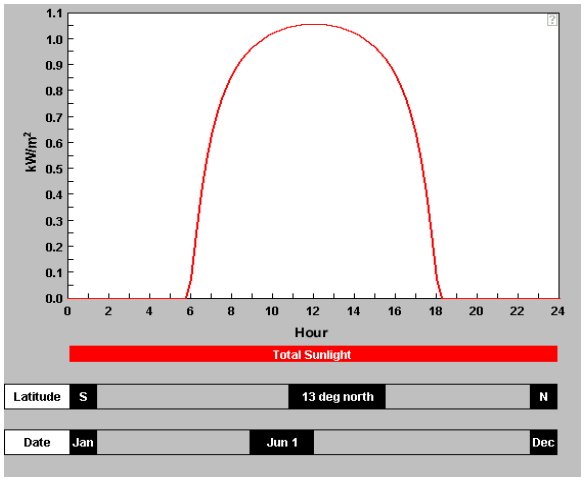
5.20 (ค)



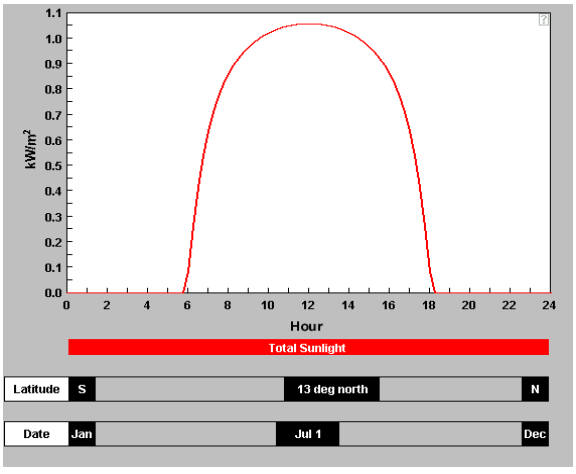
5.20 (ง)



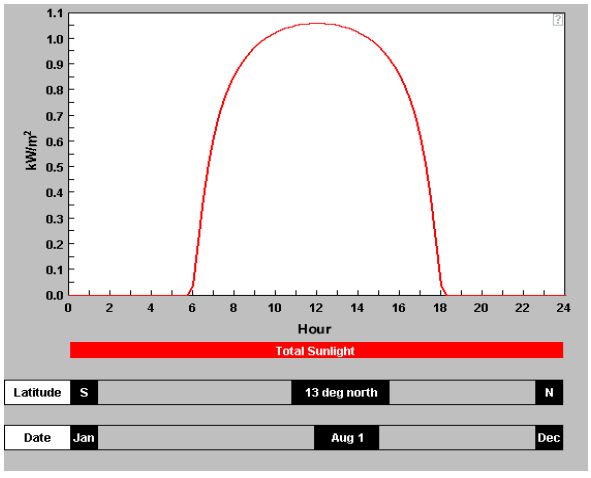
5.20 (จ)



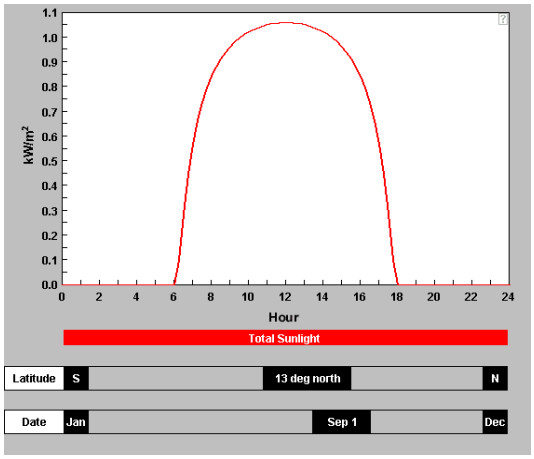
5.20 (ฉ)



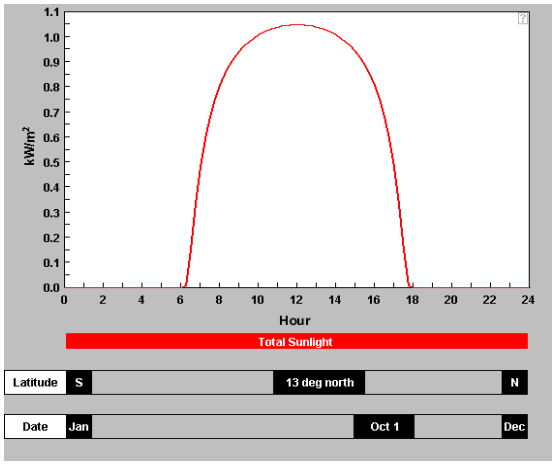
5.20 (ช)



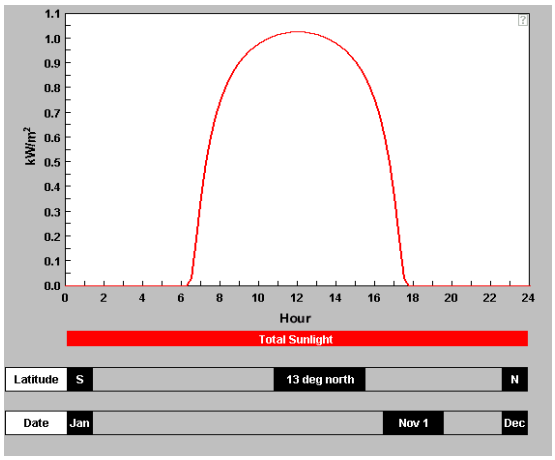
5.20 (ซ)



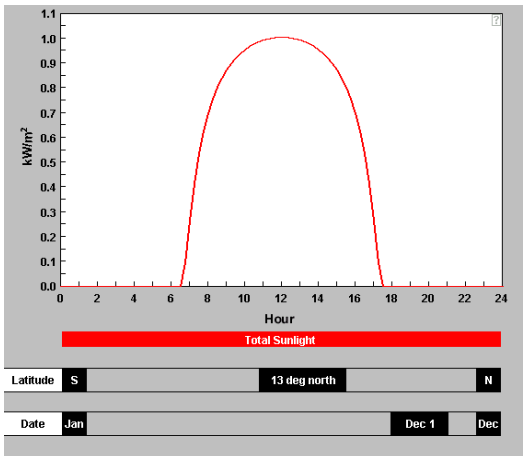
5.20 (ฌ)



5.20 (ญ)



5.20 (ฎ)



5.20 (ฎ)

รูปที่ 5.20 ปริมาณพลังงานเฉลี่ยที่ตกกระทบบนพื้นโลก ของแต่ละช่วงเวลาในรอบ 1 ปี ณ. ตำแหน่งละติจูดที่ 13 องศาเหนือ

ก) มกราคม ข) กุมภาพันธ์ ค) มีนาคม ง) เมษายน
จ) พฤษภาคม ฉ) มิถุนายน ช) กรกฎาคม ซ) สิงหาคม
ฌ) กันยายน ญ) ตุลาคม ฎ) พฤศจิกายน ฏ) ธันวาคม

<u>ตอนที่ 2</u> ทดสอบผลการใช้งานของระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะในระยะยาว โดยมีการจำลองการจ่ายโหลดเป็นเวลา 7 วัน และจำลองสภาวะการขาดพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อีก 5 วัน จากนั้นทำการทดสอบวัดค่าผลการป้องกันการผุกร่อน ตามมาตรฐาน NACE Standard RP 0169 – 92 เพื่อดูความสามารถในการป้องกันระบบตามเงื่อนไขที่กำหนดภายใต้สภาวะการใช้งานต่าง ๆ

5.6.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ตอนที่ 1

กรณีที่ 1 : ทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการที่นำเสนอตามหัวข้อที่ 4.3

กรณีที่ 2 : วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดสอบวัดจริง กับวิธีการจำลองการทำงานของระบบจากโปรแกรมที่จัดสร้างขึ้น

ตอนที่ 2 ทดสอบการใช้งานของทั้งระบบเพื่อดูสมรรถนะ และความมีเสถียรภาพของระบบ โดยทำการเก็บบันทึกข้อมูลในสภาวะการใช้งานต่าง ๆ ที่กล่าวไว้ในตอนต้น และวัดผลการป้องกันโดยอ้างอิงตามที่ข้อกำหนดของมาตรฐาน NACE Standard RP 0169 – 92 ระบุไว้

โดยมาตรฐาน NACE (National Association of Corrosion Engineer)หมายเลขที่ RP-0169-92 ได้กำหนดค่า และวิธีการตรวจสอบผลการป้องกันการผุกร่อนของที่โลหะไว้ดังนี้

1. ค่าความต่างศักย์ (Potential) เป็นลบมากกว่า 850 มิลลิโวลท์ เมื่อทำการวัดผ่านสารละลายทางไฟฟ้า (Electrolyte) เทียบกับ คอปเปอร์/คอปเปอร์ซัลเฟต ($Cu/CuSo_4$) โดยไม่รวมค่าความต่างศักย์ตกคร่อมต่างๆที่เกิดขึ้น (IR Drops) ทำการวัดโดยปิดระบบแบบทันทีทันใด (Instant off)

2. ค่าความต่างศักย์ (Potential) เป็นลบได้มากกว่า 850 มิลลิโวลท์ เมื่อเทียบกับ คอปเปอร์/คอปเปอร์ซัลเฟต($Cu/CuSo_4$) ในสภาวะเปิดระบบทันทีทันใด (Instant on)

3.ค่าความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ (Polarization) ระหว่างปิดระบบทันทีทันใด (Instant off) กับค่าความต่างศักย์ธรรมชาติ (Natural Potential) ต้องไม่น้อยกว่า 100 มิลลิโวลท์

5.6.6 ผลการทดลอง

ตอนที่ 1

กรณีที่ 1 : ผลการทดสอบเก็บข้อมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาล เพื่อวิเคราะห์ถึงปริมาณพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ ด้วยวิธีการที่นำเสนอ โดยแสดงไว้ในตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ข้อมูลพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ในแต่ละฤดูกาล

เลขวัน (N)	ปริมาณกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ใน 1 วัน (Ah)
9	3.99
46	4.27
81	3.97
115	3.26
140	4.12
172	3.87
192	3.06
229	3.49
263	2.92
296	3.39
321	3.76
355	3.93

หมายเหตุ :*N* คือ เลขวันในรอบปี

กรณีที่ 2 : ผลทดลองเพื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณความจุกระแส ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อัดประจุให้แก่แบตเตอรี่ มีดังนี้

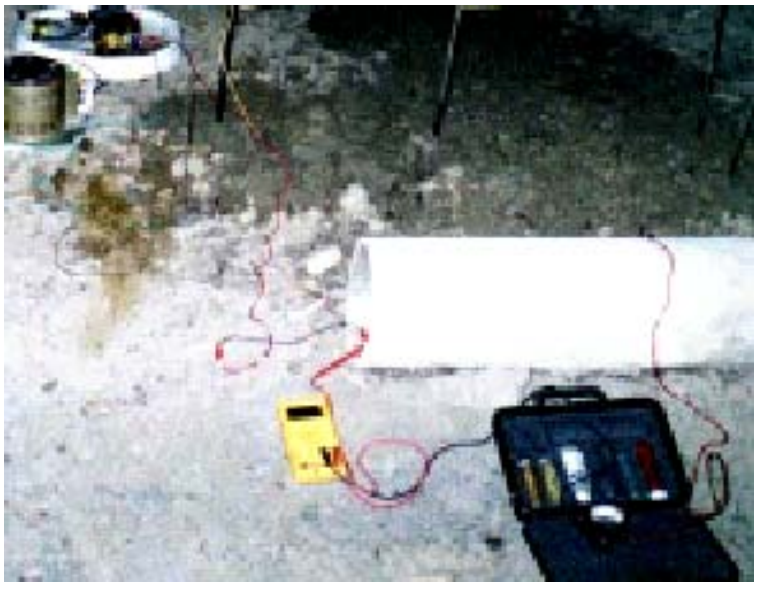
- การคำนวณด้วยวิธีดุลพลังงานได้ผลลัพธ์เป็น 4.15 แอมป์-ชั่วโมง
- การคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอได้ผลลัพธ์เป็น 3.05 แอมป์-ชั่วโมง
- ปริมาณความจุกระแสจากการวัดข้อมูลจริงได้เท่ากับ 2.84 แอมป์-ชั่วโมง

<u>ตอนที่ 2</u> ผลการทดสอบระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะในการติดตั้งใช้งานจริง โดยมีอุปกรณ์ของระบบ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานกับระบบแสดงได้ดังรูปที่ 5.15 และรูปที่ 5.18 ตามลำดับ เมื่อทำการติดตั้งใช้งานแล้วจะมีการจำลองสภาวะการทำงานในกรณีที่ระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ไม่สามารถจ่ายพลังงานให้แก่โหลดภาระได้ โดยทดลองจ่ายโหลดภาระและอัดประจุให้แบตเตอรี่เป็นเวลา 7 วัน ดังข้อมูลในตารางที่ ผ 5.1.2 จากนั้นจำลองสภาวะการขาดพลังงานของระบบเพื่อดูผลการทำงานของระบบเป็นระยะเวลา 5 วัน ข้อมูลสำหรับการทดลองส่วนนี้ได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก จ. (ข้อมูลในตารางที่ ผ 5.1.3) เมื่อทำการวัดผลการป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะตามมาตรฐานการวัดของ NACE Standard RP 0169 – 92 ทั้งตอนเริ่มติดตั้ง และ

หลังจากทำการตัดตั้งใช้งานไปแล้ว โดยใช้หัววัดที่เป็นแบบ Cu/CuSo $_4$ ดังแสดงในรูปที่ 5.21 และทำการวัดตามขั้นตอนที่ระบุไว้ในมาตรฐาน (ดังรูปที่ 5.15) ซึ่งได้ผลการวัดค่าเป็นค่าตารางที่ 5.14

รูปที่ 5.21 หัววัดแบบ Cu/CuSo $_4$ สำหรับการวัดตรวจสอบผลการใช้งานของป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ

และสามารถแสดงผลของการวัดค่าต่าง ๆ อันได้แก่ แรงดันไฟฟ้าใช้งาน กระแสที่โหลดภาระ และกำลังงานที่ใช้ที่แต่ละเวลา ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการทดสอบระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะได้ดังรูป 5.23 และ 5.24 โดยสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของท่อโลหะที่มีการป้องกันการผุกร่อน กับท่อโลหะที่ไม่มีการป้องกันการป้องกันการผุกร่อนได้ดังรูปที่ 5.25

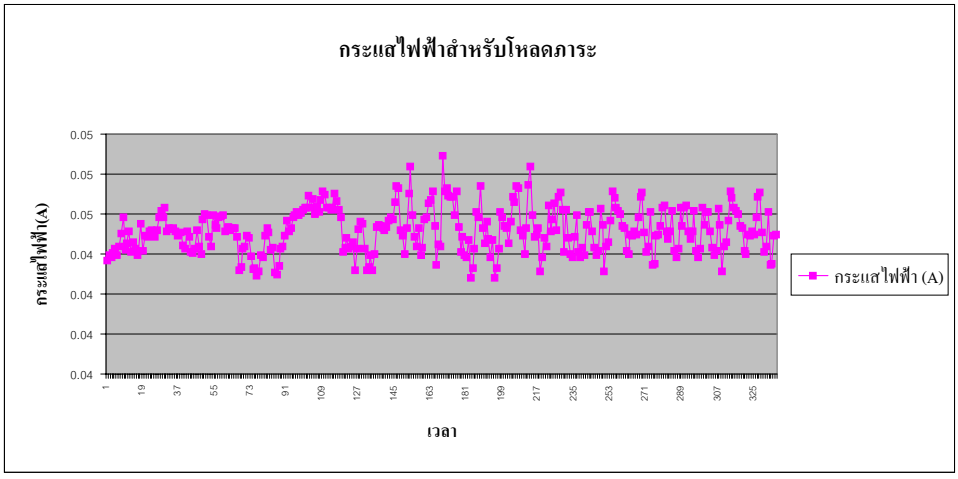


รูปที่ 5.22 การวัดตรวจสอบผลการทำงานของป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะ

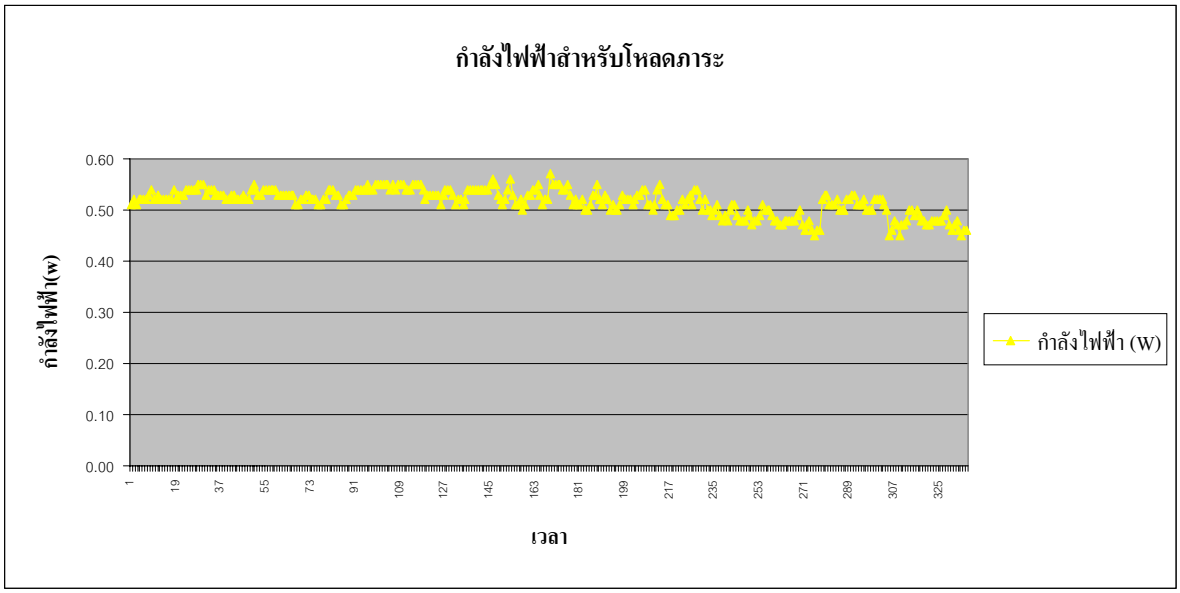
ตารางที่ 5.14 การวัดผลการป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะด้วยหัววัดแบบ Cu/CuSo $_4$

วันที่ทดสอบ	ค่าที่โหลดภาระ		P/S [ON] (V)	P/S [OFF] (V)	P/S[ON] ทันทีทันใด (V)	P/S[OFF] ทันทีทันใด (V)	ผลการตรวจสอบ
	แรงดัน (V)	กระแส (mA)					
1	11.43	44.46	-2.00	-0.43	-1.15	-0.90	มีสภาวะการป้องกันเป็นปกติ
2	11.44	43.32	-1.98	-0.44	-1.17	-0.92	มีสภาวะการป้องกันเป็นปกติ
3	11.41	45.86	-1.98	-0.44	-1.16	-0.87	มีสภาวะการป้องกันเป็นปกติ
4	11.41	43.29	-1.99	-0.42	-1.17	-0.88	มีสภาวะการป้องกันเป็นปกติ
5	11.50	46.32	-1.99	-0.43	-1.15	-0.86	มีสภาวะการป้องกันเป็นปกติ
6	11.52	45.46	-1.97	-0.44	-1.14	-0.89	มีสภาวะการป้องกันเป็นปกติ
7	11.40	43.61	-2.00	-0.42	-1.16	0.88	มีสภาวะการป้องกันเป็นปกติ

5.23 (ก) แรงดันไฟฟ้า

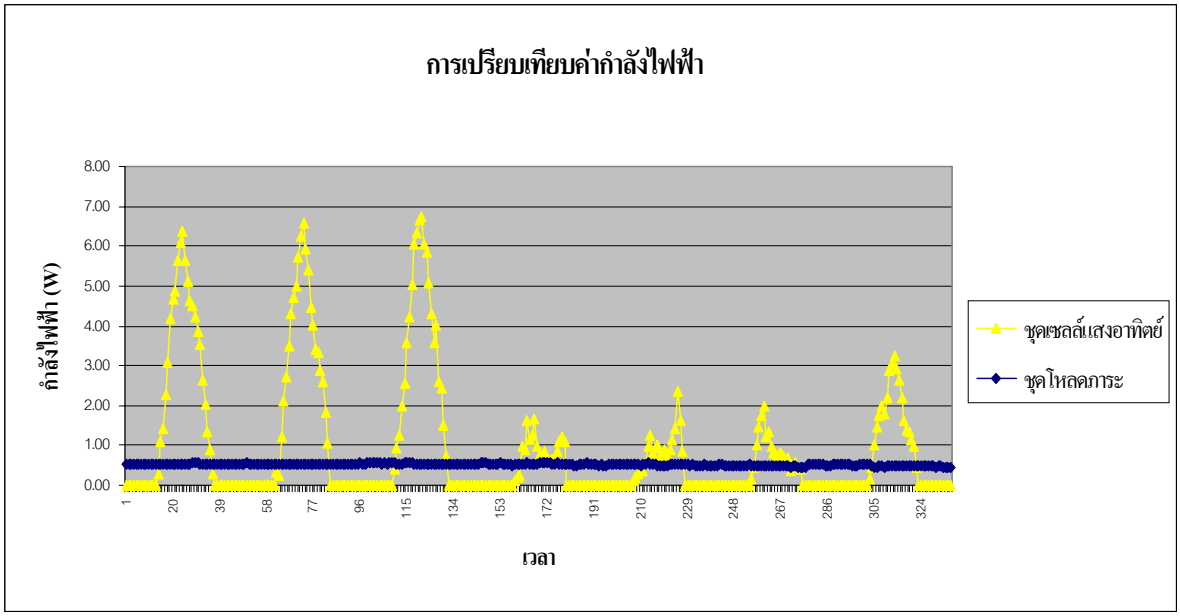


5.23 (ข) กระแสไฟฟ้า

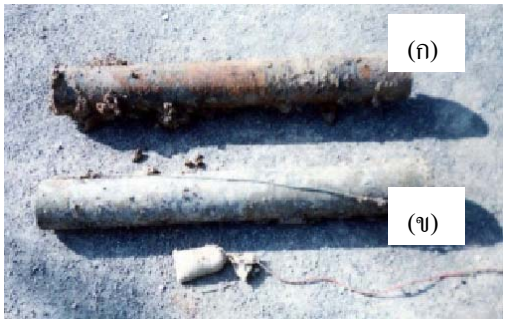


5.23 (ค) กำลังไฟฟ้า

รูปที่ 5.23 ผลการเปรียบเทียบค่าระดับแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่โหลดภาระ
ก) แรงดันไฟฟ้า ข) กระแสไฟฟ้า ค) กำลังไฟฟ้า



รูปที่ 5.24 ผลการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ กับพลังงานไฟฟ้าที่โหลดภาระต้องการ



(ก) ท่อโลหะที่ไม่ได้รับการป้องกันการผุกร่อน

(ข) ท่อโลหะที่ได้รับการป้องกันการผุกร่อน

รูปที่ 5.25 ผลการเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของท่อที่ไม่ได้รับการป้องกันการผุกร่อน กับท่อโลหะที่ได้รับการป้องกันการผุกร่อนแบบ Impressed Current

ก) ท่อโลหะที่ไม่ได้รับการป้องกันการผุกร่อน

ข) ท่อโลหะที่ได้รับการป้องกันการผุกร่อนแบบ Impressed Current

5.6.7 บทวิเคราะห์การทดลอง

จากการวิเคราะห์พร้อมทั้งทดสอบการใช้งานเพื่อพิจารณาถึงความถูกต้องเหมาะสมของวิธีการและอัลกอริทึมมีที่นำเสนอ จะพบว่าให้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องแม่นยำและได้รูปแบบของฟังก์ชันที่มีความเหมาะสมสำหรับการนำมาวิเคราะห์ด้านการจ่ายพลังงานและช่วยในการออกแบบระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ซึ่งจะทำให้ได้ผลของการคำนวณที่มีความถูกต้องและใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริงของระบบมากที่สุด อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ของระบบดังกล่าวอีกด้วย

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอจะมีปริมาณที่แตกต่างโดยประมาณ 26 เปอร์เซ็นต์จากวิธีการคำนวณค่าแบบดุลพลังงานปกติ ที่ใช้ปริมาณกระแสที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้คูณกับระยะเวลาที่แผงเซลล์สามารถผลิตพลังงานได้ใน 1 วัน และให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างจากการวัดทดสอบข้อมูลจริง 7.3 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการพิจารณาขนาดความจุของชุดสะสมพลังงานจะทำให้ได้ขนาดเหมาะสมและเพียงพอที่จะเก็บสะสมพลังงานที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ และนำไปจ่ายให้แก่โหลดภาระได้อย่างต่อเนื่องอีกด้วย

เมื่อทำการติดตั้งใช้งานเพื่อทดสอบระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะแบบ Impressed Current แล้ว ทำการวัดผลการป้องกันตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NACE standard RP 0169-1992 ทั้งก่อน และหลังการติดตั้งใช้งานเป็นเวลา 7 วัน ผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 5.14 ซึ่งแสดงใดยเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน NACE standard RP 0169-1992 ที่กำหนดไว้ และเมื่อพิจารณาลักษณะโครงสร้างของท่อจากผลการเปรียบเทียบระหว่าง ท่อโลหะที่ฝังทดสอบในดินแบบไม่มีการป้องกันการผุกร่อน กับท่อโลหะที่ได้รับการป้องกันการผุกร่อนแบบ Impressed Current แสดงว่าระบบนั้นมีความสมบูรณ์สามารถป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะที่ทำการติดตั้งทดสอบได้ ดังรูปที่ 5.25 แสดงให้เห็นว่าท่อที่ไม่ได้รับการป้องกันจะเกิดการผุกร่อนและเป็นสนิมที่บริเวณผิวของท่อเป็นอย่างมาก จึงเป็นการบ่งถึงคุณสมบัติที่ดีของการใช้ระบบป้องกันการผุกร่อนของท่อโลหะจากวิธีการและขั้นตอนที่ได้แสดงไว้ข้างต้นได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวยังสามารถนำไปประยุกต์เพื่อการป้องกันการผุกร่อนของโครงสร้างเหล็ก หรือวัสดุโลหะอื่นๆ ได้เช่นเดียวกับท่อโลหะ เช่น ระบบฐานรากของโครงสร้างอาคาร หรือเรือเดินสมุทรเป็นต้น