

การทดสอบและประเมินสมรรถนะเบื้องต้น ของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก

Preliminary performance testing and evaluating of the microgrid system

อำนาจ นิมทวี¹ และ นิพนธ์ เกตุจ้อย²

บทคัดย่อ

หลังจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก (Microgrid system) ได้ก่อสร้างแล้วเสร็จและเริ่มทำงานมาได้ประมาณ 3 เดือน ได้มีการทดสอบและประเมินสมรรถนะเบื้องต้นของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยส่วนที่จะทำการทดสอบและประเมินสมรรถนะเบื้องต้นได้แก่ ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ความต้องการไฟฟ้าและการจ่ายไฟฟ้า และคุณภาพกำลังไฟฟ้า โดยวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าที่ PV Inverter จ่ายออก กำลังไฟฟ้าที่ Battery Inverter รับเข้าและจ่ายออก กำลังไฟฟ้าที่รับเข้าและส่งออกไปยังสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ภาระทางไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าในระบบ กระแสไฟฟ้าในระบบ และความถี่ไฟฟ้าในระบบ ผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะเบื้องต้นสรุปได้ดังต่อไปนี้ ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการทำงานของระบบเฉลี่ย 10.70 % สมรรถนะของระบบเฉลี่ย 75.48 % พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 16 % พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 8 % ความต้องการไฟฟ้าในวันทำงานเฉลี่ยต่อวัน 404 kWh/day ความต้องการไฟฟ้าในวันหยุดเฉลี่ยต่อวัน 303 kWh/day พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ PV Inverter จ่ายออก 494 kWh/day พลังงานไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ยใน Battery Inverter 112 kWh/day ความเพี้ยนแรงดันฮาร์มอนิกรวมสูงสุด (Maximum total harmonic distortion voltage, MaxUTHD) 3.99 % ความเพี้ยนกระแสฮาร์มอนิกรวมสูงสุด (Maximum total harmonic distortion current, MaxITHD) 6.9 A ครรชนีไฟกะพริบระยะสั้นสูงสุด (Maximum short-term severity values, MaxPst) 0.96 ครรชนีไฟกะพริบระยะยาวสูงสุด (Maximum long-term severity values, MaxPlt) 0.62

คำสำคัญ ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ความต้องการไฟฟ้า การจ่ายไฟฟ้า คุณภาพกำลังไฟฟ้า

Abstract

After operated for 3 months, the microgrid system is preliminary tested and evaluated in PV generator, power demand and supply, and power quality. The important parameters that measured in the test and evaluation are solar irradiance, PV array voltage, PV array current, PV inverter output, battery inverter input and output, sending and receiving power between microgrid system and PEA grid, load supply power, system voltage, system current, and system frequency. The preliminary

¹นิสิต ปริญญาเอก วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก

testing and evaluating results is presented follow this. The PV generator efficiency in microgrid system is 10.70 %. Performance ratio of the PV generator is 75.48 %. Capture loss of PV generator is about 16 %. System loss of PV generator is about 8 %.

Average energy demand in working day is 404 kWh/day. Average energy demand in day off is 303 kWh/day. PV inverter energy output is 494 kWh/day. Battery Inverter loss is 112 kWh/day. Maximum total harmonic distortion voltage (MaxUTHD) of microgrid system is 3.99 %. Maximum total harmonic distortion current (MaxITHD) of microgrid system is 6.9 A. Maximum short-term severity values (MaxPst) of microgrid system is 0.96. Maximum long-term severity values (MaxPlt) of microgrid system is 0.62.

Keyword Microgrid system PV generator Power demand Power supply Power quality

บทนำ

ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก (Micro Grid System) คือ รูปแบบของโครงข่ายการผลิตกระแสไฟฟ้าแรงต่ำขนาดเล็ก ที่ใช้แหล่งพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่หลากหลาย โดยเฉพาะพลังงานทดแทน และมีแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้ากระจายอยู่ทั่วทั้งโครงข่าย เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในโครงข่ายเป็นหลัก นอกจากนี้ยังสามารถรับกระแสไฟฟ้าจากระบบสายส่งไฟฟ้าของประเทศมาจ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในโครงข่ายในกรณีที่การผลิตกระแสไฟฟ้าในโครงข่ายไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยทั่วไประบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 5 ส่วนดังต่อไปนี้

- 1) ส่วนผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก
- 2) ส่วนเก็บสะสมพลังงาน
- 3) ส่วนควบคุมระบบ
- 4) ส่วนเชื่อมต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

5) ส่วนของภาระทางไฟฟ้า สำหรับโหมดการทำงานของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมีอยู่ 2 โหมดดังต่อไปนี้ 1) โหมดเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้าของประเทศ (Grid connected mode) 2) โหมดแยกตัวเป็นอิสระจากสายส่งไฟฟ้าของประเทศ (Island mode) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กได้ถูกศึกษาและพัฒนาเพื่อนำไปใช้ร่วมกับระบบสายส่งไฟฟ้าในประเทศที่พัฒนาแล้วหลายๆ ประเทศ เช่น ประเทศในทวีปยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และ ออสเตรเลีย เป็นต้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า เสริมสร้างความมั่นคงและความเชื่อถือได้ของโครงข่ายไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้น

นอกจากนี้ยังเป็นการใช้แหล่งพลังงานโดยเฉพาะแหล่งพลังงานทดแทนที่มีอยู่อย่างกระจัดกระจายในโครงข่ายไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับประเทศไทยนั้นได้เริ่มมีการศึกษาและพัฒนา ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยวิทยาลัยพลังงานทดแทน (SERT) มหาวิทยาลัยนครสวรรค์ ได้ร่วมมือกับ New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) แห่งประเทศ ญี่ปุ่น ทำการสร้างระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กในพื้นที่ของ วิทยาลัยพลังงานทดแทน เพื่อใช้ในการศึกษาและพัฒนา ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 5 ส่วน ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) ส่วนผลิตกระแสไฟฟ้า ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Multi-crystalline ขนาด 120 kW, เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (PV Inverter) ขนาด 60 kW จำนวน 2 ชุด, และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล (Diesel

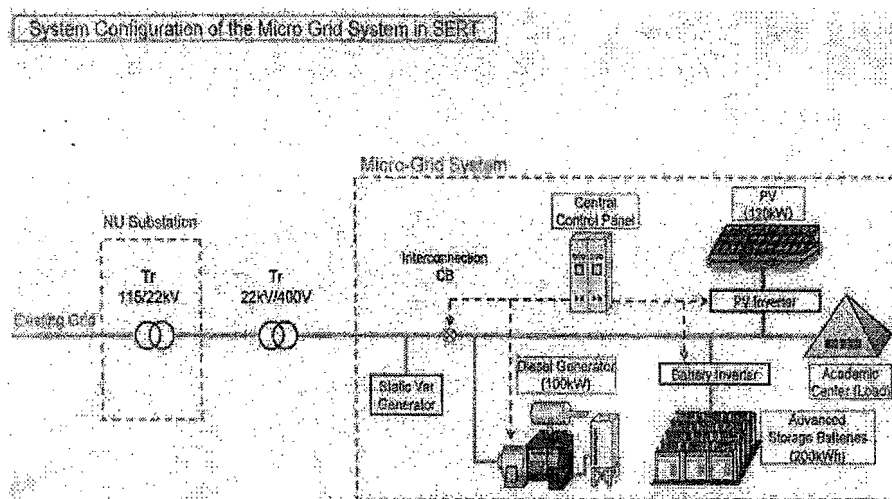
Engine Generator) ขนาด 100 kW

2) ส่วนเก็บสะสมพลังงาน ได้แก่ แบตเตอรี่ ขนาด 200 kWh และ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และประจุแบตเตอรี่ (Battery Inverter) ขนาด 150 kW

3) ส่วนควบคุมระบบ ได้แก่ ส่วนควบคุมกลาง (Central control panel) และ Static var generator

4) ส่วนเชื่อมต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ได้แก่ Switchgear panel

5) ส่วนของภาระทางไฟฟ้า ได้แก่ อาคารศูนย์วิชาการ และ Dummy load สำหรับรูปแบบของสำหรับระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กที่ SERT แสดงอยู่ในรูปที่ 1 หลังจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กได้ก่อสร้างแล้วเสร็จและเริ่มทำงานมาได้ประมาณ 3 เดือน ได้มีการทดสอบและประเมินสมรรถนะเบื้องต้นของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยส่วนที่จะทำการทดสอบและประเมินสมรรถนะเบื้องต้นได้แก่ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ความต้องการไฟฟ้าและการจ่ายไฟฟ้าและคุณภาพกำลังไฟฟ้าซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบและประเมินสมรรถนะเบื้องต้นจะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับแต่งระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กให้สามารถทำงานได้สมบูรณ์มากขึ้นและมีประสิทธิภาพและสมรรถนะสูงโดยมีค่าใช้จ่ายในการทำงานที่ต่ำที่สุดและมีคุณภาพไฟฟ้าผ่านเกณฑ์มาตรฐานข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม (PRC-PQG-01/1998) และข้อกำหนดกฎเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม (PRC-PQG-02/1998)



รูปที่ 1 รูปแบบของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กที่ SERT

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

วิธีการทดสอบและประเมินสมรรถนะเบื้องต้นของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กจะแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามส่วนของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กดังนี้

ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

1) การทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำโดยเลือกโหมดการทำงานของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กให้อยู่ในโหมดเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยที่ส่วนประกอบหลักๆ 5 ส่วนของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กทำงานเป็นปกติ จากนั้นทำการวัดข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสไฟฟ้าของ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และกำลังไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ตลอดเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยใช้ เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ในระบบ ข้อมูลที่ถูกวัดได้จะถูกส่งไปแสดงผลและบันทึกข้อมูลที่หน้าจอแสดงผล (Graphic operation terminal) ที่แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ในส่วนควบคุมกลาง ทุกๆ 7 วัน จะทำการเก็บข้อมูลที่เก็บไว้ที่หน้าจอแสดงผลเพื่อนำไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพ และสมรรถนะของระบบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป โดยการทดสอบครั้งนี้ทำการวัดและบันทึกข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นเวลา 30 วัน ในช่วงเดือน พฤศจิกายน 2551 ถึง มกราคม 2552

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิค โดยอ้างอิงจาก International Energy Agency Photovoltaic Power Systems TASK 2 – Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems (IEA PVPS Task 2) ซึ่งได้กำหนดให้มีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array yield) หาได้จากสมการ

$$Y_A = E_A/P_O \quad (1)$$

Y_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kW_p)

E_A คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)

P_O คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W_p)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference yield) หาได้จากสมการ

$$Y_r = H_i/G_{STC} \quad (2)$$

Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kW_p)

H_i คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m²)

G_{STC} คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ STC = 1 kW/m²

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final yield) หาได้จากสมการ

$$Y_f = E_{PV}/P_O \quad (3)$$

Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kW_p)

E_{PV} คือ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)

$$E_{PV} = E_L/(1 + E_{BU}/E_A) \quad (4)$$

E_L คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงโดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)

E_{BU} คือ พลังงานที่ผลิตได้จากระบบพลังงานเสริม ในกรณีนี้คือ 0 (KWh)

พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture losses) หาได้จากสมการ

$$L_C = Y_r - Y_A \quad (5)$$

L_C คือ พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System losses) หาได้จากสมการ

$$L_S = Y_A - Y_f \quad (6)$$

L_S คือ พลังงานที่สูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance ratio) หาได้จากสมการ

$$PR = Y_f/Y_r \quad (7)$$

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_{pv} = P_{PV} / iA_A \quad (8)$$

$$\eta_A = E_A/H_iA_A \quad (9)$$

η_{pv} คือ ประสิทธิภาพชั่วขณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

η_A คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

P_{PV} คือ กำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kW)

i คือ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (kW/m^2)

A_A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (PV inverter efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_{inv} = P_{inv} / P_{PV} \quad (10)$$

$$\eta_{inve} = E_{PV}/E_A \quad (11)$$

η_{inv} คือ ประสิทธิภาพชั่วขณะของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

η_{inve} คือ ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

P_{inv} คือ กำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าผลิตได้ (kW)

ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์(System efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_{\text{sys}} = P_{\text{inv}} / iA_A \quad (12)$$

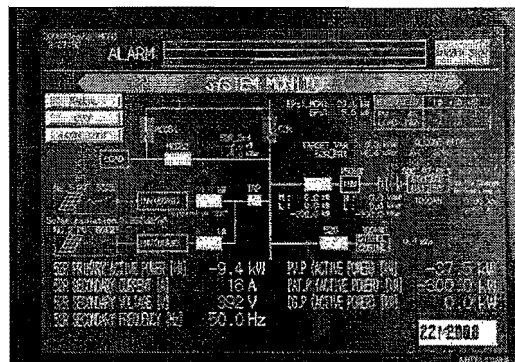
$$\eta_{\text{sysa}} = E_{\text{PV}} / H_i A_A \quad (13)$$

η_{sys} คือ ประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

η_{sysa} คือ ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2) ความต้องการไฟฟ้าและการจ่ายไฟฟ้า

การทดสอบและวิเคราะห์ความต้องการและการจ่ายไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กจะทำโดยเลือกโหมดการทำงานของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กให้อยู่ในโหมดเชื่อมต่อกับสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยที่ส่วนประกอบหลักๆ 5 ส่วนของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กทำงานเป็นปกติ จากนั้นทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ ค่าความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้แก่ภาระทางไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ PV Inverter จ่ายออก กำลังไฟฟ้าที่ Battery Inverter รับเข้าและจ่ายออก และกำลังไฟฟ้าที่รับเข้าและส่งออกไปยังสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยใช้เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ในระบบ ข้อมูลที่ถูกวัดได้จะถูกส่งไปแสดงผล และบันทึกข้อมูลที่หน้าจอแสดงผล (Graphic operation terminal) ที่แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ในส่วนควบคุมกลาง ทุกๆ 7 วัน จะทำ การเก็บข้อมูลที่เก็บไว้ที่หน้าจอแสดงผลเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความต้องการและการจ่ายไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กต่อไป โดยการวิเคราะห์ครั้งนี้ทำการวัดและบันทึกข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นเวลา 30 วัน ในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2551 ถึง มกราคม 2552 ซึ่งเป็นวันทำงาน (Working day) 20 วัน และเป็นวันหยุด (Day-off) 10 วัน



รูปที่ 2 หน้าจอแสดงผล (Graphic operation terminal)

3) คุณภาพกำลังไฟฟ้า

การทดสอบและวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบ โครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กจะทำโดยเลือกโหมดการทำงานของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กให้อยู่ในโหมดเชื่อมต่อกับสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยที่ส่วนประกอบหลักๆ 5 ส่วนของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กทำงานเป็นปกติ จากนั้นทำการวัดค่า พารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และความถี่ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power quality analyzer) สำหรับข้อมูลที่ถูกวัดได้จะถูกแสดงผลและบันทึกข้อมูลที่เครื่องวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าเช่นกันและจะทำการเก็บข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้ไปทำการวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าทุกวันที่ทำการทดสอบ โดยใช้ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและ

อุตสาหกรรมและข้อกำหนดกฎเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการประเมินซึ่งมีหัวข้อการวิเคราะห์คุณภาพกำลังไฟฟ้าที่สำคัญได้แก่ ความเพี้ยนฮาร์มอนิกเฉพาะ (Individual harmonic distortion, IHD) ความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total harmonic distortion, THD) ครรชนีไฟกะพริบระยะสั้น (Short-term severity values, Pst) และครรชนีไฟกะพริบระยะยาว (Long-term severity values, Plt) สำหรับการทำการทดสอบครั้งนี้จะทำการทดสอบเป็นเวลา 2 วัน ซึ่งได้แก่วันที่ 13 และ 23 พฤศจิกายน 2551

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาการทดสอบและประเมินสมรรถนะเบื้องต้นของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กจะแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามส่วนของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กดังต่อไปนี้

1) ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อทำการทดสอบครบ 30 วันตามที่กำหนด จะนำข้อมูลพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ที่ได้ทำการวัดและบันทึกไว้ นั้น ไปทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยข้อมูลพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ที่ได้ทำการวัดและบันทึกขณะทำการทดสอบ ในระยะเวลา 30 วัน ได้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆที่ได้ทำการวัดและบันทึก

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้	หน่วย
1	Solar irradiance	37 - 1003	W/m ²
2	Average solar irradiance	603	W/m ²
3	V _{pmax}	275 - 425	V
4	Average V _{pmax}	341	V
5	I _{pmax}	9 - 279	A
6	Average I _{pmax}	174	A
7	P _{max}	2 - 96	kW
8	Average P _{max}	60.60	kW
9	Total PV inverter output	1 - 89	kW
10	Average total PV inverter output	54.77	kW

เมื่อนำข้อมูลพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆที่ได้ทำการวัดและบันทึกไว้มาทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแบ่งเป็น 4 ส่วนดังนี้

พลังงานรังสีดวงอาทิตย์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ทำการวัดและบันทึกขณะทำการทดสอบสามารถสรุปได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้	หน่วย
1	Daily solar radiation	5.46 - 6.41	kWh/m ² day
2	Average daily solar radiation	6.08	kWh/m ² day
3	Daily PV energy input	4,636 – 5430	kWh/day
4	Average daily PV energy input	6.08	kWh/day

แผงเซลล์แสงอาทิตย์

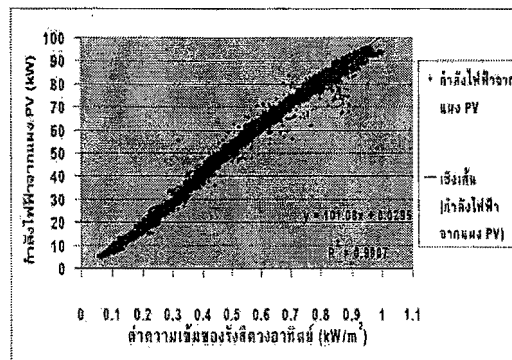
จากการวิเคราะห์ข้อมูลกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการวัดและบันทึกขณะทำการทดสอบสามารถสรุปได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาข้อมูลความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (i) กับข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (P_{max}) ซึ่งถูกทำเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 3 จะพบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรง ดังนั้นจึงสามารถนำความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้มาสร้างเป็นสมการได้คือ $P_{max} = 101.08i + 0.0295$ โดย i มีหน่วยเป็น kW/m² และ P_{max} มีหน่วยเป็น kW นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาข้อมูลความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (i) กับข้อมูลประสิทธิภาพช่วงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (η_{pv}) ซึ่งถูกทำเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 4 จะพบว่ามีสัมพันธ์กันเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถนำความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้มาสร้างเป็นสมการได้คือ $\eta_{pv} = -8.8586i^2 + 11.434i + 8.6145$ โดย i มีหน่วยเป็น kW/m² และ η_{pv} จะอยู่ในรูป %

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

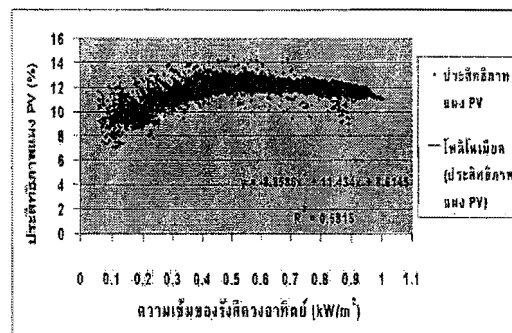
ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้	หน่วย
1	PV energy generation	552 - 644	kWh/day
2	Average PV energy generation	610	kWh/day
3	Daily array Yield	4.60 - 5.37	kWh/kW _p day
4	Average daily array Yield	5.08	kWh/kW _p day
5	Daily reference yield	5.48 – 6.41	kWh/kW _p day
6	Average daily reference yield	6.08	kWh/kW _p day
7	Capture losses	0.83 – 1.17	kWh/kW _p day
8	Average capture losses	1.00	kWh/kW _p day
9	Instantaneous PV efficiency	5.37 - 16.94	%
10	Daily PV efficiency	11.55 - 12.16	%
11	Average daily PV efficiency	11.85	%

เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าผลิตได้ที่ทำการวัดและบันทึก ขณะทำการทดสอบสามารถสรุปได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ตรงที่จ่ายให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า P_{PV} กับกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าผลิตได้ P_{inv} ซึ่งถูกทำเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 5 จะพบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรง ดังนั้นจึงสามารถนำความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้มาสร้างเป็นสมการได้คือ $P_{inv} = 0.9504(P_{PV}) - 2.826$ โดย P_{PV} และ P_{inv} มีหน่วยเป็น kW นอกจากนี้เมื่อพิจารณาข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสตรง ตรงที่จ่ายให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า P_{PV} กับ



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ i กับ P_{max}

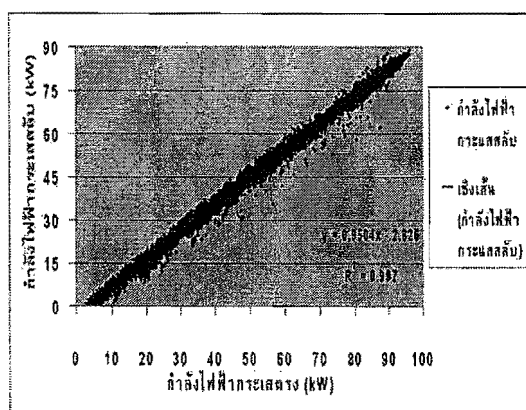


รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ i กับ η_{pv}

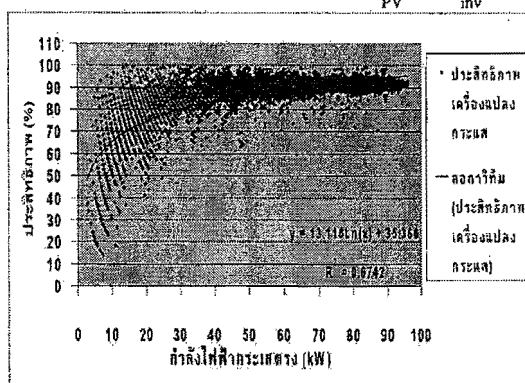
ประสิทธิภาพช่วงขณะของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า η_{inv} ซึ่งถูกทำเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 6 จะพบว่ามี ความสัมพันธ์กันเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถนำความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้มาสร้างเป็นสมการได้คือ $\eta_{inv} = 13.116 \ln(P_{PV}) + 35.366$ โดย P_{PV} มีหน่วยเป็น kW และ η_{inv} จะอยู่ในรูป %

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิเคราะห์ข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าผลิตได้

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้	หน่วย
1	Daily PV inverter generation	496 - 584	kWh/day
2	Average daily PV inverter generation	551	kWh/day
3	Instantaneous PV inverter Efficiency	9.64 - 99.98	%
4	Daily PV inverter Efficiency	89.65 - 90.75	%
5	Average daily PV inverter Efficiency	90.30	%



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ P_{PV} กับ P_{inv}



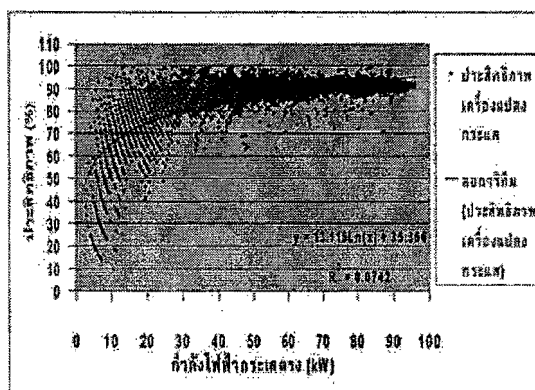
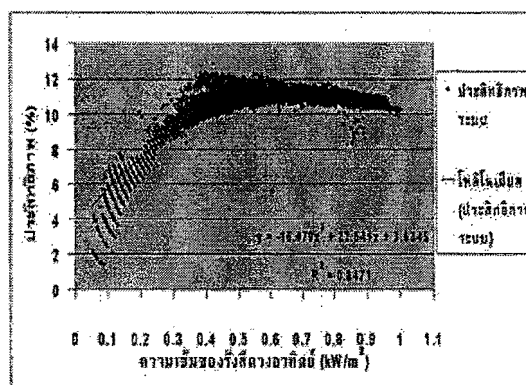
รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ P_{PV} กับ η_{inv}

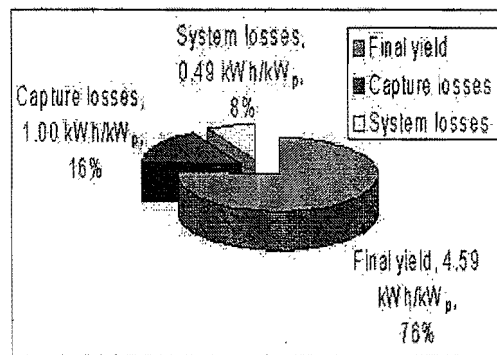
ภาพรวมระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการวิเคราะห์ภาพรวมระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำการทดสอบสามารถสรุปได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาข้อมูลความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ (i) กับข้อมูลประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (η_{sys}) ซึ่งถูกทำเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 7 จะพบว่ามีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นจึงสามารถนำความสัมพันธ์ของ ข้อมูลเหล่านี้มาสร้างเป็นสมการได้คือ $\eta_{sys} = -16.479 i^2 + 22.641i + 3.6345$ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของพลังงานที่อยู่ในระบบ จะพบว่ามีอยู่ 3 ส่วนคือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง พลังงานสูญเสียบน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสัดส่วนของพลังงานเหล่านี้แสดงในรูปที่ 8

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิเคราะห์ภาพรวมระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้	หน่วย
1	Daily final yield	4.13 – 4.86	kWh/ kW _p day
2	Average daily final yield	4.59	kWh/ kW _p day
3	Daily system losses	0.45 – 0.52	kWh/ kW _p day
4	Average daily system losses	0.49	kWh/ kW _p day
5	Daily performance ratio	73.80 – 77.61	%
6	Average daily performance ratio	75.48	%
7	Instantaneous system efficiency	1.15 - 12.91	%
8	Daily system efficiency	10.46 – 11.00	%
9	Average daily system efficiency	10.70	%

รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ P_{pv} กับ η_{inv} รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ i กับ η_{sys}



รูปที่ 8 สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

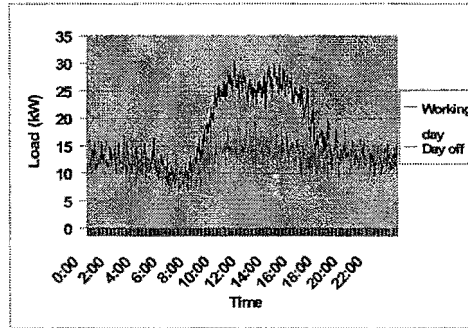
2) ความต้องการไฟฟ้าและการจ่ายไฟฟ้า

เมื่อทำการวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ครบ 30 วัน โดยที่เป็นวันทำงาน 20 วัน และเป็นวันหยุด 10 วัน ตามที่กำหนดไว้ จะนำข้อมูลค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านั้นมาทำการวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก จะพบว่ารูปแบบความต้องการไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ

1) ความต้องการไฟฟ้าในวันทำงาน ซึ่งสามารถแบ่งความต้องการใช้ไฟฟ้าได้เป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าปกติ (Normal demand period) ซึ่งได้แก่ช่วงเวลา 0.00 - 9.00 น. กับ 17.00 - 24.00 น. และช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak demand period) ได้แก่ช่วงเวลา 9.00 - 17.00 น.

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆด้านความต้องการไฟฟ้า

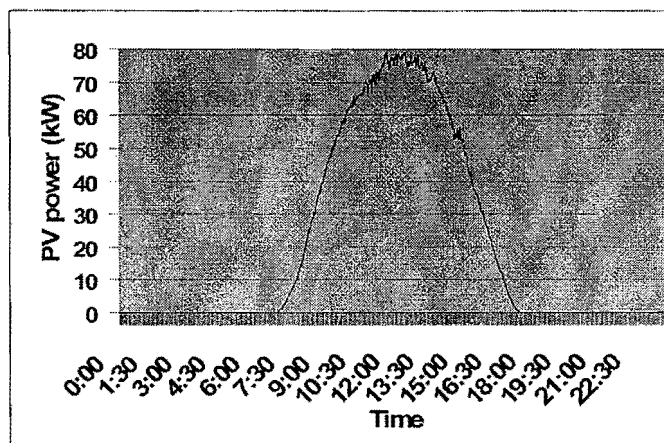
ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้	หน่วย
1	ช่วงความต้องการกำลังไฟฟ้าในวันทำงาน	1 - 55	kW
2	ความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในวันทำงาน	16.84	kW
3	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในวันทำงาน	404	kWh/day
4	ช่วงความต้องการไฟฟ้ากำลังในวันหยุด	3 - 35	kW
5	ความต้องการกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในวันหยุด	12.60	kW
6	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยในวันหยุด	303	kWh/day



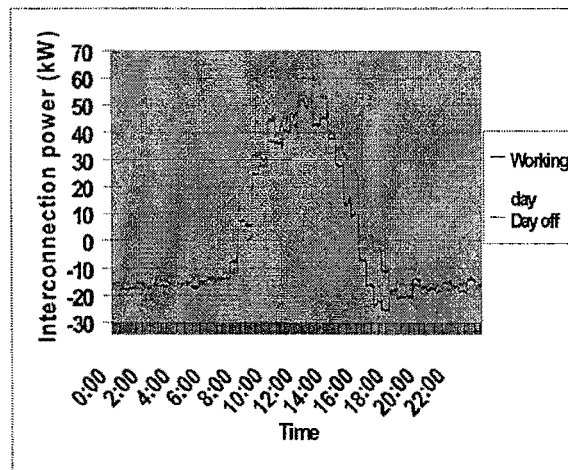
รูปที่ 9 ลักษณะความต้องการไฟฟ้าของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กในวันทำงานและวันหยุด

2) ความต้องการไฟฟ้าในวันหยุด ซึ่งตลอดทั้งวันมีความต้องการใช้ไฟฟ้าปกติ สำหรับลักษณะความต้องการไฟฟ้า (Load profile) ของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กในวันทำงานและวันหยุดนั้นได้แสดงอยู่ในรูปที่ 9 ส่วนผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ที่ได้ทำการวัดและบันทึกในระยะเวลา 30 วัน ได้แสดงในตารางที่ 6

เมื่อทำการวิเคราะห์การจ่ายไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก จะพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กโดยมีลักษณะการจ่ายไฟฟ้า (PV power supply profile) แสดงในรูปที่ 10 นอกจากนี้ยังมีสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าเสริม สำหรับ Battery Inverter และแบตเตอรี่นั้นทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมพลังงาน สำหรับการจ่ายไฟฟ้าในเวลากลางวันนั้นระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟฟ้าให้กับภาระทางไฟฟ้าทั้งหมดนอกจากนี้ไฟฟ้าที่ผลิตได้ส่วนที่เหลือจะจ่ายให้กับ Battery Inverter เพื่อทำการประจุแบตเตอรี่และส่งออกไปยังสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในกรณีที่ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้น้อย Battery Inverter และสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะช่วยทำการจ่ายไฟฟ้าให้เพียงพอับความต้องการของภาระทางไฟฟ้าทั้งหมด ส่วนการจ่ายไฟฟ้าในเวลากลางคืนนั้นสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะรับหน้าที่จ่ายไฟฟ้าให้ กับภาระทางไฟฟ้าทั้งหมด นอกจากนี้ยังจ่ายไฟฟ้าให้กับ Battery Inverter เพื่อทำการประจุแบตเตอรี่ด้วย ในบางกรณีสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและ Battery Inverter จะช่วยกันจ่ายไฟฟ้าให้เพียงพอับความต้องการของภาระทางไฟฟ้าทั้งหมด สำหรับลักษณะการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้า (Power exchange profile) ระหว่างระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กกับสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในวันทำงานและวันหยุดนั้นแสดงในรูปที่ 11 โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่เป็นบวกหมายถึงกำลังไฟฟ้าที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กส่งออกไปยังสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่เป็นลบหมายถึงกำลังไฟฟ้าที่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กรับเข้ามาจากสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคส่วนผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ที่ได้ทำการวัดและบันทึกในระยะเวลา 30 วัน ได้แสดงในตารางที่ 7



รูปที่ 10 ลักษณะการจ่ายไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 11 ลักษณะการแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าระหว่างระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กกับสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในวันทำงานและวันหยุด

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ด้านการจ่ายไฟฟ้า

ลำดับ	พารามิเตอร์	ผลที่ได้	หน่วย
1	ช่วงค่าของพลังงานแสงอาทิตย์รายวัน	1.66 - 6.40	kWh/m ²
2	ค่าเฉลี่ยของพลังงานแสงอาทิตย์รายวัน	5.51	kWh/m ²
3	ช่วงกำลังไฟฟ้าที่ PV Inverter จ่ายออก	0 - 115	kW
4	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันที่ PV Inverter จ่ายออก	494	kWh
5	ช่วงกำลังไฟฟ้าที่ Battery Inverter รับเข้า	0-79	kW
6	ช่วงกำลังไฟฟ้าที่ Battery Inverter จ่ายออก	0-109	kW
7	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ Battery Inverter รับเข้า	4.67	kW
8	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันที่ Battery Inverter รับเข้า	112	kWh
9	ช่วงกำลังไฟฟ้าที่รับเข้าจากสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	0-72	kW
10	ช่วงกำลังไฟฟ้าที่ส่งออกไปยังสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	0-111	kW
11	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่รับเข้าจากสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในวันทำงาน	0.34	kW
12	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ส่งออกไปยังสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในวันหยุด	2.82	kW
13	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่รับเข้าจากสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในวันทำงาน	8	kWh/ day
14	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ส่งออกไปยังสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในวันหยุด	68	kWh/ day

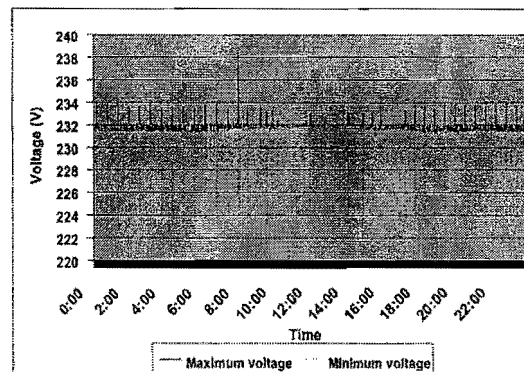
3) คุณภาพกำลังไฟฟ้า

เมื่อทำการวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ต่างๆครบ 2 วัน ตามที่กำหนดไว้เราจะนำข้อมูลที่บันทึก

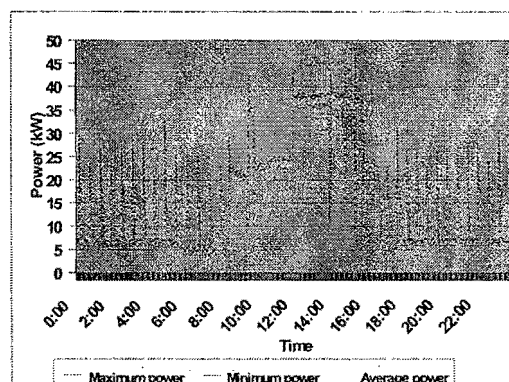
ตารางที่ 8 พารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆที่ได้ทำการวัดและบันทึก

ลำดับ	พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้	หน่วย
1	ช่วงแรงดันไฟฟ้า	222.66-238.63	V
2	แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย	230.89	V
3	ช่วงกระแสไฟฟ้า	19.47-340.50	A
4	กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย	81.09	A
5	ช่วงกำลังไฟฟ้า	3.80-46.90	kW
6	กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย	14.92	kW
7	ช่วง Power factor	0.32-0.89	
8	Power factor เฉลี่ย	0.80	

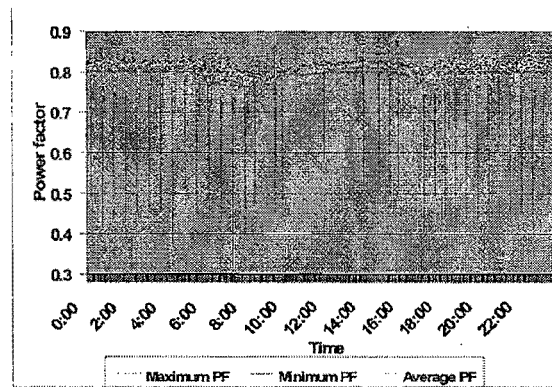
วิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยข้อมูลพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ที่ได้ทำการวัดและบันทึกขณะทำการทดสอบในวันที่ 13 และ 23 พฤศจิกายน 2551 ได้แสดงในตารางที่ 8 สำหรับลักษณะการแกว่งของแรงดันไฟฟ้าแสดงอยู่ในรูปที่ 12 ส่วนลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ



รูปที่ 12 ลักษณะการแกว่งของแรงดันไฟฟ้า

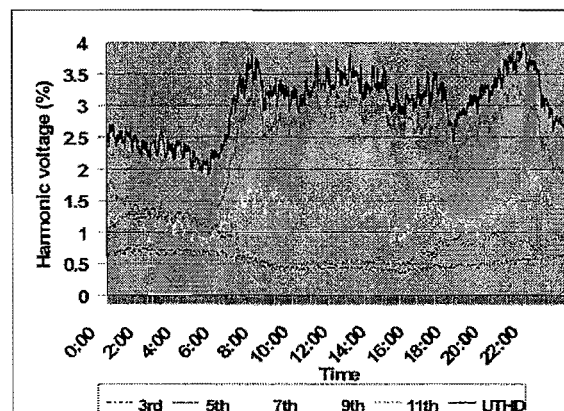


รูปที่ 13 ลักษณะของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้า



รูปที่ 14 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า Power factor ในระบบ

ภาระทางไฟฟ้าแสดงอยู่ในรูปที่ 13 และลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่า Power factor ในระบบแสดงอยู่ในรูปที่ 14 เมื่อนำข้อมูลพารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆ ที่ได้ทำการวัดและบันทึกขณะทำการทดสอบในวันที่ 13 และ 23 พฤศจิกายน 2551 มาทำการวิเคราะห์เพื่อหาค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกเฉพาะ (Individual harmonic distortion, IHD) ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม (Total harmonic distortion, THD) ครรชนีไฟกะพริบระยะสั้น (Short-term severity values, Pst) และครรชนีไฟกะพริบระยะยาว (Long-term severity values, Plt) ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ที่สำคัญเกี่ยวกับค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกเฉพาะและค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมแสดงในตารางที่ 9 สำหรับลักษณะของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของแรงดันฮาร์มอนิกรวมเปรียบเทียบกับแรงดันฮาร์มอนิกรวมแสดงในรูปที่ 15 ส่วนลักษณะของกระแสฮาร์มอนิกลำดับที่ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของกระแสฮาร์มอนิกรวมเปรียบเทียบกับแรงดันฮาร์มอนิกรวมแสดงในรูปที่ 16



รูปที่ 15 ลักษณะของแรงดันฮาร์มอนิกลำดับที่เปรียบเทียบกับฮาร์มอนิกรวม

ตารางที่ 9 การวิเคราะห์ที่สำคัญเกี่ยวกับค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกเฉพาะและค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวม

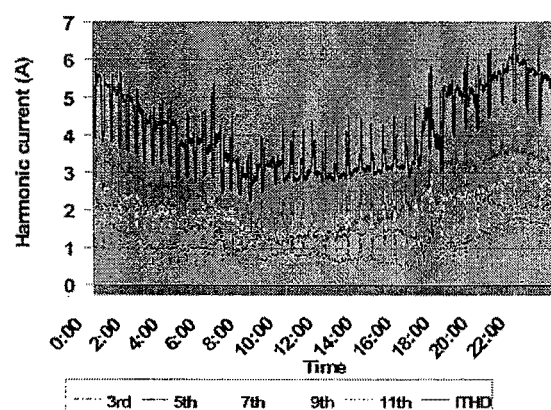
ลำดับ	พารามิเตอร์	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย	หน่วย
1	UHD ลำดับที่ 2	0.04 - 0.08	0.05	%
2	UHD ลำดับที่ 3	0.34 - 0.75	0.53	%
3	UHD ลำดับที่ 4	0.03 - 0.08	0.04	%
4	UHD ลำดับที่ 5	1.09 - 3.36	2.38	%
5	UHD ลำดับที่ 6	0.02 - 0.08	0.04	%
6	UHD ลำดับที่ 7	0.71 - 2.20	1.29	%
7	UHD ลำดับที่ 8	0.02 - 0.11	0.06	%
8	UHD ลำดับที่ 9	0.05 - 0.29	0.15	%
9	UHD ลำดับที่ 10	0.02 - 0.10	0.05	%
10	UHD ลำดับที่ 11	0.36 - 1.40	0.80	%
11	IHD ลำดับที่ 2	0.11 - 0.50	0.30	A
12	IHD ลำดับที่ 3	0.73 - 2.81	1.66	A
13	IHD ลำดับที่ 4	0.09 - 0.41	0.24	A
14	IHD ลำดับที่ 5	0.93 - 4.33	2.40	A
15	IHD ลำดับที่ 6	0.09 - 0.41	0.22	A
16	IHD ลำดับที่ 7	0.93 - 3.17	1.83	A
17	IHD ลำดับที่ 8	0.07 - 0.33	0.19	A
18	IHD ลำดับที่ 9	0.27 - 1.08	0.60	A
19	IHD ลำดับที่ 10	0.07 - 0.27	0.14	A
20	IHD ลำดับที่ 11	0.37 - 2.00	1.01	A
21	UTHD	1.91 - 3.99	3.00	%
22	ITHD	2.23 - 6.91	4.00	A

จากผลการวิเคราะห์ค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกเฉพาะและค่าความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมจะพบว่าระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมีความเพี้ยนฮาร์มอนิกเฉพาะและความเพี้ยนฮาร์มอนิกรวมอยู่ในค่าที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์มอนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรมซึ่งกำหนดไว้ดังต่อไปนี้

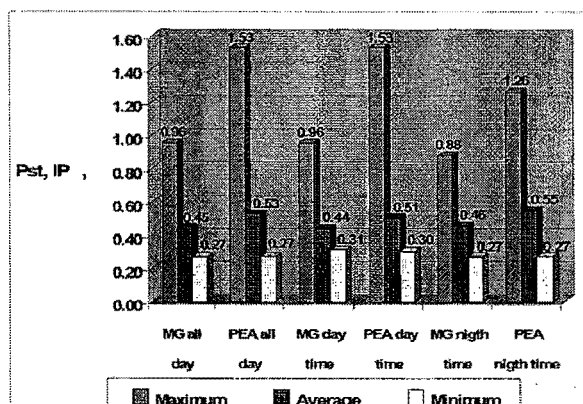
1) ชีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันของระบบ 400 V ต้องมีความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันลำดับที่ 2 ไม่เกิน 4% ความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันลำดับที่ 3 ไม่เกิน 2% และความเพี้ยนฮาร์มอนิกของแรงดันรวมไม่เกิน 5%

2) ชีดจำกัดความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแสของระบบ 400 V ต้องมีความเพี้ยนฮาร์มอนิกของกระแสลำดับที่ 2-11 ตามลำดับดังนี้ 48, 34, 22, 56, 11, 40, 9, 8, 7, และ 19 A สำหรับผล

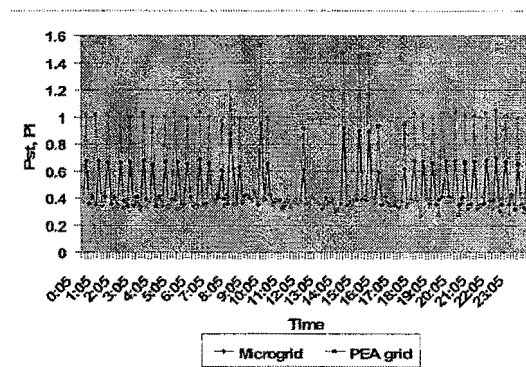
การวิเคราะห์ที่สำคัญเกี่ยวกับครรชนีไฟกะพริบระยะสั้นในช่วงเวลากลางวัน (8.00 – 18.00น.) ช่วงเวลากลางคืน (0.00 – 8.00น.) กับ (18.00 – 24.00น.) และช่วงเวลาตลอดทั้งวันแสดงอยู่ในรูปที่ 17 โดยลักษณะของครรชนีไฟกะพริบระยะสั้นของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กเปรียบเทียบกับสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแสดงในรูปที่ 18 ส่วนผลการวิเคราะห์ที่สำคัญเกี่ยวกับครรชนีไฟกะพริบระยะยาวในช่วงเวลากลางวัน (8.00 – 18.00น.) ช่วงเวลากลางคืน (0.00 – 8.00น.) กับ (18.00 – 24.00น.) และช่วงเวลาตลอดทั้งวันแสดงอยู่ในรูปที่ 19 โดยลักษณะของครรชนีไฟกะพริบระยะยาวของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กเปรียบเทียบกับสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแสดงในรูปที่ 20 จากผลการวิเคราะห์ครรชนีไฟกะพริบระยะสั้นและครรชนีไฟกะพริบระยะยาวอยู่ในค่าที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดกฎเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม ซึ่งกำหนดไว้ดังต่อไปนี้ 1) ชีตจำกัดของครรชนีไฟกะพริบระยะสั้นในระบบขนาด 115 kV หรือต่ำกว่าต้องไม่เกิน 1.0 2) ชีตจำกัดของครรชนีไฟกะพริบระยะยาวในระบบขนาด 115 kV หรือต่ำกว่าต้องไม่เกิน 1.0



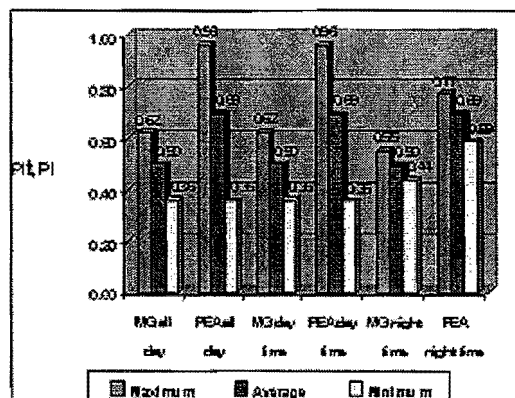
รูปที่ 16 ลักษณะของกระแสฮาร์โมนิกลำดับที่เปรียบเทียบกับฮาร์โมนิกรวม



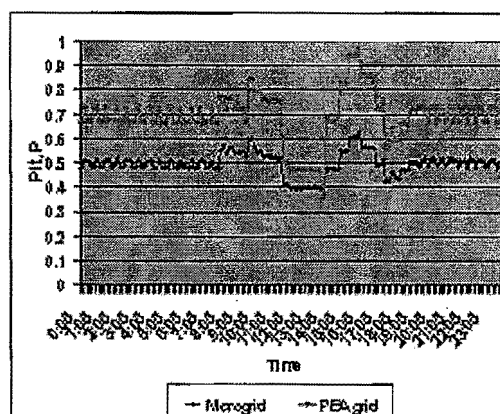
รูปที่ 17 ผลการวิเคราะห์ที่สำคัญเกี่ยวกับครรชนีไฟกะพริบระยะสั้น



รูปที่ 18 ลักษณะของครรชนีไฟกะพริบระยะสั้นของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กเปรียบเทียบกับสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



รูปที่ 19 ผลการวิเคราะห์ที่สำคัญเกี่ยวกับครรชนีไฟกะพริบระยะยาว



รูปที่ 20 ลักษณะของครรชนีไฟกะพริบระยะยาวของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กเปรียบเทียบกับสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

วิจารณ์และสรุปผล

จากผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะเบื้องต้นของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถวิจารณ์และสรุปผลโดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามส่วนของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กดังนี้

1. ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและสมรรถนะสูง โดยมีประสิทธิภาพในการทำงานของระบบเฉลี่ย 10.70 % และสมรรถนะ

ของระบบเฉลี่ย 75.48 % เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบที่ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ต่างๆ จะพบว่า ระบบจะมีประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ โดยระบบจะมีประสิทธิภาพต่ำสุดช่วงความเข้ม 0 - 0.10 kW/m² ระบบจะมีประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงประสิทธิภาพสูงในช่วงความเข้ม 0.10 - 0.35 kW/m² ระบบจะมีประสิทธิภาพสูงคงที่ในช่วงความเข้ม 0.35 - 0.65 kW/m² และระบบจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างช้าๆ ในช่วงความเข้ม 0.65 - 1.1 kW/m² สำหรับสาเหตุที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำในช่วงความเข้ม 0 - 350 kW/m² ซึ่งมักเป็นช่วงเช้าและเย็น นามาจากมุมที่แสงตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สเปกตรัมของแสง และประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในช่วงที่มีกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำ ส่วนการลดลงของประสิทธิภาพในช่วงความเข้ม 0.65 - 1.1 kW/m² น่าจะมาจากอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูง โดยช่วงดังกล่าวมักเป็นเวลาในช่วงตอนสายถึงตอนบ่าย สำหรับการสูญเสียพลังงานโดยรวมในระบบมีค่าประมาณ 26 % โดยเป็นพลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 16 % และพลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 8 %

2. ความต้องการไฟฟ้าและการจ่ายไฟฟ้า

ลักษณะความต้องการไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ 1) ความต้องการไฟฟ้าในวันทำงาน ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน 404 kWh/day และมีระดับความต้องการไฟฟ้า 2 ระดับซึ่งได้แก่ ระดับความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงเวลา 9.00 - 17.00 น. และความต้องการใช้ไฟฟ้าปกติในช่วงเวลา 0.00 - 9.00 น. กับ 17.00 - 24.00 น. 2) ความต้องการไฟฟ้าในวันหยุด ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน 303 kWh/day และมีระดับความต้องการไฟฟ้าในระดับความต้องการใช้ไฟฟ้าปกติตลอดทั้งวัน ลักษณะการจ่ายไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ 1) การจ่ายไฟฟ้าในวันทำงาน ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าโดยเฉลี่ยได้ในปริมาณที่ไม่เพียงพอกับความต้องการและต้องรับไฟฟ้าจากสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเข้ามาเฉลี่ยต่อวันประมาณ 8 kWh/day 2) การจ่ายไฟฟ้าในวันหยุด ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าโดยเฉลี่ยได้ในปริมาณที่เกินความต้องการและสามารถส่งไฟฟ้าออกไปยังสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเฉลี่ยต่อวันประมาณ 68 kWh/day

3. คุณภาพกำลังไฟฟ้า

คุณภาพกำลังไฟฟ้าของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในระดับดีและผ่านเกณฑ์มาตรฐานของข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม (PRC-PQG-01/1998) และข้อกำหนดกฎเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม (PRC-PQG-02/1998) กำหนดไว้ในทุกค่า พารามิเตอร์ที่ทำการวัดและวิเคราะห์ข้อมูล และมีคุณภาพกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคุณภาพกำลังไฟฟ้าของสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งบรรลุลู่จุดประสงค์หลักของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งมีผลการวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าสรุปได้ดังต่อไปนี้ ความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกลำดับคี่สูงสุด (Maximum odd order harmonic distortion voltage) 3.36 % ความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกลำดับคู่สูงสุด (Maximum even order harmonic distortion voltage) 0.11 % ความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกสูงสุดลำดับที่ 2-11 (2nd-11th maximum harmonic distortion current) 0.5, 2.8, 0.4, 4.3, 0.4, 3.2, 0.3, 1.1, 0.3, 2.0 A ความเพี้ยนแรงดันฮาร์โมนิกรวมสูงสุด (Maximum total harmonic distortion voltage, MaxUTHD) 3.99 % ความเพี้ยนกระแสฮาร์โมนิกรวมสูงสุด (Maximum total harmonic distortion current, MaxITHD) 6.9 A ครรชนีไฟกะพริบระยะสั้นสูงสุด (Maximum short-term severity values, MaxPst) 0.96 ครรชนีไฟกะพริบระยะยาวสูงสุด (Maximum long-term severity values, MaxPlt) 0.62

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาจากโครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สัญญารับทุนเลขที่ TGIST 01-51-098 และขอขอบคุณ New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO)

ที่สนับสนุนเงินลงทุนที่ใช้ในการก่อสร้างโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก วิศวกรและเจ้าหน้าที่ของบริษัท Shikoku electric power co., inc. (YONDEN) ที่ให้การฝึกอบรมการปฏิบัติงานระบบและข้อมูลทางเทคนิคต่างๆ ของระบบ คณาจารย์และนักวิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทนทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ จนทำให้การทดสอบครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] นิพนธ์ เกตุจ้อย, และคณะ, 2550, “การติดตามประเมินผลโครงการสาธิตระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าเรือนจำกลางบางขวางจังหวัดนนทบุรี” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เสนอต่อกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- [2] ดุสิต เครื่องงาม, 2542, “สิ่งประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์” ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ กระทรวง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
- [3] คงฤทธิ์ แม้นศิริ, และคณะ, 2549, “การประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคของหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2, 27-29 กรกฎาคม 2549 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.
- [4] คณะกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า, 2541, “ข้อกำหนดกฎเกณฑ์ฮาร์โมนิกเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม (PRC-PQG-01/1998)”
- [5] คณะกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า, 2541, “ข้อกำหนดกฎเกณฑ์แรงดันกระเพื่อมเกี่ยวกับไฟฟ้าประเภทธุรกิจและอุตสาหกรรม (PRC-PQG-02/1998)”
- [6] Chicco, G., Mancarella, P., 2009, “Distributed multi-generation: A comprehensive view” Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 13, pp. 535-551.
- [7] Huang, J., Jiang, C., Xu, R., 2008, “A review on distributed energy resources and MicroGrid” Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 12, pp. 2472-2483.
- [8] Sasitharanuwat, A., Racwichian, W., Ketjoy, N., Yammen, S., 2007, “Performance evaluation of a 10 kWp PV power system prototype for isolated building in Thailand” Renewable Energy Vol 32, pp 1288-1300.
- [9] International Energy Agency, 2002, “Operational Performance, Reliability and Promotion of Photovoltaic Systems” Report IEA-PVPS T2-03:2002. International Energy Agency
- [10] 2000, “Analysis of Photovoltaic Systems” Report IEA-PVPS T2-01: 20