

การศึกษาคุณภาพไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่ง (Investigation of the Power Quality of the Micro-Grid Connected Inverter)

นภัทร วัจนเทพินทร์¹ ปกรณ์ สมบูรณ์กิจ¹

Received: September, 2011; Accepted: October 2012

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณภาพไฟฟ้าของอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่ง ในสภาวะการใช้งานจริง เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย ดำเนินการโดย การตรวจวัดค่าคุณภาพไฟฟ้าของ อินเวอร์เตอร์ขนาด 250 วัตต์ ที่ผู้วิจัยเลือกต่อเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 260 วัตต์สูงสุด ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบส่งจ่ายแรงดันต่ำ ข้อมูลคุณภาพไฟฟ้าที่วัดได้นำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ IEEE 929 - 2000 IEEE 1547 - 2003 และ IEC 61727 : 2004 และหลักเกณฑ์การขนานระบบไฟฟ้าขนาดเล็กของการไฟฟ้านครหลวง ทั้งนี้คุณภาพไฟฟ้าที่ศึกษามี 5 ค่า คือ ระดับแรงดัน ความถี่ ตัวประกอบกำลังฮาร์มอนิกกระแส และฮาร์มอนิกแรงดัน ซึ่งผลการศึกษาพบว่าคุณภาพไฟฟ้าที่ศึกษา คือ ตัวประกอบกำลัง และฮาร์มอนิกกระแส ไม่เป็นไปตามมาตรฐานส่วนที่เหลือ มีค่าเป็นไปตามมาตรฐานการเชื่อมต่อที่เกี่ยวข้อง

คำสำคัญ : อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่ง, คุณภาพไฟฟ้า, ฮาร์มอนิกกระแส

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
E - mail : watjanatepin@rmutsb.ac.th

Abstract

The objective of this research is to study power quality micro grid connected inverter under realistic conditions. This study can be used to provide information in order to design the most suitable module inverter for conditions in Thailand. The process started by measuring the power quality from the micro inverter, chosen by the author and input supply from the 260 Wp of PV panel. Then output is connected to the low-voltage distribution system from the Metropolitan Electricity Authority (MEA). Finally the obtain data were compared with international standard such as IEEE 929 - 2000 IEEE 1547 - 2003 and IEC 61727 : 2004 and also compared with a parallel electrical system criteria from MEA. In conclusion, there are 5 variables that had been used in the study of power quality: voltage, frequency, power factor, harmonics current, and harmonics voltage. The results are that the power factor and harmonics current do not reach the standard, but the remaining factor related to standard connection procedure.

Keyword : Module Inverter, Power Quality, Harmonics Current

บทนำ

การศึกษาข้อมูลการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วโลกจาก International Energy Agency Photovoltaic Power System Program (IEA PVPS) พบว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบ (Gridconnected System) มีอัตราส่วนการติดตั้งอยู่ทั่วโลกที่สูงมาก ไม่น้อยกว่า 2,000 MW ในปี 2007 (IEEE-SA Standards Board, 2000) และมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สำหรับในประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน เมื่อพิจารณา เฉพาะระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบ พบว่าการเติบโตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบ ตั้ง แต่ปี 2545 - 2550 มีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้ อาจเป็นเพราะระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเข้าระบบเป็นระบบที่มีการลงทุนต่อกิโลวัตต์ ต่ำกว่าระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ

ซึ่งต้องใช้แบตเตอรี่และต้องเปลี่ยนใหม่ทุกๆ 7 - 10 ปี และหากมีการ “ร่วมลงทุน” ระหว่างภาครัฐกับผู้ใช้งาน ก็จะเป็นส่วนเสริมให้ตลาดของระบบฯ ขยายตัวรวดเร็วขึ้นและจะเป็นประโยชน์ต่อประเทศอย่างมากเนื่องจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานในเวลากลางวัน จะช่วยเรื่องการจ่ายโหลดในช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง (Peak Demand) ของโรงไฟฟ้าชนิดอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้น ไฟฟ้าที่ผลิตได้ในช่วงกลางวัน ก็จะสามารถลดความต้องการไฟฟ้าช่วงสูงสุด ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบก็จะช่วยชะลอการลงทุนการสร้างโรงไฟฟ้า ประเภท “Peak Saving” ได้ส่วนหนึ่งด้วย

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบ จะต้องมีอุปกรณ์สำคัญในการแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์

เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายเข้าระบบจำหน่ายอุปกรณ์นั้น คือ อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบ (Grid-connected Inverter) สำหรับชนิดของอินเวอร์เตอร์ที่เหมาะสม จึงขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งแบ่งได้ 3 ลักษณะดังนี้ (Bin Wu, 2551)

1. Central Inverters วิธีนี้ใช้อินเวอร์เตอร์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบขนาดใหญ่มีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงมาก ตั้งแต่ 20 kW-1 MW โดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลเป็นตัวควบคุม ระบบนี้ให้ค่าตัวประกอบกำลัง ที่ระบบจำหน่ายใกล้เคียงกับ 1 แต่ระบบนี้ มีข้อด้อยคือ ประสิทธิภาพจะต่ำ เพราะการทำงานเป็นโหมด MPPT ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า MPPT ของตัวอินเวอร์เตอร์เท่านั้น และมีกำลังสูญเสียจากกระแสไหลวน ด้าน ดี.ซี. ที่เกิดขึ้นระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก นอกจากนี้ยังต้องการระบบปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าที่จ่ายออกสู่ระบบจำหน่ายอีกด้วย

2. String Inverters วิธีนี้ คือ จะช่วยลดขนาดของอินเวอร์เตอร์ในระบบการต่อแบบ Centralize ได้โดยอินเวอร์เตอร์แบบต่อเข้าระบบที่ต่อในแบบ String นี้ จะใช้ขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าไม่เกิน 2 kW โดยแต่ละ String จะมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายแผงอนุกรมกัน เพื่อให้ได้แรงดันไฟฟ้าแต่ละ String ระหว่าง 150 - 450 V วิธีนี้จะทำให้โหมดการควบคุมกำลังไฟฟ้าแบบ MPPT ทำงานได้ดีขึ้น เพราะจะมีการแยกกันทำงานในอินเวอร์เตอร์แต่ละ String ระบบนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพรวมของระบบและทำให้ราคาของระบบลดลงได้

3. Micro Inverters วิธีนี้ คือ ให้มีอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กต่อ เพื่อแปลงกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย 1 ตัว ต่อ 1 โมดูล (PV module) หรือ 1 ตัว ต่อ เซลล์แสงอาทิตย์ 1 แผง ระบบแบบนี้สามารถทำให้การทำงานในโหมดติดตามค่ากำลังฟ้าสูงสุด มีประสิทธิภาพสูงสุด

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงจะถูกส่งไปยังสายส่งได้มากที่สุด ดังนั้นอินเวอร์เตอร์แบบนี้จึงมีขนาดเล็กมาก พิกัดกำลังไฟฟ้าต่ำกว่า 500 W (ในท้องตลาดมีเพียง 200 - 250 W) และต้องใช้แผงเซลล์ที่จ่ายแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 30 V -150 V ระบบการต่อแบบนี้ มีข้อดีที่ไม่ต้องเดินสายของระบบ ดี ซี. ทำให้ไม่เกิดค่ากำลังสูญเสียจากกระแสไหลวนระหว่างแผงเซลล์

เนื่องจากอินเวอร์เตอร์แบบต่อเข้าระบบมีผลโดยตรงต่อคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในปัจจุบันประชาชนให้ความสนใจ และตระหนักถึงความสำคัญของการใช้พลังงานมากขึ้น ทำให้เริ่มมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าชนิดเชื่อมต่อกับระบบส่งจำหน่ายของการไฟฟ้าภายในเขตจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวงมากขึ้น โดยเฉพาะการติดตั้งระบบผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กบนหลังคาบ้าน เนื่องจากสามารถติดตั้งได้ง่าย ไม่ต้องการการดูแลรักษามาก ระบบนี้เหมาะสมมากที่จะใช้อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็ก (Micro Inverter) และยังสามารถขายไฟส่วนที่เหลือจากการใช้ในบ้านกลับสู่การไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ตามระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP) สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่มีปริมาณพลังงานไฟฟ้าขายเข้าระบบไม่เกิน 10 MW (พ.ศ. 2549) ทั้งยังได้รับส่วนเพิ่มราคาซื้อไฟฟ้า สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในราคา 8 บาท ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมงอีกด้วย จากนโยบายสนับสนุนของภาครัฐเหล่านี้ ทำให้มีการคาดว่าผู้ใช้ไฟฟ้าจะพิจารณาเลือกติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อขายไฟฟ้าให้ระบบส่งจำหน่ายของการไฟฟ้า มากขึ้น นั้นหมายความว่า การศึกษาถึงผลการดำเนินงานทางด้านคุณภาพไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเชื่อมต่อกับระบบส่งจำหน่ายของการไฟฟ้า โดยอ้างอิง

กับมาตรฐานการเชื่อมต่อด้านคุณภาพไฟฟ้า ย่อมเป็นประโยชน์ในการพัฒนาประสิทธิภาพ การให้บริการผู้ใช้ไฟฟ้าอย่างมากในอนาคต (อรศิริ, 2552)

มาตรฐานสากล ที่กำหนดเกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้าของการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด เชื่อมต่อระบบจำหน่ายที่นำมาศึกษาเปรียบเทียบกับระเบียบการไฟฟ้าฝ่าย-จำหน่ายว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ที่มีการผลิตไฟฟ้าไม่เกิน 10 MW นั้น ที่ใช้อย่างยิ่งในบทความวิจัยนี้ ได้แก่

1. IEEE 929 - 2000 Recommended Practice for Utility Interface of photovoltaic (PV) Systems (IEEE-SA , 2000)

2. IEEE 1547 - 2003 Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems (IEEE-SA, 2003)

3. IEC 61727 Photovoltaic (PV) systems - Characteristics of the utility interface : 2004 (IEC, 2004)

เนื่องจากอินเวอร์เตอร์แบบนี้เป็นอินเวอร์เตอร์แบบต่อเข้าระบบไฟฟ้าขนาดเล็กมาก สำหรับขนาดกำลังไฟฟ้าระหว่าง 200 - 250 W ที่นิยมใช้กันอยู่ในท้องตลาดมีไม่มากนัก เท่าที่ผู้วิจัยได้ค้นคว้ามาพบเพียง สี่รุ่น เป็นผลิตภัณฑ์จาก-ประเทศสหรัฐอเมริกา สเปน และได้หวั่น ดังแสดงรายละเอียดเบื้องต้น ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่งที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน

ผลิตภัณฑ์	แรงดันเอาต์พุต	ความถี่ไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้า	ที่มา	ประเทศที่ผลิต
A	108-132 V	60 Hz	220 W	www.apparent.com	สหรัฐอเมริกา
B	208-232 V	60 Hz	210 W	www.enphase.com	สหรัฐอเมริกา
C	230 V	50 Hz	200 W	www.solar-micro-inverter.com	สเปน
D	115/230 V	46-65 Hz	250 W	www.engineo.com	ไต้หวัน

จากตารางที่ 1 พบว่า มีเพียงสองผลิตภัณฑ์ที่ใช้ได้กับความถี่ไฟฟ้า 50 Hz ของประเทศไทย คือ ผลิตภัณฑ์ C และ D และผู้วิจัยได้เลือกผลิตภัณฑ์ D มาใช้ในการวิจัย ด้วยเหตุผลสองประการ คือ (1) สามารถหาซื้อได้ในประเทศไทย และ (2) มีการติดตั้งอินเวอร์เตอร์รุ่นดังกล่าวใน

ประเทศไทยบ้างแล้ว จึงเหมาะสมที่จะทำการศึกษาอินเวอร์เตอร์รุ่นดังกล่าว แต่ผลิตภัณฑ์ C นั้นยังไม่พบข้อมูลว่ามีการติดตั้งในประเทศไทย สำหรับรายละเอียดที่แสดงคุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ที่ผู้วิจัยเลือกได้แสดงไว้ใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่งผลิตภัณฑ์ D

Electrical Specifications	ผลิตภัณฑ์ D
Normal AC Output Power	200W
Maximum AC Output Power	250W
Output Voltage Switch is at 230V Position	190V ~ 260V
Output Voltage Switch is at 115V Position	90V ~ 130V
AC Output Frequency Range	46Hz ~ 65Hz

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่งผลิตภัณฑ์ D (ต่อ)

Electrical Specifications	ผลิตภัณฑ์ D
Total Harmonic Distortion(THD)	<5%
Power Factor	0.99
DC Input Voltage Range	14V ~ 28V
Peak Inverter Efficiency	92%
Standby Power consumption	<0.5W
Output Current Waveform	Pure Sine-wave
MPPT Function	Yes
Over Current Protection	Yes
Over Temperature Protection	Yes
Reverse Polarity Protection	Yes
Island Protection	Yes
Stackable	Yes

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับฮาร์มอนิกส์และคุณภาพไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่ง (ผลิตภัณฑ์ D) โดยใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 130 - 260 Wp ในสภาวะการใช้งานจริง และศึกษาเปรียบเทียบกับค่าตามมาตรฐานสากล และมาตรฐานของการไฟฟ้า และหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ดังกล่าวในสภาวะการใช้งานจริง

130 W จำนวน 2 แผง ต่อขนานกัน ได้แรงดันดีซี. ประมาณ 24V และจ่ายเข้าที่อินพุตของอินเวอร์เตอร์ สำหรับเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ต่อเข้าสู่ระบบจำหน่าย 1 เฟส 220V 50Hz โดยตรง ทำการทดลองในสภาวะใช้งานจริงและใช้ช่วงเวลาทดลอง และเก็บข้อมูลผลการทดลองรวม 3 วัน และสุ่มเลือกข้อมูล 1 วัน มาใช้ในการวิเคราะห์

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

การออกแบบการทดลอง

มีวัตถุประสงค์เพื่อหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่ง และศึกษาคุณภาพไฟฟ้าที่สำคัญ 5 ค่า คือ ระดับแรงดัน ความถี่ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า กระแสฮาร์มอนิก และแรงดันฮาร์มอนิก ที่โมดูลอินเวอร์เตอร์จ่ายออกมาสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้า 1 เฟส โดยกำหนดรูปแบบการทดลอง ดังนี้

ทดสอบคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ใน-การใช้งานจริง ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด

เครื่องมือและอุปกรณ์

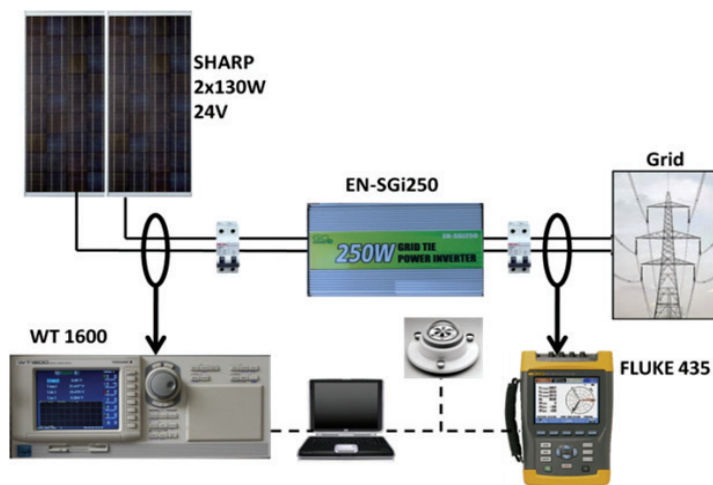
1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly Crystalline ขนาด 130 W 24V จำนวน 2 แผง ผลิตภัณฑ์ Sharp
2. เครื่องมือวัดคุณภาพไฟฟ้า และดาตา-ล็อกเกอร์ รุ่น 435 ผลิตภัณฑ์ FLUKE
3. เครื่องมือวัดคุณภาพไฟฟ้า และดาตา-ล็อกเกอร์ รุ่น WT 1600 ผลิตภัณฑ์ Yogokawa
4. มัลติมิเตอร์ รุ่น 289 ผลิตภัณฑ์ FLUKE
5. เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ Star Pyranometer ผลิตภัณฑ์ Nova lynx

6. อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่ง
ผลิตภัณฑ์ D จำนวน 1 เครื่อง

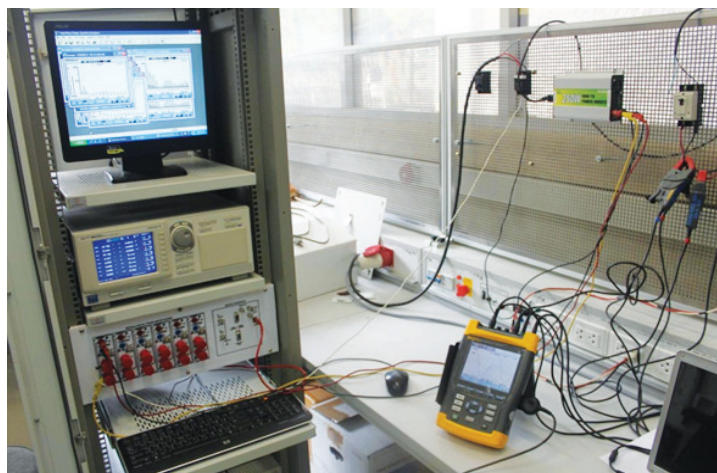
วิธีการทดลอง

วงจรทดลอง ต่อวงจรดังรูปที่ 1 โดยติดตั้ง
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ SHARP 130W/24V จำนวน
2 แผง ต่อขนานกัน และวางมุมเอียง 15° ทิศหน้าผิง
ไปยังทิศใต้ ต่อ Digital Power Meter: WT 1600
เพื่อเก็บค่า Voltage, current, Power ทางด้าน ดีซี

และต่อ Power Meter Fluke 435 เพื่อเก็บค่า
Voltage, Current, Power, THD of V and I,
Power Factor, Active Power ทางด้าน เอ.ซี.
โดยเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าทั้งสองเครื่องผ่าน
การสอบเทียบมาตรฐาน จากบริษัทผู้ผลิตแล้ว และ
ต่อ Pyranometer (240- 8101) เพื่อวัดค่าความ-
เข้มของแสงอาทิตย์ (Solar irradiance, W/m²)
โดยทำการทดลองและเก็บผลการทดลองเป็นเวลา
รวม 3 วัน ระหว่างวันที่ 1 - 3 กุมภาพันธ์ 2554



(ก) วงจรการวัดคุณภาพไฟฟ้าจากอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่ง



(ข) รูปการติดตั้งและทดสอบอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่ง
รูปที่ 1 วงจรที่ใช้ทดลองอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่งในสภาพการใช้งานจริง

การหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่ง

การหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์สามารถทำได้หลายวิธี เนื่องจากการทดลองนี้ใช้เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าที่ได้สอบเทียบมาตรฐานแล้ววัดกำลังไฟฟ้าทั้งอินพุต และเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ ผู้วิจัยจึงโดยใช้ข้อมูลกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต และกำลังไฟฟ้าอินพุตที่วัดได้จากการทดลองและคำนวณประสิทธิภาพของไมโครอินเวอร์เตอร์ได้จาก สมการที่ (1)

$$\eta_I = (P_{out} / P_{in}) \times 100 (\%) \quad (1)$$

With :

P_{out} : Inverter output power (W)

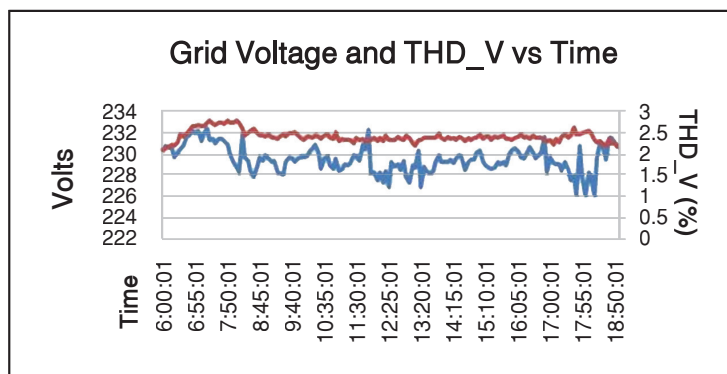
P_{in} : Inverter input power (W)

η_I : Inverter efficiency (%)

ผลการวิจัย

ผลการทดลองด้านคุณภาพไฟฟ้า 5 ค่า คือ ระดับแรงดัน ความถี่ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ฮาร์มอนิกกระแส และฮาร์มอนิกแรงดัน ผู้วิจัยเลือกโดยวิธีสุ่มข้อมูลที่เก็บได้จากวันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2554 มาใช้ในการวิเคราะห์ ผลการทดลองเพียง 1 วัน เนื่องจากลักษณะของข้อมูลในวันที่ 1 และ 2 มีลักษณะที่สอดคล้องกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่ระบบจำหน่ายกับค่าแรงดันฮาร์มอนิก

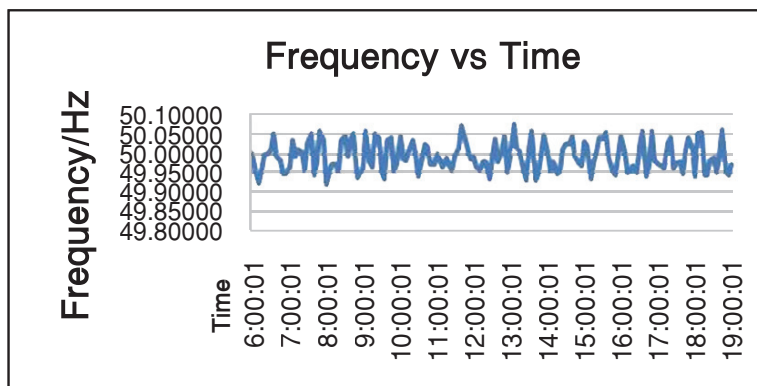


รูปที่ 2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดันไฟฟ้าที่ระบบจำหน่าย และค่าแรงดันฮาร์มอนิก

จากรูปที่ 2 พบว่าค่าแรงดันฮาร์มอนิก (THD_V) จะมีค่าต่ำอยู่ระหว่าง 2.09 % - 2.74 % เมื่อแรงดันที่ระบบจำหน่ายมีค่าระหว่าง 226.16 - 232.14V หรือประมาณ $220V \pm 2\%$ ซึ่งพบว่าค่าแรงดันฮาร์มอนิก มีค่าไม่เกินกว่ามาตรฐานที่การไฟฟ้านครหลวง กำหนด คือ ไม่เกิน 5 % (แต่มาตรฐาน IEEE 925, IEEE 1547 และ

IEEE 61727 ไม่ได้ระบุค่าไว้) สำหรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ระบบจำหน่าย (Grid voltage) ค่าต่ำสุดที่วัดได้ คือ 226.16V ซึ่งอยู่ในช่วงระดับแรงดันต่ำสุด ของค่ามาตรฐานทั้งสาม ส่วนค่าแรงดันสูงสุดวัดได้ 232.14 V ก็ยังไม่เกินค่าคงที่มาตรฐานดังกล่าวกำหนด

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่ไฟฟ้าที่กริดกับเวลา

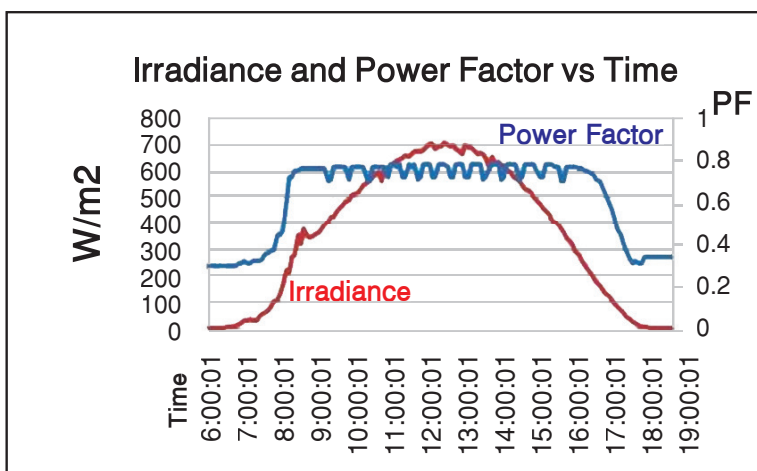


รูปที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ไฟฟ้าที่ระบบจำหน่ายกับเวลา

จากรูปที่ 3 พบว่าค่าความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ ด้านเอาต์พุตของอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่งมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 49.21 Hz ที่เวลา 08:00:01 น. วันที่ 3 กุมภาพันธ์ 2554 และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 50.076 Hz ที่เวลา 13:05:01 น. ของวันเดียวกัน เมื่อเทียบกับค่ามาตรฐานพบว่า ความถี่

ไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ส่งออกมา ทั้งค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดทุกมาตรฐาน ทั้ง ของ กฟน. IEEE 929, IEEE 1547 และ IEC 61727 หมายความว่าความถี่ที่ไม่โครกริดอินเวอร์เตอร์จ่ายออกมาไม่มีผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าข้างเคียง

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้ากับความเข้มของแสงอาทิตย์



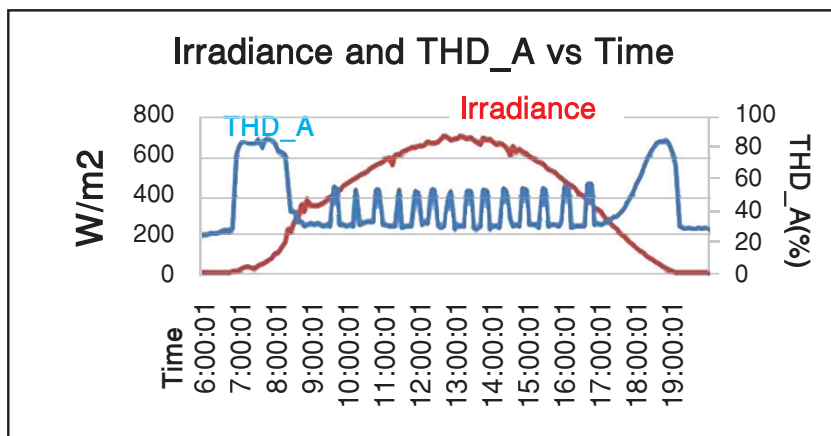
รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของแสงอาทิตย์กับตัวประกอบกำลัง

กราฟรูปที่ 4 พบว่า ค่าตัวประกอบกำลัง (PF) จะมีค่าต่ำมาก คือ ประมาณ 0.3 เมื่ออินเวอร์เตอร์ยังไม่ทำงานเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายในช่วงเวลาก่อน 06.30 น. และหลังเวลา 18.00 น. ซึ่งในช่วงเวลาดังกล่าว ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ (Hi) จะมีค่าต่ำกว่า 300 W/m² แต่เมื่อความเข้มของแสงอาทิตย์ มีค่ามากกว่า 300 W/m² อินเวอร์เตอร์จะทำงานและจ่ายโหลดเข้ากับระบบจำหน่าย ค่าตัวประกอบกำลังจะมีค่าสูงขึ้น ประมาณ 0.76 อย่างไรก็ตาม เมื่อค่าความเข้มของ

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสฮาร์มอนิกกับความเข้มของแสงอาทิตย์

แสงอาทิตย์สูงขึ้น ค่าตัวประกอบกำลังจะสูงขึ้นตามไปด้วยและตัวประกอบกำลัง จะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.78 เมื่อความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าสูงกว่า 600 W/m² สำหรับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์สูงสุด ในวันที่ทำการทดลองเท่ากับ 706 W/m²

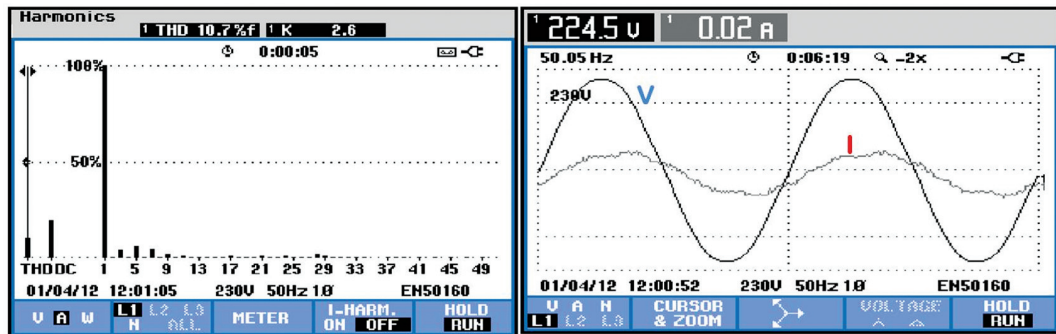
สรุปค่าตัวประกอบกำลังสูงสุด เท่ากับ 0.78 Lagging ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ กล่าวคือ ตาม IEEE 929 และข้อกำหนด กฟน. คือ มากกว่า 0.85 (Lagging)



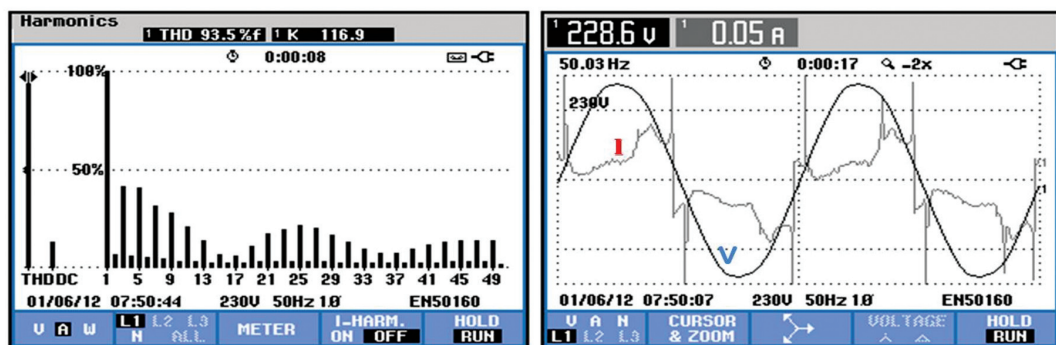
รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส ฮาร์มอนิก กับความเข้มของแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่า ค่าของกระแสฮาร์มอนิก (THD_A) จะมีค่าสูงมาก ระหว่าง 84 % - 86 % เมื่ออินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่ง ไม่จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าระบบจำหน่าย คือ เมื่อมีความเข้มของแสงอาทิตย์ต่ำกว่า 270 W/m² แต่เมื่อความเข้มของแสงอาทิตย์ มีค่ามากกว่า 300 W/m² อินเวอร์เตอร์จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าระบบจำหน่าย ช่วงดังกล่าวค่าของกระแสฮาร์มอนิก จะมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามผลการทดลองพบว่า ค่ากระแส ฮาร์มอนิกที่ระบบจำหน่าย เกินกว่าค่า

มาตรฐานค่อนข้างมาก (ค่ามาตรฐาน IEEE 519 กำหนดไว้ไม่เกินกว่า 5 %) เมื่อใช้ออสซิลโลสโคป บันทึกภาพ รูปคลื่นของกระแส และแรงดันไฟฟ้า ที่ระบบจำหน่าย เพื่อให้เห็นลักษณะของกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง ในสภาวะที่อินเวอร์เตอร์ยังไม่ต่อเข้าระบบ วัดค่าเฉลี่ยของกระแสฮาร์มอนิกได้เท่ากับ 93.5 % และในสภาวะที่อินเวอร์เตอร์ต่อเข้าระบบเรียบร้อยแล้ววัดค่าเฉลี่ยของกระแส ฮาร์มอนิกได้เท่ากับ 10.7 % แสดงการเปรียบเทียบดังรูปที่ 6 (ก) และ (ข)



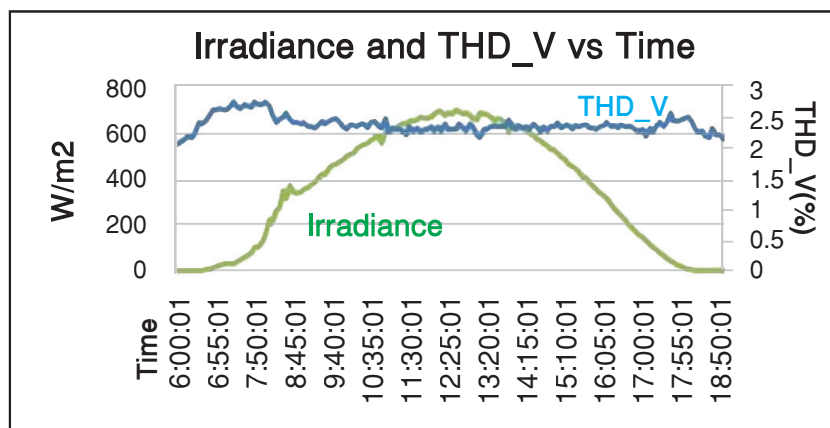
(ก) รูปคลื่นกระแส และแรงดันไฟฟ้า ในสภาวะที่อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่งต่อเข้าระบบ ข้อมูลวันที่ 4 ก.พ. 2554



(ข) รูปคลื่นกระแส และ แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะที่อินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่งยังไม่ต่อเข้าระบบ ข้อมูลวันที่ 6 ก.พ. 2554

รูปที่ 6 รูปคลื่นกระแส และแรงดันไฟฟ้าที่ระบบจำหน่าย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงดันฮาร์มอนิก กับความเข้มของแสงอาทิตย์

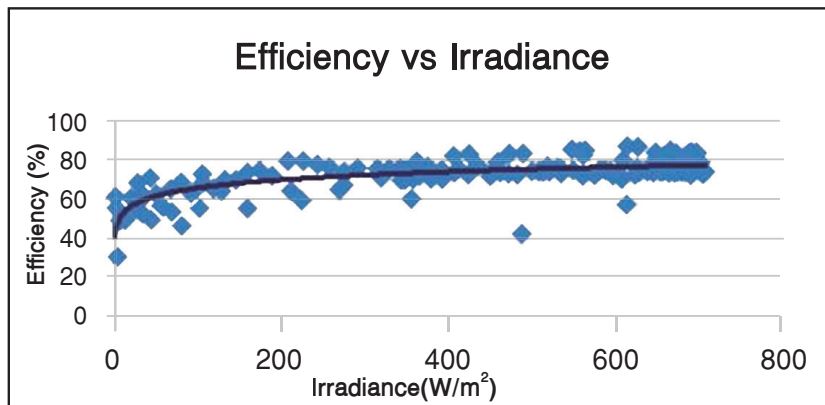


รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าของแรงดันฮาร์มอนิกกับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์

จากกราฟรูปที่ 7 พบว่า ค่าของแรงดันฮาร์มอนิก มีค่าอยู่ระหว่าง 2.78 % - 2.24 % และจะมีค่าต่ำสุดในช่วงเวลาที่ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์มีค่าสูงที่สุดนั้น คือ เมื่อความเข้มของ

แสงอาทิตย์ มีค่าสูงกว่า 300 W/m² ค่าแรงดันฮาร์มอนิก จะมีค่าระหว่าง 2.24 % - 2.44 % ผลการทดลองพบว่าค่าของแรงดันฮาร์มอนิก มีค่าดีกว่าค่าที่ระบุไว้ตามมาตรฐาน IEEE 519

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่งกับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์



รูปที่ 8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์กับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์

จากกราฟรูปที่ 8 พบว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่งจะมีค่าน้อยกว่า ร้อยละ 70 เมื่อค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ มีค่าน้อยกว่า 100 W/m² และประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ จะสูงขึ้นเมื่อค่าความเข้มของแสงอาทิตย์มากขึ้น และจะมีค่าสูงสุด 87.3 % ที่ค่า $H_i = 700$ W/m² เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพสูงสุดของอินเวอร์เตอร์ เท่ากับ 87.3 % ที่เวลา 14:10:01 น. และค่า $H_i = 700$ W/m² ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 71.61 % และค่าสูงสุดเท่ากับ 87.3 % ซึ่งต่ำกว่าค่าประสิทธิภาพสูงสุดที่กำหนดไว้ในตารางคุณลักษณะของอินเวอร์เตอร์ (92%)

สรุปและอภิปรายผล

สรุป

ผลการศึกษาคุณภาพไฟฟ้าดังกล่าว เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค IEEE 929 IEEE 1547 และ ICE 61727 พบว่าค่าตัวประกอบกำลัง และฮาร์มอนิกของกระแสไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในทุกมาตรฐาน ส่วนค่าอื่นๆ เป็นไปตามข้อกำหนดทุกมาตรฐาน ดังตารางที่ 3

ส่วนผลการทดลองหาค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ สูงสุดเท่ากับ 87.3 % และต่ำสุดเท่ากับ 31.29 % ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยทั้งวันเท่ากับ 71.61 % ซึ่งประสิทธิภาพสูงสุดที่ทดลองได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ในคู่มือของอินเวอร์เตอร์

อภิปรายผล

เมื่อนำผลการศึกษามาเปรียบเทียบกับผลการการศึกษาของ (อรศิริ, 2552) ที่ทำการตรวจวัดค่าคุณภาพไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.4 กิโลวัตต์สูงสุด ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำแบบ 1 เฟส ของการไฟฟ้านครหลวง พบว่า ค่าระดับแรงดันไฟฟ้าที่ระบบจำหน่ายสูงกว่าค่ามาตรฐานส่วนค่าแรงดันกระเพื่อม ความถี่ไฟฟ้า ตัวประกอบกำลัง และฮาร์มอนิกของกระแสและแรงดัน มีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน

การเชื่อมต่อที่เกี่ยวข้องสอดคล้องกับการศึกษาของ (ศุภิสรา, 2549) ที่ทำการวิจัยและทดลองวัดคุณภาพไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้า ลักษณะเดียวกัน ขนาด 1 กิโลวัตต์สูงสุด พบว่าค่าคุณภาพไฟฟ้าเป็นไปตามมาตรฐานการเชื่อมต่อที่เกี่ยวข้อง ซึ่งต่างจากการวิจัยนี้กล่าว คือ ค่าแรงดันที่ระบบจำหน่าย ค่าความถี่ และค่าแรงดันฮาร์มอนิก มีค่าเป็นไปตามมาตรฐาน แต่ค่ากระแสฮาร์มอนิก และค่าตัวประกอบกำลัง ไม่เป็นไปตามค่ามาตรฐานการเชื่อมต่อที่อ้างอิงในการวิจัยครั้งนี้

ตารางที่ 3 ผลการศึกษาคูณภาพไฟฟ้าที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กแบบต่อเข้าสายส่งขนาด 250 W ที่ต่อร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 260 Wp

คุณภาพไฟฟ้า	กฟน / กฟภ	IEEE 929	IEEE 1547	IEC 61727
ระดับแรงดัน	เป็นไปตามข้อกำหนด	เป็นไปตามข้อกำหนด	เป็นไปตามข้อกำหนด	เป็นไปตามข้อกำหนด
ความถี่	เป็นไปตามข้อกำหนด	N/A	N/A	N/A
ตัวประกอบกำลัง	ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (มีค่าต่ำกว่า)	ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (มีค่าต่ำกว่า)	N/A	ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (มีค่าต่ำกว่า)
ฮาร์มอนิกกระแส	ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (มีค่าสูงกว่า)	ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (มีค่าสูงกว่า)	ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (มีค่าสูงกว่า)	ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด (มีค่าสูงกว่า)
ฮาร์มอนิกแรงดัน	เป็นไปตามข้อกำหนด	N/A	N/A	N/A

เนื่องมาจากค่ากระแสฮาร์มอนิก ที่ทดลองได้มีค่าเกินกว่าค่ามาตรฐานอย่างมาก ในทางทฤษฎีการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยของกระแสฮาร์มอนิก จะพิจารณา ณ เวลาที่อินเวอร์เตอร์ จ่ายกระแสสูงสุด แต่ในการวิจัยนี้กระแสค่อนข้างต่ำ โดยกระแสที่ใช้ในการทดสอบเพียงร้อยละ 29.94 ของค่ากระแสเอาต์พุตสูงสุดของอินเวอร์เตอร์เท่านั้น

ประเด็นนี้ อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าเฉลี่ยของกระแสฮาร์มอนิกสูงก็ได้ หากทดลองที่กระแสเอาต์พุตมีค่าใกล้เคียงกับค่าพิกัด อาจส่งผลให้ค่ากระแสฮาร์มอนิก มีค่าลดลงเข้าใกล้ค่ามาตรฐาน หรืออยู่ภายใต้ข้อกำหนดของมาตรฐานที่นำมาอ้างอิง จึงควรทดสอบในเงื่อนไขนี้ ในการวิจัยครั้งต่อไป

โดยภาพรวมแล้ว ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรณานุกรมระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของการไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นไปตามมาตรฐานการเชื่อมต่อด้านคุณภาพไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง อย่างไรก็ตาม กระแสฮาร์มอนิก และค่าตัวประกอบกำลัง คือ ตัวแปรด้านคุณภาพไฟฟ้าที่สำคัญ ที่ส่งผลเสียต่อค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงระบบภายในอุปกรณ์ไฟฟ้ามากที่สุด ทั้งนี้ โดยทั่วไปแล้ว ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่ต่อเชื่อมกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้ามักไม่ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่าย เนื่องจากมีกำลังผลิตน้อย

บรรณานุกรม

- ศุภิสรา ศรีเสน, 2549. ผลกระทบด้านคุณภาพไฟฟ้าบนระบบจำหน่ายของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อรศิริ ชวนะพงศ์, 2552. การศึกษาคุณภาพไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อบรรณานุกรมระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- Bin Wu, 2551. เอกสารประกอบการบรรยาย Power Quality of the Renewable

Energy System for Sustainable Development. 6 พ.ค. 2551 โรงแรมริชมอนด์ จังหวัดนนทบุรี ประเทศไทย.

- IEC technical committee 82 Solar photovoltaic energy system. (2004). International standard - Photovoltaic (PV) systems-Characteristics of the utility interface. [CD-ROM]. (HIS Worldwide Specs & Standards: International Electro technical Commission: IEC 61727 : 2004).
- IEEE-SA Standards Board. (2000). IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems. [CD-ROM]. (HIS Worldwide Specs & Standards: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.: IEEE Std 929-2000) <http://www.bcse.org.au/default.asp?id=233> (Accessed 3 December 2008)
- IEEE-SA Standards Board. (2003). IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems. [CD-ROM]. (HIS Worldwide Specs & Standards : The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.: IEEE Std 1547-2003)