

การศึกษาสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าขนาด 6.52 กิโลวัตต์ นิพนธ์ เกตุจ้อย* และ คงฤทธิ มั่นศิริ

Technical Performance Study of 6.52 kW_p Photovoltaic Grid Connected System Nipon Ketjoy* and Kongrit Mansiri

วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000

School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand

*Corresponding Author. E-mail address: niponk@nu.ac.th (N. Ketjoy)

Received 10 August 2010; accepted 21 February 2011

บทคัดย่อ

บทความวิจัยฉบับนี้นำเสนอผลการประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า (380/230 V) ขนาด 6.52 kW โดยระบบประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามชนิดได้แก่ Poly Crystalline Silicon, Single Junction Amorphous Silicon and Triple Junctions Amorphous Silicon เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าขนาด 2.1 kW จำนวน 3 เครื่อง โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบโดยอ้างอิงวิธีการประเมินระบบเซลล์แสงอาทิตย์จาก International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Task 2 Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems (IEA PVPS Task) ผลการประเมินพบว่า พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield, Y_r) เท่ากับ 4.25 kWh/kWp.d พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield, Y_a) เท่ากับ 3.60 kWh/kWp.d พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield, Y_f) เท่ากับ 3.23 kWh/kWp.d พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture Losses, L_c) เท่ากับ 0.64 kWh/kWp.d พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบ (System Losses, L_s) เท่ากับ 0.37 kWh/kWp.d สมรรถนะของระบบ (Performance Ratio, PR) เท่ากับ 0.77 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์ทั้งสามชนิด Poly crystalline Silicon , Single Junction Amorphous Silicon and Triple Junction Amorphous Silicon เท่ากับ 9.95 % 6.21 % และ 4.68 % ตามลำดับ

คำสำคัญ: สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่ง

Abstract

This article presents technical performance study of 6 kW PV grid connected system to low voltage electricity distribution line. The components of this system consisted with: three types of PV modules (poly crystalline silicon, single junction amorphous silicon and triple junction amorphous silicon) and three units of 2.1 kW grid connected inverter. The objective of this research was to evaluate the technical performance of system refer to International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Task 2 Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems (IEA PVPS Task 2). The results of research was found by following: Reference Yield (Y_r) was 4.25 kWh/m².d, Array Yield (Y_a) was 3.60 kWh/kWp.d, Final Yield, (Y_f) was 3.23 kWh/kWp.d, Capture Losses, L_c was 0.64 kWh/kWp.d, System Losses (L_s) was 0.37 kWh/kWp.d, Performance Ratio (PR) was 0.77 and PV efficiency of poly crystalline silicon, single junction amorphous silicon and triple junctions amorphous silicon were 9.95%, 6.21% and 4.63%, respectively.

Keywords: Technical performance, Photovoltaic grid connected system

บทนำ

ประเทศไทยตั้งอยู่ในบริเวณเส้นศูนย์สูตร มีแสงอาทิตย์ สม่ำเสมอตลอดทั้งปี จากข้อมูลของกรมพัฒนาพลังงาน ทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน พบว่าค่าพลังงานรังสีอาทิตย์ เฉลี่ยรายวันของประเทศไทยประมาณ 5 kWh/m².day (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) ซึ่งหากคำนวณค่าพลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่ ของประเทศไทย (514×10^9 ตารางเมตร หรือประมาณ 320 ล้านไร่) ตลอดทั้งปีแล้วจะมีค่าประมาณ $900,000 \times 10^3$ GWh/year (นิพนธ์, 2545) เมื่อเปรียบเทียบกับ

ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยที่อยู่ในระดับ 141,558 MWh/year (การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, 2552) จะ พบว่าพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นที่ของ ประเทศไทยยังมีค่าสูงกว่าถึงประมาณ 6,300 เท่าของ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์ เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง ปัจจุบันประเทศไทยได้ติดตั้ง ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์แล้วประมาณ 33 MW (สำนัก พัฒนาพลังงานรังสีอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน, 2552) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการติดตั้งใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย

พ.ศ.	ปริมาณการติดตั้ง (kW)		
	off-grid	grid-connected	รวม
2526-2530	30.29	120	150.29
2531-2535	119.03	122.1	241.13
2536-2540	1,640.25	139.36	1,779.61
2541-2545	2,570.12	319.77	2,889.89
2546	3,128.63	1,095.31	4,223.95
2547	9,070.25	1,761.35	10,831.60
2548	22,107.18	1,773.85	23,881.03
2549	28,660.28	1,796.08	30,456.37
2550	28,900.73	3,475.93	32,376.67
2551	29,336.01	3,850.09	33,186.10

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นอีกรูปแบบหนึ่งของการประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์และเป็นระบบที่สามารถประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับการประยุกต์ใช้งานเซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบอื่นๆ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSP) ผลิตไฟฟ้าเพื่อขายให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิต ซึ่งปัจจุบันมีผู้ยื่นขอผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 200 ราย คิดเป็นกำลังการผลิตประมาณ 852 MW และที่ดำเนินการแล้วเสร็จผลิตไฟฟ้าจำหน่ายให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตประมาณ 8 MW ติดตั้งอยู่ตามภูมิภาคต่างๆ ของประเทศดังตัวอย่างในรูปที่ 1 (ดีเรก, 2551)



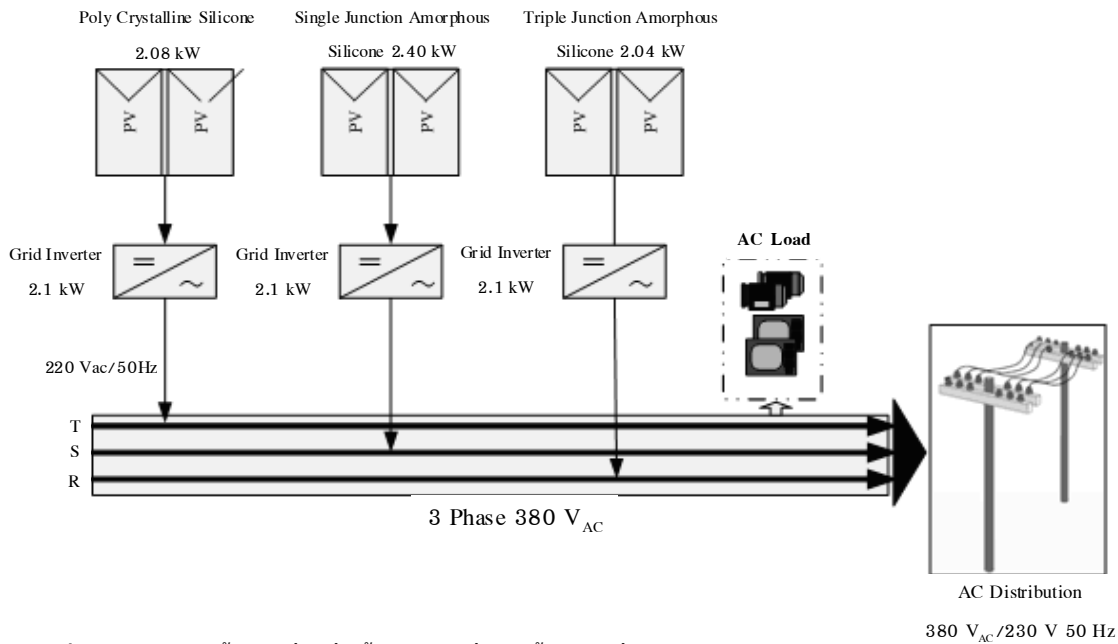
รูปที่ 1 โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย (บริษัทบางกอกโซลาร์ พาวเวอร์ จำกัด, 2553)

ในการติดตั้งโรงไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายต้องใช้เงินงบประมาณในการดำเนินการสูง ดังนั้นระบบที่จะติดตั้งจึงจำเป็นต้องมีสมรรถนะที่สูงเพื่อให้ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากส่งผลถึงระยะเวลาคืนทุนที่สั้นลง แต่สมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายยังไม่ได้ได้รับการศึกษาอย่างเพียงพอในประเทศไทย แต่ในทวีปยุโรปได้มีการศึกษาสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งมานาน Mr. Peter Ahm ได้ทำการศึกษาศมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าสายส่งในทวีปยุโรปหลายร้อยระบบ ซึ่งมีข้อมูลอ้างอิงตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 - 2006 พบว่าสมรรถนะของระบบอยู่ในช่วง 0.6 - 0.75 (Peter, 2009) และจะมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า

ภายใต้สภาพแวดล้อมของประเทศไทยเพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการพัฒนาระบบเซลล์แสงอาทิตย์ของประเทศต่อไป

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าขนาด 6.52 กิโลวัตต์สูงสุด

ระบบที่ทำการศึกษาวิจัยเป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำขนาด 6.52 kW มีส่วนประกอบหลักประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิด ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly Crystalline Silicon (p-Si) ขนาด 2,080 W แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Single Junction Amorphous Silicon (a-Si) ขนาด 2,400 W แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Triple Junction Amorphous Silicon (tri-a-Si) ขนาด 2,040 W และ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ขนาด 2.1 kW จำนวน 3 เครื่อง ดังแสดงในรูปที่ 2



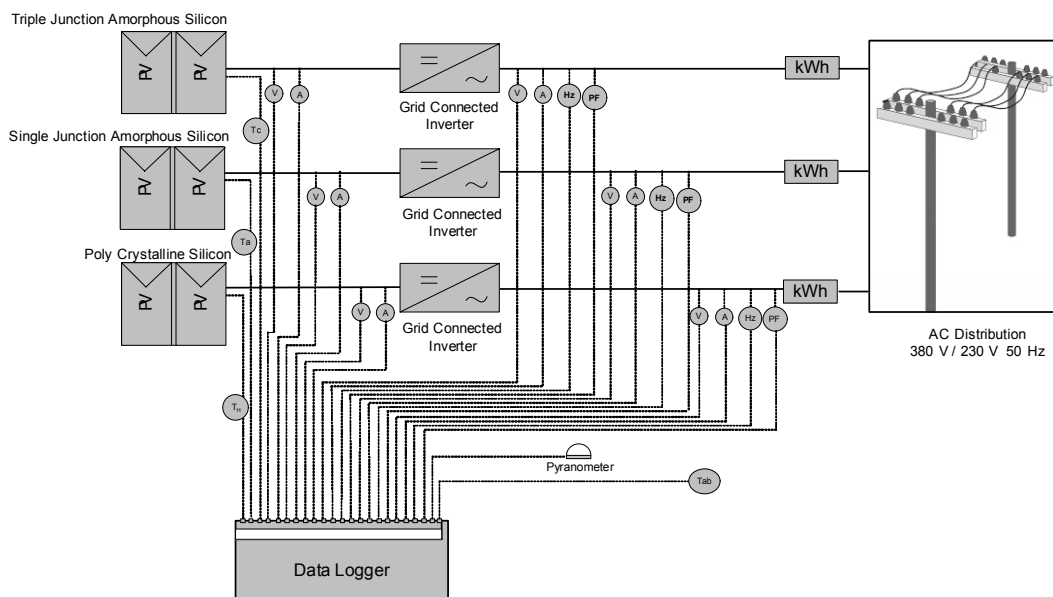
รูปที่ 2 ระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำขนาด 6.52 kW_p

ระบบถูกออกแบบให้เป็นระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบ 3 Single Phase โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิด ถูกแบ่งเป็น 3 ชุด ชุดละ 1 เฟส คือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งชนิดจะผลิตไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำในแต่ละเฟส ดังนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ p-Si จ่ายไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เฟส R แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si จ่ายไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำที่เฟส S แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด tri-a-Si จ่ายไฟฟ้าให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำเฟส T หลักการทำงานของระบบคือเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นเครื่องแปลง

กระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายก็จะทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ 230 V 50 Hz จ่ายให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำและจ่ายให้กับภาระทางไฟฟ้าต่าง ๆ

ระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูลของระบบ

ระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำขนาด 6.52 kW ได้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดตัวแปรต่าง ๆ ทางไฟฟ้า ดังแสดงในรูป 4 เพื่อนำข้อมูลที่ตรวจวัดได้ไปประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบ



รูปที่ 3 ระบบตรวจวัดและบันทึกข้อมูลของระบบ

การตรวจวัดค่าตัวแปรที่เกี่ยวข้องใช้ Data logger เป็นอุปกรณ์บันทึกข้อมูลอัตโนมัติโดยจะบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 นาที ระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 5 เดือน ตั้งแต่เดือนเมษายน-กันยายน ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำการบันทึกค่าและที่จำเป็นในการประเมินทางเทคนิคแสดงดังตารางที่ 2

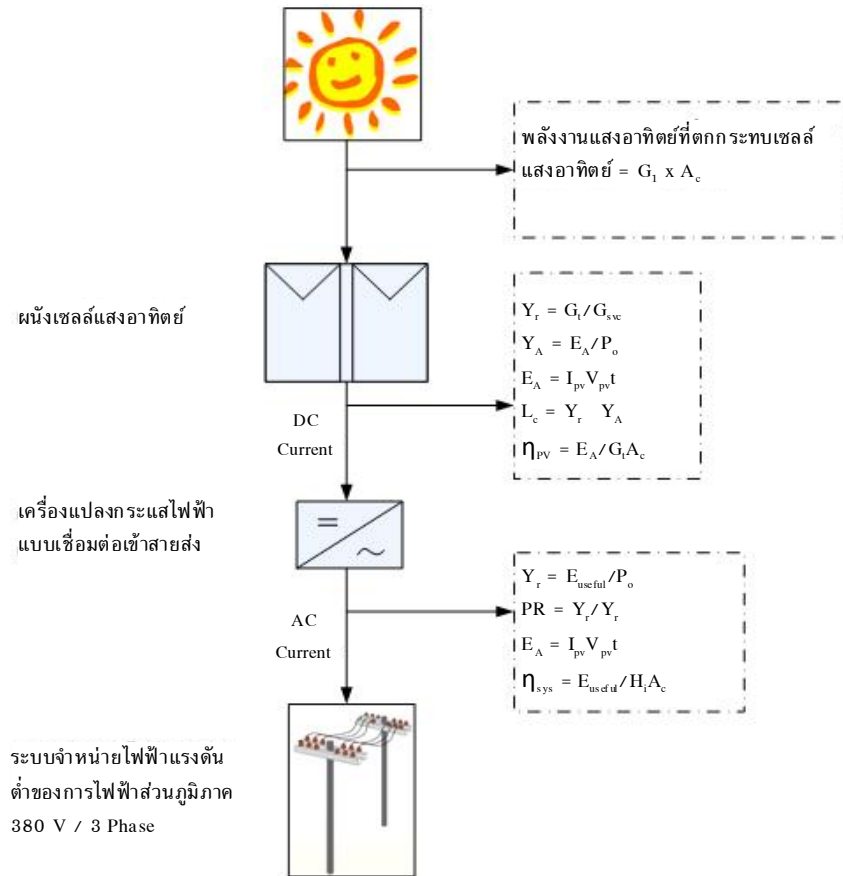
วิธีการประเมินสมรรถนะของระบบ

หลังจากทำการบันทึกข้อมูลเสร็จในลำดับต่อมาเป็นการวิเคราะห์สมรรถนะทางเทคนิคของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้า

แรงดันต่ำ ในการวิจัยนี้ใช้วิธีการวิเคราะห์ทางด้านเทคนิคของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ โดยอ้างอิงจาก International Energy Agency Photovoltaic Power Systems TASK 2 – Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems (IEA PVPS Task 2) (นิพนธ์ และ วัฒนพงษ์, 2544; Achitpon, 2006; kritwiput, 2007; ณัฐวุฒิ, 2552; อำนาจ, 2553) ซึ่งได้กำหนดเนื้อหาการประเมินตัวแปรต่าง ๆ ที่บ่งชี้ถึงสมรรถนะของระบบ ขั้นตอนและวิธีการประเมินแสดงดังรูปที่ 4 (Nordmann & Clavadetscher, 2010)

ตารางที่ 2 ตัวแปรต่าง ๆ ที่ระบบทำการตรวจวัดและตัวแปรที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะระบบ

ตัวแปรที่ระบบทำการตรวจวัด	สัญลักษณ์
แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ p-Si, a-Si, tri-a-Si	$V_{DCC}, V_{DCA}, V_{DCH}$
กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ p-Si, a-Si, tri-a-Si	$I_{DCC}, I_{DCA}, I_{DCH}$
แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับของชุด p-Si, a-Si, tri-a-Si	$V_{ACC}, V_{ACA}, V_{ACH}$
กระแสไฟฟ้ากระแสสลับของชุด p-Si, a-Si, tri-a-Si	$I_{ACC}, I_{ACA}, I_{ACH}$
กำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ p-Si, a-Si, tri-a-Si	Pp-Si, Pa-Si, Ptri-a-si
อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ p-Si, a-Si, tri-a-Si	T_c, T_A, T_H
อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}C$)	T_{ab}
พลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	Epv
พลังงานไฟฟ้าที่ผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า	Egrid
ค่ารังสีอาทิตย์	Gt
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield)	Y_A
พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้	E_A
กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	Po
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield)	Yr
ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานการทดสอบ	Gstc
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์	Yf
พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกนำไปใช้งานจริง	E_{useful}
พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture Losses)	Lc
พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System Losses)	Ls
สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio)	PR
ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	η_{PV}
ประสิทธิภาพของระบบ	η_{Sys}

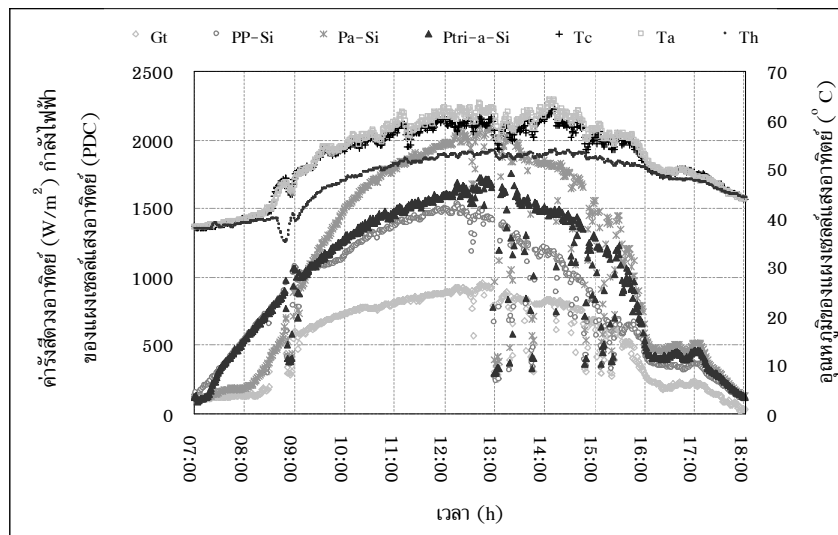


รูปที่ 4 วิธีการประเมินระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่าย

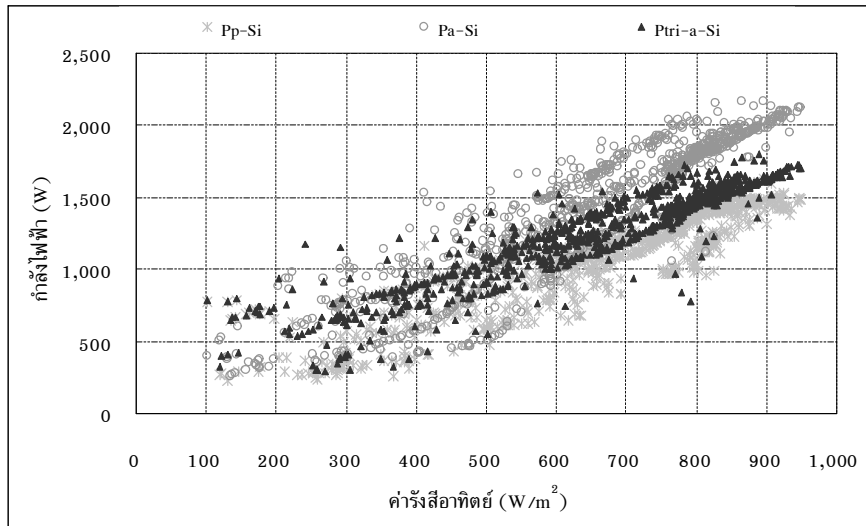
ผลการประเมินระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่าย

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด แสดงดังรูปที่ 5

จากรูป 5 พบว่า กำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตรงกับค่ารังสีอาทิตย์ ที่ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ย 529 W/m^2 อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si, a-Si และ tri-a-Si มีค่าเท่ากับ 52.34°C 53.14°C และ 47.90°C ตามลำดับ ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิด ผลิตได้จะขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีอาทิตย์เมื่อความเข้มของรังสีอาทิตย์สูงขึ้นกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ก็มีค่าสูงขึ้นตามแสดงดังรูป 6



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีอาทิตย์กับตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

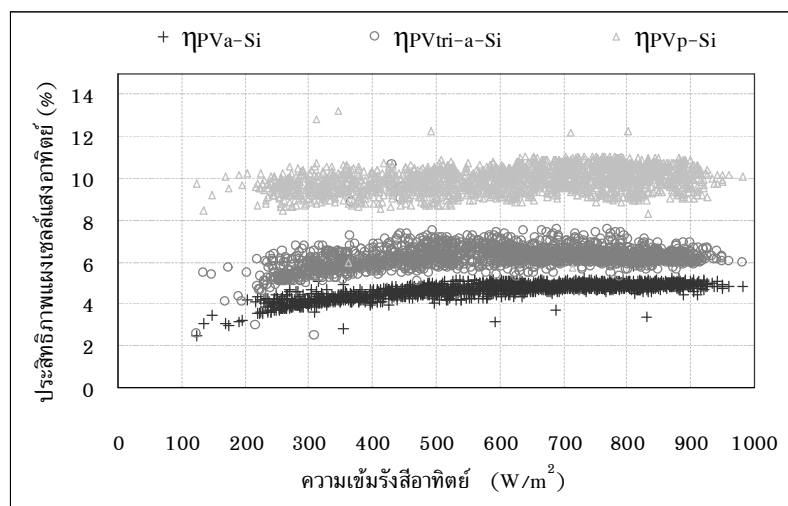


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ กับค่ารังสีอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ มีอุปกรณ์ประกอบหลักอยู่ 2 ส่วนคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดและเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสามารถแสดงดังรูปที่ 7

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาได้จากกำลังไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้หารด้วยค่ารังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์คูณกับพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบพบว่า ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si, a-Si และ tri-a-Si มีค่าเท่ากับ 9.95 % 4.68 % และ 6.21 % ตามลำดับ เห็นได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si มีประสิทธิภาพสูงที่สุด แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si มีประสิทธิภาพต่ำที่สุด ถึงแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ p-Si จะมีประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดทั้งวัน (Y_A) พบว่า

ที่พลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ $4.25 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d}$ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเท่ากับ $3.84 \text{ kWh/kWp} \cdot \text{d}$ ตามด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด tri-a-Si $3.79 \text{ kWh/kWp} \cdot \text{d}$ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si $3.46 \text{ kWh/kWp} \cdot \text{d}$ แตกต่างจากประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด p-Si มีประสิทธิภาพสูงที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์ตลอดทั้งวัน ($\text{kWh/kWp} \cdot \text{d}$) พบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด tri-a-Si ผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าแบบ p-Si ตามลำดับ เพราะว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด a-Si และ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด tri-a-Si สามารถรับ Spectrum ของแสงในช่วงความยาวคลื่นที่กว้างกว่าแบบ p-Si ทำให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้ตลอดทั้งวันที่ความเข้มรังสีอาทิตย์น้อยๆ จนถึงมาก ส่งผลให้ผลิตไฟฟ้าได้สูงเมื่อเปรียบเทียบตลอดทั้งวันดังแสดงในตารางที่ 3



รูปที่ 7 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิด

ตารางที่ 3 ตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ประสิทธิภาพแผง [%]	พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้ (Y_A) [kWh/kWpd] ($G_t = 4.25 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d}$)
Polycrystalline Silicon (p-Si)	9.95	3.46
Single junction Amorphous Silicon (a-Si)	4.68	3.84
triple junction Amorphous Silicon(tri-a-Si)	6.21	3.79

สมรรถนะของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่าย

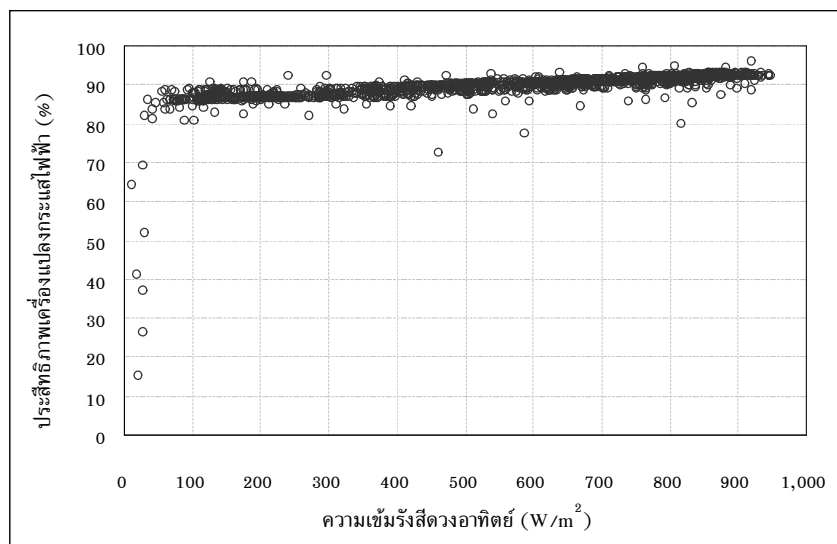
ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าใช้เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าทั้งหมด 3 เครื่อง ซึ่งติดตั้งอยู่ภายในอาคารควบคุมประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสามารถหาได้จากกำลังไฟฟ้าที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าผลิตได้ (Output Power) หาดด้วยกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Input Power) จากการวิเคราะห์ข้อมูลพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากับความเข้มรังสีอาทิตย์ ดังแสดงดังรูปที่ 8 และประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยทั้ง 3 เครื่องเท่ากับ 89.86 %

คุณภาพไฟฟ้าที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายผลิตได้นั้นอยู่ภายใต้มาตรฐานของการไฟฟ้านครหลวง โดยอ้างอิงจาก “ระเบียบการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายว่าด้วยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนานกับระบบการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายสำหรับปริมาณพลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 1 เมกะวัตต์ ของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.)” เนื่องจากระบบติดตั้งอยู่ในจังหวัดนนทบุรี เป็นเขตรับผิดชอบของการไฟฟ้านครหลวง ซึ่งระบบผลิตไฟฟ้าที่ต่อขนานเข้ากับระบบของการไฟฟ้านครหลวงจะต้องควบคุมคุณภาพไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่การไฟฟ้านครหลวงกำหนดตามระเบียบการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง

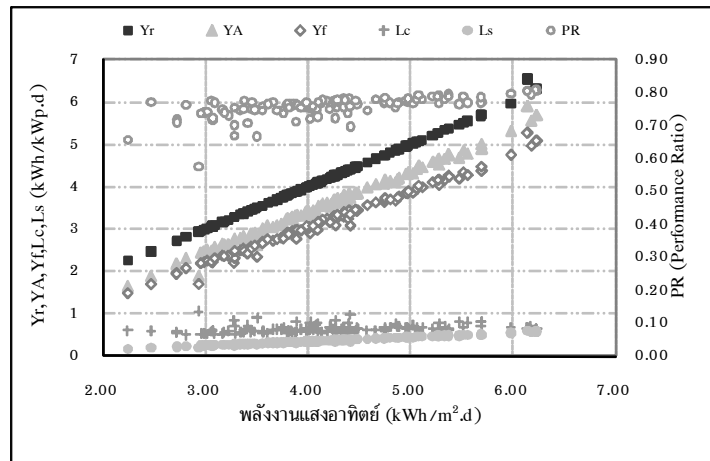
กำหนดช่วงแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 209 – 240 V ความถี่ไฟฟ้าอยู่ในช่วง $50 \pm 0.5 \text{ Hz}$ ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำสามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ 216 – 237 V และความถี่อยู่ในช่วง 49.8 – 50.40 Hz ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามระเบียบ

ผลการประเมินสมรรถนะโดยรวมของระบบ

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ จากข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ $4.24 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{d}$ เซลล์แสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 23.53 kWh/d และ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับให้กับระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำเท่ากับ 20.94 kWh/d เกิดการสูญเสียพลังงาน (Energy Loss) ภายในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 2.60 kWh/d จากการวิเคราะห์ข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าแรงดันต่ำขนาด 6 kW สามารถสรุปตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้ากับค่ารังสีอาทิตย์



รูปที่ 9 ตัวแปรที่มีผลต่อสมรรถนะของระบบ

จากรูปที่ 9 พบว่าตัวแปรที่แปรผันตรงกับรังสีอาทิตย์ ประกอบด้วย พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (Y_A) พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Y_f) ส่วนสมรรถนะของระบบ (PR) ไม่ขึ้นกับค่ารังสีอาทิตย์ ผลการประเมินสมรรถนะโดยรวมของระบบที่อ้างอิงจาก IEA PVPS Task 2 แสดงดังตารางที่ 4

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎีเท่ากับ 4.25 kWh/kWp.d เซลล์แสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงได้ 3.67 kWh/kWp.d ในกระบวนการเปลี่ยนพลังงานรังสีอาทิตย์เป็นไฟฟ้าเกิดการสูญเสียพลังงานในเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 0.6 kWh/kWp.d โดยประสิทธิภาพเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสามชนิดเท่ากับ 5.81% พลังงานไฟฟ้าที่ถูกนำไปใช้จริงของระบบโดยผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 3.30 kWh/kWp.d พบว่าเกิดการสูญเสียในระบบเปลี่ยนรูปพลังงาน เช่น สูญเสียในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในสายไฟและจุดเชื่อมต่อต่าง ๆ เท่ากับ 0.38 kWh/kWp.d โดยเครื่องแปลงไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายมีประสิทธิภาพเท่ากับ 89.77% ประสิทธิภาพรวมของระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบ

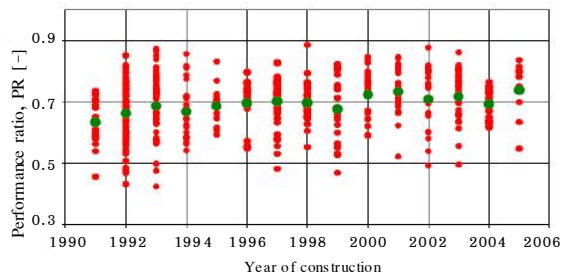
ตารางที่ 4 สมรรถนะโดยรวมของระบบ

ตัวแปร	
พลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ (G_t) [$\text{kWh/m}^2.\text{d}$]	4.24
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (E_A) [$\text{kWh/m}^2.\text{d}$]	23.54
พลังงานไฟฟ้าที่ผ่านเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าจ่ายให้กับระบบจำหน่าย (E_{useful}) [$\text{kWh/m}^2.\text{d}$]	21.13
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Y_r) [kWh/kWp.d]	4.25
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield, Y_A) [kWh/kWp.d]	3.67
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield, Y_f) [kWh/kWp.d]	3.30
พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Capture Losses, L_c) [kWh/kWp.d]	0.60
พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System Losses, L_s) [kWh/kWp.d]	0.38
สมรรถนะของระบบ (Performance Ratio, PR)	0.77
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV efficiency, η_{PV}) [%]	5.81
ประสิทธิภาพเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับสายส่ง (Inverter Efficiency, η_{Inv})	89.77
ประสิทธิภาพระบบ (System Efficiency, η_{Sys})	5.21

จำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำขนาด 6 kW เท่ากับ 5.21% และสมรรถนะทางด้านเทคนิคของระบบเท่ากับ 0.77

เปรียบเทียบสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการศึกษา กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์อื่น ๆ ทั่วโลก

จากการศึกษาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับสายส่งในประเทศกลุ่มทวีปยุโรปหลายร้อยระบบ ตั้งแต่ปี 1990 - 2006 พบว่า สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้ากับสายส่งมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก $0.6 - 0.75$ (Peter, 2009) แสดงดังรูปที่ 10 และสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้ากับสายส่งจะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากมีการพัฒนาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบรวมอื่นๆ อย่างต่อเนื่อง ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้ากับสายส่งขนาด 6.52 kWp ที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา มีสมรรถนะของระบบเท่ากับ 0.77 ซึ่งสูงกว่าระบบที่ทำการศึกษาในทวีปยุโรปนั้นเป็นเพราะว่าสภาพแวดล้อมในประเทศไทยมีความเหมาะสมที่จะติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าทวีปยุโรปและระบบที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาได้มีการออกแบบระบบที่ดีจึงส่งผลให้สมรรถนะของระบบสูง



รูปที่ 10 สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้า
จำหน่ายไฟฟ้าในทวีปยุโรป

สรุปผลการวิจัย

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการศึกษามีค่าเท่ากับ 0.77 ซึ่งพบว่ามีสมรรถนะสูงเนื่องจากระบบมีการออกแบบที่ดีและอุปกรณ์ประกอบรวมนั้นมีประสิทธิภาพสูง ดังได้กล่าวมาแล้ว ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นการประยุกต์ใช้ระบบเซลล์แสงอาทิตย์อีกรูปแบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์รูปแบบอื่น ๆ ดังนั้นระบบดังกล่าวจึงนิยมนำมาใช้เป็นโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ ปัจจุบันประเทศไทยมีแนวโน้มการติดตั้งโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากรัฐบาลมีนโยบายสนับสนุน ส่วนข้อดีของระบบคือราคาลงทุนเริ่มต้นที่สูงส่งผลต่อความคุ้มค่าทางด้านการเงิน แต่อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ยังเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางเลือกหนึ่งในการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันและอนาคตเพราะในกระบวนการเปลี่ยนรูปพลังงานไม่ส่งผลเสียต่อสภาพแวดล้อมเหมาะสมกับสถานการณ์ปัจจุบันที่เกิดวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ที่สนับสนุนข้อมูลการวิจัย และขอบคุณบุคลากรของวิทยาลัยพลังงานทดแทนทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยสำนักพัฒนาพลังงานรังสีอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2551).ค้นพบ เมษายน 25, 2553, จาก <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=958>

ศักยภาพพลังงานรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย. (2553). ค้นพบ เมษายน 28, 2553, จาก <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=222>

ดิเรก ลาวัญศิริ. แนวทางการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน. คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. ค้นพบ เมษายน 21, 2552, จาก www.erc.or.th

ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด, ฐิติพร เจาะจง และนิพนธ์ เกตุจ้อย. การศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้รายปีภายใต้สภาวะการใช้งานจริง. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ฉบับที่ 1, 44-49.

นิพนธ์ เกตุจ้อย. (2545). เทคโนโลยีโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจากกังหันก๊าซ. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, 10(2), 93-109

นิพนธ์ เกตุจ้อย และวัฒนพงษ์ รัชชวีเชียร. (2544). การประเมินความเหมาะสมของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย. วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร, 16-28.

บริษัท บางกอกโซลาร์ พาวเวอร์ จำกัด. (2553). โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย. ค้นพบ เมษายน 15, 2553, จาก www.bangkok solar.com/th/products/detail.php?id=29&SystemModuleKey=productg.

อำนาจ นิมทวี และนิพนธ์ เกตุจ้อย. (2553). การทดสอบและประเมินสมรรถนะเบื้องต้นของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก. วารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, ฉบับที่ 2, 30-50.

Achitpon S., Wattanapong R., Nipon K., & Suchart Y. (2007). Performance evaluation of a 10 kWp PV power system prototype for isolate building in Thailand. Renewable energy journal, 1288-1300.

Annual report 2008 of Electricity Generating Authority of Thailand. (2008). Retrieved April 25, 2010, from <http://pr.egat.co.th/AnnualReport/annual2008/>

Kritwiput P., Nipon K., Wattanapong R., and Suchat Y. (2007). Performance of a-Si, p-Si, and HIT PV technology comparison under tropical wet climate condition. International journal of renewable energy, vol 2, 23-34.

Performance of grid connected PV system: Overview of PVPS Task 2 result. (2010). Retrieved April 11, 2010, from <http://www.iea-pvps-task2.org/public/download/6DP.2.pdf>

Peter A. (2009). Optimization of Design of Grid-Connected PV Systems under Danish Conditions. PV-OPT report, PA Energy, Demark.