การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก

Performance evaluation of PV generator in microgrid system

อำนาจ ฉิมทวี และ นิพนธ์ เกตุจ้อย*
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
โทร 055 963 188 โทรสาร 055 963 188 E-mail: niponk@nu.ac.th

Amnaj Chimtavee and Nipon Ketjoy*
School of Renewable Energy Technology, Naresuan University, Phitsanulok 65000, Thailand
Tel: 055 963 188 Fax: 055 963 188 E-mail: niponk@nu.ac.th
* Corresponding author

บทคัดย่อ

ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กซึ่งทำการติดตั้งอยู่ใน วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร มีความสำคัญเป็นอย่างมากในการทำงานโดยรวมของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก การประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญ โดยทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้แก่ ความเข้มรังสีอาทิตย์ แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และกำลังไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 6 เดือน ตั้งแต่เดือน พฤศจิกายน 2551 - เมษายน 2552 นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการประเมินสามารถสรุปได้ดังนี้ ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้เฉลี่ย (Y_f) 4.12 kWh/kW$_p$ day ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบเฉลี่ย (η_{tot}) 10.57 % และสมรรถนะของระบบเฉลี่ย (PR) 74.64 % เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่างกันจะพบว่า ระบบจะมีประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงตามความเข้มรังสีอาทิตย์ โดยระบบจะมีประสิทธิภาพต่ำสุดช่วงความเข้ม 0 - 0.10 kW/m^2 ระบบจะมีประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงประสิทธิภาพสูงในช่วงความเข้ม 0.10 – 0.35 kW/m^2 ระบบจะมีประสิทธิภาพสูงคงที่ในช่วงความเข้ม 0.35 – 0.65 kW/m^2 และระบบจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างช้า ๆในช่วงความเข้ม 0.65 – 1.3 kW/m^2 สำหรับการสูญเสียพลังงานโดยรวมในระบบมีค่าประมาณ 25.36 % โดยเป็นพลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (L_c) 16.62 % และพลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (L_s) ซึ่งเกิดในเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า สายไฟฟ้า และอื่นๆ 8.74 %

คำสำคัญ; สมรรถนะ / ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ / เซลล์แสงอาทิตย์ / ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก/ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

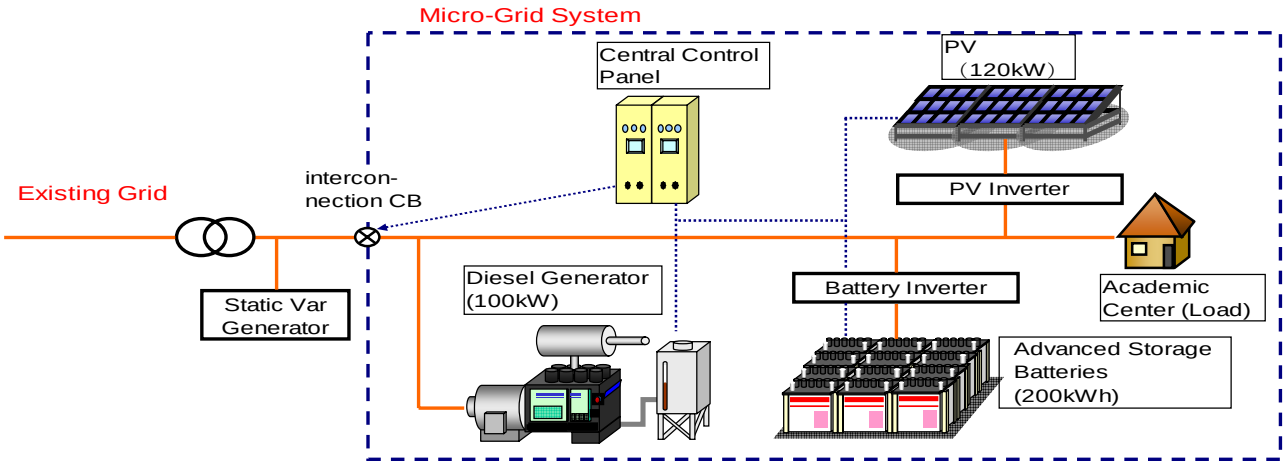
ABSTRACT

PV generator is the main electric generator of the microgrid system at School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University that has the significant role in the operation of the microgrid. Evaluation the performance of the PV generator is an important activity. By measuring the important parameters such as solar irradiance, PV array voltage, PV array current, and system AC electrical power, these data were collected for 6 months from November 2008 - April 2009. The evaluation result of the PV generator is presented follow this. The average final yield (Y_f) is 4.12 kWh/kW$_p$ day, the average system efficiency (η_{tot}) is 10.57 %, and the average performance ratio (PR) is 74.64 %. When consider the system efficiency of the PV generator at various solar irradiance, we found that it has the lowest efficiency when the solar irradiance at 0 - 0.10 kW/m^2, it's efficiency increase quickly when the solar irradiance at 0.10 - 0.35 kW/m^2, it has the highest efficiency when the solar irradiance at 0.35 - 0.65 kW/m^2, and it's efficiency decrease slowly when the solar irradiance at 0.65 - 1.30 kW/m$^{2.}$ The total loss of the PV generator is about 25.36 % that come from capture losses (L_c) 16.62 % and system losses (L_s) that are the loss in PV inverter, electric cable, and other 8.74 %.

Keyword; Performance / PV generator / Photovoltaic / Microgrid / Inverter

1. บทนำ

ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก (Micro Grid System) คือ รูปแบบของโครงข่ายการผลิตกระแสไฟฟ้าแรงต่ำขนาดเล็กที่ใช้แหล่งพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่หลากหลายโดยเฉพาะพลังงานทดแทน และ



รูปที่ 1 รูปแบบของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กที่ SERT

มีแหล่งผลิตกระแสไฟฟ้ากระจายอยู่ทั่วทั้งโครงข่าย เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ภายในโครงข่ายเป็นหลัก นอกจากนี้ยังสามารถรับกระแสไฟฟ้าจากระบบสายส่งไฟฟ้าของประเทศมาจ่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในโครงข่ายในกรณีที่การผลิตกระแสไฟฟ้าในโครงข่ายไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยทั่วไประบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กประกอบด้วยส่วนประกอบหลักๆ 5 ส่วนดังต่อไปนี้ 1) ส่วนผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 2) ส่วนเก็บสะสมพลังงาน 3) ส่วนควบคุมระบบ 4) ส่วนเชื่อมต่อกับระบบสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 5) ส่วนของภาระทางไฟฟ้า สำหรับโหมดการทำงานของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กมีอยู่ 2 โหมดดังนี้ 1) โหมดเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้าของประเทศ (Grid connected mode) 2) โหมดแยกตัวเป็นอิสระจากสายส่งไฟฟ้าของประเทศ (Island mode) ในช่วงหลายปีที่ผ่านมาระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กได้ถูกศึกษาและพัฒนาเพื่อนำไปใช้ร่วมกับระบบสายส่งไฟฟ้าในประเทศที่พัฒนาแล้วหลายๆประเทศ เช่น ประเทศในทวีปยุโรป สหรัฐอเมริกา ญี่ปุ่น และออสเตรเลีย เป็นต้น เพื่อปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า เสริมสร้างความมั่นคงและความเชื่อถือได้ของโครงข่ายไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นการใช้แหล่งพลังงานโดยเฉพาะแหล่งพลังงานทดแทนที่มีอยู่อย่างกระจัดกระจายในโครงข่ายไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับประเทศไทยนั้นได้เริ่มมีการศึกษาและพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กโดยวิทยาลัยพลังงานทดแทน (SERT) มหาวิทยาลัยนเรศวร ได้ร่วมมือกับ New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) แห่งประเทศ ญี่ปุ่น ทำการสร้างระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กในพื้นที่ของ วิทยาลัยพลังงานทดแทน เพื่อใช้ในการศึกษาและพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก 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 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและประจุแบตเตอรี่ (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 หลังจากระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กได้ทำงานครบทุกส่วนและทำการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆเป็นเวลา 6 เดือน จึงได้ทำการประเมินสมรรถนะของระบบ โดยระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นส่วนหนึ่งของระบบที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งซึ่งต้องถูกประเมินเพื่อนำผลที่ได้ไปศึกษาถึงลักษณะการทำงานและจุดบกพร่องในการทำงาน ซึ่งจะ นำไปใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบให้ดีขึ้น

2. วิธีการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

2.1 การทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำโดยเลือกโหมดการทำงานของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กให้อยู่ในโหมดเชื่อมต่อกับสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคโดยที่ส่วนประกอบหลักๆ 5 ส่วนของระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กทำงานเป็นปกติ จากนั้นและทำการวัดข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆได้แก่ ความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ แรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์

รูปที่ 2 หน้าจอแสดงผล (Graphic operation terminal)

แสงอาทิตย์กำลังไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้ตลอดเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยใช้เซ็นเซอร์ที่ติดตั้งอยู่ในระบบ ข้อมูลที่ถูกวัดได้จะถูกส่งไปแสดงผลและบันทึกข้อมูลที่หน้าจอแสดงผล (Graphic operation terminal) ที่แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ในส่วนควบคุมกลาง ทุกๆ 7 วัน จะทำการเก็บข้อมูลที่เก็บไว้ที่หน้าจอแสดงผลเพื่อนำไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพ และสมรรถนะของระบบระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป โดยการทดสอบครั้งนี้ทำการวัดและบันทึกข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ เป็นเวลา 6 เดือน ในช่วงเดือน พฤศจิกายน 2551 ถึง เมษายน 2552

2.2 การประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

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

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

Yr คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kW_p)

H_i คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m^2)

G_{STC} คือ ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ STC = 1 kW/m^2

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final yield) หาได้จากสมการ

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

Yf คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

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

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

L_C คือ พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System losses) หาได้จากสมการ

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

L_S คือ พลังงานที่สูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance ratio) หาได้จากสมการ

$$PR = Yf/Yr \quad (7)$$

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

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

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่สำคัญต่างๆที่ได้ทำการวัดและบันทึก

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้						
	พ.ย. 51	ธ.ค. 51	ม.ค. 52	ก.พ. 52	มี.ค. 52	เม.ย. 52	เฉลี่ย
Solar irradiance (W/m²)	0-1308	0-1266	25-1291	0-1013	0-1243	0-1324	
Average solar irradiance (W/m²)	634	575	550	510	525	651	574.17
V_{pmax} (V)	280-408	280-365	280-370	280-358	280-357	280-351	
Average V_{pmax} (V)	332	335	336	326	326	325	330.00
I_{pmax} (A)	4-187	4-179	6-162	4-150	2-188	2-198	
Average I_{pmax} (A)	91	83	80	75	92	95	86.00
P_{max} (kW)	2-124	2-123	4-117	2-97	1-115	1-126	
Average P_{max} (kW)	62	56	55	51	61	63	58.00
Total PV inverter output (kW)	0.46-118	0.26-115	0.61-108	0.23-89	0.12-104	0.1-118	
Average total PV inverter output (kW)	55	52	50	45	55	57	52.33

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

η_{inv} คือ ประสิทธิภาพชั่วขณะของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

η_{inve} คือ ประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า

P_{inv} คือ กำลังไฟฟ้าชั่วขณะที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าผลิตได้ (kW)

ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (System efficiency) หาได้จากสมการ

$$\eta_{sys} = P_{inv}/iA_A$$
$$\eta_{syse} = E_{PV}/H_iA_A \quad (13)$$

η_{sys} คือ ประสิทธิภาพชั่วขณะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

η_{syse} คือ ประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3. ผลการทดสอบและการประเมิน

3.1 ข้อมูลผลการทดสอบ

เมื่อทำการทดสอบครบ 6 เดือนตามที่กำหนด จะนำข้อมูลพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆที่ได้ทำการวัดและบันทึกไว้นั้น ไปทำการวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยข้อมูลพารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆที่ได้ทำการวัดและบันทึกได้แสดงในตารางที่ 1

3.2.1 พลังงานรังสีดวงอาทิตย์

จากการวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ที่ทำการวัดและบันทึกขณะทำการทดสอบสามารถสรุปได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

3.2.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์

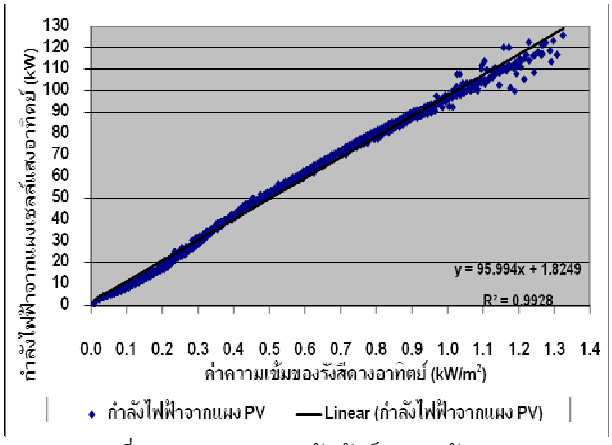
จากการวิเคราะห์ข้อมูลกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการวัดและบันทึกขณะทำการทดสอบสามารถสรุปได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาข้อมูลความเข้มของรังสีอาทิตย์ (G) กับข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (P_{max}) ซึ่งถูกทำเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 3 จะพบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรง ดังนั้นจึงสามารถนำความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้มาสร้างเป็นสมาการได้คือ P_{max} = 96.007G + 1.8148 โดย G มีหน่วยเป็น kW/m² และ P_{max} มีหน่วยเป็น kW นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาข้อมูลความเข้มของรังสีอาทิตย์ (G) กับข้อมูลประสิทธิภาพชั่วขณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (η_{pv}) ซึ่งถูกทำเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 4 จะพบว่ามีความสัมพันธ์กันเช่นกัน ดังนั้นจึงสามารถนำความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้มาสร้างเป็นสมาการได้คือ $\eta_{pv} = 280.17G^6 - 1211.4G^5 + 2036.7G^4 - 1666.3G^3 + 670.7G^2 - 115.39G + 17.128$ โดย G มี

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มของรังสีอาทิตย์

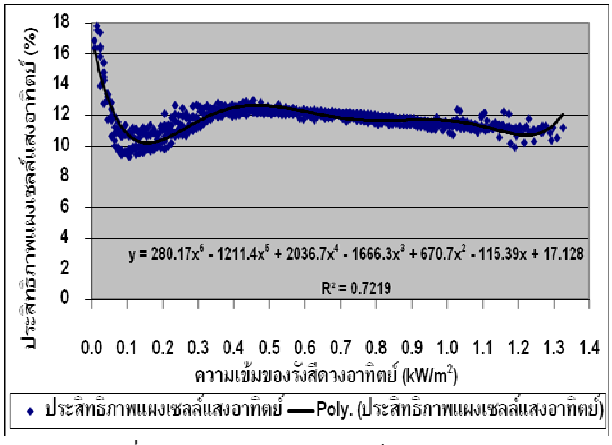
พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้						
	พ.ย. 51	ธ.ค. 51	ม.ค. 52	ก.พ. 52	มี.ค. 52	เม.ย. 52	เฉลี่ย
Daily solar radiation (kWh/m² day)	4.48-6.83	1.63-6.41	4.12-6.31	3.27-6.34	2.29-6.69	2.71-6.81	
Average daily solar radiation (kWh/m² day)	5.93	5.34	5.67	5.05	5.40	5.72	5.52
Daily PV energy input (MWh/day)	3.79-5.78	1.38-5.43	3.49-5.34	2.77-5.37	1.94-5.66	2.30-5.76	
Average daily PV energy input (MWh/day)	5.02	4.52	4.80	4.27	4.57	4.84	4.67

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิเคราะห์ข้อมูลข้อมูลกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้						
	พ.ย. 51	ธ.ค. 51	ม.ค. 52	ก.พ. 52	มี.ค. 52	เม.ย. 52	เฉลี่ย
PV energy generation (kWh/day)	428-679	155-644	426-635	332-629	230-677	272-675	
Average PV energy generation (kWh/day)	589	534	573	507	545	563	552
Daily array yield (kWh/kW$_p$ day)	3.57-5.65	1.29-5.37	3.54-5.29	2.77-5.24	1.91-5.64	2.27-5.63	
Average daily array yield (kWh/kW$_p$ day)	4.91	4.45	4.78	4.22	4.54	4.69	4.60
Daily reference yield (kWh/kW$_p$ day)	4.48-6.83	1.63-6.41	4.12-6.31	3.27-6.34	2.29-6.69	2.71-6.81	
Average daily reference yield (kWh/kW$_p$ day)	5.93	5.34	5.67	5.05	5.40	5.72	5.52
Capture losses (kWh/kW$_p$ day)	0.80-1.18	0.34-1.07	0.58-1.07	0.50-1.10	0.36-1.13	0.45-1.29	
Average capture losses (kWh/kW$_p$ day)	1.02	0.89	0.89	0.82	0.86	1.03	0.92
Instantaneous PV efficiency (%)	5.4-45.8	9.5-50.0	9.3-17.4	9.6-60.4	9.9-17.6	10.5-17.8	
Daily PV efficiency (%)	11.1-11.9	11.3-12.1	11.7-12.2	11.5-12.1	11.6-12.4	11.3-12.0	
Average daily PV efficiency (%)	11.7	11.8	12.0	11.9	11.9	11.6	11.82



รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ G กับ P_{max}



รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ G กับ η_{pv}

หน่วยเป็น kW/m² และ η_{pv} จะอยู่ในรูป % สำหรับพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ท่ากับ 552 kWh/day ค่า array yield เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 4.60 kWh/kW$_p$ day ค่า reference yield เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 5.52 kWh/kW$_p$ day ค่า capture losses เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 0.92 kWh/kW$_p$ day และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์รายวันเท่ากับ 11.82 %

3.2.3 เครื่องแปลงกระเสไฟฟ้า

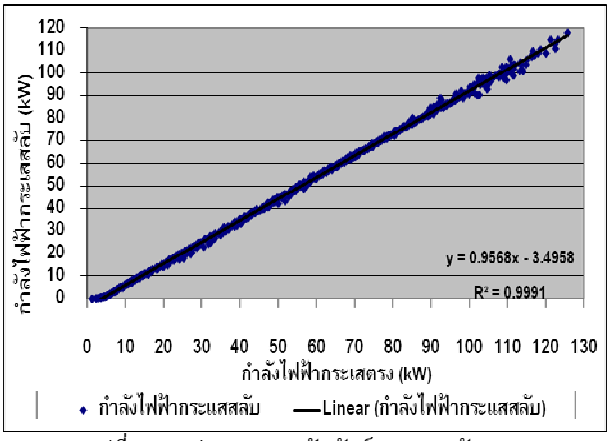
จากการวิเคราะห์ข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าผลิตได้ที่ทำการวัดและบันทึกขณะทำการทดสอบสามารถสรุปได้ดังแสดง ไว้ในตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสตรงตรงที่จ่ายให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า P_{PV} กับกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิเคราะห์ข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าผลิตได้

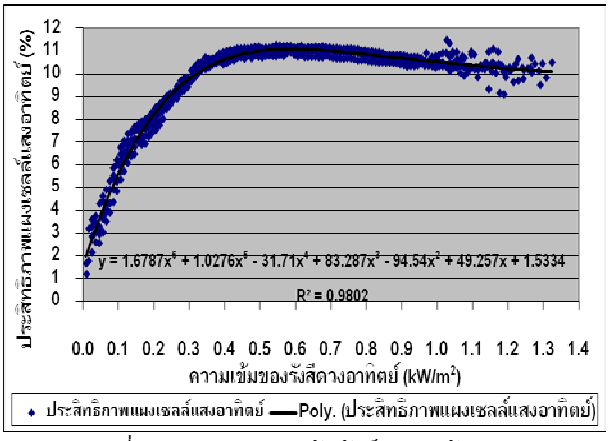
พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้						
	พ.ย. 51	ธ.ค. 51	ม.ค. 52	ก.พ. 52	มี.ค. 52	เม.ย. 52	เฉลี่ย
Daily PV inverter generation (kWh/day)	382-614	122-583	375-573	286-567	189-610	228-607	
Average daily PV inverter generation (kWh/day)	530	480	517	452	486	500	494
Instantaneous PV inverter Efficiency (%)	15.6-95.2	12.3-96.2	16.6-92.9	10.8-94.8	9.9-95.0	7.2-98.7	
Daily PV inverter Efficiency (%)	87.1-90.6	78.7-91.0	88.2-90.8	85.9-89.9	82.0-90.2	83.8-89.9	
Average daily PV inverter Efficiency (%)	90.0	89.2	90.1	89.1	88.7	88.6	89.3

ตารางที่ 5 ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากวิเคราะห์ภาพรวมระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์	ค่าที่วัดได้						
	พ.ย. 51	ธ.ค. 51	ม.ค. 52	ก.พ. 52	มี.ค. 52	เม.ย. 52	เฉลี่ย
Daily final yield (kWh/ kW_p day)	3.18-5.12	1.02-4.86	3.12-4.78	2.38-4.69	1.57-5.08	1.90-5.06	
Average daily final yield (kWh/ kW_p day)	4.42	4.00	4.31	3.77	4.05	4.16	4.12
Daily system losses (kWh/ kW_p day)	0.38-0.59	0.27-0.51	0.39-0.51	0.39-0.55	0.33-0.57	0.37-0.69	
Average daily system losses (kWh/ kW_p day)	0.49	0.45	0.47	0.46	0.49	0.53	0.48
Daily performance ratio (%)	70.4-76.0	62.5-76.2	74.3-78.2	72.2-76.5	67.5-76.9	70.0-74.5	
Average daily performance ratio (%)	74.5	74.3	76.1	74.6	74.6	72.7	74.5
Instantaneous system efficiency (%)	3.0-11.1	2.1-11.2	2.9-11.5	3.2-11.1	1.6-11.2	1.2-11.0	
Daily system efficiency (%)	10-10.8	8.9-10.8	10.5-11.1	10.2-10.8	9.6-10.9	9.9-10.6	
Average daily system efficiency (%)	10.6	10.5	10.8	10.6	10.6	10.3	10.6

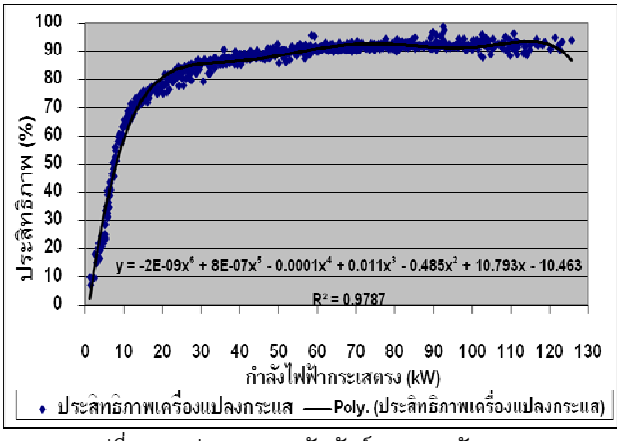


รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ P_{PV} กับ P_{inv}



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของ G กับ η_{sys}

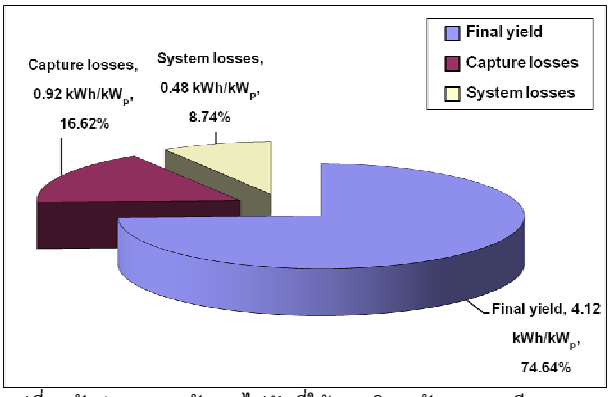
เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าผลิตได้ P_{inv} ซึ่งถูกทำเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 5 จะพบว่ามีความสัมพันธ์โดยตรง ดังนั้นจึงสามารถนำความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้มาสร้างเป็นสมาการได้คือ P_{inv} = 0.9568 P_{PV} - 3.4958 โดย P_{PV} และ P_{inv} มีหน่วยเป็น kW นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสตรงตรงที่จ่ายให้กับเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า P_{PV} กับ ประสิทธิภาพชั่วขณะของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า η_{inv} ซึ่งถูกทำเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 6 จะพบว่ามีความสัมพันธ์กันเช่นกันดังนั้นจึงสามารถนำความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้มาสร้างเป็นสมาการได้คือ η_{inv} = -2E-09P_{PV}^6 + 8E-07P_{PV}^5 - 0.0001P_{PV}^4 + 0.011P_{PV}^3 - 0.485P_{PV}^2 + 10.793P_{PV} - 10.463 โดย P_{PV} มีหน่วยเป็น kW และ η_{inv} จะอยู่ในรูป % ส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันที่เครื่องแปลงกระเสไฟฟ้าสามารถผลิตได้เท่ากับ 494 kWh/day และค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายวันของเครื่องแปลงกระเสไฟฟ้าเท่ากับ 89.3 %



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

3.2.3 ภาพรวมระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากการวิเคราะห์ภาพรวมระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำการทดสอบสามารถสรุปได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 5 เมื่อพิจารณาข้อมูลความเข้มของรังสีอาทิตย์ (G) กับข้อมูลประสิทธิภาพระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (η_{sys}) ซึ่งถูกทำเป็นกราฟแสดงในรูปที่ 7 จะพบว่ามีความสัมพันธ์กัน ดังนั้นจึงสามารถนำความสัมพันธ์ของข้อมูลเหล่านี้มาสร้างเป็นสมาการได้คือ η_{sys} = 1.6787G^6 + 1.0276G^5 - 31.71G^4 + 83.287G^3 - 94.54G^2 + 49.257G + 1.5334 นอกจากนั้นเมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของพลังงานที่อยู่ในระบบ จะพบว่ามีอยู่ 3 ส่วนคือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง พลังงานสูญเสียบน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานสูญเสียใน ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งสัดส่วนของพลังงาน



รูปที่ 7 สัดส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริง พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์

เหล่านี้แสดงในรูปที่ 8 ส่วนค่า final yield เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 4.12 kWh/ kW_p day ค่า system losses เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 0.48 kWh/kW_p day ค่า performance ratio เฉลี่ยรายวันเท่ากับ 74.5 % และค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยรายวันของระบบเท่ากับ 10.6 %

4. สรุป

ระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพและสมรรถนะสูง โดยมีประสิทธิภาพในการทำงานของระบบเฉลี่ย 10.60 % และสมรรถนะของระบบเฉลี่ย 74.5 % เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการทำงานของระบบที่ความเข้มของรังสีอาทิตย์ต่าง ๆจะพบว่า ระบบจะมีประสิทธิภาพเปลี่ยนแปลงตามความเข้มของรังสีอาทิตย์ โดยระบบจะมีประสิทธิภาพต่ำสุดช่วงความเข้ม 0 - 0.10 kW/m^2 ระบบจะมีประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงประสิทธิภาพสูงในช่วงความเข้ม 0.10 – 0.35 kW/m^2 ระบบจะมีประสิทธิภาพสูงคงที่ในช่วงความเข้ม 0.35 – 0.65 kW/m^2 และระบบจะมีประสิทธิภาพลดลงอย่างช้า ๆในช่วงความเข้ม 0.65 – 1.3 kW/m^2 สำหรับสาเหตุที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำในช่วงความเข้ม 0 – 350 kW/m^2 ซึ่งมักเป็นช่วงเช้าและเย็น น่ามาจากมุมที่แสงตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สเปกตรัมของแสง และประสิทธิภาพของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าในช่วงที่มีกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำ ส่วนการลดลงของประสิทธิภาพใช่วงความเข้ม 0.65 – 1.3 kW/m^2 น่าจะมาจากอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สูง โดยช่วงดังกล่าวมักเป็นเวลาในช่วงตอนสายถึงตอนบ่าย สำหรับการสูญเสียพลังงานโดยรวมในระบบมีค่าประมาณ 25.36 % โดยเป็นพลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 16.62 % และพลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ 8.74 %

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็กเป็นรายเดือนจะพบว่าในช่วงฤดูหนาว (พ.ย.-ก.พ.) จะมีประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบเฉลี่ยสูงกว่าในฤดูร้อน (มี.ค.-เม.ย.) เนื่องจากระบบมีพลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ต่ำกว่า ซึ่งคาดว่าเป็นผลของอุณหภูมิอากาศที่ต่ำและรังสีอาทิตย์ที่กระจ่างไม่มีเมฆหรือเงามาบังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของฤดูหนาว ซึ่งทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าสามารถทำงานได้โดยมีประสิทธิภาพและสมรรถนะสูงอย่างต่อเนื่อง

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยได้รับทุนสนับสนุนการศึกษาจากโครงการทุนสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย (TGIST) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สัญญารับทุนเลขที่ TGIST 01-51-098 และขอขอบคุณ New Energy and Industrial Technology Development Organization (NEDO) ที่สนับสนุนเงินทุนที่ใช้ในการก่อสร้างโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก วิศวกรและเจ้าหน้าที่ของบริษัท Shikoku electric power co., inc. (YONDEN) ที่ให้การฝึกอบรมการปฏิบัติงานระบบและข้อมูลทางเทคนิคต่าง ๆของระบบ คณาจารย์และนักวิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทนทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างจนทำให้การทดสอบครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. นิพนธ์ เกตุจ้อย, และคณะ, 2550, “การติดตามประเมินผลโครงการสาธิตระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าเรือนจำกลางบางขวางจังหวัดนนทบุรี” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์เสนอต่อกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานและกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน โดยวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร.
2. อำนาจ ฉิมทวี, และคณะ, 2552, “การทดสอบประสิทธิภาพเบื้องต้นของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบโครงข่ายไฟฟ้าขนาดเล็ก” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 5 29 เมษายน – 1 พฤษภาคม 2552 มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก
3. ดุสิต เครืองาม, 2542, “สิงประดิษฐ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์” ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ กระทรวง วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.
4. คงฤทธิ์ แม้นศิริ, และคณะ, 2549, “การประเมินสมรรถนะทางด้านเทคนิคของหลังคาเซลล์แสงอาทิตย์” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2, 27-29 กรกฎาคม 2549มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.
5. Chicco, G., Mancarella, P., 2009, “Distributed multi-generation: A comprehensive view” Renewable and Sustainable Energy Reviews Vol. 13, pp. 535-551.
6. 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.
7. Sasitharanuwat, A., Racwichian, W., Ketjoy, N., Yammen, S., 2007, “Performance evaluation of a 10 kW_p PV power system prototype for isolated building in Thailand” Renewable Energy Vol 32, pp 1288-1300.

8. International Energy Agency, 2002, “Operational Performance, Reliability and Promotion of Photovoltaic Systems” Report IEA–PVPS T2-03:2002.
9. International Energy Agency, 2000, “Analysis of Photovoltaic Systems” Report IEA-PVPS T2-01: 2000