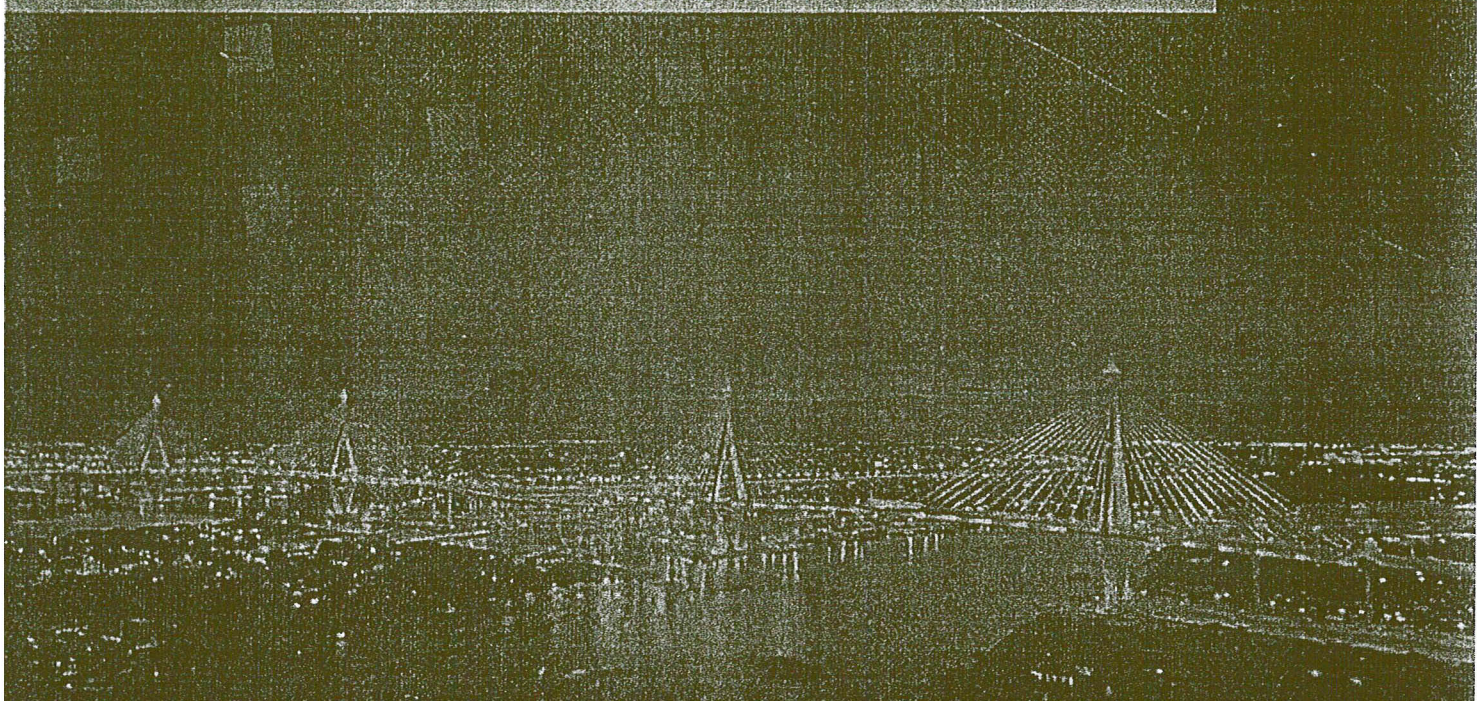
ภาคผนวก ก.
บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

E-NETT 2011

การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7

The 7th Conference on Energy Network of Thailand



- Renewable Energy
- Energy Conservations
- Applied Energy
- Energy Materials
- Environmental Management

3-5 พฤษภาคม 2554

ณ ภูเก็ต ออร์คิด รีสอร์ทแอนด์สปา หาดกะรน จังหวัดภูเก็ต

ดำเนินการโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

กำหนดการการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 7 ประจำปี 2554

E-NETT 2011

เวลา	วันพุธ ที่ 4 พฤษภาคม 2554			
Room	**Orchid A**	**Orchid B**	**Orchid C**	**Orchid D**
08:45-10:15	Renewable Energy 03	Applied Energy 03	Energy Materials 02	Energy Conservations 02
Chair	ผศ.ผ่องศรี ศิวราศักดิ์ (RMUTT)	ดร.ชนกนันท์ สุขกำเนิด (KKU)	พันเอกกฤตภาส คงคาไหว (กรมพลังงานทหาร)	ผศ.ดร.นุภาพ แย้มไตรพัฒน์ (MUT)
Paper ID	AEN13-AEN18	BEN13-BEN18	CEN13-CEN18	DEN13-DEN18
10.15 - 10.30	รับประทานอาหารว่าง			
10:30-12:00	Renewable Energy 04	Applied Energy 04	Energy Management 01	Energy Conservations 03
Chair	ผศ.ดร.นิพนธ์ เกตุจ้อย (NU)	รศ.ดร.ธนัดชัย กุลรวานิชพงษ์ (SUT)	ดร.พานิช อินต๊ะ(RMUTL)	รศ.ดร.เวคิน ปิยรัตน์ (SWU)
Paper ID	AEN19-AEN24	BEN19-BEN24	CEN19-CEN24	DEN19-DEN24
12.00 -13.00	รับประทานอาหารกลางวัน			
13.00-14.00	Poster Session			
Chair	ดร.อำนวย เรืองวารี			
Paper ID	POS01-POS36			
14:00-15:45	Renewable Energy 05	Applied Energy 05	Energy Management 02	Energy Conservations 04
Chair	ดร.ยุทธนา ขำสุวรรณ์ (CMU)	ผศ.ดร.สุรินทร์ คำฝอย (KMITL)	ดร.ไพรัช อุศุภรัตน์ (TU)	ผศ.ดร.สลิลทิพย์ สินธุสนธิชาติ (MUT)
Paper ID	AEN25-AEN31	BEN25-BEN31	CEN25-CEN31	DEN25-DEN31
15.45-16.00	อาหารว่าง			
16:00-17:15	Renewable Energy 06	Renewable Energy 07	Energy Conservations 05	Energy Conservations 06
Chair	ผศ.ดร.เจริญพร เลิศสถิตธนกร(MMU)	ผศ.ดร.เชาว์ ชมพูอินไหว (KMITL)	รศ.ดร.วิทยา ยงเจริญ (CU)	ผศ.ดร.จุพาภรณ์ เบญปิยะพร (KKU)
Paper ID	AEN32-AEN38	BEN32-BEN38	CEN32-CEN38	DEN32-DEN38

สารบัญ

		หน้า
AEN29	**ระบบโฟโตโวลตาอิกชนิดเชื่อมต่อกับระบบแรงต่ำสำหรับชุมอาหารขนาดเล็ก** *องอาจ แสดใหม่ สมชัย หิรัญวโรดม* *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี*	158
AEN30	**ผลของฝุ่นที่มีต่อคุณสมบัติการส่องผ่านแสงและสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์** *วิทวัส มกรพงศ์ ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์ นภดล สิทธิพล จรัญ ศรีธาราธิคุณ* *อมรรัตน์ ลิ้มมณี กอบศักดิ์ ศรีประภา* *สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ*	162
AEN31	**การออกแบบระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์สำหรับโรงเรียนตำรวจตระเวนชายแดนทีวะเบยทะ** *สันติภาพ โคตรทะเล [1] อุดม เครือเทพ [1] ทนงศักดิ์ ยาทะเล [1] ยุทธนา ขำสุวรรณ [2]* *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก [1]* *มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ [2]*	166
Session	**Renewable Energy 06**	
ประธาน	**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เจริญพร เลิศสถิตธนกร มหาวิทยาลัยมหาสารคาม**	
เวลา	**16:00-17:15 วันพุธ ที่ 4 พฤษภาคม 2554**	
ห้องบรรยาย	**Orchid A**	
AEN32	**การเพิ่มประสิทธิภาพโซลาร์เซลล์ด้วยระบบติดตามดวงอาทิตย์** *สัญญา ผาสุข พรชัย แคล้วอ้อม ศุภชัย อรุณพันธ์ สุรพล สุภารัตน์* *มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*	170
AEN33	**การประเมินสัมประสิทธิ์ความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอนและผลึกซิลิคอน ภายใต้สภาวะการใช้งานจริง** *พีรพัฒน์ คาเกิด นิพนธ์ เกตุจ้อย* *มหาวิทยาลัยนเรศวร*	174
AEN34	**การศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไมโครซิลิกอน** *ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด ฐิติพร เจาะจง คงฤทธิ์ แม้นศิริ นิพนธ์ เกตุจ้อย* มหาวิทยาลัยนเรศวร	179

AEN34

การศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไมโครซิลิกอน

Investigation of efficiency and performance of Photovoltaic System using Microcrystalline Silicon Solar Cells

ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด ฐิติพร เจาะจง คงฤทธิ์ แม้นศิริ และ นิพนธ์ เกตุจ้อย*
วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000
โทร 0-5596-3391 โทรสาร 0-5596-3182 E-mail: niponk@nu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบไมโครซิลิกอน (µc-Si: H) เพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ตั้งติดใช้งานภายในสวนพลังงานของวิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งข้อมูลที่ทำการบันทึก ได้แก่ กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความเข้มรังสีอาทิตย์ทุกๆ 5 นาที โดยเครื่องบันทึกแบบอัตโนมัติตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 – เดือนกันยายน พ.ศ. 2553 หลังจากนั้นนำข้อมูลต่างๆมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบ จากผลการวิเคราะห์และประเมินผลพบว่าประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบ มีค่าประมาณ 6.25% และ 0.75% พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield ; Y_a) โดยเฉลี่ยจะมีค่าประมาณ 4.45 kWh/kWp · d พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield ;Y_f) โดยเฉลี่ยประมาณ 3.79 kWh/kWp · d พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Capture Losses ; L_c) โดยเฉลี่ยประมาณ 0.60 kWh/kWp · d และพลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System Losses ;L_s) มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 0.66 kWh/kWp · d

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพ / สมรรถนะ / แผงเซลล์แสงอาทิตย์

Abstract

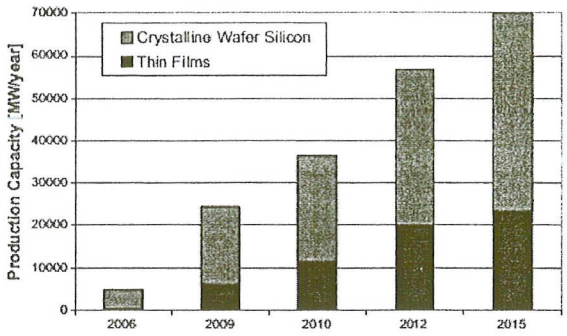
This article presents results of the efficiency and performance of efficiency and performance of Photovoltaic System using Microcrystalline Silicon Solar Cells (µc-Si: H). The objective of this research is study the efficiency and performance of Photovoltaic System using µc-Si: H under actual condition in Energy Park, School of Renewable Energy Technology (SERT), Naresuan University, Phitsanulok province. Parameters concerning to efficiency and performance consist of Current, Voltage, Array temperature, Ambient temperature and Solar irradiance which were recorded by automatic data recorder every 5 minutes between March 2009 to August 2010. After that, data is analyzed an evaluated to find out the efficiency and performance of system. The results of research found that, the efficiency and performance of system were 6.25 % and 0.75 % respectively, Array Yield was 4.45 kWh/kWp · d, Final Yield was 3.79 kWh/kWp · d Array Capture Losses was 0.60 kWh/kWp · d and System Losses 0.66 kWh/kWp · d

Keywords: Efficiency / Performance / Photovoltaic Module

1. บทนำ

การนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มอย่างต่อเนื่องโดย ณ สิ้นปี พ.ศ. 2552 ทั่วโลกมีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์กว่า 7,300 MW จำนวนการผลิตขยายตัวเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2551 ประมาณ 20 % ซึ่งเกิดจากความตื่นตัวของประชาคมโลกในเรื่องการนำพลังงานทดแทนมาใช้แทนพลังงานฟอสซิลซึ่งกำลังจะหมดไป และปัญหาจากสภาวะโลกร้อนที่ทวีความรุนแรงขึ้นทุกปีอันเป็นผลจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล [1] ในประเทศไทยโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานได้ดำเนินการจัดทำโครงการด้านพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วประเทศไทย นับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2526-2552 พบว่ามีหน่วยงานทั้งในส่วนของภาครัฐสถาบันการศึกษาและเอกชน ได้ดำเนินการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบสูบน้ำด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ และรวมถึงระบบการสื่อสารด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นจำนวนถึง 40 เมกะวัตต์ [2]

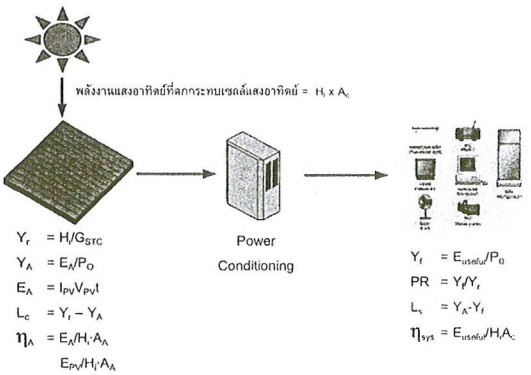
จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่าสัดส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Thin Films มีอัตราการเติบโตสูงกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Crystalline Silicon [1] โดยในกลุ่มของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Thin Films ได้มีการวิจัยและพัฒนาในมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งเป็นที่รู้จักกันในชื่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ µc-Si:H เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบนี้ยังไม่มีการศึกษาประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบอย่างจริงจัง ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงได้มีความสนใจที่จะทำการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบว่าจะมีพฤติกรรมเป็นอย่างไร และเพื่อใช้เป็นข้อมูลฐานในการเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างเหมาะสม



รูปที่ 1 สัดส่วนของเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Crystalline Silicon และ Thin Films (หน่วย MW) [1]

2. วิธีการดำเนินงาน

การประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะทางด้านเทคนิค โดยการศึกษาในครั้งนี้จะใช้วิธีการที่อ้างอิงจาก International Energy Agency Photovoltaic Power Systems TASK 2 – Performance, Reliability and Analysis of Photovoltaic Systems (IEA PVPS Task 2) [3] ซึ่งทำการตรวจวัดค่าคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งใช้งานตั้งแต่เดือนมีนาคม พ.ศ. 2552 – เดือนกันยายน พ.ศ. 2553 โดยการบันทึกแบบอัตโนมัติทุกๆ 5 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำข้อมูลที่บันทึกมาวิเคราะห์หาค่า Y_a Y_f η_a และ PR โดยจะทำการกำหนดวิธีการวิเคราะห์ตัวแปรต่างๆ ดังต่อไปนี้



พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_a = E_a / P_O \quad (2.1)$$

Y_a คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp)

E_a คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ (kWh)

P_O คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในทางทฤษฎี (Reference Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_r = H_i/G_{STC} \quad (2.2)$$

Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้งในทางทฤษฎี (kWh/kWp)

H_i คือ พลังงานจากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นผิวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/m^2)

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

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Final Yield) หาได้จากสมการ

$$Y_f = E_{PV} / P_O \quad (2.3)$$

Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

E_{PV} คือ พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกใช้โดยภาระทางไฟฟ้า (kWh)

P_O คือ กำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wp)

พลังงานสูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Capture Losses) หาได้จากสมการ

$$L_c = Y_r - Y_a \quad (2.4)$$

L_c คือ พลังงานที่สูญเสียบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

พลังงานสูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (System Losses) หาได้จากสมการ

$$L_s = Y_a - Y_f \quad (2.5)$$

L_s คือ พลังงานที่สูญเสียในระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/kWp)

สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (Performance Ratio) หาได้จากสมการ

$$PR = Y_f / Y_r \quad (2.6)$$

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Array Efficiency) หาได้จากสมการ

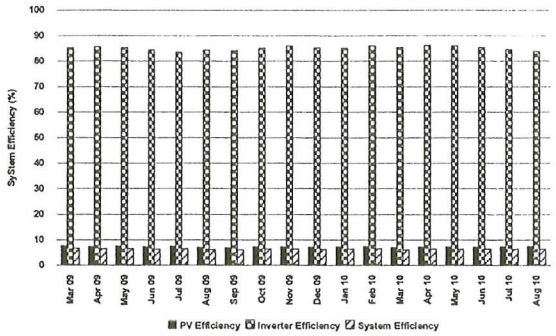
$$\eta_a = E_a / H_i A_a \quad (2.7)$$

η_a คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

A_a คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m^2)

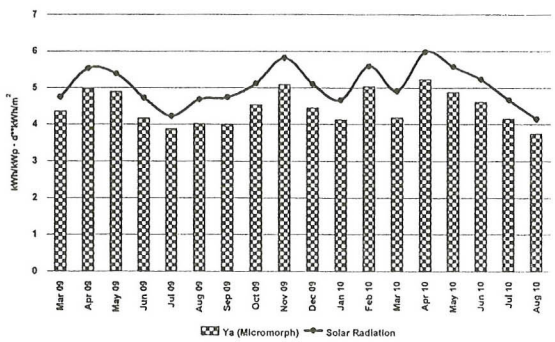
3. ผลการศึกษา

จากรูปที่ 2 แสดงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และระบบ ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบที่ทำการศึกษาจะมีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของแผงเซล์แสงอาทิตย์ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และระบบ มีค่าประมาณ 7.35 % 85.00 % และ 6.25 % ตามลำดับ

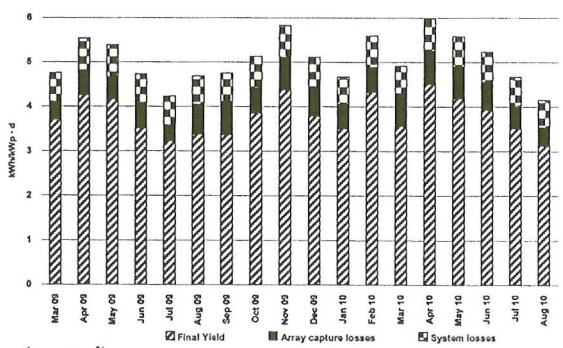


รูปที่ 2 ค่าประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า และระบบ

จากรูปที่ 3 แสดงค่า Y_a ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ a-Si/μC ในแต่ละเดือน เมื่อนำ Y_a มาเฉลี่ยจะมีค่าประมาณ 4.45 kWh/kWp · d ณ พลังงานแสงอาทิตย์ 5.05 kWh/m^2 · d และจากรูปที่ 4 แสดงตัวชี้วัดสมรรถนะของระบบ ได้แก่ Y_f L_c และ L_s ซึ่งจากระบบที่ได้ทำการศึกษาพบว่า Y_f มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 3.79 kWh/kWp · d L_c มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 0.60 kWh/kWp · d และL_s มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 0.66 kWh/kWp · d

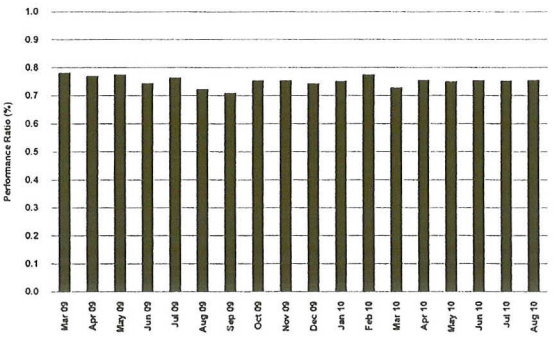


รูปที่ 3 พลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ต่อกำลังติดตั้ง (kWh/kWp · d)



รูปที่ 4 ตัวชี้วัดสมรรถนะของระบบ

จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นสมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละเดือน ซึ่งสมรรถนะของระบบโดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 0.75 %



รูปที่ 5 สมรรถนะของระบบ

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบมีค่าประมาณ 6.25 และ 0.75Y_a ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบ μc-Si:H มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 4.45 kWh/kWp · d Y_f มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 3.79 kWh/kWp · d L_c มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 0.60 kWh/kWp · d และ L_s มีค่าโดยเฉลี่ยประมาณ 0.66 kWh/kWp · d

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ งบประมาณแผ่นดินประจำปีงบประมาณ 2551 2552 และ 2554 และขอขอบพระคุณคณาจารย์ นักวิจัยของวิทยาลัยพลังงานทดแทนที่ได้ให้ความช่วยเหลือในเรื่องคำแนะนำ และข้อมูลสนับสนุนในการศึกษานี้ ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Arnulf Jäger-WAldau. PV Status Report 2010: Research, Solar Cell Production and Market Implementation of Photovoltaic. EUR 24344 EN-2010 สืบเมื่อวันที่ 11 มกราคม 2554. จาก http://www.solartec.or.th/filestock/document_20101832500688.pdf

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2552). สถานะการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยถึงปี 2552. สรุปสถานะการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย. สืบเมื่อวันที่ 4 กุมภาพันธ์2554. จากhttp://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=85%3A2552&catid=52&Itemid=68&lang=th

[3] International Energy Agency. (2002). Operational performance, reliability and Promotion of photovoltaic systems. Report IEA-PVPS T2-03:2002.

[4] Achitpon SaSitharanuwata, Wattanapong Rakwichian, Nipon Ketjoy, and Suchart Yammen. (2006). Design and Testing of a 10 kWp standalone PV Prototype for Future Community Grid Adapted for Remote Area in Thailand. International Journal of Renewable Energy (IIRE).p 33-43.

[5] Kritwiput Phaokeaw, Nipon Ketjoy, Wattanapong Rakwichan and Suchat Yammen. (2007). Performance of a-Si, p-Si and HIT PV Technological Comparison under Tropical Wet Climate Condition. International Journal of Renewable Energy (IIRE).p 23-34.

[6] Wuthipong Suponthana, Nipon Ketjoy, Wattanapong Rakwichan and Phumisak Inthanon. (2007). Performance Evaluation AC Solar Home System in Thailand: system using multi crystalline silicon PV module versus system using thin film amorphous silicon PV module. International Journal of Renewable Energy (IIRE).p 35-52.

[7] ณัฐวุฒิ ขาวสะอาด ฐิติพร เจาะจง และนิพนธ์ เกตุจ้อย.การศึกษาพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้รายปีภายใต้สภาวะการใช้งานจริง. เทคโนโลยีอุตสาหกรรม. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง. ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 เมษายน 2552 – กันยายน 2552. หน้าที่ 44 - 49

[8] Meike, W. 1998. Hot climate performance comparison between poly-crystalline and amorphous Silicon cells connected to an utility mini-grid. Presented at Solar'98, Christchurch NZ, 25-27 November.

[9] Ewan D. Dunlop. (2003). LIFETIME PERFORMANCE OF CRYSTALLINE SILICON PV MODULES . 3rd World Conferences on Photovoltaic Energy Conversion. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550, จาก http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9136/28988/01305192.pdf.

[10] Toshiyulu Yamaguchi, Masanao Kawakam, Keiichi Kitano, Shigeyasu Nakagawa, Tetsuro Tokoro, Takumi Nakano, Kiyoteru Hayama and Hidemori Ohyama. (2003). DATA ANALYSIS ON PERFORMANCE OF PV SYSTEMINSTALLED IN SOUTH AND NORTH DIRECTIONS. 3rd World Conferences on Photovoltaic Energy Conversion. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550, จาก http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9136/28988/01305031.pdf.

[11] Jinlei Ding_,Xiaofang Cheng,Tairan Fu. (2004). Analysis of series resistance and P–T characteristics of the solar cell. Vacuum 77. (2005). 163–167. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550, จากhttp://www.sciencedirect.com/.

[12] Meena Dadu, A. Kapoor, K.N. Tripathi. (2001). Effect of Operating current dependent series resistance on the fill factor of a Solar cell. Solar Energy Materials a Solar Cell 71. (2002). p. 213–218. สืบค้นเมื่อ 15 กันยายน 2550, จาก http://www.sciencedirect.com/.

[13] Tayati, W. et al. (2004). Performance and Sustainability of a Solar Home System Program in Thailand. (pp.989-990). In the International PVSEC-14. Bangkok.

ประวัติผู้เขียนบทความ

นายณัฐวุฒิ ขาวสะอาด
วิทยาลัยพลังงานทดแทน ม.นเรศวร อ.เมือง
จ.พิษณุโลก 65000
โทรศัพท์ 055-963394, 081-7178093
E-mail: nitty_dreammaker@hotmail.com
งานวิจัยที่สนใจ เซลล์แสงอาทิตย์