การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33
วันที่ 2-5 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 จังหวัดอุดรธานี

ETM – 020

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อเนกประสงค์

The Versatile Solar Energy Electric Generator

ปรัชญา มุขดา* และ ขวัญชัย หนาแน่น

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี
38 หมู่ 8 ต.นาวุ้ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
*ติดต่อ: mukdaen@gmail.com, 087-9597828, เบอร์โทรสาร 032-708662

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการออกแบบและการสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อเนกประสงค์ 2 เครื่อง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีชนิดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่างกัน โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกรวมจากอุปกรณ์ของระบบกำเนิดไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์เข้าด้วยกัน อาทิ เซลล์แสงอาทิตย์ ตัวควบคุมการปล่อยประจุ แบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์ หลังจากนั้นอุปกรณ์ต่างๆของระบบกำเนิดไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ถูกตรวจสอบประสิทธิภาพ ซึ่งผลจากการตรวจสอบแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพแผง ชนิด Monocrystralline และ Polycrystalline คือ 17.49% และ 16.19% ตามลำดับ ประสิทธิภาพของตัวควบคุมการปล่อยประจุคือ 96.00% เท่ากัน ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์คือ 79% และ 78% ตามลำดับ สุดท้ายประสิทธิภาพรวมของระบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง 2 เครื่อง คือ 13.23% และ 12.12% ตามลำดับ

คำหลัก: เครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์ อเนกประสงค์

Abstract

This research is the design and construction of the versatile solar energy electric generators of 2 generators to compare the efficiency of the electric generators for different solar cell types. The electric generators are combined from the various solar energy system devices such as the photovoltaics module, the charger controller, battery and inverter. After that, the various solar energy system devices are investigated the efficiency. From the results show that, the photovoltaics module efficacy of monocrystralline and polycrystalline types are 17.49% and 16.19% respectively. The charger controller efficiency are 96% together and the inverter efficacy are 79% and 78 % respectively. Finally, the total efficiency of solar energy electricity generators are 13.23% and 12.12% respectively.

Keywords: 3 – 5 Electric Generator, Solar Energy, Versatile

1. บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์ คือ สิ่งประดิษฐ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิคอน (Silicon), แกลเลี่ยน อาเซไนด์ (Gallium arsenide), อินเดียม ฟอสไฟด์ (Indium phosphide), แคลเมียม เทลเลอไรด์ (Cadmium telluride) และ คอปเปอร์ อินเดียม ไดเซเลไนด์ (Copper indium diselenide) เป็นต้น ซึ่งเมื่อได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้า จะถูกแยกเป็น

ประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วทั้งสองของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อนำขั้วไฟฟ้าขอเซลล์แสงอาทิตย์ต่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสตรง กระแสไฟฟ้าจะไหลเข้าสู่อุปกรณ์เหล่านั้น ทำให้สามารถทำงานได้ [1]

โดยทั่วไปในปัจจุบัน การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างมั่นคงถาวรที่เกินความจำเป็นต่อการใช้งาน เช่นนอกฤดูกาลที่ไม่มีการเพาะปลูกหรือไม่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าเลยอาจเกิดผลเสีย เนื่องจากแผงพลังงานแสงอาทิตย์ต้องอยู่ภายใต้สภาวะกลางแจ้งตลอดเวลา ทำให้ต้องมีการสึกหรอและการบำรุงรักษาที่ไม่จำเป็น เช่น กระจกกั้นแผงแตกเสียหายจากการถูกของแข็ง เสี่ยงต่อการเกิดไฟไหม้แผงที่เกิดจากความร้อนที่สูง หรือการลุกลามจากการเผาวัชพืชรอบข้างแผงพลังงานแสงอาทิตย์อีกด้วย [2]

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้ คือการออกแบบ สร้างเครื่องกำเนินไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อเนกประสงค์ โดยการนำแผงพลังงานแสงอาทิตย์และชุดควบคุมมารวมกันอยู่ในชุดเดียวกันแบบกะทัดรัด สามารถพกพาและเคลื่อนย้ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถใช้ได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งกระแสตรงและกระแสสลับ ใช้งานอย่างอเนกประสงค์กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน โดยทำการเปรียบเทียบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2 โดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างกัน คือ Monocrystralline และชนิด Polycrystalline โดยขนาดของแผงเท่ากันและเงื่อนไขการทดสอบเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงและอุปกรณ์ต่างๆ รวมทั้งประสิทธิภาพรวมของแต่ละเครื่อง

2. ทฤษฎีและวิธีการวิจัย

2.1 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการวิจัย

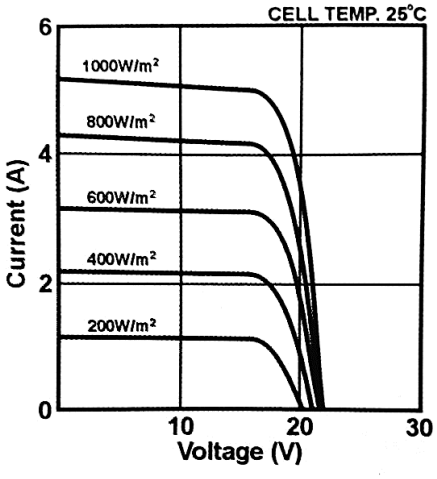
จากกฎของโอห์ม ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า (I) กับความต่างศักย์ไฟฟ้า (V) และกระแสไฟฟ้ากับความต้านทาน (R) ความสัมพันธ์ทั้งสามตัวแปรคือ

$$I = \frac{V}{R} \quad (1)$$

ความเข้มของแสงอาทิตย์ คือปริมาณแสงที่ตกกระทบลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่นิยมใช้หน่วย W/m^2 การตกกระทบของแสงบนเซลล์แสงอาทิตย์จะมีผลต่อกำลังไฟฟ้า (P) ที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งกำลังไฟฟ้าจะมีเป็นผลคูณระกว่างแรงดันกับกระแสไฟฟ้า

$$P = V \times I \quad (2)$$

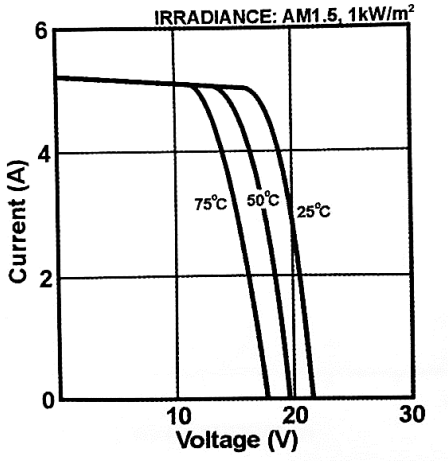
ผลกระทบของความเข้มแสงต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในรูปของกราฟกระแสแรงดัน (I-V curve) แสดงให้เห็นว่าถ้าความเข้มแสงแปรผันตรงกับกระแสที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งค่าความเข้มแสงจะมีผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าน้อยมาก [3]



รูปที่ 1 ผลกระทบของความเข้มแสงต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [3]

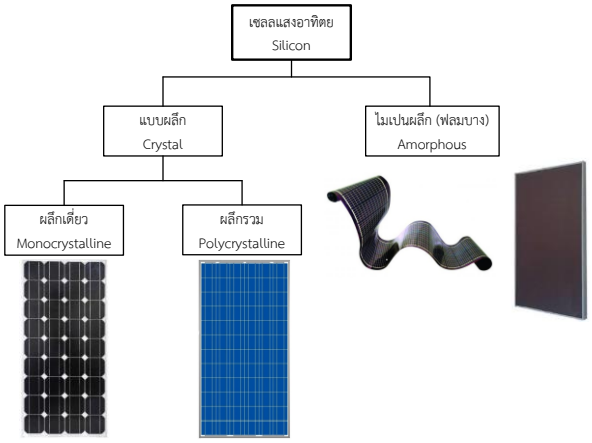
ความร้อนหรืออุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละเวลาจะส่งผลต่อระดับแรงดันไฟฟ้าที่

ผลิตได้จากเซลล์ หากอุณหภูมิสูงจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง และหากอุณหภูมิต่ำจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้น โดยอุณหภูมิจะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าน้อยมาก ตามแสดงในรูปที่ 2 [4]



รูปที่ 2 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ [4]

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนจะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็น รูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) และ ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ตามรูปที่ 3 และอีกกลุ่มคือ กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิคอน ซึ่งประเภทนี้ จะเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25% ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมาก ไม่นิยมนามาใช้บนพื้นโลก จึงใช้งานสาหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันนำมาใช้ เพียง 7% ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด) [5]



รูปที่ 3 ประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน [5]

2.1.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ชนิด

การทดสอบจะกำหนดให้มุมเอียงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 15° กับพื้นราบ โดยทำการเปรียบเทียบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2 เครื่องที่มีขนาดเท่ากันกันและอุปกรณ์ในเครื่องเหมือนกัน คือ เครื่องที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Monocrystralline และชนิด Polycrystalline ตามรูปที่ 4 โดยทำการวัดค่าความเข้มแสงพร้อมกับการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่แผงผลิตได้จากหน้าจอของตัว Charger controller ทุกๆ 1 ชั่วโมง ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. ในวันที่ 27 กุมภาพันธ์ 2562

รูปที่ 4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่างกัน

การคำนวณหาประสิทธิภาพ เป็นไปตามสมการที่ (3) [6]

$$\eta_{pv} = \frac{P_{pv}}{A \times N \times L_v} \times 100\% \quad (3)$$

เมื่อ

η_{pv} ประสิทธิภาพแผง

P_{pv} กำลังแผงที่ผลิตได้ (W)

A พื้นที่ต่อแผง (m^2)

N จำนวนแผง

L_v ความเข้มแสง (W/m^2)

2.1.2 การหาประสิทธิภาพอุปกรณ์

การทดสอบแบ่งการทดสอบประสิทธิภาพของ 2 อุปกรณ์หลักคือ Charger controller และ Inverter ซึ่งการคำนวณหาประสิทธิภาพอุปกรณ์ เป็นไปตามสมการที่ (4) คือ [6]

$$\eta_{C,I} = \frac{P_{E,output}}{P_{E,input}} \times 100\% \quad (4)$$

เมื่อ

$\eta_{C,I}$ ประสิทธิภาพของ Charger controller หรือ Inverter

$P_{E,output}$ กำลังขาออกของอุปกรณ์ (W)

$P_{E,input}$ กำลังขาเข้าของอุปกรณ์ (W)

2.1.3 การหาประสิทธิภาพรวม

เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ 2 เครื่อง ตั้งแต่กำลังที่เข้าสู่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จนกระทั่งกำลังของกระแสไฟฟ้าขาออกจาก Inverter ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 5 [6]

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \quad (5)$$

เมื่อ

η ประสิทธิภาพรวมของระบบ

P_{output} กำลังขาออกของเครื่อง (W)

P_{input} กำลังขาเข้าของเครื่อง (W)

2.2 ส่วนประกอบและการทำงานของเครื่อง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อเนกประสงค์ที่สร้างขึ้น มีส่วนประกอบ 4 อุปกรณ์หลักตามรูปที่ 5 คือ

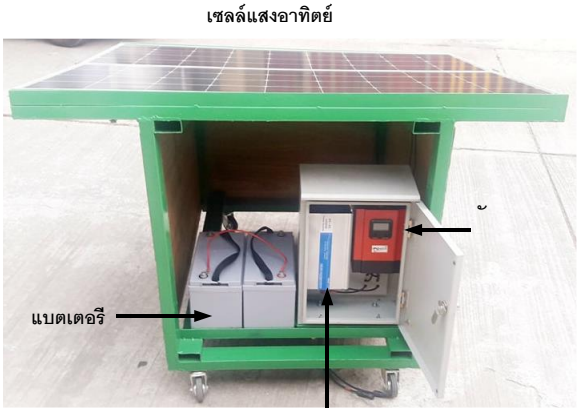
(1) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Monocrytalline ขนาด 150 W 2 แผง

(2) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Polycrytalline ขนาด 150 W 2 แผง

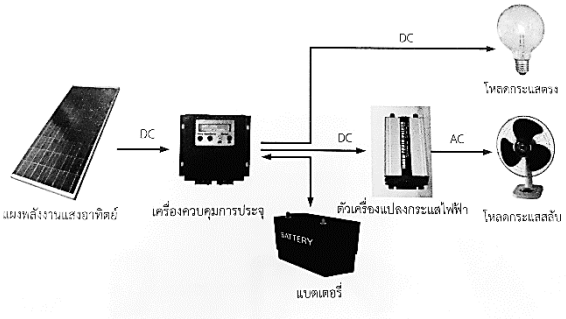
(3) ตัวควบคุมการปล่อยประจุ (Charger controller) ขนาด 30 A

(4) แบตเตอรี่ขนาด 100 Ah 2 ลูก

(5) อินเวอร์เตอร์ (Inverter) Input DC 24V, Output AC 220 V, 50 Hz



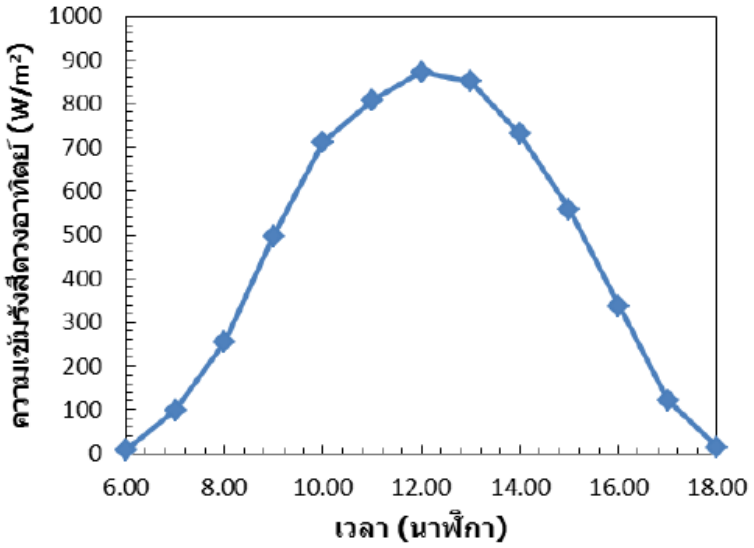
รูปที่ 5 ส่วนประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อเนกประสงค์



รูปที่ 6 วงจรไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อเนกประสงค์

เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 150 W 2 แผง ได้รับแสงอาทิตย์โดยตรงก็จะเปลี่ยนเป็นพาหะนำไฟฟ้าจะถูกแยกเป็นประจุไฟฟ้าบวกและลบเพื่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง ผ่านตัวควบคุมการปล่อยประจุเพื่อจ่ายประจุไฟฟ้าขนาด 24 V ไปที่แบตเตอรี่ขนาด 100 Ah ต่อกันแบบอนุกรม 2 ลูก หลังจากนั้นจ่ายประจุไฟฟ้าไปที่อินเวอร์เตอร์ เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้าจากกระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 V 50 Hz จึงสามารถนำไปใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งกระแสตรงและกระแสสลับทั่วไปที่ไฟบ้านได้ ตามรูปที่ 6

3. ผลและการวิเคราะห์ผล



รูปที่ 7 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์หรือความเข้มแสง (W/m^2) ทุก 1 ชั่วโมง
(ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. ของวันที่ 27 ก.พ. 2562)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพอุปกรณ์ (ช่วงเวลา 06.00 – 18.00 น. ของวันที่ 27 ก.พ. 2562)

ชนิดแผง	แผงเซลล์แสงอาทิตย์			Charger Controller			Inverter		
	ความเข้มแสง (W/m^2)	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (W)	ประสิทธิภาพแผง (%)	เข้า (W)	ออก (W)	ประสิทธิภาพ (%)	เข้า (W)	ออก (W)	ประสิทธิภาพ (%)
Monocrytalline	386	270	17.49	270	259	96.00	259	205	79
Polycrystralline	386	250	16.19	250	240	96.00	240	187	78

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพรวม

ชนิดแผง	ประสิทธิภาพ			
	แผงเซลล์แสงอาทิตย์	Charger Controller	Inverter	รวม X 100 %
Monocrytalline	0.1745	0.96	0.79	13.23
Polycrystralline	0.1619	0.96	0.78	12.12

จากรูปที่ 7 กราฟแสดงค่าความเข้มแสง เป็นรายชั่วโมง ของวันที่ 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562 พบว่าแนวโน้มของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในตอนเช้าเวลา 06.00 น. จนมีค่าสูงที่สุดประมาณ 12.00 น. จะได้รับความเข้มรังสีรวมมากที่สุดประมาณ 800-900 W/m^2 จากนั้นจะ ลดลงเรื่อยๆจนมีค่าเป็นศูนย์ในเวลาประมาณ 18.00 น. ของวัน

จึงนำค่าที่วัดได้เป็นข้อมูลในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยกำลังและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ทำการวัดทุกๆ 1 ชั่วโมง เริ่มต้นจากค่าเฉลี่ยของความเข้มแสงที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ชนิด ซึ่งมีค่าเท่ากัน ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และประสิทธิภาพของ Monocrytalline มีค่าเท่ากับ 17.45% สูงกว่าชนิด Polycrytalline ที่มีค่าเท่ากับ 16.19% เนื่องจากแผงเซลล์ชนิด Monocrytalline เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในปัจจุบัน ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จึงเหมาะสมกับการใช้งานที่มีพื้นที่จำกัดและต้องการกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามแผงเซลล์ Polycrytalline แม้จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่า แต่ก็ได้รับการพัฒนาให้เซลล์มีประสิทธิภาพและมีความสูญเสียเนื่องจากความร้อนเทียบเท่าหรือดีกว่า Monocrytalline ในต้นทุนที่ต่ำกว่า

ตัวควบคุมการประจุ (Charger controller) ให้ค่าประสิทธิภาพเท่ากันคือ 96% เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แผงละ 36 เซลล์ (150W) พิกัดกระแสไฟฟ้าที่ผลิตนั้นต่ำ จึงมีความเหมาะสมเครื่องควบคุมการประจุที่ใช้คือ MPPT Charger controller เนื่องจากตัวควบคุมการประจุชนิดนี้มีความสามารถในการปรับกระแสและแรงดันไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมกับการชาร์จประจุเข้าสู่แบตเตอรี่ เช่นเดียวประสิทธิภาพของ Inverter เป็นชนิดและรุ่นเดียวกันคือ ปรับแรงดันขาเข้ากระแสตรงจาก 24 V เป็นแรงดันกระแสสลับ 220 V ความถี่ 50 Hz มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันคือ 79% และ 78% ตามลำดับ

ดังนั้นประสิทธิภาพรวม คือการคูณกันระกว่างประสิทธิภาพของอุปกรณ์ทั้งหมด ซึ่งได้ค่าออกมาคือ 13.23% และ 12.12% ซึ่งโดยภาพรวมถือว่าประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์อเนกประสงค์ที่สร้างขึ้นให้ประสิทธิภาพรวมในระดับที่ปานกลาง ซึ่งมีข้อดีในด้าน ขนาดและรูปทรงของเครื่องกะทัดรัด เน้นความสะดวกในการเคลื่อนย้ายและใช้ได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิดที่ใช้ไฟฟ้าบ้าน 220 V เหมาะสมกับการนำไปใช้สถานที่สายส่งไฟฟ้าเข้าไม่ถึงจึงจะมีความคุ้มค่าที่สุด

4. สรุปผลวิจัย

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสงอาทิตย์อเนกประสงค์ที่ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Monocrystalline ให้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ 17.45% ซึ่งอยู่ในระดับปานกลางที่อยู่ใน catalog ที่มีประสิทธิภาพการใช้งานอยู่ที่ 15 – 20% ส่วนอุปกรณ์อื่นคือ Charger controller และ Inverter เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ดังนั้นประสิทธิภาพรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับชนิดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ประเภท Monocrystalline จะให้ประสิทธิภาพรวมสูงสุดคือ 13.23% โดยความเข้มแสงจะมีผลต่อกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิจะมีผลต่อแรงดันไฟฟ้า

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ที่สนับสนุนทุนโครงการวิจัยนี้ จากงบประมาณเงินรายได้มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ประจำปีงบประมาณ 2562

6. สัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์	ความหมาย	คำแปล
V	Volt	โวลต์
A	Ampere	แอมแปร์
Ah	Ampere hour	แอมแปร์ชั่วโมง
W	Watt	วัตต์
Hz	Hertz	เฮิรตซ์
W/m^2	Watt per Square meter	วัตต์ต่อตารางเมตร

6. เอกสารอ้างอิง

[1] หลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โครงการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ กรมพัฒนาพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน

[2] นภัทร วัจนเทพินทร์ (2554) การติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยตัวเอง, สกายบุ๊ก, ปทุมธานี

[3] http://www.solar-thailand.com/

[4] นครินทร์ รินพล (2558) คู่มือการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เบื้องต้น

[5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน,การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ ,เซลล์ แผงและอุปกรณ์ประกอบระบบ

[6] http://solarmileknowledg.wordpress.com

[7] เอกสารแนะนำการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ ของบริษัท SMA Solar Technology AG ประเทศ Germany