การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนผืนน้ำโดยใช้โปรแกรมพีวีซีส

Performance Analysis of Floating Solar PV System using PV Syst Program

อนุชัย ชาวแขก [1] ภรชัย จูอนุวัฒนกุล [1] พศวีร์ ศรีโหมด [1] และสำเริง ฮินท่าไม้ [1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประยุกต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

anuchai.atts@gmail.com , parachai.ju@spu.ac.th, pasawee.sr@spu.ac.th, samroeng.hi@spu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกริดที่ติดตั้งบนผืนน้ำโดยใช้โปรแกรมพีวีซีส โดยนำข้อมูลจากระบบการผลิตไฟฟ้าจริงที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่หนึ่ง ที่มีกำลังผลิตติดตั้งขนาด 25 kWp มาทำการจำลองในโปรแกรมพีวีซีส เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของระบบและเปรียบเทียบกับค่าจริงของระบบในปัจจุบันที่มีการติดตั้งมานานเกือบ 10 ปี และหาแนวทางแก้ไขเพื่อปรับปรุงระบบให้มีค่าสมรรถนะของระบบดีขึ้น จากการจำลองบนโปรแกรมพีวีซีส พบว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในพื้นที่ดังกล่าวควรเลือกมุมเอียงและมุมอะซิมูทที่ให้พลังงานที่จ่ายเข้ากริดสูงสุด มุมเอียงที่ดีที่สุดในการติดตั้งอยู่ที่มุมเอียง 16 องศา มุมอะซิมุท 0 องศา หันหน้าไปทางทิศใต้ ได้กำลังการผลิตสูงที่สุด 38.77 MWh/year และมีค่าสมรรถนะของระบบ 83.31 % เมื่อเปรียบเทียบกับค่าจริงของระบบในปัจจุบัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการเสื่อมสภาพเหลือประสิทธิภาพเฉลี่ย 2.968% ค่าสมรรถนะของระบบ 49.89 % โดยผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำไปวิเคราะห์และสรุปผลรวมถึงข้อเสนอแนะวิธีการแก้ไขปัญหา

คำสำคัญ: ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนผืนน้ำ โปรแกรมพีวีซีส สมรรถนะของระบบ ประสิทธิภาพในการรับแสง

Abstract

This paper presents a performance analysis of floating solar PV system using PV Syst program. By getting data from the actual system installed in one area with an installed capacity of 25 kWp, is simulated by PV Syst program to analyze system performance and compare with the actual system that has been installed for nearly 10 years and find solutions to improve the system performance. Based on the simulation on the PV Syst program, it was found that the best angle to install in such areas should choose the tilt angle and azimuth angle that gives the highest energy injected into Grid. The best angle is at an angle of 16 degrees, azimuth angle of 0 degrees, facing south. The highest production capacity is 38.77 MWh/year and the system has 83.31% performance ratio. Compared to the actual system, the system has an average residual efficiency of 2.968 %, performance ratio of 49.89%. The results will be analyzed and summarized as well as suggestions for solutions.

Keywords: Floating Solar PV System, PV Syst Program, Performance Ratio, Effective Irradiance on Collectors

1. คำนำ

ปัจจุบันพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติและไม่ต้องสูญเสียเงินในการลงทุนเรื่องเชื้อเพลิงในการผลิต และแนวโน้มต่อไปในอนาคตเซลล์แสงอาทิตย์ จะเข้ามามีบทบาทอย่างมากในการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง 18-19 MJ/m^2-day [1] ซึ่งจัดได้ว่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์มีปริมาณเพียงพอที่จะเป็นพลังงานทางเลือกได้ เพื่อให้พลังงานแสงอาทิตย์ถูกนำมาใช้ได้อย่างสูงสุด และตอบสนองนโยบายของภาครัฐที่กระทรวงพลังงานได้ประกาศใช้แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558-2579 (AEDP2015) [2] บทความนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาหาค่าสมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนผืนน้ำที่เชื่อต่อกริดกับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยอาศัยการจำลองแบบจากโปรแกรมพีวีซีส (PV Syst) และเปรียบเทียบกับระบบการผลิตไฟฟ้าจริงที่ติดตั้งอยู่ในพื้นที่จริงที่มีกำลังไฟฟ้าผลิตติดตั้งขนาด 25 kW โดยติดตั้งระบบเมื่อวันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2552 ซึ่งจากอายุการใช้งานโดยทั่วไปของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะยาวนานกว่า 25 ปี และประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะลดลงตามอายุการใช้งานด้วย ซึ่งจะมีผลต่อการลงทุนและความคุ้มทุนในระบบการผลิตติดตั้ง จึงจำเป็นที่จะต้องคำนวณหาประสิทธิภาพของระบบการผลิต และอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกับระบบการผลิตที่ติดทั้งในปัจจุบันเพื่อเป็นทางเลือกในการปรับปรุงและบำรุงรักษาระบบให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

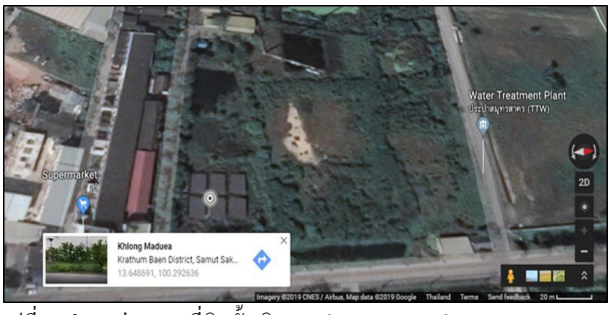
ในการออกแบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย จะนิยมที่จะติดตั้งให้ด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หันไปทางทิศใต้ และเอียงทำมุมประมาณ 10-18 องศากับพื้นโลก (ขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ) แต่มีผลงานน้อยมากที่พิจารณาถึงค่าต่างๆ เช่น ค่าสมรรถนะของระบบ (Performance Ratio) ค่าพลังงานที่จ่ายเข้าสู่กริด(Energy Injected into Grid) ประสิทธิภาพในการรับแสง (Effective Irradiance on Collectors)

ทิศ มุมเอียง (Plane Tilt Angle) และมุมอะซิมูท (Azimuth) ที่ทำให้ระบบมีการทำงานที่ดีที่สุด [3] บทความนี้จึงมุ่งเน้นวิเคราะห์สมรรถนะของระบบ พยายามปรับปรุงหามุมเอียงและทิศทางการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกริดที่ติดตั้งบนผืนน้ำอยู่ในพื้นที่จริง เพื่อเป็นแนวทางแก้ไขปรับปรุงระบบจริงให้มีกำลังผลิตสูงสุดและวิเคราะห์หาสาเหตุการทำงานที่ผิดปกติสำหรับการปรับปรุงระบบ

2. ตำแหน่งที่ติดตั้งจริง และพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ

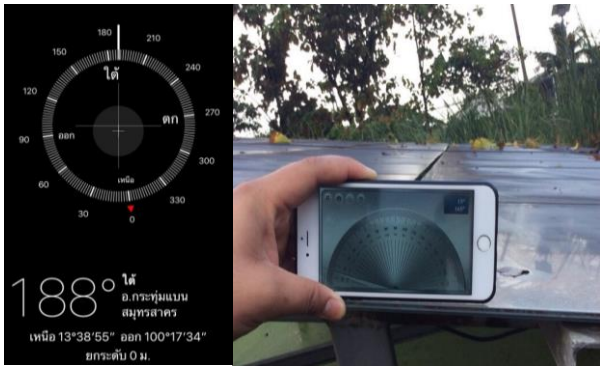
2.1 ตำแหน่งสถานติดตั้งจริงของระบบ

ระบบผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนผืนน้ำ ได้ทำการติดตั้ง ณ ตำบล คลองมะเดื่อ อำเภอ กระทุ่มแบน จังหวัด สมุทรสาคร เมื่อวันที่ 13 ตุลาคม พ.ศ. 2552 มีขนาดกำลังผลิตติดตั้ง 25 kWp โดยตำแหน่งของสถานที่ติดตั้งดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตำแหน่งสถานที่ติดตั้งจริง N13°38'55" E100° 17'34"

ส่วนข้อมูลจากการวัดทิศ มุมเอียง และมุมอะซิมูทของของระนาบแผงที่ติดตั้ง แสดงในรูปที่ 2



ก. ข.

รูปที่ 2 จากการวัดด้วย Application มือถือ ของสถานที่ติดตั้งจริง

ก. หันหน้าแผงไป ทางทิศใต้ ทำมุม 15 องศา

ข. มุมมุมอะซิมูท +8 องศา

2.2 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ

ค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงในตารางที่ 1 และข้อมูลคุณลักษณะของกริดอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ค่าทางไฟฟ้าต่างๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์รุ่น BS40 ที่สภาวะทดสอบมาตรฐานSTC

พารามิเตอร์	คุณลักษณะ
Model	BS-40-44-B ชนิด อะมอร์ฟัสซิลิกอน
Nominal Power (W_p)	44.0
Voltage in MPP (V)	46.9
Current in MPP (A)	0.99
Open Circuit Voltage (V)	62.6
Short Circuit Current (A)	1.17
Max. System Voltage (V)	600

หมายเหตุ: STC คือ สภาวะทดสอบมาตรฐานของโซล่าเซลล์ ที่ Irradiance of 1000 W/m2,Cell Temperature of 25 °C ,Spectral Distribution of 1.5 Air Mass

ตารางที่ 2 ข้อมูลคุณลักษณะของกริดอินเวอร์เตอร์

Fronius IG Plus 100	
MPP Voltage Range	230-500 V DC
Max. Input Voltage	600 V DC
Max. Input Current	36.6 A DC
Nominal Output Power	8 kW
Maximum Efficiency	96%

3. ผลการวิเคราะห์หามุมการติดตั้งที่เหมาะสมด้วยพีวีซีส

ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้าไม่ได้วิเคราะห์การวางแผงในทิศหรือมุมองศาที่ติดตั้งเพื่อให้พลังงานสะสมตลอดปีที่ดีที่สุดก็จะทำให้สูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็นได้ ดังนั้นในการวิเคราะห์หามุมการติดตั้งของแผงที่เหมาะสม สามารถคำนวณได้จากค่าประสิทธิภาพของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่หันในทิศที่มุมต่างๆ จากการรันด้วยโปรแกรมพีวีซีส โดยใช้ข้อมูลตำแหน่งที่ติดตั้งจริง และพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบใส่ในแบบจำลองเพื่อหามุมเอียง และมุมอะซิมูท ที่มีค่าประสิทธิภาพในการรับแสงสูงสุด จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่ามุมที่มีประสิทธิภาพในการรับแสงสูงสุดอยู่ที่มุมเอียง 16 องศา มุมอะซิมูท 0 องศา มีค่าเท่ากับ 1779 (kWh/m²/year) และเมื่อมีการปรับมุมเพิ่มหรือลดจะทำให้ค่าประสิทธิภาพในการรับแสงที่ได้มีอัตราการลดทอนลงตามการปรับมุม

ในการหามุมเอียงที่ให้ค่าสมรรถนะของระบบ (Performance Ratio) สูงสุดจากสมการที่ 1

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \qquad (1)$$

เมื่อ Y_f = E_Grid / P_nominal

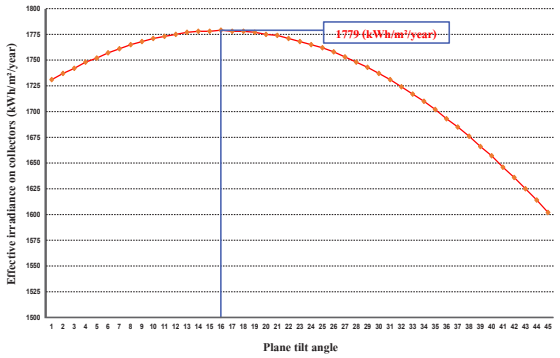
Y_r = Effective Irradiance on Collectors / (1 kW/m^2)

E_Grid = Area of PV x Effective Irradiance on Collectors x %Effective PV x %Effective Inverter

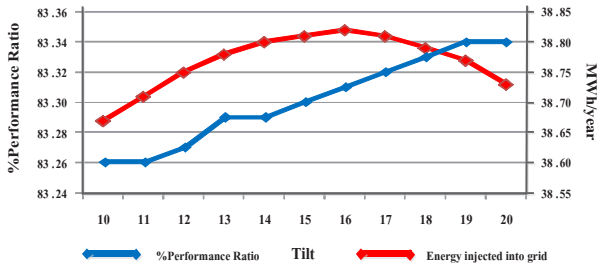
ค่าสมรรถนะของระบบมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น พบว่าที่มุมเอียง 19 องศา มีค่าเท่ากับ 83.34% แต่มุมที่ให้ค่าพลังงานที่จ่ายเข้าสู่กริด (Energy

Injected into Grid :MWh/year) สูงสุดคือที่มุมเอียง 16 องศา หันทางทิศใต้ โดยมีค่าพลังงานเท่ากับ 38.82 MWh/year ดังแสดงในรูปที่ 4 ในการเลือกมุมเอียงจึงควรเลือกมุมเอียงที่ให้พลังงานที่จ่ายเข้ากริดสูงสุดคือที่มุมเอียง 16 องศา

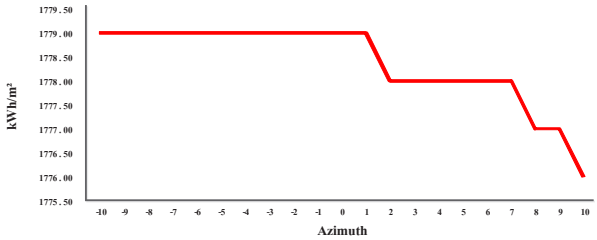
จากการตั้งค่ามุมเอียงที่ 16 องศา แล้วทำการปรับมุมอะซิมูทตั้งแต่มุม -10 องศาหรือเรียกว่ามุม 170 องศาใต้ จนถึง +10 องศาหรือมุม 190 องศาใต้ จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่ามุมอะซิมูทที่มีประสิทธิภาพในการรับแสงสูงสุดอยู่ ที่มุมอะซิมูท 0 องศา และมีอัตราการลดทอนลดลงตามการปรับมุม (+) เพิ่มขึ้น แต่จะมีกำลังคงที่ที่การปรับมุมด้าน (-)



รูปที่ 3 กราฟแสดงการปรับมุมต่อประสิทธิภาพในการรับแสง

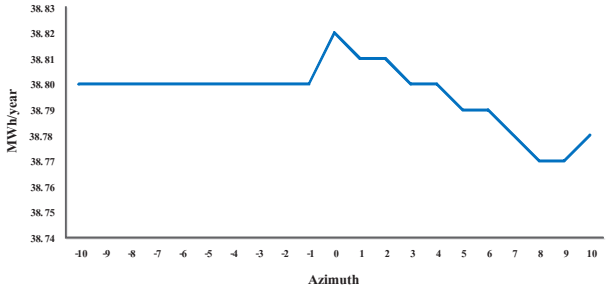


รูปที่ 4 กราฟแสดงค่าสมรรถนะของระบบและค่าพลังงานที่จ่ายเข้าสู่กริดที่มุมต่างๆ



รูปที่ 5 มุมที่มีประสิทธิภาพในการรับแสงต่อมุมอะซิมูท

ค่าพลังงานที่จ่ายเข้าสู่กริดมีค่าสูงสุดที่มุมอะซิมูท 0 องศา มีค่าเท่ากับ 38.82 MWh/year และมีอัตราการลดทอนลงตามการปรับมุม (+) เพิ่มขึ้น และมีกำลังลดลงเหลือ 38.80 MWh/year ที่มุม -1 องศา และจะมีกำลังคงที่ที่มุมด้านลบมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6

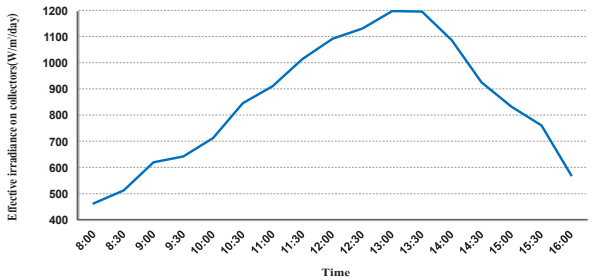


รูปที่ 6 ค่าพลังงานที่จ่ายเข้าสู่กริดต่อมุมอะซิมูท

เพราะฉะนั้นการติดตั้งที่ มุมเอียง 16 องศา มุมอะซิมูท 0 องศา จะให้ค่าพลังงานที่จ่ายเข้าสู่กริดสูงที่สุด

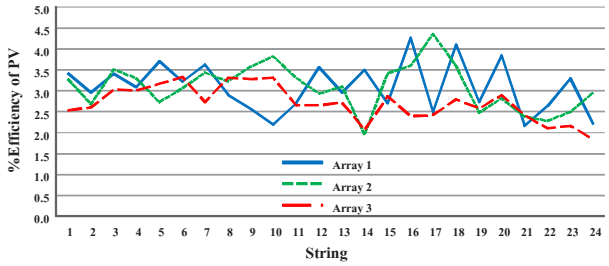
4. ผลจากการเก็บข้อมูลจริงของระบบ

จากการบันทึกข้อมูลความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยเครื่องมือ Solar Power Meter ในวันที่ 22 มีนาคม พ.ศ.2562 โดยเริ่มเก็บค่าตั้งแต่เวลา 8.00-16.00 น. (เก็บค่าทุกๆ 30นาที) ตามเวลาการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่เริ่มทำงานจริง จะเห็นว่าในพื้นที่มีค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ย 853.35 W/m^2/day หากคิดเป็นชั่วโมงตามการทำงานของระบบ 8 ชั่วโมง/วัน จะได้ ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์สะสมเฉลี่ย 6.83 kWh/m^2/day และหากสมมุติให้ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์สะสมเฉลี่ยต่อวัน ตลอดเดือนมีนาคม มีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากัน จะได้ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์สะสมเฉลี่ยต่อเดือน 211.63 kWh/m^2/month และเมื่อนำข้อมูลพลังงานแสงที่เก็บค่าได้มาทำเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์กับเวลา จะพบว่าค่าพลังงานแสงอาทิตย์ตั้งแต่เวลา 8.00-13.00 น.จะเป็นช่วงค่าความเข้มพลังแสงที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุดที่เวลา 13.00 น. ที่ค่าความเข้มของแสง 1197 W/m^2 และหลังจากเวลา 13.00 น. ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์จะเริ่มลดลงเรื่อยๆ ดังแสดงในรูปที่ 7



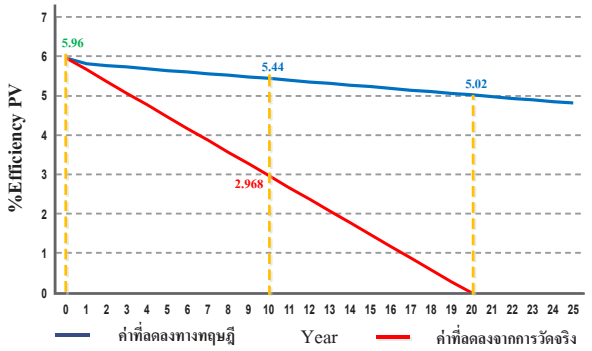
รูปที่ 7 กราฟความสัมพันธ์ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์กับเวลา

จากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีการผลิตไฟฟ้าได้ในแต่ละอะเรย์ (Array) ทั้งหมด 3 อะเรย์ โดย 1 อะเรย์ มี 24 สตริง (String) พร้อมเก็บค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์ขณะทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า และวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 8 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละอะเรย์

จากการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้เมื่อนำมาทำการคำนวณหาประสิทธิภาพแผง ดังในรูปที่ 8 พบว่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ 2.968 % ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการเสื่อมสภาพและชำรุด โดยเมื่อดูจากกราฟจะเห็นได้ว่าอะเรย์ที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่มีประสิทธิภาพต่ำกว่าอะเรย์ที่ 1 และอะเรย์ที่ 2 ที่ส่วนใหญ่เหลือประสิทธิภาพมากกว่า 3%



รูปที่ 9 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปแล้วแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในปีแรกเมื่อติดตั้งค่าประสิทธิภาพจะลดลงประมาณ 2.5 % เนื่องจากการทำปฏิกิริยากับสภาพอากาศ และสภาพแวดล้อม และหลังจากนั้น ปีที่ 2-25 ประสิทธิภาพจะลดลงปีละประมาณ 0.7 % [4] จากรูปที่ 9 เมื่อนำข้อมูลการลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากแบบจำลองมาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงจากระบบ พบว่าระบบจริงมี ประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยเหลือประมาณ 2.968% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าประสิทธิภาพ จากแบบจำลองที่ 5.44 % จึงส่งผลให้ค่าสมรรถนะของระบบเหลือ 49.89 % และจากข้อมูลของระบบจริง ถ้ากำหนดให้อัตราการลดลงของประสิทธิภาพของแผงตลอดการใช้งาน 10 ปีที่ผ่านมาเป็นการลดลงแบบเชิงเส้นมีความสัมพันธ์ ตามสมการที่ 2

$$\%Efficiency = 5.96 - \left((5.96 - 2.968) \times \frac{N}{10} \right) \quad (2)$$

เมื่อ ให้ N แทนจำนวนอายุปีที่ใช้งาน

จากความสัมพันธ์ของสมการทำให้เราสามารถคาดการได้ว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ของระบบจะสามารถใช้งานต่อได้อีก 10 ปีถ้าไม่มีการปรับปรุงระบบ ดังนั้นหากมีการบำรุงรักษาที่ดีก็จะทำให้แผงสามารถใช้งานได้ต่อไปได้นานขึ้น

5. สรุป

- จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพีวีซีส เพื่อหามุมและทิศทางการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ดีที่สุดให้กับระบบ พบว่ามุมที่ดีที่สุดในการติดตั้งอยู่ที่มุมเอียง 16 องศา มุมอะซิมูท 0 องศา หันหน้าทางทิศใต้ จะทำให้ได้กำลังการผลิตสูงที่สุดที่ 38.77 MWh/year และมีค่าสมรรถนะของระบบเท่ากับ 83.31 %
- นำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาประเมินสาเหตุการลดลงของค่าสมรรถนะของระบบ พบว่าสาเหตุที่เป็นปัจจัยหลักคือ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชำรุดและมีการเสื่อมสภาพที่ปัจจุบันมีประสิทธิภาพการทำงาน โดยเฉลี่ย 2.968% และแผงยังขาดการทำความสะอาดบำรุงรักษา ประสิทธิภาพการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่ลดลง มีผลต่อการลดลงของค่าสมรรถนะของระบบ
- เสนอให้ทำการปรับปรุงมุมและทิศทางการรับแสงอาทิตย์ ตามผลการวิเคราะห์ที่มุมเอียง 16 องศา มุมอะซิมูท 0 องศา หันหน้าไปทางทิศใต้ จะทำให้ให้ได้กำลังการผลิตสูงที่สุด ซึ่ง ณ ปัจจุบันระบบทำการติดตั้งทำมุมเอียง 15 องศา มุมอะซิมูท +8 องศา ค่าสมรรถนะของระบบเหลือ 49.89 % จากการจัดระบบโดยเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังมีประสิทธิภาพสูงๆ มารวมกันและทำการลดการใช้งานลง 1 อะเรย์ ให้เป็นอะเรย์สำรองให้กับระบบ จะพบว่าค่าสมรรถนะของระบบของอะเรย์ 1 และ 2 เพิ่มขึ้นเป็น 54.544 % และ 55.376 % ตามลำดับ ในส่วนของอะเรย์สำรอง อาจนำไปเป็นอะไหล่ทดแทนในระบบ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คุณกิตติพงศ์ ผาจันทร์ และคุณณรงค์เวทย์ พรวนต้นไทร สำหรับข้อมูลต่างๆ ในบทความนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน “ศักยภาพการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยม” 2554, (ออนไลน์), สืบค้นเมื่อ 10 กรกฎาคม 2561,จาก http://www.dede.go.th

[2] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน “แผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก” 2558-2579, กรุงเทพฯ: กระทรวงพัฒนาพลังงาน, 2558

[3] C.P. Kandasamy,P.Prabu and K.Niruba, “Solar Potential Assessment Using PVSYTST Software”, International Conference on Green Computing, Communication and Conservation of Energy,2013.

[4] ทฤษฎีการลดลงของประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ https://www.solarhub.co.th/solar-solutions/residential-solar/328-lifetime-how-long สืบค้นเมื่อวันที่ 19 พ.ย.61