การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีประสิทธิภาพการทำงาน (Performance Ratio) ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกลางในช่วงระยะเวลา 6 เดือน

สันติภาพ สุขสวัสดิ์[1*, 2] ดุสิต งามรุ่งโรจน์[1] และ ปรีดา จันทวงษ์[1]

วันที่รับ 2 พฤษภาคม 2568 วันที่แก้ไข 9 กรกฎาคม 2568 วันตอบรับ 15 สิงหาคม 2568

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าดัชนีประสิทธิภาพการทำงาน (Performance Ratio: PR) ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกลาง โดยอาศัยข้อมูลจริงย้อนหลัง 6 เดือน ระหว่างเดือนตุลาคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2568 จากศูนย์จ่ายพลังงานไฟฟ้าจังหวัดอุดรธานี ซึ่งเป็นระบบขนาด 358.80 kWp การวิเคราะห์ดำเนินการโดยคำนวณค่า PR ที่ปรับตามสภาพอากาศจริง (PRact) รายวันจากข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าระบบ (Energy to Grid) และปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ และนำผลลัพธ์มาวิเคราะห์แนวโน้มรายเดือน ผลการวิจัยพบว่าค่า PRact เฉลี่ยในแต่ละเดือนอยู่ระหว่างประมาณ 72.4% ถึง 81.2% โดยเดือนที่มีค่าต่ำที่สุดคือเดือนกุมภาพันธ์ และมีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนภายหลังการล้างแผงในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2568 แสดงให้เห็นว่าความสะอาดของแผงมีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรมจำลอง PVsyst ซึ่งให้ค่า PR จำลองเฉลี่ยเท่ากับ 81.11% พบว่าระบบมีประสิทธิภาพใกล้เคียงในบางช่วงเวลา โดยเฉพาะช่วงต้นการเก็บข้อมูล ข้อมูลจากการวิจัยสามารถนำไปใช้สนับสนุนการวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการประเมินสมรรถนะของระบบโซลาร์เซลล์ในระยะยาวได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์, ดัชนีประสิทธิภาพการทำงาน, การวิเคราะห์เชิงเวลา

[1] สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมพลังงาน, ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องต้นกำลังวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] ฝ่ายวิจัยและพัฒนา, บริษัท มัณฑา ซิสเท็ม จำกัด

[*] ผู้แต่ง, อีเมล: santipap.mondha@gmail.com

An Analysis of Factors Affecting the Variation of Performance Ratio in a Medium-Scale Solar Photovoltaic System Over a Six-Month Period

Santipap Suksavut[1*, 2] Dusit Ngamrungroj[1] and Preeda Chantawong[1]

Received 2 May 2025, Revised 9 July 2025, Accepted 15 August 2025

Abstract

This research aims to analyze the performance ratio (PR) of a utility-scale solar photovoltaic system based on six months of operational data collected from October 2024 to March 2025. The study utilized actual field data from a 358.80 kWp PV system at the power distribution center in Udon Thani, Thailand. The daily weather-corrected performance ratio (PRact) was calculated using the energy injected into the grid (Egrid) and global solar irradiation (Hi). The results were then analyzed for monthly trends. The findings revealed that the average PRact ranged from approximately 72.4% to 81.2% across the observed months, with the lowest value in February. A significant improvement in PRact was observed after a panel cleaning event on February 24, 2025, indicating that soiling had a substantial impact on system efficiency. When compared with the PVsyst simulation, which estimated an average PR of 81.11%, the actual values were closely aligned during certain periods, particularly in the early stages of the observation. These results suggest that ongoing PR monitoring, combined with appropriate maintenance strategies, can enhance system reliability and support long-term performance evaluation of utility-scale solar PV systems.

Keywords: Solar photovoltaic system, Performance ratio, Seasonal performance analysis

[1] Department of Energy Engineering Technology, Division of Prime Mover Engineering Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

[2] Research and Development Division, Mondha System Co., Ltd.

[*] Corresponding author, E-mail: santipap.mondha@gmail.com

1. บทนำ

ในปัจจุบัน การพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนถือเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์สำคัญที่ช่วยเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่มีศักยภาพสูง เหมาะสมต่อการผลิตไฟฟ้าในระดับอุตสาหกรรม และได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐทั่วโลก โดยเฉพาะในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา [1] – [2] ประเทศไทยเองก็มีศักยภาพรังสีแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีอยู่ในเกณฑ์สูง โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [3]

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกลางจำเป็นต้องอาศัยการออกแบบที่เหมาะสม การจำลองทางเทคนิค และการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในส่วนของการติดตามและประเมินค่าดัชนีประสิทธิภาพการทำงาน (Performance Ratio: PR) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดสากลที่ใช้ประเมินสมรรถนะของระบบภายใต้สภาพแวดล้อมจริง [4] PR ยังช่วยให้สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบต่าง ๆ ได้อย่างมีมาตรฐาน โดยไม่ขึ้นกับขนาดหรือสภาพอากาศของพื้นที่ติดตั้ง [5]

ในเชิงการออกแบบระบบ โปรแกรม PVsyst เป็นเครื่องมือจำลองที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายในงานวิศวกรรมพลังงานแสงอาทิตย์ โดยสามารถประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานได้จากข้อมูลภูมิอากาศ ทิศทางและมุมเอียงของแผง ตลอดจนการสูญเสียในระบบ [6] ผลจากการจำลองด้วย PVsyst มักใช้เป็น “ค่ามาตรฐาน” สำหรับเปรียบเทียบกับข้อมูลจริง เพื่อระบุประสิทธิภาพที่ลดลง หรือความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในระบบจริง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าดัชนี PR ที่ได้จากข้อมูลภาคสนามของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 358.80 kWp ณ จังหวัดอุดรธานี เป็นระยะเวลา 6 เดือน และนำมาเปรียบเทียบกับค่าจำลองที่ได้จากโปรแกรม PVsyst เพื่อประเมินแนวโน้มของสมรรถนะจริง และวิเคราะห์ความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้น อันจะช่วยสนับสนุนแนวทางการวางแผนบำรุงรักษา และการประเมินความมั่นคงของระบบพลังงานในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

2. วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิ (Secondary Data Analysis) จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกลาง ณ ศูนย์จ่ายพลังงานของบริษัทเอกชนแห่งหนึ่งในจังหวัดอุดรธานี โดยทำการเก็บข้อมูลย้อนหลังเป็นระยะเวลา 6 เดือน ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2567 ถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2568

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาเป็นระบบโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon) ขนาดกำลังการติดตั้งรวม 358.80 kWp ติดตั้งในลักษณะแบบคงที่ (fixed tilt) โดยมีมุมเอียงและทิศทางเหมาะสมต่อพื้นที่จังหวัดอุดรธานี ระบบใช้อินเวอร์เตอร์ชนิด String Inverter ยี่ห้อ Huawei รุ่น SUN2000-50KTL-M3 ขนาดรวม 300 kWAC โดยเชื่อมต่อแบบ On-Grid ทั้งนี้ ไม่มีระบบกักเก็บพลังงาน (Battery Storage) และมีการดำเนินการล้างแผงโซลาร์เซลล์ตามแผนบำรุงรักษา โดยเฉพาะในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2568 เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบต่อค่าดัชนีประสิทธิภาพ

ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงรายวัน (Energy to Grid) หน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) และค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันบนระนาบของแผง (Global Irradiation) หน่วยเป็นกิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร (kWh/m²) โดยวัดจากเซนเซอร์ pyranometer ที่ติดตั้งร่วมกับแผงข้อมูลทั้งหมดบันทึกผ่านระบบ FusionSolar Monitoring และนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel

การคำนวณค่าดัชนีประสิทธิภาพการทำงานตามสภาพอากาศจริงรายวัน (Performance Ratio: PRact) ใช้สมการที่ได้รับการอ้างอิงจากมาตรฐาน IEC 61724-1:2017 [4] และแนวทางจากงานวิจัยของ Müller และคณะ [5] และ Audouin และคณะ [6] ดังสมการ (1)

$$(PR_{act}) = \frac{\sum E_{grid}}{\frac{P_o}{G_{ref}} \sum_i [H_i x (1 + \frac{\beta}{100}(T_{meas,i} - T_{mod}))]} \quad (1)$$

เมื่อ

PR_{act} คือ ดัชนีประสิทธิภาพการทำงานที่ปรับตามสภาพอากาศจริง

E_{grid} คือ พลังงานไฟฟ้ากระแสสลับสุทธิที่ผลิตจากระบบ PV (kWh) ที่วัดจริงจากเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า รุ่น UMG511 ที่ตู้ Monitoring (บันทึกผ่านระบบ Fusion Solar Application)

H_i คือ ปริมาณรังสีบนพื้นผิวตามแนวระนาบของแผงโซลาร์เซลล์ (kWh/m²)

P_0 คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงของแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งทั้งหมดที่สภาวะอ้างอิงตามมาตรฐาน (kW)

G_{ref} คือ ปริมาณรังสีบนพื้นผิวตามแนวระนาบของแผงโซลาร์เซลล์ที่สภาวะอ้างอิงตามมาตรฐานเพื่อการทดสอบ (1kW/m²)

β คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของอัตราส่วนการเปลี่ยนแปลงของพลังงานของแผงโซลาร์เซลล์ตามที่ผู้ผลิตแนะนำ (- 0.30%/°C)

T_{mod} คือ อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์เฉลี่ยน้ำหนักตามปริมาณรังสีบนพื้นผิวตามแนวระนาบของแผงโซลาร์เซลล์ตลอดทั้งปีจาก PVsyst (51.41 °C)

$T_{meas,i}$ คือ อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์เฉลี่ยน้ำหนักตามปริมาณรังสีบนพื้นผิวตามแนวระนาบของแผงโซลาร์เซลล์

ข้อมูลที่เก็บมาใช้ในการคำนวณเป็นข้อมูลจากทุกวันในช่วงเวลา 10.00 - 14.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ระบบผลิตไฟฟ้าทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้ข้อมูลรายวันของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบและค่ารังสีแสงอาทิตย์ เพื่อนำมาคำนวณค่า PRact รายวัน แล้วสรุปเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน จากนั้นวิเคราะห์แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในระยะเวลา 6 เดือน และเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst ซึ่งใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาเฉลี่ยระยะยาว (Typical Meteorological Year: TMY) เป็นเกณฑ์อ้างอิง

3. ผลการวิจัย

การศึกษานี้ได้ดำเนินการวิเคราะห์ค่าดัชนีประสิทธิภาพการทำงานตามสภาพอากาศจริง (Performance Ratio: PRact) รายวันของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 358.80 กิโลวัตต์พีก (kWp) จากข้อมูลจริงในช่วงเดือนตุลาคม 2567 ถึงเดือนมีนาคม 2568 รวมระยะเวลา 6 เดือน พร้อมเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการจำลองระบบด้วยโปรแกรม PVsyst ซึ่งให้ค่า PR จำลองเฉลี่ยเท่ากับ 81.11% โดยนำค่าที่คำนวณได้ในแต่ละวันมาสรุปเป็นค่าเฉลี่ยรายเดือน พร้อมวิเคราะห์แนวโน้มและความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา

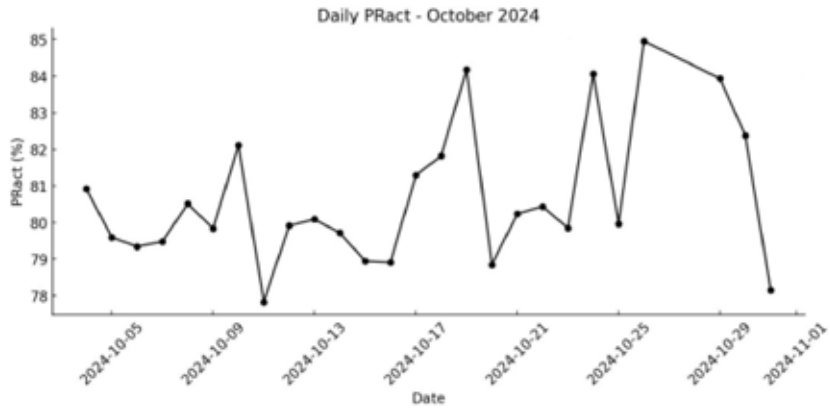
3.1 ค่าดัชนี PRact รายเดือน

ผลการคำนวณค่า PRact รายวันของแต่ละเดือนถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยรายเดือน แล้วแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งเปรียบเทียบกับค่า PR จำลองจาก PVsyst พบว่าเดือนตุลาคมมีค่า PRact เฉลี่ยใกล้เคียงที่สุดกับค่าจำลอง (81.2%) ขณะที่เดือนกุมภาพันธ์มีค่าต่ำที่สุดที่ 72.4% โดยพบว่าหลังจากการล้างแผงในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2568 ค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

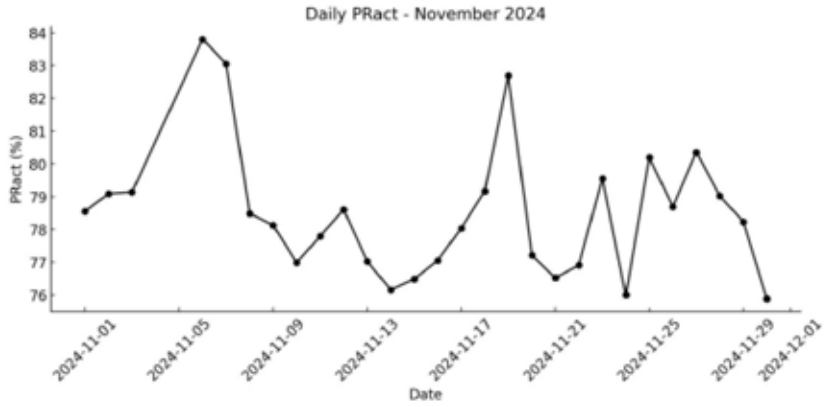
รูปที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ย PRact รายเดือนเทียบกับค่า PR จำลอง (PVsyst Reference) ตลอดช่วงเดือนตุลาคม 2567 ถึงเดือนมีนาคม 2568

3.2 ค่าดัชนี PRact รายวัน

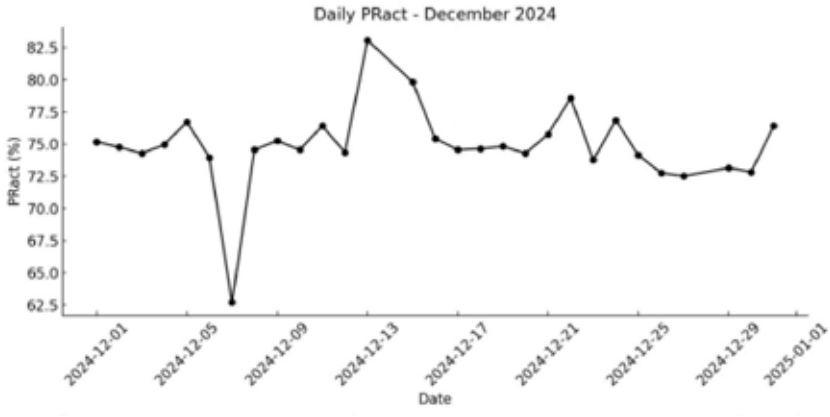
รูปที่ 2 ถึงรูปที่ 7 แสดงแนวโน้มค่าดัชนี PRact รายวันในแต่ละเดือน ซึ่งพบความแปรปรวนขึ้นลงโดยเฉพาะในเดือนที่มีฝนตกต่อเนื่องหรือท้องฟ้ามีเมฆมาก ค่าดัชนี PRact จะลดลงอย่างชัดเจน ขณะที่เดือนที่มีสภาพอากาศแจ่มใส ค่าดัชนีจะมีแนวโน้มสูงขึ้น เดือนตุลาคม พ.ศ. 2567 ค่าดัชนี PRact เฉลี่ยทั้งเดือนประมาณ 81.2% เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2567 ค่าดัชนี PRact เฉลี่ยทั้งเดือนประมาณ 78.5% เดือนธันวาคม พ.ศ. 2567 ค่าดัชนี PRact เฉลี่ยทั้งเดือนประมาณ 75.4% เดือนมกราคม พ.ศ. 2568 ค่าดัชนี PRact เฉลี่ยทั้งเดือนประมาณ 73.6% เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2568 ค่าดัชนี PRact เฉลี่ยทั้งเดือนประมาณ 72.4% โดยมีค่าต่ำกว่า 70% ในช่วงก่อนวันที่ 24 กุมภาพันธ์ เนื่องจากมีฝนตกติดต่อกันหลายวัน เดือนมีนาคม พ.ศ. 2568 ค่าดัชนี PRact เฉลี่ยทั้งเดือนประมาณ 76.1% จากผลการวิเคราะห์ พบว่า แนวโน้มค่าดัชนี PRact อยู่ในช่วง 72 - 81% โดยมีความสัมพันธ์กับสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเดือน โดยเฉพาะฝนตกและเมฆมาก ซึ่งส่งผลให้ค่าดัชนีลดลงอย่างมีนัยสำคัญ



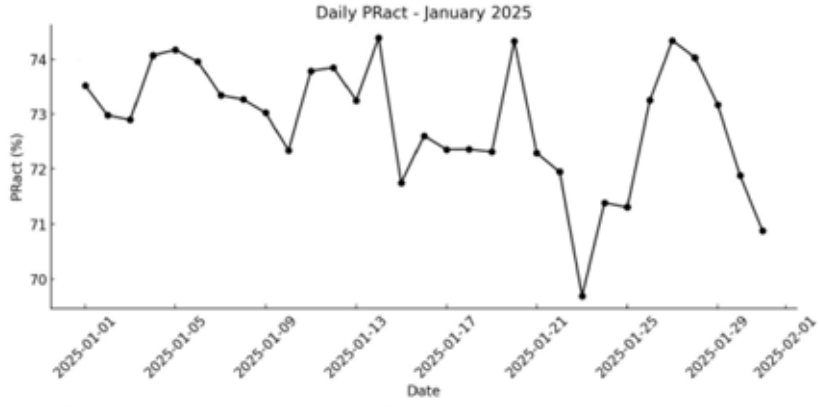
รูปที่ 2 เดือนตุลาคม มีค่า PRact สม่ำเสมอและใกล้เคียงค่าจำลองมากที่สุด



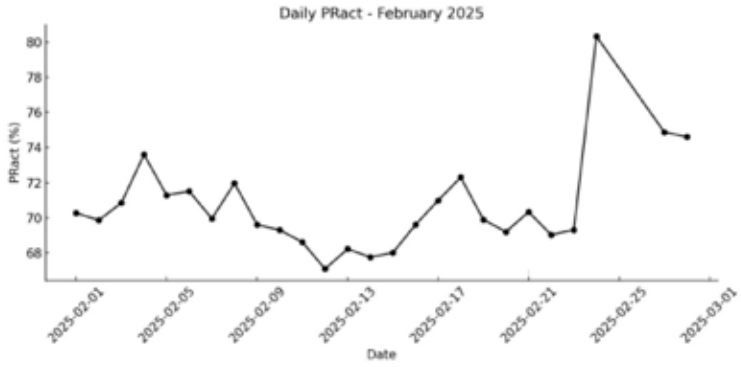
รูปที่ 3 เดือนพฤศจิกายน มีแนวโน้มลดลงในช่วงกลางเดือน และค่อนข้างแปรปรวนในปลายเดือน



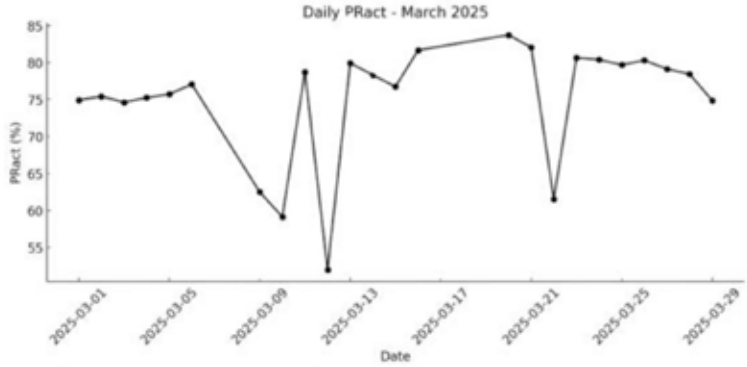
รูปที่ 4 เดือนธันวาคม ค่า PRact แสดงการลดลงต่อเนื่อง โดยเฉพาะวันที่มีเมฆมาก



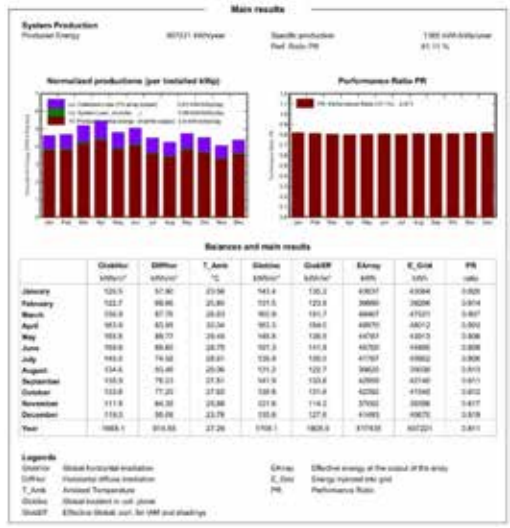
รูปที่ 5 เดือนมกราคม มีค่าประสิทธิภาพต่ำเกือบตลอดทั้งเดือน อยู่ในช่วง 70 - 74%



รูปที่ 6 เดือนกุมภาพันธ์ ค่าลดลงต่ำกว่า 70% ก่อนวันที่ 24 และพุ่งขึ้นหลังการล้างแผง



รูปที่ 7 เดือนมีนาคม ค่าประสิทธิภาพกลับมาใกล้ระดับ 76 - 80% อย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 8 แสดงผลการจำลองประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาด 358.80 kWp โดยใช้โปรแกรม PVsyst สำหรับช่วงเวลา 1 ปี

3.3 ผลการจำลองจาก PVsyst

รูปที่ 8 แสดงผลการจำลองจากโปรแกรม PVsyst ตลอดระยะเวลา 1 ปี โดยประสิทธิภาพ (PR) มีค่าคงที่อยู่ระหว่าง 80.06 - 80.2% แสดงถึงเสถียรภาพตามแบบจำลองที่ไม่มีปัจจัยภายนอกรบกวน เช่น ฝุ่นหรือความผิดปกติทางเทคนิค ซึ่งต่างจากค่าที่วัดได้จริงในภาคสนามที่มีความแปรปรวนตามสภาพแวดล้อมและการดูแลรักษา

3.4 ข้อวิเคราะห์เพิ่มเติม

ข้อเท็จจริงอันเป็นที่ทราบกันว่า นอกจากอุณหภูมิแวดล้อมที่สูงขึ้นกว่าค่าที่บริษัทผู้ผลิตออกแบบไว้แล้ว ความสกปรกบนพื้นผิวแผงโซลาร์เซลล์ยังมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อการผลิตไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพก่อนและหลังการทำความสะอาดแผงในเดือนกุมภาพันธ์จะเห็นความแตกต่างอย่างชัดเจน การศึกษานี้จึงสะท้อนความสำคัญของการบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม

นอกจากนี้ สิ่งที่ควรเพิ่มเติมในการศึกษาครั้งถัดไป คือ การเปรียบเทียบความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ในการทำความสะอาดแผง ซึ่งเกี่ยวข้องกับต้นทุนการดำเนินการกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น อาจวิเคราะห์ว่าใน 1 ปี ควรล้างกี่ครั้งจึงจะคุ้มค่ามากที่สุดในเชิงการลงทุนพลังงาน

4. วิจารณ์/อภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์ค่าดัชนีประสิทธิภาพการทำงานตามสภาพอากาศจริง (PRact) รายวันของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 358.80 kWp เป็นระยะเวลา 6 เดือน พบว่า ค่าเฉลี่ย PRact รายเดือนอยู่ในช่วง 72.4% - 81.2% โดยมีค่าเฉลี่ยรวมอยู่ที่ประมาณ 76.2% ซึ่งต่ำกว่าค่าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม PVsyst ซึ่งให้ค่าเฉลี่ย 81.11% ความแตกต่างนี้ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของปัจจัยภาคสนามที่แบบจำลองอาจไม่สามารถสะท้อนได้ทั้งหมด

4.1 การเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจริงกับค่าจำลอง

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าในเดือนตุลาคม 2567 ค่า PRact เฉลี่ยอยู่ที่ 81.2% ซึ่งใกล้เคียงกับค่าจำลองจาก PVsyst ที่ 81.11% สะท้อนว่าสภาพระบบในช่วงต้นของการติดตามมีประสิทธิภาพดี และแสดงความสอดคล้องกับค่ามาตรฐาน อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณารูปที่ 4 ถึง 6 ซึ่งเป็นช่วงเดือนธันวาคมถึงกุมภาพันธ์ พบว่าค่าประสิทธิภาพลดลงอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ 72.4% แสดงให้เห็นว่าในช่วงฤดูหนาวระบบมีความเสี่ยงต่อการสูญเสียประสิทธิภาพสูงกว่า เนื่องจากสภาพอากาศมีหมอกหรือเมฆมากในช่วงเช้า ประกอบกับไม่มีการล้างแผงอย่างสม่ำเสมอ

ในรูปที่ 6 ช่วงก่อนวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2568 PRact ต่ำกว่า 70% แต่หลังการล้างแผงในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2568 ค่าดัชนีพุ่งขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งยืนยันผลจากการศึกษาของ M. S. Adaramola และ E. E. T. Vågnes [7] ที่ชี้ว่าค่าความสกปรก (Soiling Loss) สามารถลด PR ได้ถึง 15 - 30% และส่งผลต่อความแม่นยำในการประเมินพลังงานอย่างมีนัยสำคัญ

4.2 การอภิปรายสาเหตุของความเบี่ยงเบน

ค่าที่ต่ำกว่าค่าจำลองจาก PVsyst อาจมีสาเหตุจากหลายปัจจัย ได้แก่

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม: ฝุ่นและคราบสกปรกที่สะสมบนแผงตลอดหลายสัปดาห์สามารถลดการรับแสงของแผงได้อย่างมีนัยสำคัญ [8] รวมถึงหมอกหรือเมฆในช่วงเช้าของฤดูหนาว ซึ่งพบได้ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ปัจจัยด้านการดำเนินงาน: รูปแบบการบำรุงรักษาแบบไม่สม่ำเสมอ เช่น การล้างแผงไม่ตรงตามรอบที่เหมาะสม ทำให้เกิดการสะสมของฝุ่นมากขึ้น และข้อมูลที่บันทึกผ่านระบบอัตโนมัติอาจมีข้อผิดพลาดในบางวัน เช่น การสะสมพลังงานข้ามช่วงเวลา (data roll-over) ซึ่งต้องใช้การคัดกรองก่อนนำมาวิเคราะห์

ข้อจำกัดของการจำลอง: แม้ PVsyst จะใช้ข้อมูล TMY (Typical Meteorological Year) ที่มีความแม่นยำสูง แต่ก็ไม่สามารถแทนสภาพอากาศเฉพาะวันหรือเหตุการณ์เฉพาะหน้าได้ เช่น วันฝนตกเฉพาะพื้นที่ หรือการเกิด partial shading ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดเฉพาะในสนามจริงเท่านั้น นอกจากนี้ ค่าพารามิเตอร์ เช่น Loss factor หรือ Soiling factor ที่ใช้ใน PVsyst อาจต่ำกว่าค่าที่เกิดขึ้นจริง

4.3 ประโยชน์ของการเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับค่าจำลอง

การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพ PRact เทียบกับค่าจำลองจาก PVsyst สามารถใช้ในการวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยการใช้แนวโน้มรายเดือนเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพระบบ หากค่า PRact รายเดือนเบี่ยงเบนจากค่าจำลองอย่างต่อเนื่อง อาจบ่งชี้ถึงปัญหาในระบบ เช่น ฝุ่น การเสื่อมของอุปกรณ์ หรือข้อผิดพลาดของการติดตั้ง ซึ่งสนับสนุนแนวทางของ M. Bhatnagar และคณะ [9] ที่แนะนำให้ใช้ PR trend เป็นตัวชี้วัดสำหรับ predictive maintenance

การใช้ค่าจากสนามจริงยังสามารถนำไปปรับเทียบ (calibrate) ค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลองให้สอดคล้องกับเงื่อนไขของระบบและพื้นที่ใช้งานจริง เช่น ปรับค่า soiling loss ใน PVsyst ให้เหมาะสมกับฤดูกาล เพื่อให้การจำลองระบบในอนาคตมีความแม่นยำมากขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าดัชนีประสิทธิภาพการทำงานตามสภาพอากาศจริง (Performance Ratio: PRact) ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดกลาง จากข้อมูลภาคสนามย้อนหลัง 6 เดือน (ตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ. 2567 ถึงมีนาคม พ.ศ. 2568) ณ ศูนย์จ่ายพลังงาน จังหวัดอุดรธานี และเปรียบเทียบกับค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการจำลองระบบด้วยโปรแกรม PVsyst ซึ่งให้ค่า PR จำลองเฉลี่ยอยู่ที่ 81.11%

ผลการทดสอบคือ การเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญของค่า PRact ภายหลังการล้างแผงโซลาร์เซลล์ในวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2568 โดยค่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นทันทีในวันถัดมา จากค่าที่ต่ำกว่า 70% กลับขึ้นสู่ระดับใกล้ 80% สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของฝุ่นและคราบสกปรกต่อการลดประสิทธิภาพของระบบในระดับที่มีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นปัจจัยที่ไม่ได้สะท้อนอยู่ในแบบจำลอง PVsyst

โดยสรุป งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่า การติดตามค่า PRact อย่างต่อเนื่องและนำมาเปรียบเทียบกับค่าจำลองสามารถใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินสมรรถนะระบบจริงได้อย่างแม่นยำ ทั้งยังเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพในการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงรุก การจัดการพลังงาน และการคาดการณ์สมรรถนะในอนาคตของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับอุตสาหกรรม

6. เอกสารอ้างอิง

[1] International Energy Agency, “Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028,” IEA, Paris, France, 2023. [Online]. Available: iea.blob.core.windows.net

[2] K. H. Solangi, M. R. Islam, R. Saidur, N. A. Rahim, and H. Fayaz, “A review on global solar energy policy,” *Renew. Sustain. Energy Rev.,* vol. 15, no. 4, pp. 2149-2163, May 2011.

[3] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), “Thailand solar radiation potential map,” Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, 2023. [Online]. Available: www.dede.go.th

[4] *Photovoltaic System Performance - Part 1: Monitoring,* IEC Standard 61724-1:2017, 2017.

[5] B. Müller, M. Gasteiger, and C. Reise, “Weather-corrected performance ratio: Empirical validation using satellite-based irradiance data,” *Prog. Photovolt. Res. Appl.,* vol. 28, no. 3, pp. 189-199, Mar. 2020.

[6] L. Audouin, T. Cebecauer, and M. Šúri, “Validation of solar resource and energy yield estimation with PVsyst software: Case study in Europe and the US,” *Sol. Energy,* vol. 206, pp. 634-645, Aug. 2020.

[7] M. S. Adaramola and E. E. T. Vågnes, “Preliminary assessment of a small-scale rooftop PV-grid tied in Norwegian climatic conditions,” *Energy Convers. Manag.,* vol. 90, pp. 458-465, Jan. 2015.

[8] M. Mani and R. Pillai, “Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations,” *Renew. Sustain. Energy Rev.,* vol. 14, no. 9, pp. 3124-3131, Dec. 2010.

[9] M. Bhatnagar, M. Gupta, and R. Singh, “Performance monitoring and degradation analysis of rooftop PV systems using performance ratio trend,” *Renew. Energy,* vol. 179, pp. 1425-1435, Dec. 2021.