

# การวิเคราะห์สมรรถนะและการสูญเสียทางอุณหภูมิการทำงานของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีศึกษาพื้นที่กรุงเทพมหานคร

## Analysis of Performance and Operating Temperature Losses of Solar Cell Modules A Case Study in Bangkok Area

ปัทมญา สักดิ์หวาน

Patinya Sakwan

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีจฬาลงคร

Faculty of Industrial Technology, Chitralada technology Institute, Bangkok Thailand

\*Corresponding Author E-mail: patinya.sak@cdti.ac.th

Received: 22/12/23, Revised: 05/02/24, Accepted: 08/02/24

### บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาการผลิตพลังงานที่วัดได้ของระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก (m-Si) ขนาด 32.4 kWp ที่มีอายุการใช้งาน 4 ปี เพื่อการวิเคราะห์สมรรถนะและการสูญเสียทางอุณหภูมิการทำงานของอาคารเรียนสถาบันเทคโนโลยีจฬาลงคร ในปี 2565 ซึ่งพบว่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อเดือนมีค่าสูงสุด 410 วัตต์ต่อตารางเมตรในเดือนเมษายน และมีค่าต่ำสุดในช่วงเดือนกันยายนที่ 305 วัตต์ต่อตารางเมตร และผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบต่อเดือนสูงสุด 3,925 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และต่ำสุด 2,978 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จากการนำข้อมูลมาวิเคราะห์พบว่าผลผลิตอ้างอิง (kWh/kWp) มีค่าเท่ากับ 0.736 และผลผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สุทธิ (kWh/kWp) มีค่าเท่ากับ 0.563 จากนั้นจึงนำค่าดังกล่าวมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ พบว่าอัตราส่วนประสิทธิภาพ (PR) มีค่าเท่ากับ 0.712 และค่าการสูญเสียอุณหภูมิในการทำงาน เท่ากับ 0.067 ซึ่งค่าการสูญเสียอุณหภูมิในการทำงานมีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบในพื้นที่อื่นที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างกันไปจากการศึกษานี้

**คำสำคัญ:** พลังงานแสงอาทิตย์, สมรรถนะ, การสูญเสียของระบบ

### Abstract

The study analyzed the energy production performance of a 32.4 kWp solar photovoltaic (PV) system installed on the roof of the Chitralada Institute of Technology building, which consisted of multi-crystalline silicon (m-Si) solar cells. The PV system had been in operation for 4 years. The purpose was to assess the system's efficiency and operating temperature losses. The average daily solar irradiance varied throughout the months, with a peak of 410 watts per square meter in April and a minimum of 305 watts per square meter in September.

The monthly energy production of the PV system reached its highest at 3,925 kilowatt-hours per kilowatt peak (kWh/kWp) and its lowest at 2,978 kWh/kWp. From the analysis, it was found that the reference yield (kWh/kWp) was 0.736, and the net solar energy yield (kWh/kWp) was 0.563. The performance ratio (PR), which represents the system's efficiency, was calculated to be 0.712. Additionally, the operating temperature losses were determined to be 0.067. The operating temperature losses (0.067) reflect the reduction in energy production caused by the increase in the operating temperature of the PV system. This value indicates the fraction of energy lost due to the temperature effect during the system's operation.

**Keywords:** solar energy, performance, system losses

### 1. บทนำ

ระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ จำเป็นอย่างยิ่งในการที่องค์การความเข้าใจเกี่ยวกับประสิทธิภาพและผลประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ [1] ซึ่งข้อมูลของแผงพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (PV) ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในด้านสมรรถนะและการสูญเสียต่างๆ ของระบบ ซึ่งการสูญเสียที่เกิดขึ้นในแผงพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์อันเกิดจากสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้คือ ปัจจัยทางอุณหภูมิที่มีผลต่อการสูญเสียประสิทธิภาพของโมดูลเมื่ออุณหภูมิสภาพแวดล้อมสูงขึ้น โดยทั่วไปแล้วอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะทำให้เกิดผลกระทบต่อนประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าของโมดูล PV โดยตรงต่อการผลิตพลังงาน การเสียความสูญเสียดังกล่าวถูกเรียกว่า การสูญเสียอุณหภูมิการทำงาน (Operating temperature losses)[4]

การวิเคราะห์การสูญเสียอุณหภูมิการทำงานของแผงพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (PV) ช่วยให้เราเข้าใจและปรับปรุงการใช้งาน

พลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด และช่วยลดความสูญเสียที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิการทำงานที่สูงขึ้น โดยมุ่งเน้นที่จะลดอุณหภูมิการทำงานของโมดูล PV ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าที่สูงสุด จากประเด็นปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัยทำการนำข้อมูลการผลิตพลังงานของระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์จากฐานข้อมูล นำมาวิเคราะห์สมรรถนะและการสูญเสียทางอุณหภูมิการทำงานของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก (m-Si) กรณีศึกษาในสภาพแวดล้อมของพื้นที่กรุงเทพมหานคร เพื่อใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาแนวคิดการติดตั้งและใช้งานพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ให้เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและอุณหภูมิในพื้นที่ และลดความสูญเสียในกระบวนการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สุทธิ (Final PV yield)

แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบพลังงานไฟฟ้าที่เกิดผลผลิต(kWh) เมื่อเทียบกับขนาดกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้ง (kWp) ของระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ดังสมการที่ (1)

$$Y_f = E / P_o \quad (1)$$

เมื่อ :  $Y_f$  คือ ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สุทธิ (kWh/kWp)

$E$  คือ ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบ (kWh)

$P_o$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ติดตั้งของระบบแสงอาทิตย์ (kWp)

ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์มีความสามารถในการผลิตพลังงาน (kWh) ต่อหน่วยกำลังไฟฟ้าที่ระบบสามารถผลิตได้สูงสุด (kWp) [2-3]

### 2.2 ผลผลิตอ้างอิง (Reference yield)

แสดงถึงประสิทธิภาพของพลังงานของรังสีอาทิตย์ของระนาบทั้งหมดที่ตกกระทบแผงพลังงานแสงอาทิตย์(kWh/m<sup>2</sup>) ต่อค่ารังสีอาทิตย์ (kW/m<sup>2</sup>) อ้างอิงตามมาตรฐาน (STC) ของแผงพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กำหนดที่ 1 kW/m<sup>2</sup>

$$Y_r = H / G \quad (2)$$

เมื่อ :  $Y_r$  คือ ผลผลิตอ้างอิง (kWh/kWp)

$H$  คือ พลังงานรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบระนาบทั้งหมด (kWh/m<sup>2</sup>)

$G$  คือ ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน STC (kW/m<sup>2</sup>)

### 2.3 อัตราส่วนประสิทธิภาพ (Performance ratio)

ค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยเปรียบเทียบผลผลิตพลังงานจริงของระบบ (ผลผลิตพลังงานสุทธิ) กับผลผลิตพลังงานที่คาดหวัง (อ้างอิง) ของระบบในสภาพมาตรฐานทดสอบ (STC) หรือเงื่อนไขทดสอบมาตรฐาน

ที่กำหนดไว้ หากมีค่าเท่ากับ 1 แสดงถึงระบบไม่มีการสูญเสียเลย ซึ่งมีความเป็นอุดมคติ

$$PR = Y_f / Y_r \quad (3)$$

จากสมการที่ (3) อัตราส่วนประสิทธิภาพจะเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพของระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ โดยค่า  $PR$  ที่สูงแสดงถึงระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ดี ผลลัพธ์นี้มักถูกนำมาใช้ในการเปรียบเทียบระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ต่างกันเพื่อหาความเหมาะสมในการเลือกใช้และวางแผนในโครงการพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์

## 2.4 การสูญเสียอุณหภูมิในการทำงาน

### (Operating temperature losses)

ประสิทธิภาพของโมดูล PV จะลดลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น สำหรับสถานที่ติดตั้งระบบส่วนใหญ่ อุณหภูมิโดยรวมของโมดูล PV ในขณะการทำงานจะสูงกว่าอุณหภูมิที่กำหนดที่ 25 °C จึงส่งผลให้มีการสูญเสียในการผลิตพลังงาน การสูญเสียอุณหภูมิในการทำงาน ดังสมการที่ (4) เพื่อแก้ไขค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้จากผลกระทบอุณหภูมิเป็นค่ากำลังไฟฟ้าตามมาตรฐาน (STC) ที่อุณหภูมิของโมดูล PV 25 °C

$$P_{tc} = P / [1 + \gamma (T - 25)] \quad (4)$$

โดยที่  $T$  คือ อุณหภูมิของโมดูล PV และแกมมา ( $\gamma$ ) คือ ปัจจัยการแก้ไขพลังงานสำหรับอุณหภูมิ (°C<sup>-1</sup>) วิธีการแก้ไขอุณหภูมินี้มาจากการแสดงออกเชิงเส้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ [4] ค่ากำลังไฟฟ้าตามมาตรฐาน (STC) นำใช้ในการคำนวณค่าพลังงาน  $E_{tc}$  เพื่อใช้กำหนดการผลิตพลังงานสำหรับสถานการณ์สมมติที่อุณหภูมิโมดูล PV เท่ากับ 25 °C ดังสมการที่ (5)

$$E_{tc} = t \sum P_{tc,i} \quad (5)$$

$$L_t = (E_{tc} / P_o - Y_f) / Y_r \quad (6)$$

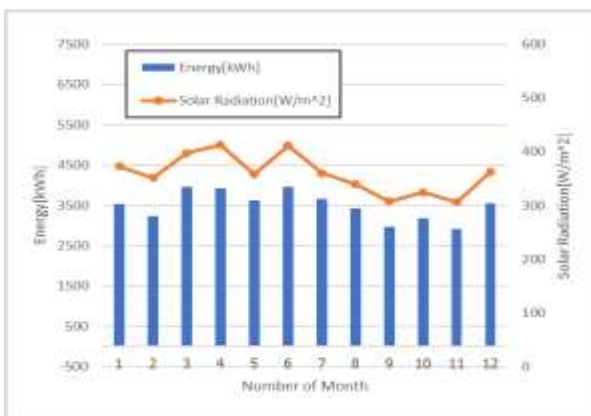
การสูญเสียที่เกิดจากอุณหภูมิในการทำงานแสดงถึงการสูญเสียอัตราส่วนประสิทธิภาพของระบบ จากผลต่างของผลผลิตพลังงานแสงอาทิตย์สุทธิตามมาตรฐาน (STC) และผลผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สุทธิ ( $Y_p$ ) ที่มีผลกระทบของอุณหภูมิ ดังสมการที่ (6)

## 3. ผลการดำเนินงาน

การวิเคราะห์ข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิแผงพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าของระบบ และผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบที่ได้จากฐานข้อมูลของระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก (m-Si) ที่มีอายุการใช้งาน 4 ปี ของอาคารเรียนสถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา ซึ่งตั้งอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร โดยข้อมูลที่น่าวิเคราะห์เป็นข้อมูลตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคม 2565 พบว่าค่าความเข้มรังสีอาทิตย์

เฉลี่ยรายวันต่อเดือนมีค่าสูงสุดโดยประมาณที่ 410 วัตต์ต่อตารางเมตร ในเดือนเมษายนซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อน และมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายวันต่อเดือนต่ำสุดในช่วงเดือนกันยายน มีค่าโดยประมาณที่ 305 วัตต์ต่อตารางเมตร มีความสอดคล้องกับค่าผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบต่อเดือนอยู่ที่ 3,925 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และ 2,978 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1

ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สุทธิ ( $Y_f$ ) จากสมการที่ (1) คำนวณจากผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบ ( $E$ ) ในแต่ละวันสะสมต่อเดือนตามผลลัพธ์จากรูปที่ 1 และหารด้วยกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้งของระบบแสงอาทิตย์ ( $P_0$ ) ในการศึกษานี้มีค่าเท่ากับ 32.4 kWp และค่าผลผลิตอ้างอิง ( $Y_r$ ) จากสมการที่ (2) นำค่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบระนาบแผงพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ (kWh/m<sup>2</sup>) หารด้วยค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ตามมาตรฐาน STC มีค่าอยู่ที่ 1 kWp จากผลลัพธ์ที่ได้สังเกตได้ว่า  $Y_f$  มีค่าอยู่ในช่วง 0.53 – 0.59 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.563 และค่า  $Y_r$  ในช่วง 0.70 – 0.77 ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.736 ดังรูปที่ 2 และเมื่อนำค่า  $Y_f$  และ  $Y_r$  มาคำนวณตามสมการที่ (3) เพื่อหาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพ ( $PR$ ) พบว่าค่า  $PR$  อยู่ในระหว่างที่ 0.74 – 0.68 โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.712

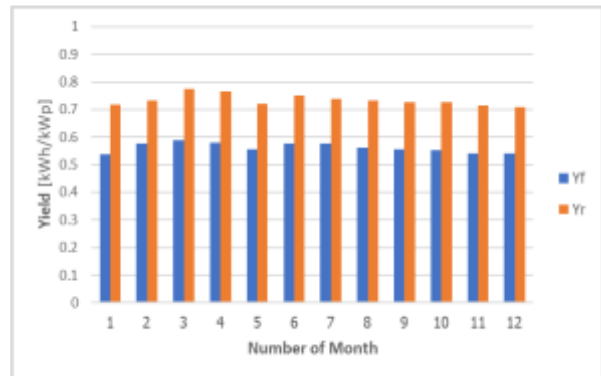


รูปที่ 1 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อเดือน และผลผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบต่อเดือน

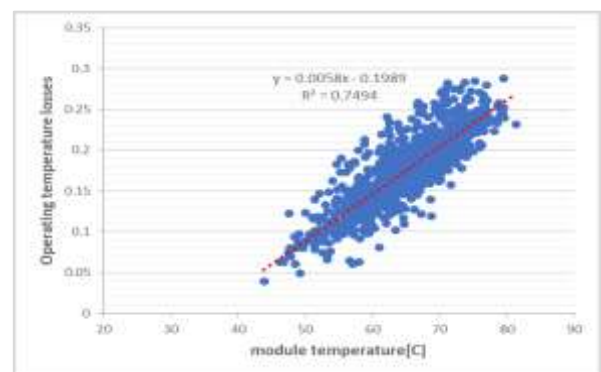
การลดลงของประสิทธิภาพจากผลกระทบทางอุณหภูมิที่มีต่อแผงพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ เพื่อแก้ไขอุณหภูมิค่าพลังงานที่วัดได้ให้เป็นค่าพลังงานตามมาตรฐานที่ 25 °C ( $E_{sc}$ ) ที่ได้จากค่าสะสมกำลังไฟฟ้าตามมาตรฐาน STC ( $P_{sc}$ ) ในแต่ละชั่วโมง โดยนำค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมง ( $P$ ) ที่ระบบผลิตได้ ณ ขณะที่มิรังสีอาทิตย์มาดกกระทบบนระนาบแผง ส่งผลให้มีอุณหภูมิแผง ( $T$ ) จากฐานข้อมูลมาคำนวณตามสมการที่ (4) โดยการศึกษาที่กำหนดค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน STC มีค่าเท่ากับ -0.46 %/°C เมื่อได้ค่าพลังงานที่วัดได้ให้ตามมาตรฐาน STC ( $E_{sc}$ ) ที่ได้จากแก้ไขผลกระทบทางอุณหภูมิแล้วนั้น จึงนำมาคำนวณหาการสูญเสียอุณหภูมิในการทำงาน ( $L_f$ ) เพื่อหาอัตราการสูญเสียที่ได้รับผลกระทบทางอุณหภูมิโดยการนำค่า  $E_{sc}$  ไปหารค่ากำลังไฟฟ้าที่ติดตั้งของระบบแสงอาทิตย์ ( $P_0$ )

ดังเช่นการคำนวณค่า  $Y_f$  จากสมการสังเกตว่าค่า  $L_f$  แสดงถึงผลต่างระหว่างค่าผลผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สุทธิ (kWh/kWp) กับค่าผลผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์จากการแก้ผลกระทบทางอุณหภูมิตามมาตรฐาน STC (kWh/kWp) และนำไปหารค่าผลผลิตอ้างอิง ( $Y_r$ )

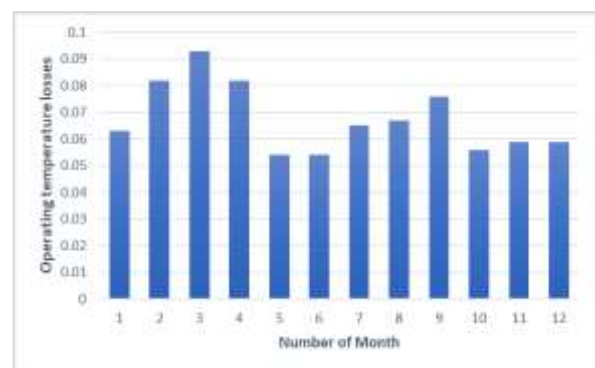
ผลลัพธ์การสูญเสียอุณหภูมิในการทำงาน ( $L_f$ ) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางสถิติกับอุณหภูมิแผงพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ( $T$ ) ด้วยข้อมูลรายชั่วโมง พบว่ามีค่าสหสัมพันธ์ ( $R^2$ ) อยู่ที่ 0.7494 มีแนวโน้มที่สอดคล้องกันอย่างแปรผันตรง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 ผลผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์สุทธิ ( $Y_f$ ) และค่าผลผลิตอ้างอิง ( $Y_r$ ) ของแต่ละเดือน



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ทางสถิติของการสูญเสียอุณหภูมิในการทำงาน ( $L_f$ ) และอุณหภูมิแผงพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ( $T$ )



รูปที่ 4 การสูญเสียอุณหภูมิในการทำงานเฉลี่ยรายเดือน

ผลลัพธ์ประสิทธิภาพของระบบโดยค่าการสูญเสียอุณหภูมิในการทำงาน ( $L_i$ ) ข้อมูลรายวันเฉลี่ยต่อเดือน พบว่าค่า  $L_i$  อยู่ในช่วง 0.053 – 0.092 และมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.067

#### 4. สรุปและอภิปรายผล

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนหลายผลึก (m-Si) วิทยาลัยอาชีวศึกษาที่ติดตั้งในพื้นที่กรุงเทพมหานคร ที่มีอายุการใช้งาน 4 ปี โดยใช้ฐานข้อมูลในปี 2565 พบว่ามีอัตราส่วนประสิทธิภาพ (PR) ที่ 0.712 และค่าการสูญเสียอุณหภูมิในการทำงาน เท่ากับ 0.067 ซึ่งค่าการสูญเสียอุณหภูมิในการทำงานมีค่าใกล้เคียงกับการทดสอบจากในพื้นที่อื่น [5] ที่มีสภาพแวดล้อมแตกต่างไปจากที่การศึกษานี้

ทางผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะให้ทำการด้อยอดการทดสอบนี้กับเทคโนโลยีแผงพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ รูปแบบการติดตั้ง และสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันเพิ่มเติม เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการพัฒนาแผงพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ให้มีการสูญเสียอุณหภูมิในการทำงาน (Operating temperature losses) ลดลง และเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] พิระวุฒิ ชินวรรังสี และคณะ, “การประเมินสมรรถนะ และความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบหลายเทคโนโลยีที่ติดตั้งบนหลังคาในประเทศไทย,” *วิศวกรรมลาดกระบัง*, หน้า 19–24, 2558.
- [2] Jordan D., Kurtz S., “Photovoltaic degradation rates an analytical review,” *Prog. Photovolt : Res. Appl.* 21, pp.12–29, 2013.
- [3] Marion W., Anderberg A., Deline C., del Cueto J., Muller M., Perrin G., Rodriguez J., Rummel S., Silverman T.J., “User’s Manual for Data for Validating Models for PV Module Performance,” *National Renewable Energy Laboratory*, Golden, CO, 2014.
- [4] Evans D.L., Florschuetz L.W., “Cost studies on terrestrial photovoltaic power systems with sunlight concentration,” *Sol. Energy* 19, pp.255–262, 1977.
- [5] Bill Marion, Michael G. Deceglie, Timothy J. Silverman, “Analysis of measured photovoltaic module performance for Florida, Oregon, and Colorado locations”, *Solar Energy*, Volume 110, pp.736-744, 2014.