

การศึกษาสมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้การบังแสงบางส่วน  
The Study of Performance and Efficiency in a Solar Photovoltaic System  
Under Partial Shading

ศโรชา ดีวีจิตร์<sup>1\*</sup>, ภาพัท รัตนกลางเมือง<sup>2</sup>, สมพร เรืองสินชัยวานิช

Sarocha Deevijit<sup>1\*</sup>, Phaphat Rattanaklangmueang<sup>2</sup>, Somporn Ruangsinchaiwanich

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University

\* Corresponding author e-mail: Sarochad912@gmail.com

(Received: 20 February 2025, Revised: 3 April 2025, Accepted: 18 April 2025)

**บทคัดย่อ**

ในปัจจุบัน การแสวงหาแหล่งพลังงานทางเลือกที่ยั่งยืนเป็นสิ่งสำคัญ เพื่อทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ลดลงและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พลังงานแสงอาทิตย์ได้รับการพัฒนาอย่างกว้างขวางผ่านเทคโนโลยีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) ซึ่งแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อมลภาวะและสามารถผลิตได้ต่อเนื่องในพื้นที่ที่มีแสงแดดเพียงพอ อย่างไรก็ตาม การบดบังแสงจากเศษใบไม้ ร่มเงาของต้นไม้ อาคารสูง หรือเมฆ สามารถลดประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ได้ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของการบังแสงบางส่วนต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยทดสอบในสภาวะความเข้มแสงตั้งแต่ 200 – 1000 W/m<sup>2</sup> ด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 300 W จำนวน 8x6 ตัว เชื่อมต่อแบบข้ามสายทั้งหมด (Total Cross Tied, TCT) ทดสอบ 26 รูปแบบการบดบัง แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ตามจำนวนเงาบังที่มีตั้งแต่ 3 ถึง 6 โมดูลในรูปแบบต่างๆ โดยใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อวิเคราะห์ผลการผลิตไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และประสิทธิภาพการผลิต ผลการทดสอบพบว่า ระบบที่มีการบดบังหลายโมดูลในสตริงเดียวให้ประสิทธิภาพสูงกว่าระบบที่มีการกระจายโมดูลที่ถูกบดบังในหลายสตริง โดยในกรณีที่บดบัง 6 โมดูลในสตริงเดียว ประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 87.55 – 97.02% ส่วนรูปแบบที่มีการกระจายโมดูลที่ถูกบดบังในแต่ละสตริง ประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 80.88 – 95.56% ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า นอกจากความเข้มแสงแล้ว ลักษณะการบังแสงยังมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

**คำสำคัญ:** การบังแสงบางส่วน, ระบบโพลีโวลเทอิก (PV), ประสิทธิภาพ, รูปแบบการบังแสง

**Abstract**

Currently, the search for sustainable alternative energy sources is crucial to replace the declining fossil fuel resources that negatively impact the environment. Solar energy has been widely developed through solar cell technology, which converts light energy into electrical power. As a clean energy source, solar power does not cause pollution and can be continuously generated in areas with sufficient sunlight. However, light obstruction caused by objects such as fallen leaves, tree shadows, tall buildings, or clouds can reduce the efficiency of solar cells. This research aims to investigate the impact of partial shading on the efficiency of solar energy production. The experiment was conducted under light intensities ranging from 200 to 1000 W/m<sup>2</sup>, using 300-watt solar cells,

with 8x6 units connected in a Total Cross Tied (TCT) configuration. A total of 26 shading patterns were tested, grouped into four categories based on the number of shaded modules, ranging from 3 to 6 modules in various configurations. MATLAB/Simulink software was used to analyze the results for electrical power, voltage, current, and production efficiency. The results showed that systems with multiple shaded modules in a single string performed better than systems where the shaded modules were distributed across multiple strings. In the case of shading 6 modules in a single string, the efficiency ranged from 87.55% to 97.02%, while the distributed shading model, where one module was shaded in each string, showed an efficiency range of 80.88% to 95.56%. Therefore, it can be concluded that, in addition to light intensity, the shading configuration also significantly affects the efficiency of solar power systems.

**Keywords:** Partial Shading, Photovoltaic (PV), Efficiency, Shading patterns

## 1. บทนำ

ประเทศไทยได้รับแสงแดดตลอดทั้งปี ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งเสริมให้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูงลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิลที่มีอยู่อย่างจำกัด อีกทั้งยังเป็นพลังงานสะอาดที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ในปัจจุบันแนวโน้มการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศไทยขยายตัวอย่างรวดเร็วเนื่องจากความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจและประโยชน์ในระยะยาวจากการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน รัฐบาลไทยยังมีนโยบายสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนอย่างต่อเนื่อง เช่น โครงการ Solar Rooftop หรือ โซลาร์ภาคประชาชน ซึ่งเปิดโอกาสให้ประชาชนสามารถผลิตไฟฟ้าใช้เองและขายคืนให้กับภาครัฐ กระตุ้นให้มีการติดตั้งโซลาร์เซลล์อย่างแพร่หลาย นอกจากนี้ ยังมี การพัฒนา โซลาร์ฟาร์ม (Solar Farms) ขนาดใหญ่ เพื่อเสริมกำลังการผลิตไฟฟ้าสำหรับระบบโครงข่ายไฟฟ้าของประเทศ ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและต้นทุนลดลง ส่งผลให้ประชาชนสามารถเข้าถึงพลังงานแสงอาทิตย์ได้ง่ายขึ้นมากกว่าเดิม ในอนาคตพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มเติบโตอย่างต่อเนื่อง และจะกลายเป็นหนึ่งในพลังงานหลักที่ช่วยเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงานและความยั่งยืนให้กับประเทศไทย

แม้ว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะสูงเพียงใด ยังมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้า เช่น ตำแหน่งการติดตั้งแผง ความเข้มของแสง อุณหภูมิแวดล้อม สภาพอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ ปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งคือการลดลงของ

ความเข้มแสง เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางอยู่บริเวณหน้าแผงรับแสง เช่น เศษใบไม้ ฝุ่นละออง ความสกปรก หรือเงาจากต้นไม้ อาคาร และสิ่งปลูกสร้างอื่น ๆ ซึ่งส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าสูงสุดและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้

วิธีการต่อบายพาสไดโอด (Bypass Diode) ขนานกับ PV สามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ให้เพิ่มขึ้นได้ การศึกษาของ Giyantara et al. (2021) และ Djalab et al. (2018) พบว่าการใช้ Bypass Diode สามารถช่วยลดผลกระทบจากเงาบังได้อย่างมีประสิทธิภาพ และลดปัญหาการสูญเสียจากการไม่สอดคล้อง (Mismatch Loss) ได้ ประกอบกับการเลือกรูปแบบการเชื่อมต่อในระบบให้เหมาะสม ซึ่งรูปแบบการเชื่อมต่อแบบข้ามสายทั้งหมด (Total Cross Tied, TCT) เป็นรูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบได้มากกว่ารูปแบบการเชื่อมต่อแบบอื่น ๆ โดย Amin et al. (2016) และ Darussalam et al. (2017) ได้ทำการศึกษาการเชื่อมต่อรูปแบบต่างๆเปรียบเทียบกัน พบว่า รูปแบบ TCT สามารถช่วยลดปัญหาต่างๆในระบบได้ดีที่สุด

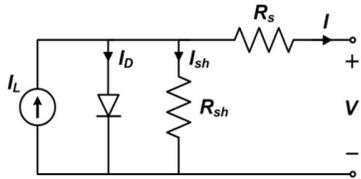
งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาผลกระทบของการบดบังบางส่วนที่หน้าแผงรับแสง โดยพิจารณากำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ มีการทดสอบการบังแสงรูปแบบที่แตกต่างกันทั้งหมด 26 รูปแบบ โดยใช้แบบจำลองระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาและจำลองผลผ่านโปรแกรม MATLAB/Simulink เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบภายใต้สถานะที่แตกต่างกัน

## 2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

วงจรไฟฟ้าของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์(แสงแดด) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ผ่านกระบวนการที่เรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตอิเล็กทริก (Photovoltaic Effect) ซึ่งเกิดขึ้นภายในเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากวัสดุเซมิคอนดักเตอร์ เช่น ซิลิคอน ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำไปใช้ในการจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อนำไปใช้งานภายหลัง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในการเชื่อมต่อกับอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งเหมาะสมกับการใช้งานในบ้านหรืออาคารต่าง ๆ

กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโมดูล PV จะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิเป็นหลัก วงจรไฟฟ้าของโมดูล PV แสดงดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดกระแสไฟฟ้าไดโอดและตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนาน ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของโมดูลแสดงดังสมการที่ (1)



รูปที่ 1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ (PV)

$$I_{pv} = I_{pg} - I_o - \left[ \exp \left( \frac{V + R_{se}I}{V_t a} - 1 \right) \right] - \frac{V + R_{se}I}{R_{sh}} \quad (1)$$

$$V_t = \frac{kT}{q} \quad (2)$$

โดยที่  $I_{pv}$  คือ กระแสที่ผลิตได้จาก PV,  $I_{pg}$  คือ กระแสที่เกิดจากแสงที่ตกกระทบเซลล์ (Photogenerated Current),  $I_o$  คือ กระแสย้อนกลับของไดโอด (Reverse Saturation Current),  $V$  คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก,  $R_{se}$ ,  $R_{sh}$  คือ ตัวต้านทานแบบอนุกรมและแบบขนาน ตามลำดับ a คือ ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของวัสดุเซลล์,  $V_t$  คือ แรงดันไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermal Voltage) ซึ่งคำนวณ

ได้จากสมการที่ (2) โดยที่  $k$  คือค่าคงที่ของโบลท์แมน,  $T$  คืออุณหภูมิสัมบูรณ์ (Kelvin) และ  $q$  คือ ประจุของอิเล็กตรอน

### 2.2 ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต (Output Power) กับกำลังไฟฟ้าอินพุต (Input Power) โดยที่ กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตคือพลังงานสูงสุดที่เกิดขึ้นในแต่ละเงื่อนไขการแสง (Global Maximum Power under each PSC) มี หน่วยเป็น วัตต์ (Watts), กำลังไฟฟ้าอินพุตคือการแผ่รังสีแสง (Insolation) มีหน่วยเป็นวัตต์/ตารางเมตร (Watts/m<sup>2</sup>) ซึ่งกระจายไปยังแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง คูณกับพื้นที่ของแผงเซลล์ (Module Area) ตามสมการ (3)

$$\text{Efficiency} = \frac{P_{GMPP}}{I \times A} \quad (3)$$

โดยที่  $I$  คือการแผ่รังสีแสงที่ตกกระทบแต่ละแผงเซลล์อาทิตย์ และ  $A$  คือพื้นที่ของแผงเซลล์อาทิตย์

เมื่อแสงแดดตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างไม่สม่ำเสมอ อาจทำให้เกิดจุดพลังงานสูงสุดหลายจุด (Multiple Maximum Power Points, MPPs) ซึ่งส่งผลให้ระบบติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT) ทำงานผิดพลาด และเลือกจุดกำลังไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสม (Nandi et al., 2022) ขณะที่ Ibrahim & Anani (2019) พบว่าการบังเงาแบบไม่สมมาตร ทำให้เกิดพลังงานสูญเสียมากกว่าการบังเงาแบบสมมาตร

เพื่อลดปัญหาดังกล่าว Lousuwankun & Jantaramin (2022) ได้นำเสนอวิธีการ MPPT ที่สามารถตรวจจับการบังแสงบางส่วน ซึ่งช่วยลดขอบเขตการค้นหาจุดพลังงานสูงสุดทั่วโลก (Global Maximum Power Point, GMPP) ได้ อย่างไรก็ตามมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ Mariam et al. (2020) พบว่า เงาบังและฝุ่นสะสม สามารถลดกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ได้ถึง 21.7% และส่งผลให้เกิด Mismatch Loss ซึ่งอาจนำไปสู่ปรากฏการณ์จุดร้อน (Hotspot Effect) และความเสียหายของเซลล์ PV ในระยะยาว

เพื่อแก้ไขปัญหา Partial Shading Condition (PSC) จึงมีการใช้บายพาสไดโอดเพื่อลดแรงดันย้อนกลับ (Reverse Voltage) ซึ่งเป็นสาเหตุของ Hotspot Effect การศึกษาของ Giyantara et al. (2021) พบว่าการบังเงาบางส่วนอาจลด

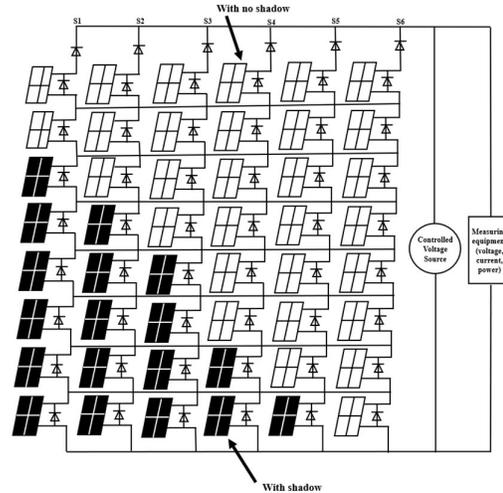
กำลังไฟฟ้าสูงสุดจาก 298.50W เหลือเพียง 141.13W และการใช้บายพาสไดโอดสามารถช่วยลดผลกระทบจากเงาบังได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่นเดียวกับ Djalab et al. (2018) ได้กล่าวว่า บายพาสไดโอดสามารถช่วยลดปัญหาการสูญเสียจากการไม่สอดคล้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับโครงสร้างการเชื่อมต่อแบบข้ามสายทั้งหมด (Total Cross Tied, TCT) ได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพจากโครงสร้างอนุกรม-ขนาน (Series-Parallel) โดยการเพิ่มการเชื่อมโยงภายใน ทำให้กระแสสามารถไหลผ่านเส้นทางอื่นได้ ลด Mismatch Loss และเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงาน Amin et al. (2016) ศึกษาการจัดเรียงแผงโซลาร์เซลล์แบบต่างๆ เช่น อนุกรม (Series), อนุกรม-ขนาน (Series-Parallel) และแบบข้ามสายทั้งหมด (Total Cross Tied) พบว่า TCT ให้ประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้ PSC เช่นเดียวกับ Darussalam et al. (2017) ที่พบว่า TCT ช่วยลดปัญหาแรงดันตกในบางโมดูล โดยการกระจายกระแสไฟฟ้าไปยังเส้นทางอื่น แทนที่โมดูลที่ได้รับแสงน้อยจะเป็นตัวจำกัดกระแส

นอกจากนี้ Abdulmawjood et al. (2022) ยังพบว่า โครงสร้าง TCT และการเชื่อมต่อแบบสะพานเชื่อม (Bridge Link) มีประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้ PSC โดยช่วยลดการสูญเสียจากการไม่สอดคล้องได้ดีกว่าการใช้โครงสร้างอนุกรม หรือ อนุกรม-ขนาน อย่างไรก็ตาม แม้ว่าบายพาสไดโอดจะช่วยลดผลกระทบจากเงาบังได้ แต่จำเป็นต้องออกแบบอย่างเหมาะสมเพื่อลดการเกิดแรงดันตกและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ

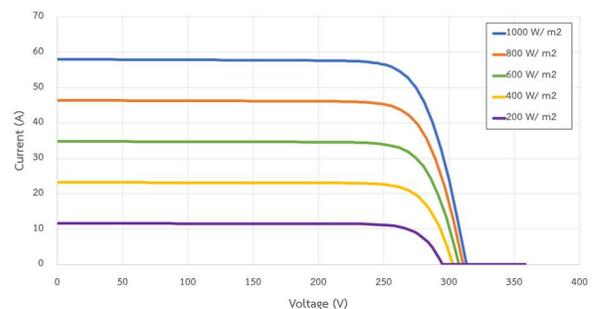
### 3. วิธีการดำเนินการวิจัย

โมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) จำนวนทั้งหมด 48 โมดูล แต่ละโมดูลมีขนาด 300 W ทำการเชื่อมต่อแบบข้ามสายทั้งหมด โดยต่อแบบขนาน 6 แถว และแต่ละแถวต่อแบบอนุกรม 8 ตัว กำลังผลิตรวม 14.4 kW แสดงดังรูปที่ 2 และมีการต่อบายพาสไดโอดอนุกรมที่ต้นสายและต่อขนานกับเซลล์แสงอาทิตย์ทุกตัว เพื่อป้องกันกระแสไหลย้อนกลับ ที่อาจทำให้อุปกรณ์อื่นๆ เสียหายได้

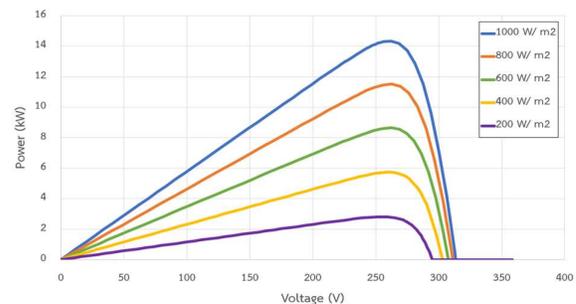


รูปที่ 2 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

รูปที่ 3 (ก), (ข) แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้า (I-V) และกำลังไฟฟ้าต่อแรงดันไฟฟ้า (P-V) ของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิคงที่และแสงในระดับที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 200 – 1000 W/ m<sup>2</sup> สำหรับงานวิจัยนี้ใช้โมดูล PV ของ CS3K-300P ในการทดสอบ ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงดัง ตารางที่ 1 และขั้นตอนการดำเนินการวิจัยแสดงดังรูปที่ 4



(ก)



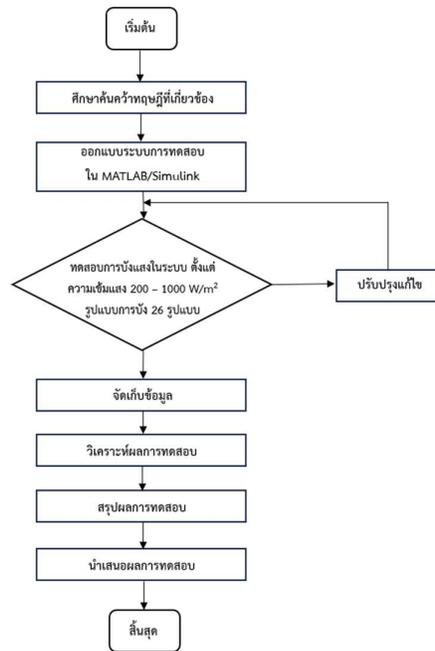
(ข)

รูปที่ 3 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของ (ก) I-V (ข) P-V ของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะการรับแสงที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1 ข้อมูลจำเพาะของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์

Parameter	Value
Maximum Power (W)	300.186
Open circuit voltage ( $V_{oc}$ )	39.3
Short-circuit current ( $I_{sc}$ )	9.65
Voltage at maximum power point $V_{mp}$ (V)	32.7
Current at maximum power point $I_{mp}$ (A)	9.18
Temperature coefficient of $V_{oc}$ (%deg.C)	- 0.28
Temperature coefficient of $I_{sc}$ (%deg.C)	0.05

W = watt, V = volt, A = ampere.



รูปที่ 4 แผนภาพขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

#### 4. ผลการทดสอบ

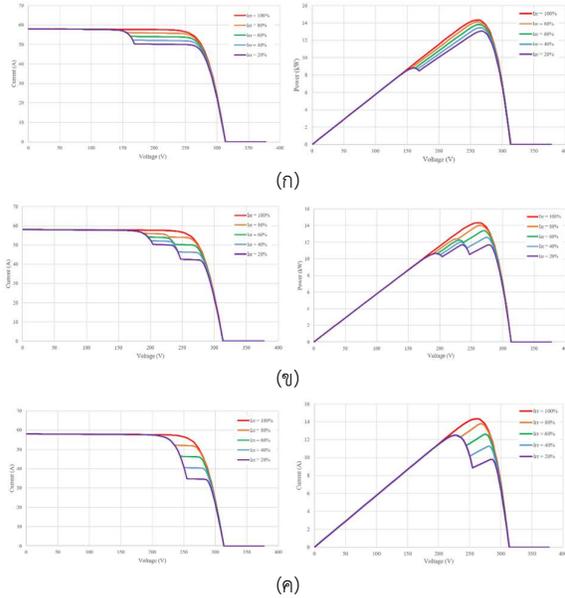
ผลการทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สภาวะที่มีเงาบังบางส่วนแสดงในลักษณะของกราฟความสัมพันธ์ I-V และ P-V โดยพิจารณาค่าความเข้มแสงและรูปแบบการบังที่แตกต่างกัน ณ ที่อุณหภูมิคงที่ที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งรูปแบบการบังทั้งหมด 26 รูปแบบ สามารถจัดกลุ่มการบังออกเป็น 4 กลุ่มตามจำนวนเซลล์ที่ถูกบังทั้งหมด ได้แก่ กลุ่มที่มีเงาบัง 3 โมดูล, 4 โมดูล, 5 โมดูล และ 6 โมดูล และตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดของรูปแบบการบังแสงของโมดูลเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบ

ตารางที่ 2 รูปแบบการบังแสงของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

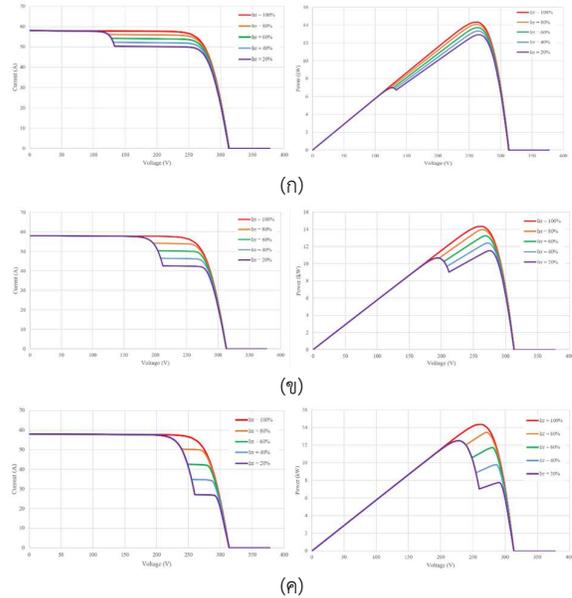
No. Shading pattern	Total Shading module	Number of Shading modules (Nm)					
		Assembly 1	Assembly 2	Assembly 3	Assembly 4	Assembly 5	Assembly 6
1	3	3	0	0	0	0	0
2	3	2	1	0	0	0	0
3	3	1	1	1	0	0	0
4	4	4	0	0	0	0	0
5	4	3	1	0	0	0	0
6	4	2	2	0	0	0	0
7	4	2	1	1	0	0	0
8	4	1	1	1	1	0	0
9	5	5	0	0	0	0	0
10	5	4	1	0	0	0	0
11	5	3	2	0	0	0	0
12	5	3	1	1	0	0	0
13	5	2	2	1	0	0	0
14	5	2	1	1	1	0	0
15	5	1	1	1	1	1	0
16	6	6	0	0	0	0	0
17	6	5	1	0	0	0	0
18	6	4	2	0	0	0	0
19	6	4	1	1	0	0	0
20	6	3	3	0	0	0	0
21	6	3	2	1	0	0	0
22	6	3	1	1	1	0	0
23	6	2	2	2	0	0	0
24	6	2	2	1	1	0	0
25	6	2	1	1	1	1	0
26	6	1	1	1	1	1	1

#### 4.1 การทดสอบกลุ่มที่ 1

พิจารณารูปแบบกลุ่มที่ 1 มีเงาบังทั้งหมด 3 โมดูล ได้แก่ รูปแบบการบังที่ 1, 2, และ 3 กราฟความสัมพันธ์ I-V และ P-V แสดงดัง รูปที่ 5 (ก), (ข), และ (ค) ตามลำดับ จากการทดสอบพบว่า เมื่อเกิดเงาบังที่หน้าแผง ทำให้ความสามารถในการรับแสงลดลง ผลการผลิตกำลังไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าค่อยๆ ลดลง ในแรกเริ่มสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 57 A แต่เมื่อผ่านไปที่แรงดันประมาณ 150 V กระแสไฟฟ้าที่ความเข้มแสงต่างๆ เริ่มมีการเปลี่ยนแปลง พิจารณาที่ความเข้มแสง 200 W/m<sup>2</sup> กรณีการเกิดเงารูปแบบที่ 1 (มีเงาบังโมดูลในสตริงเดียวกัน 3 โมดูล) กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 50 A ที่แรงดันไฟฟ้า 170 V ในขณะที่รูปแบบที่ 2 (โมดูลสตริงที่หนึ่งเงาบัง 2 โมดูล และสตริงที่สองเงาบัง 1 โมดูล) กระแสไฟฟ้าเริ่มลดลงที่ 50 A ที่ 205 V และลดลงอีกเหลือ 42 A ที่แรงดัน 250 V และรูปแบบที่ 3 (มีเงาบัง 1 โมดูลในสามสตริง) กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 34 A ที่แรงดัน 255 V ทางฝั่งของกำลังไฟฟ้ารูปแบบที่ 3 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับรูปแบบอื่นๆ โดยกำลังไฟฟ้าผลิตสูงสุดของรูปแบบที่ 3 วจจรสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพียง 12.5 kW



รูปที่ 5 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของ I-V และ P-V (ก) รูปแบบที่ 1 (ข) รูปแบบที่ 2, (ค) รูปแบบที่ 3



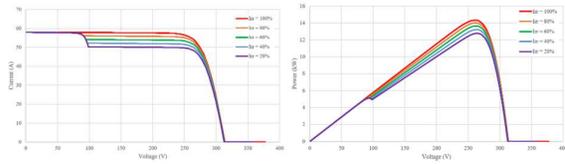
รูปที่ 6 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของ I-V และ P-V (ก) รูปแบบที่ 4 (ข) รูปแบบที่ 6, (ค) รูปแบบที่ 8

#### 4.2 การทดสอบกลุ่มที่ 2

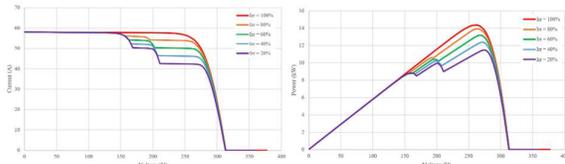
พิจารณารูปแบบกลุ่มที่ 2 มีการบดบังบนหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งหมด 4 โมดูล ได้แก่ รูปแบบการบดบังที่ 4, 6, และ 8 กราฟความสัมพันธ์ I-V และ P-V แสดงดัง รูปที่ 6 (ก), (ข), และ (ค) ตามลำดับ จากการทดสอบการมีเงาบังที่หน้าแผง 4 โมดูลในวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพิจารณาที่ความเข้มแสง 200 W/m<sup>2</sup> รูปแบบที่ 4 (เซลล์แสงอาทิตย์มีเงาบังสตรึงเดียวกัน 4 โมดูล) พบว่ากระแสไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 50 A ที่แรงดัน 133 V , รูปแบบที่ 6 (เซลล์แสงอาทิตย์มีเงาบังสตรึงที่หนึ่ง 3 โมดูล และสตรึงที่สอง 1 โมดูล) กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 42 A ที่แรงดัน 213.67 V และรูปแบบที่ 8 (เซลล์แสงอาทิตย์โมดูลมีเงาบัง 1 โมดูลในสี่สตรึง) กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 27 A ที่แรงดัน 261 V เช่นเดียวกันกับ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ รูปแบบที่ 4 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 12.9 kW รูปแบบที่ 6 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 11.5 kW และ รูปแบบที่ 8 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 12.5 kW และเมื่อมีเงาบังส่งผลให้กำลังไฟฟ้าลดลงไปที่ 7 kW ที่แรงดัน 260 V ทั้งนี้เมื่อแรงดันเพิ่มขึ้นแต่กระแสและกำลังไฟฟ้ากลับลดลง เป็นผลมาจากความเข้มแสงที่ลดลงและรูปแบบที่ถูกเงาบัง

#### 4.3 การทดสอบกลุ่มที่ 3

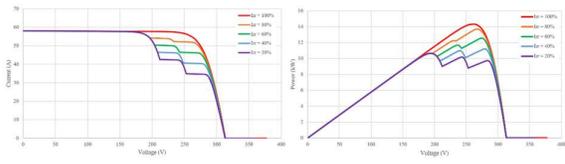
พิจารณารูปแบบกลุ่มที่ 3 มีการบดบังแสง ทั้งหมด 5 โมดูล ได้แก่ การบดบังที่ 9, 11, 13 และ 15 กราฟความสัมพันธ์ I-V และ P-V แสดงดัง รูปที่ 7 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ จากการบดบังแสงที่ 5 โมดูล พิจารณาที่ความเข้มแสง 200 W/m<sup>2</sup> รูปแบบที่ 9 (มีการบังแสงในสตรึง 5 ตัว) กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 50 A ที่แรงดัน 98 V, รูปแบบที่ 11 (มีการบังแสง 3 โมดูล และสตรึงที่สอง 2 โมดูล) กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 42 A ที่แรงดัน 214 V, รูปแบบที่ 13 (เซลล์แสงอาทิตย์โมดูลสตรึงที่หนึ่งเงาบัง 2 โมดูล สตรึงที่สองเงาบัง 2 โมดูลและสตรึงที่สามเงาบัง 1 โมดูล) กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 34 A ที่แรงดัน 255 V และรูปแบบที่ 15 (เซลล์แสงอาทิตย์โมดูลมีเงาบัง 1 โมดูลในห้าสตรึง) กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 19 A ที่แรงดัน 265 V สำหรับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ รูปแบบที่ 9 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 12.77 kW รูปแบบที่ 11 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 11.45 kW รูปแบบที่ 13 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 10.65 kW และรูปแบบที่ 15 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 12.5 kW โดยที่แรงดันตั้งแต่ 260 V เป็นต้นไปกำลังไฟฟ้าลดลงเหลือประมาณ 5 kW



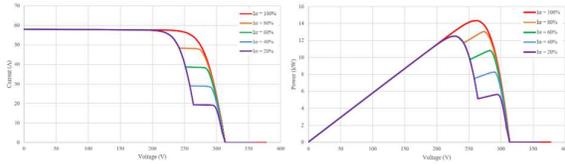
(ก)



(ข)



(ค)

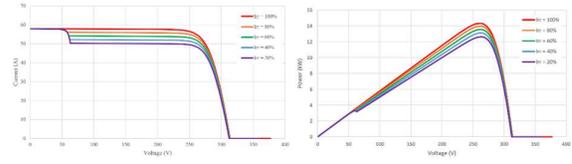


(ง)

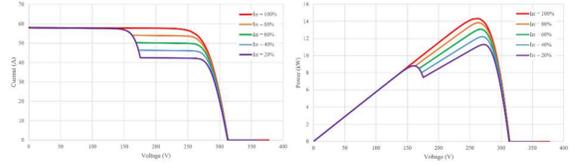
รูปที่ 7 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของ I-V และ P-V (ก) รูปแบบที่ 9 (ข) รูปแบบที่ 11, (ค) รูปแบบที่ 13, (ง) รูปแบบที่ 15

#### 4.4 การทดสอบกลุ่มที่ 4

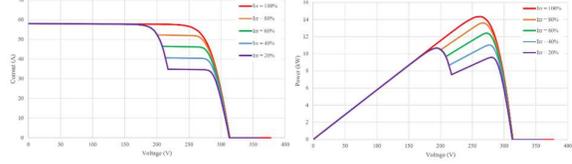
พิจารณารูปแบบกลุ่มที่ 4 การบดบังบนหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งหมด 6 โมดูล ได้แก่ รูปแบบการบดบังที่ 16, 20, 23 และ 26 กราฟความสัมพันธ์ I-V และ P-V แสดงดัง รูปที่ 8 (ก), (ข), (ค) และ (ง) ตามลำดับ จากการทดสอบการมีเงาบังที่หน้าแผง 6 โมดูลในวงจร เซลล์แสงอาทิตย์ พิจารณาที่ความเข้มแสง  $200 \text{ W/m}^2$  รูปแบบที่ 16 (มีการบังแสง 6 โมดูลในหนึ่งสตริง) กระแสไฟฟ้ามีการลดลง 50 A ที่แรงดัน 65 V, รูปแบบที่ 20 (โมดูลสตริงที่หนึ่งเงาบัง 3 โมดูล และสตริงที่สองเงาบัง 3 โมดูล) กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 42 A ที่แรงดัน 175 V, รูปแบบที่ 23 (โมดูลสตริงที่หนึ่งเงาบัง 2 โมดูล สตริงที่สองเงาบัง 2 โมดูลและสตริงที่สามเงาบัง 2 โมดูล) กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 34 A ที่แรงดัน 219 V และรูปแบบที่ 26 (เซลล์แสงอาทิตย์โมดูลมีเงาบัง 1 โมดูลในหกสตริง) กระแสไฟฟ้าลดลงเหลือ 11 A ที่แรงดัน 270 V สำหรับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ รูปแบบที่ 16 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 12.6 kW, รูปแบบที่ 20 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 11.3 kW, รูปแบบที่ 23



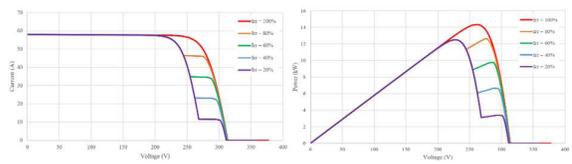
(ก)



(ข)



(ค)



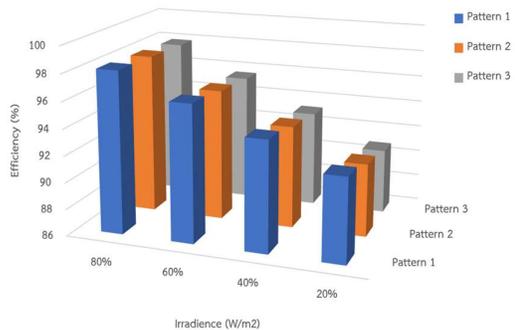
(ง)

รูปที่ 8 กราฟคุณลักษณะเฉพาะของ I-V และ P-V (ก) รูปแบบที่ 16 (ข) รูปแบบที่ 20, (ค) รูปแบบที่ 23, (ง) รูปแบบที่ 26

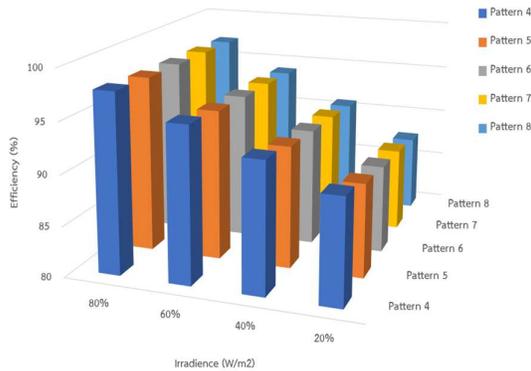
สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 10.6 kW ก่อนที่กำลังไฟฟ้าตกลงเหลือประมาณ 9.5 kW และรูปแบบที่ 26 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดที่ 12.5 kW โดยที่แรงดันตั้งแต่ 270 V เป็นต้นไปกำลังไฟฟ้านลดลงเหลือประมาณ 3.2 kW

#### 4.5 ประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

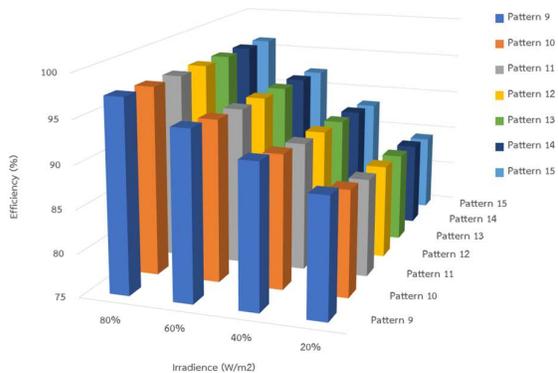
ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของวงจรเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีรูปแบบเงาบังที่หน้าแผงและความเข้มแสงที่ต่างกันแสดงดัง รูปที่ 9 - 12



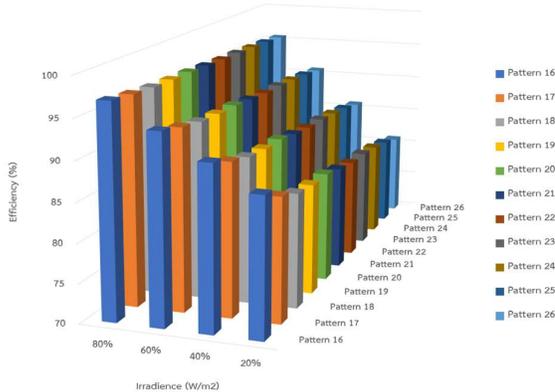
รูปที่ 9 ประสิทธิภาพระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่โมดูลถูกบดบัง 3 โมดูล



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่โมดูลถูกบัดบัง 4 โมดูล



รูปที่ 11 ประสิทธิภาพระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่โมดูลถูกบัดบัง 5 โมดูล



รูปที่ 12 ประสิทธิภาพระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่โมดูลถูกบัดบัง 6 โมดูล

ทั้งนี้สามารถแบ่งกลุ่มข้อมูลตามจำนวนเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีเงาบังในระบบได้ 4 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีเงาบัง 3 โมดูล, 4 โมดูล, 5 โมดูล และ 6 โมดูลจากผลการทดสอบกลุ่มที่ 1 (เงาบัง 3 โมดูล) พบว่า รูปแบบที่ค่าประสิทธิภาพลดลงมากที่สุด คือ รูปแบบที่ 3 ที่ความเข้มแสง 200 W/m<sup>2</sup> ประสิทธิภาพอยู่ที่

90.84% สำหรับการทดสอบกลุ่มที่ 2 (เงาบัง 4 โมดูล) พบว่า รูปแบบที่ค่าประสิทธิภาพลดลงมากที่สุด คือ รูปแบบที่ 8 ที่ความเข้มแสง 200 W/m<sup>2</sup> ประสิทธิภาพอยู่ที่ 87.58% สำหรับการทดสอบกลุ่มที่ 3 (เงาบัง 5 โมดูล) พบว่า รูปแบบที่ค่าประสิทธิภาพลดลงมากที่สุด คือ รูปแบบที่ 8 ที่ความเข้มแสง 200 W/m<sup>2</sup> ประสิทธิภาพอยู่ที่ 87.58% สำหรับการทดสอบกลุ่มที่ 3 (เงาบัง 5 โมดูล) พบว่า รูปแบบที่ค่าประสิทธิภาพลดลงมากที่สุด คือ รูปแบบที่ 15 ที่ความเข้มแสง 200 W/m<sup>2</sup> ประสิทธิภาพอยู่ที่ 84.26% และการทดสอบกลุ่มที่ 4 (เงาบัง 6 โมดูล) พบว่า รูปแบบที่ค่าประสิทธิภาพลดลงมากที่สุด คือ รูปแบบที่ 26 โดยที่ความเข้มแสง 200 W/m<sup>2</sup> ประสิทธิภาพอยู่ที่ 80.88% จากผลการทดสอบเห็นได้ชัดว่ารูปแบบที่ เซลล์แสงอาทิตย์ มีเงาบังแบบกระจายตัวในหลายสตรึงจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของวงจรลดลงมากกว่าในรูปแบบเงาบังอื่นๆ และ ประสิทธิภาพจะยิ่งลดมากขึ้นอีกหากความเข้มแสงที่ได้รับมีค่าน้อยลง

## 5. สรุปผลการทดสอบ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง โดยมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือ ความเข้มแสง และส่งผลโดยตรงต่อกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าภายในระบบ หากความเข้มแสงลดลง ย่อมทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลงไปด้วย สาเหตุที่ทำให้ความเข้มแสงลดลงเกิดจากการบดบังของวัตถุต่างๆ เช่น เศษใบไม้ ฝุ่นละออง สิ่งสกปรก รวมถึงเงาจากต้นไม้ อาคาร หรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบการทำงานของวงจร เซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้เงื่อนไขที่แตกต่างกัน โดยออกแบบรูปแบบเงาบังจำนวน 26 รูปแบบ และแบ่งกลุ่มการทดสอบออกเป็น 4 กลุ่ม ตามจำนวนโมดูลที่ถูกบดบัง ได้แก่ 3 โมดูล, 4 โมดูล, 5 โมดูล และ 6 โมดูล ภายในระบบ จากนั้นทำการวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ I-V และ P-V รวมถึงประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ผลการทดสอบพบว่า ลักษณะการกระจายตัวของโมดูลที่ถูกบดบังส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยระบบที่มีการบดบังหลายโมดูลในสตรึงเดียวมีประสิทธิภาพสูงกว่าระบบที่มีการกระจายโมดูลที่ถูกบดบังออกไปยังหลายสตรึง แม้ว่าจำนวนโมดูลที่ถูกบดบังจะเท่ากัน โดยในกรณีที่บดบัง 6 โมดูลในสตรึง

เดี่ยว ประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 87.55 – 97.02% ส่วนรูปแบบที่มีการกระจายโมดูลที่ถูกบดบังในแต่ละสตรึง ประสิทธิภาพอยู่ในช่วง 80.88 – 95.56% ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่า นอกจากความเข้มแสงแล้ว ลักษณะการบังแสงยังมีบทบาทสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

## 6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้เขียน ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ทั้งบุคลากรเจ้าหน้าที่ เครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนทุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2565 ของนางสาวสโรชา ตีวีจิตร

## 7. เอกสารอ้างอิง

- Abdulmawjood, K., Alsadi, S., Refaat, S. S., & Morsi, W. G. (2022). Characteristic Study of Solar Photovoltaic Array Under Different Partial Shading Conditions. IEEE Access.
- Aicha, D., Nouredine, B., Mohamed, M. R., & Imad, M. (2018). Study of the effects of partial shading on PV array. IEEE.
- Amin, M., Bailey, J., Tapia, C., & Thodimeladine, V. (2016). Comparison of PV Array Configuration Efficiency under Partial Shading Condition. IEEE Conference.
- Arindam, N., Abhranil, M., Alivarani, M., & Chidurala, S. (2022). Analysis of effect of partial shading on PV array and location of local maxima in PV characteristics. 2nd International Conference on Power Electronics & IoT Applications in Renewable Energy and Its Control (PARC), IEEE.
- Avijit, S., Naznin, N. N. (2019). Effect of Partial Shading on the Performance of Solar PV Module and Impact of Bypass Diode in Performance Enhancement. 5th International Conference on Advances in Electrical Engineering (ICAEE), Dhaka, Bangladesh. IEEE.
- Darussalam, R., Pramana, R. I., & Rajani, A. (2017). Experimental Investigation of Serial Parallel and Total-Cross-Tied Configuration Photovoltaic Under Partial Shading Conditions. 2017 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA).
- Desai, A. A., & Mikkili, S. (2022). Modeling and Analysis of PV Configurations to Extract Maximum Power Under Partial Shading Conditions. CSEE Journal of Power and Energy Systems.
- Giyantara, A., Wisyahyadi, R. B. R., & Priyanto, Y. T. K. (2021). Analysis of Partial Shading Effect on Solar Panel Power Output. Journal of Physics: Conference Series, 1726(1), 012022.
- Haider, I., & Nader, A. (2019). Variation of the performance of a PV panel with the number of bypass diodes and partial shading patterns. 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET), Turkey. IEEE.
- Ibrahim, H., & Anani, N. (2019). Variation of the performance of a PV panel with the number of bypass diodes and partial shading patterns. Proceedings of the 5th International Conference on Power Generation Systems and Renewable Energy Technologies (PGSRET), Turkey. IEEE.
- Lousuwankun, P., & Jantharamin, N. (2022). Maximum-power-point tracking for photovoltaic arrays with partial-shading detection. Naresuan University Engineering Journal, 17(1), 6-14.
- Maharana, S. M., Mohapatra, A., Saiprakash, C., & Kundu, A. (2020). Performance Analysis of Different PV Array Configurations under Partial Shading Condition. IEEE International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE-2020).
- Mughees, M., Rasheed, A., Sadaf, M., Daniel, K., & Khan, S. (2020). Impact of Shading, Dust Accumulation, and Temperature Rise on the Performance of Solar PV: The Case of Pakistan. IEEE Conference.
- Pradhan, R., & Kar, S. (2020). A Comprehensive Study of Partial Shading Effect on the Performance of PV Array with Different Configuration. ICREISG-2020, Bhubaneswar, India.