

## การออกแบบระบบชดเชยแสงสำหรับการเกษตรใต้เซลล์แสงอาทิตย์

ปิยะพงษ์ โอฬารทิชาชาติ<sup>1\*</sup> มณฑล พักเอม<sup>1</sup> และ ธาราทิพย์ ศรีสัตตบุตร<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

<sup>2</sup> สาขาวิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม

\* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: piyapong@psru.ac.th

วันที่รับบทความ: 25 มีนาคม 2565; วันที่ทบทวนบทความ: 20 มีนาคม 2566; วันที่ตอบรับบทความ: 27 เมษายน 2566

วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 28 กรกฎาคม 2566

**บทคัดย่อ:** งานวิจัยนี้ทำการออกแบบระบบชดเชยแสง (Light Compensation System) ใต้ฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์ โดยพื้นที่เงาใต้แผงจะได้รับการชดเชยแสงจากระบบชดเชยแสงที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ จากการศึกษาพื้นที่เงาที่เกิดใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ และประสิทธิภาพของระบบชดเชยแสงที่สร้างขึ้น พบว่าพื้นที่ของเงาใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะมีพื้นที่เงาเพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงเช้าจนถึงเที่ยงวัน (9.00 – 13.00 น.) จากนั้นพื้นที่เงาจะลดลงไปจนเวลาเย็น (13.00 – 16.00 น.) และพื้นที่เงาสูงสุดเท่ากับ 66.30% ของบริเวณใต้แผงที่ทำการศึกษ อย่างไรก็ตาม พื้นที่ประมาณ 97.88% ของเงาดังกล่าว จะได้รับการชดเชยจากระบบชดเชยแสง โดยการปรับมุมก้มเงย และระยะการกวาดของกระจกเงา ทุกจุดใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้รับการชดเชยแสงเป็นเวลาประมาณ 21.83 นาทีต่อชั่วโมง โดยใช้พลังงานหลักในการทำงานของระบบประมาณ 0.42 วัตต์ การศึกษาดังกล่าวสามารถเป็นแนวทางในการใช้พื้นที่ฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับการเกษตรอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับการปลูกพืชต้องการแสงต่อวันสั้น (Short Day Plant) ได้

**คำสำคัญ:** ฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์; การชดเชยแสง; การใช้พื้นที่ร่วม

## Design of Light Compensation System for Agriculture under Solar Panel

Piyapong Olanthichachat<sup>1\*</sup> Monthol Fak-aim<sup>1</sup> and Tharathip Sreesattabud<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Division of Electronic Engineering, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

<sup>2</sup> Division of Industrial Education, Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University

\* Corresponding author, E-mail: piyapong@psru.ac.th

Received: 25 March 2022; Revised: 20 March 2023; Accepted: 27 April 2023

Online Published: 28 July 2023

**Abstract:** In this research, a controller was designed for a light compensation system under a solar panel. The shadowed areas under the panels are compensated by the light compensation system created for the research. The shadowed areas under the panels and the efficiency of the light compensation system were studied as well. It was found that the shadowed area increased from morning until noon (9.00 A.M. – 1.00 P.M.) and then decreased until evening (1.00 P.M. – 4.00 P.M.). The largest shadowed area, amounting to approximately 66.30%, was achieved at noon. However, 97.88% of the shadow could be compensated by adjusting the tilt angle and the sweep distance of the mirror; every single shadowed area was compensated for approximately 21.83 minutes per hour. The primary energy consumed by the system was approximately 0.42 watts. These results could be useful for dual land use to achieve good efficiency, especially for a short-day plant.

**Keywords:** solar farm; light compensation; dual land use



## 1. บทนำ

สืบเนื่องจากความจำเป็นต่อการใช้พลังงานในปัจจุบัน ประกอบกับปัญหาวิกฤติพลังงาน [1, 2] ที่ต้องพึ่งพาพลังงานหลักจากแหล่งพลังงานสิ้นเปลืองหรือพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ทำให้ปัจจุบันมีความจำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานทดแทนพลังงานสิ้นเปลือง เช่น ถ่านหิน น้ำมัน หรือแม้แต่ก๊าซธรรมชาติซึ่งมีปริมาณน้อยลงไปทุกวัน โดยพลังงานทดแทน อาทิเช่น พลังงานลม, น้ำ, แสงอาทิตย์ ก็มีข้อจำกัดในเรื่องของที่ตั้งเพราะมีแค่บางแห่งเท่านั้น ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์มีศักยภาพมากในประเทศไทย [3] ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหลายพื้นที่ในประเทศไทยเริ่มมีการสร้างฟาร์มผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น อาทิเช่น ฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Farm) ของบริษัท พลังงานบริสุทธิ์ จำกัด ซึ่งเป็นฟาร์มผลิตพลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดพื้นที่ 2354 ไร่ ในจังหวัดลำปาง ในจังหวัดนครสวรรค์ มีขนาดพื้นที่ 1852 ไร่ ในจังหวัดพิษณุโลก มีพื้นที่ 2200 ไร่ เป็นต้น [4] เนื่องจากประเทศไทยนั้นมีความศักยภาพในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอย่างดี [5] และแม้ว่าพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์นั้นเป็นพลังงานสะอาดและสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้ได้เรื่อยๆ แต่เนื่องจากจำเป็นต้องใช้พื้นที่ว่างเปล่าจำนวนมากในการสร้างฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์และมีแนวโน้มที่จะมีความต้องการใช้พื้นที่เพิ่มขึ้น [6] เนื่องจากความจำเป็นต้องใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นทุกปี ดังเช่น ประเทศจีนหันมาผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่า 40 GW ในปี 2015 และในประเทศอินเดีย [2] ที่มีการคาดการณ์จากการเติบโตของ GDP ภายในประเทศว่าจะมีความต้องการใช้

พลังงานไฟฟ้าสูงถึง 1207 GW ภายในปี 2031 และแม้ปัจจุบัน 69% ของกระแสไฟฟ้ามาจากพลังงานสิ้นเปลืองหรือใช้แล้วหมดไป เช่น ถ่านหินและน้ำมัน ซึ่งจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และมีเพียง 31% เท่านั้นที่มาจากพลังงานหมุนเวียน ทำให้ประเทศอินเดียมีแผนที่จะผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน 100% ซึ่งโดยเฉลี่ยพื้นที่ 5 เอเคอร์จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 1 MW และประมาณการว่าพื้นที่ทั้งหมดของอินเดียมีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 32,499 GW และต้องใช้พื้นที่ถึง 1/27 ของอินเดียในการผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการใช้งานในประเทศในปี 2031 ดังนั้นคาดว่าประเทศอินเดียจะต้องใช้พื้นที่ถึง 6 ล้านเอเคอร์ ซึ่งพื้นที่ว่างเปล่าจำนวนมากนั้นไม่สามารถหาได้ และพื้นที่โล่งที่สามารถรับแสงอาทิตย์ได้เต็มที่นั้นมักจะถูกใช้ในการเกษตร ดังนั้นคงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะต้องมีการเบียดเบียนพื้นที่ทางการเกษตรเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า [7-8] ดังนั้นความจำเป็นในการใช้พื้นที่ว่างเปล่าที่มากขึ้นอาจจะกระทบกับการเกษตรในที่สุด การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้พื้นที่ร่วมกัน (Dual Land Use) ระหว่างการเกษตรและฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์ [9-11] โดยทำการปลูกพืชภายใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าสัดส่วนของเงาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พืชสามารถเจริญเติบโตได้นั้นประมาณ 30% [9, 12] ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องเว้นระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มากพอ [13-14] อีกทั้งในความเป็นจริงนั้นจะต้องทำการเว้นระยะห่างระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีสัดส่วนของเงาเพียงแค่ครึ่งหนึ่งของพื้นที่เพาะปลูก และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ติดตั้งที่ความสูงอย่างน้อย 5 เมตร [15] เพื่อความสะดวกต่อการใช้งานเครื่องจักร/อุปกรณ์ทาง



การเกษตรในการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยว รวมถึงเพิ่มโอกาสที่แสงจะผ่านใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงมาถึงพืชผลทางการเกษตรมากขึ้นอีกด้วย

ดังนั้น ในบทความวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและออกแบบระบบชดเชยแสงสำหรับพื้นที่เงาใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยหลักการสะท้อนแสง โดยระบบสามารถปรับมุมสะท้อนตามการโคจรของดวงอาทิตย์ได้ และชุดสะท้อนยังเพิ่มพื้นที่การชดเชยแสงด้วยการหมุนกวาดเพื่อกระจายแสงสะท้อนได้ จากการชดเชยแสงสำหรับพื้นที่เงาใต้แผงนั้นทำให้สามารถย่อยอดปลูกพืชใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับเพิ่มศักยภาพการใช้พื้นที่ร่วมระหว่างการผลิตไฟฟ้าและเกษตรได้อย่างเต็มประสิทธิภาพในอนาคต

## 2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

### 2.1 การจำลองชุดฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์ และศึกษาข้อมูลเรื่องปริมาณแสงใต้เซลล์แสงอาทิตย์

การจำลองฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์ ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบให้มีความสูงด้านที่ต่ำที่สุดเท่ากับ 1.5 เมตร โดยมีความสูงไม่มาก สำหรับการศึกษาเรื่องการสะท้อนแสงจากภายนอกเพื่อไปใช้งานใต้เซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อให้สอดคล้องกับการวิจัยครั้งนี้ บทความนี้ได้เลือกขนาดความสูงของฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์เพียงพอต่อการเข้าไปทำการเกษตรใต้แผงและสามารถทดสอบประสิทธิภาพการชดเชยแสงสว่างใต้แผงที่ออกแบบขึ้นมา

ในการเก็บข้อมูลเรื่องเงาใต้แผงและการออกแบบระบบชดเชยแสง โดยได้ทำการออกแบบสำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก ดังแสดงในรูปที่ 1 (ก) โครงสร้างสำหรับเก็บข้อมูลเรื่องเงาใต้แผงของแต่ละชุดมีพื้นที่ 8 ตารางเมตร โดยมี

การวางตำแหน่งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชุดดังแสดงแบบโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปที่ 1 (ข)

### 2.2 การออกแบบระบบชดเชยแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

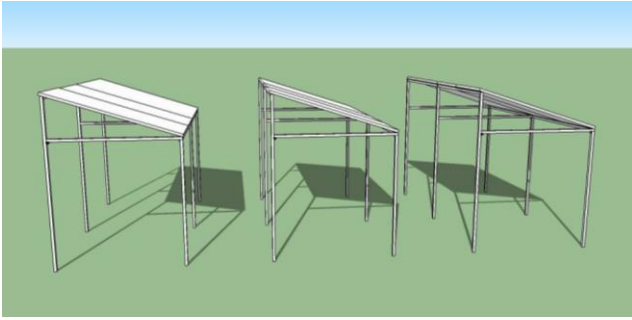
การออกแบบระบบชดเชยแสงจากดวงอาทิตย์สะท้อนแสงเข้าไปยังพื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในบทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบระบบชดเชยแสงให้อยู่ในตำแหน่งพื้นที่ด้านข้างโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ จากมุมในการรับแสงอาทิตย์ เมื่อพิจารณาแสงอาทิตย์ที่หามุม ( $\theta$ ) กับพื้นโลกดังรูปที่ 2 (ก) และในกรณีที่ระบบชดเชยแสงอยู่ในระนาบตามการโคจรจากทิศตะวันออก-ทิศตะวันตก (East-West orientation :  $\varphi = 0^\circ$ ) [16] ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) พบว่ามุมในการสะท้อนแสงไปยังพื้นที่ใต้แผงมีความสัมพันธ์ตามการปรับองศาของระนาบแผ่นสะท้อน ( $\alpha$ ) ตามมุมอัลติจูด (Altitude) ดังนี้

$$\theta - \alpha = \beta \quad (1)$$

เมื่อ  $\beta$  คือ มุมการสะท้อนของแสงอาทิตย์บนระนาบกระจก จากการออกแบบระบบชดเชยแสงนี้สามารถสะท้อนแสงอาทิตย์จากภายนอกเข้าไปยังพื้นที่ใต้แผงเซลล์อาทิตย์ โดยพิจารณาจากจุดกึ่งกลางของแผ่นกระจกสะท้อนดังรูปที่ 2 (ข) ระยะของแสงสะท้อนจากตำแหน่งติดตั้งระบบชดเชยแสงไปยังตำแหน่งใต้แผงมีระยะการสะท้อนแสงโดยเฉลี่ยสัมพันธ์กับความสูงของระบบสะท้อนแสง ( $H$ ) และระยะห่างของระบบชดเชยไปยังใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $L_{av}$ ) ดังนี้

$$L_{av} = H \tan\left(\alpha + \frac{180 - 2\beta}{2}\right)$$

$$L_{av} = H \tan(90^\circ + \alpha - \beta) \quad (2)$$

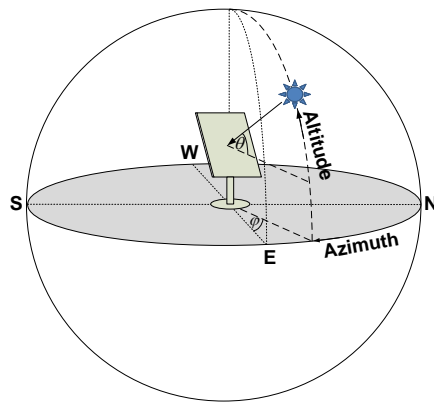


(ก)

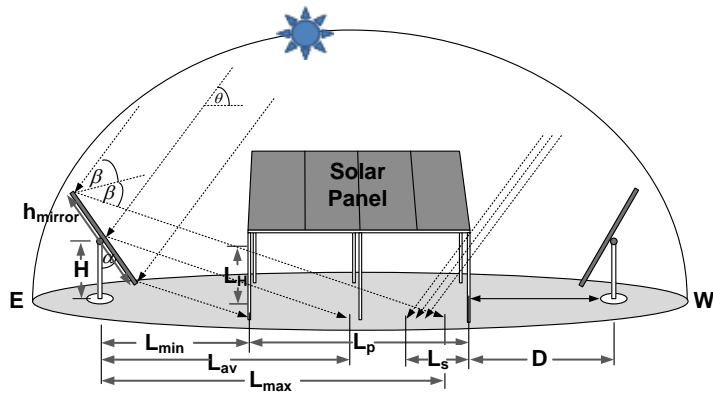


(ข)

รูปที่ 1 ฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก (ก) แบบจำลอง (ข) โครงสร้างที่ใช้สำหรับเก็บผลเรือนเงาได้แมง



(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ระบบขดเชยแสงใต้เซลล์แสงอาทิตย์

(ก) ระบบขดเชยแสง (ข) ระยะสะท้อนแสงไปยังพื้นที่เงาได้แมง กรณี  $\varphi = 0^\circ$



โดยระยะสะท้อนของขอบบน-ล่างของกระจกสะท้อน ทำให้ได้ระยะของแสงสะท้อนใกล้ที่สุด ( $L_{min}$ ) และไกลที่สุด ( $L_{max}$ ) ไปยังใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ สมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ

$$L_{min} = (H - \frac{h_{mirror}}{2} \cos \alpha) \tan(90 + \alpha - \beta) + \frac{h_{mirror}}{2} \sin(\alpha) \quad (3)$$

$$L_{max} = (H + \frac{h_{mirror}}{2} \cos \alpha) \tan(90 + \alpha - \beta) - \frac{h_{mirror}}{2} \sin(\alpha) \quad (4)$$

เมื่อ  $h_{mirror}$  คือ ความสูงของกระจกที่ใช้สะท้อน ( $m$ ) และระยะที่ต้องการการชดเชยแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $L_p$ )

จากรูปที่ 2 (ข) ได้ทำการออกแบบจำลอง โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ และระบบ ชดเชยแสงที่ออกแบบขึ้นในงานวิจัยนี้จะมี 2 ชุดโดยวางใน ตำแหน่งทิศตะวันตกของชุดเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับ สะท้อนแสงพระอาทิตย์เวลาเช้า จนถึงเวลาประมาณ 12.00 น. และชุดชดเชยแสงในตำแหน่งทิศตะวันออก ทำหน้าที่สะท้อนแสง ในช่วงเวลา 12.00 น. เป็นต้นไป ถึงเวลาเย็น โดยช่วงเวลาประมาณ 12.00 น. หรือ ช่วงเวลาแสงพระอาทิตย์ทำมุมประมาณ 90 องศา ระบบชดเชยแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งสองด้าน จะทำงานพร้อมกันในเวลาสั้นๆ และจะหยุด ทำงานเมื่อมีแสงอาทิตย์ทำมุมมากกว่า 90 องศา ใน การทำงานของระบบชดเชยแสงแต่ละชุดจะทำงาน สัมพันธ์กับมุมของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบกับพื้นโลก ( $\theta$ ) โดยสามารถปรับมุมสะท้อนองศาของระนาบแผ่น สะท้อน ( $\alpha$ ) ทำให้ได้ระยะการสะท้อนของแสงชดเชย ไปยังใต้แผง จากแบบจำลองที่กำหนดให้แสงอาทิตย์ ทำมุม ( $\theta$ ) เท่ากับ 45 องศา กับพื้นโลก ดังแสดงใน

รูปที่ 3 (ก) ระยะสะท้อนจากแกนของระบบชดเชยแสง ที่ออกแบบขึ้นเพื่อหาระยะ  $L_{min}$ ,  $L_{max}$  และระยะ สะท้อนเฉลี่ย ( $L_{av}$ ) จากผลการจำลองเมื่อมีการปรับ มุมสะท้อนจาก 0 – 22 องศา และกำหนดให้ความสูง ของระบบชดเชยแสง ( $H$ ) เท่ากับ 1 เมตร ความสูง ของกระจก ( $h_{mirror}$ ) เท่ากับ 1 เมตร พบว่าการปรับมุม ของระนาบสะท้อนให้ได้ระยะ  $\Delta L$  ( $L_{max} - L_{min}$ ) มากขึ้นแปรผันตามมุมสะท้อน  $\alpha$  แต่ระยะ  $\Delta L$  ที่ มากขึ้นต้องมีการเพิ่มระยะทางการติดตั้งชุดชดเชย แสง ( $D$ ) มากตามไปด้วย

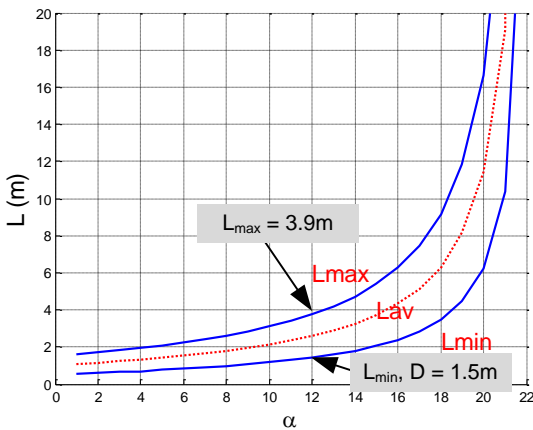
ในบทความนี้ได้ทำการเว้นระยะห่างระบบชดเชย แสงกับโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ( $D$ ) ประมาณ 1.5 เมตร ซึ่งควรต้องเท่ากับ  $L_{min}$  ที่ได้จากระบบชดเชย และระยะที่ต้องการชดเชยแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $L_p$ ) มีระยะเท่ากับ 4 เมตร จากแบบจำลองในรูปที่ 2 (ข) มีระยะแสงอาทิตย์ที่ตกไปยังแปลงทดสอบ ( $L_s$ ) ซึ่งจากแบบจำลองที่มุมแสงอาทิตย์  $\theta$  เท่ากับ 45 องศา ระบบชดเชยแสงทำมุม  $\alpha$  ที่เหมาะสมเท่ากับ 12 องศา ดังรูปที่ 3 (ก) ทำให้ได้  $L_{min}$  และ  $L_{max}$  เท่ากับ 1.5 เมตร และ 3.9 เมตร ตามลำดับ เมื่อความ สูงโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 1.5 เมตร จะได้ ระยะแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบแปลงทดสอบ  $L_s$  เท่ากับ 1.5 เมตร เมื่อพิจารณาระยะแสงที่ตกกระทบ ใต้แผง ( $\Delta L + L_s$ ) พบว่ามีระยะเท่ากับ 3.9 เมตร ซึ่งเป็นระยะใกล้เคียงกับ  $L_p$  ที่ออกแบบไว้ข้างต้น และจากข้อมูลดังกล่าวสามารถหาพื้นที่สะท้อนแสงได้ จากผลคูณ  $\Delta L$  กับขนาดความกว้างของกระจก ที่ ออกแบบไว้เท่ากับ 0.4 เมตร ทำให้ได้พื้นที่สะท้อน

ของแสงในกรณี ( $\varphi = 0^\circ$ ) สำหรับชดเชยแสง (Light Compensation Area) เท่ากับ 0.96 ตารางเมตร

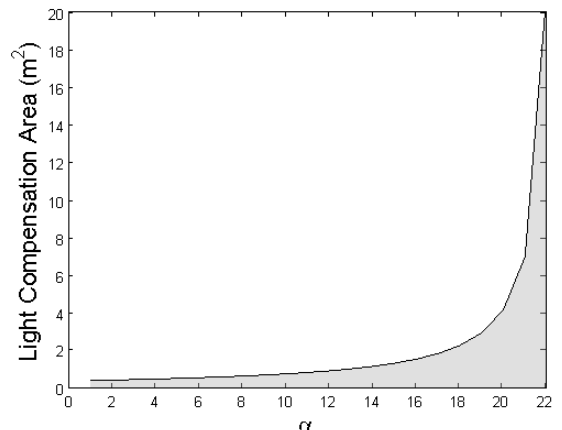
ในกรณีที่ต้องการหาขนาดความสูงของกระจกที่เหมาะสมหรือครอบคลุมระยะที่ต้องการการชดเชยแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $L_p$ ) มากที่สุด พบว่าต้องพิจารณาจากช่วงแสงอาทิตย์ทำมุม ( $\theta$ ) ประมาณ 80 องศา กับพื้นโลกที่ทำให้เกิดเงาใต้แผงค่อนข้างมาก และเป็นช่วงที่ระบบชดเชยแสงทำงานเพียงชุดเดียว โดยที่ระยะ  $L_s$  ที่ได้มีระยะเท่ากับ 0.26 เมตร และการชดเชยแสง  $\Delta L$  ควรจะมีระยะประมาณ 5.2 เมตร เพื่อครอบคลุมระยะ  $L_p$  ได้ จากการพิจารณาความสัมพันธ์  $L_{min}$  และ  $L_{max}$  ระบบที่สามารถครอบคลุมเงาดังกล่าว ควรปรับความสูงของกระจก ( $h_{mirror}$ ) เท่ากับ 1.6 เมตร ปรับมุมสะท้อน  $\alpha$  เท่ากับ 31.7 องศา จากการปรับดังกล่าวทำให้ได้แสงสะท้อนจากขอบด้านบนผ่านใต้เซลล์แสงอาทิตย์ได้

( $L_H$ ) เท่ากับ 1.1 เมตร และกรณีที่ปรับมุมสะท้อนที่เหมาะสมในช่วงแสงอาทิตย์ทำมุม  $\theta$  เท่ากับ 45 องศา มีความสูงของแสงสะท้อนขอบด้านบน  $L_H$  เท่ากับ 1.4 เมตร ซึ่งสามารถใช้ระบบการสะท้อนแสงกับโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้

จากแบบการจำลองพื้นที่การสะท้อนแสงไปยังพื้นที่เงาใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ กรณี  $\varphi = 0^\circ$  จากรูปที่ 3 พบว่าปริมาณพื้นที่แสงจากการชดเชยมีความสัมพันธ์กับมุมสะท้อน ( $\alpha$ ) เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่แสงสะท้อนในบทความนี้ได้ออกแบบให้ชุดสะท้อนหมุนปรับมุมอาซิมุท (Azimuth :  $\varphi$ ) ดังแสดงในรูปที่ 4 ให้มีการสะท้อนแบบ  $\varphi \neq 0^\circ$  เพื่อเป็นการกวาดแสงให้กระจายไปยังพื้นที่ต่างๆ ด้านข้างได้ โดยมีความสูงรวมของโครงสร้างระบบชดเชยแสงเท่ากับ 1.5 เมตร ส่วนชุดกระจกสะท้อนมีความกว้างเท่ากับ 0.4 เมตร และความสูงกระจกเท่ากับ 1 เมตร



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 ระยะแสงสะท้อนต่ำที่สุดและสูงที่สุด จากชุดสะท้อน กรณี  $\varphi = 0^\circ$

(ก) ระยะแสงสะท้อนไปยังพื้นที่ใต้แผง (ข) พื้นที่ของแสงสะท้อน



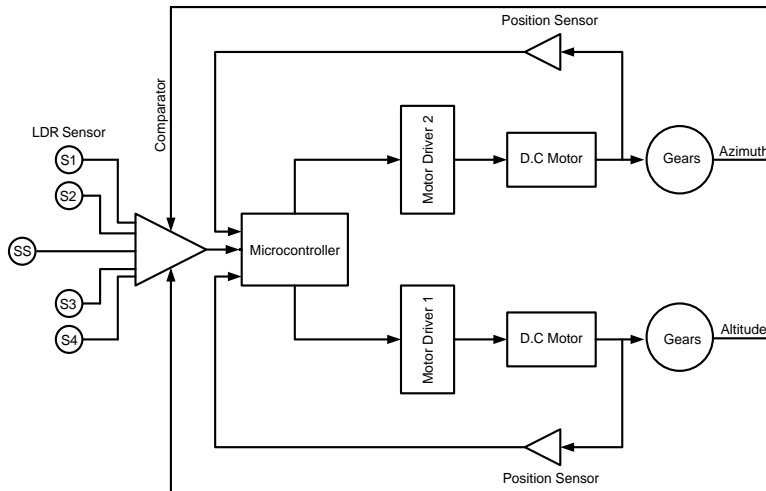
รูปที่ 4 โครงสร้างของระบบชดเชยแสงใต้เซลล์แสงอาทิตย์

การควบคุมการปรับมุม  $\alpha$  และ  $\varphi$  ในบทความนี้ได้ใช้ชุดเซนเซอร์ตรวจจับแสง ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) เพื่อกำหนดมุม  $\alpha$  ในการติดตามโคจรของดวงอาทิตย์ และมุม  $\varphi$  เพื่อกำหนดพื้นที่การกวาดแสง ในบทความนี้ได้ติดตั้งเซนเซอร์จำนวน 4 ตำแหน่ง ได้แก่ เซนเซอร์วัดแสง (LDR Sensor) ด้านบน (S1) – ด้านล่าง (S2) เพื่อควบคุมการหมุนมอเตอร์ควบคุมการสะท้อนแสงตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 5 (ข) ทำให้ได้แสงสะท้อนไปยังพื้นที่ที่ต้องการได้ และเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่แสงสะท้อนจากมุม  $\varphi$  ได้ติดตั้งเซนเซอร์แสงด้านซ้าย (S3) – ขวา (S4) เพื่อเป็นการกำหนดการหมุนมอเตอร์เพื่อเพิ่มบริเวณการกวาดแสง ดังแสดงในรูปที่ 5 (ค) ทำให้ได้แสงชดเชยจากการควบคุมการสะท้อนไปยังพื้นที่เงาใต้แผงได้มากที่สุดในการควบคุมการปรับมุม  $\varphi$

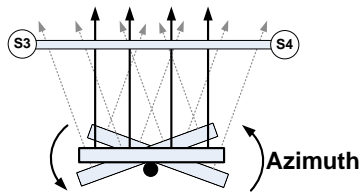
ในบทความนี้ได้ใช้สัญญาณควบคุมแบบพัลส์วิดิธมอดูเลชัน (PWM) เพื่อควบคุมการหมุนกวาดแสงไปยังพื้นที่เงาในบริเวณต่างๆ จากการหมุนลักษณะนี้สามารถกำหนดความถี่ในการแสงสะท้อนของได้ ในการติดตั้งชุดสะท้อนแสงที่ออกแบบขึ้นมาในงานวิจัยนี้ ดังแสดงในรูปที่ 5 (ง) ได้ทำการเว้นระยะจากโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ 1.5 เมตร และห่างจากชุดเซนเซอร์ควบคุมการหมุนเท่ากับ 1 เมตร

จากเทคนิคที่นำเสนอในบทความนี้ เพื่อควบคุมการทำงานของระบบชดเชยแสงใต้เซลล์แสงอาทิตย์ ดังแผนภาพในรูปที่ 6 ที่มีเซนเซอร์ในการวัดแสง S1-S4 สำหรับกำหนดมุมมองในการหมุนของมอเตอร์แกนต่างๆ ในการทำงานของระบบจะเริ่มทำการปรับมุมสะท้อน จากการเปรียบเทียบความเข้มแสงจากเซนเซอร์ S3 และ S4 ก่อน เพื่อให้แสงสะท้อนอยู่ในพื้นที่ที่ต้องการ จากนั้นระบบปรับมุมติดตามดวงอาทิตย์ จากเซนเซอร์ S1 และ S2 เพื่อกำหนดดวงอาทิตย์ในการสะท้อน จากนั้นจะทำการหมุนกวาดแสง โดยการหมุนกวาดให้แสงสะท้อนไปตกกระทบเซนเซอร์ S3 และหมุนกวาดย้อนกลับมาให้แสงตกกระทบ S4 เพื่อเป็นการกระจายแสงในมุม  $\varphi$  และในระบบที่ออกแบบขึ้นมาได้มีการติดตั้งเซนเซอร์แสงที่ระบบชดเชยแสง สำหรับกรณีที่ไม่มีแสงจากดวงอาทิตย์จากปัจจัยต่างๆ อาทิเช่น มีก้อนเมฆบัง หรือถึงช่วงเวลาต่ำ โดยมีการกำหนดค่าความเข้มแสงจากเซนเซอร์วัดแสง SS จากสภาพแวดล้อมภายนอก ( $K_{re}$ ) ถ้ามีความเข้มแสงน้อยกว่า 1000 LUX ระบบจะทำการหยุดการทำงาน และพร้อมเริ่มทำงานใหม่เมื่อมีแสงจากดวงอาทิตย์ปริมาณเพียงพอต่อการสะท้อนแสง

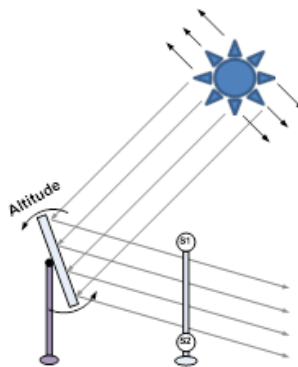




(ก)

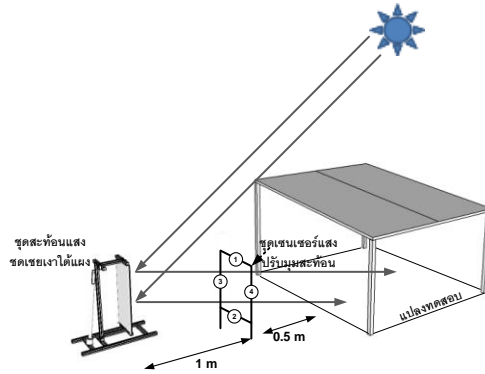


(ข)



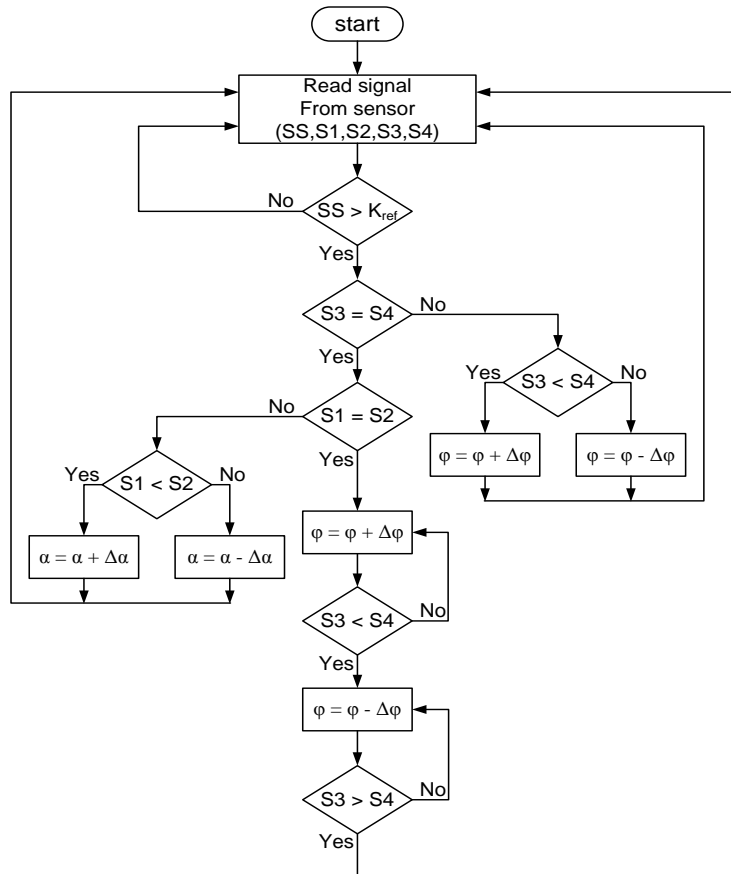
(ค)

รูปที่ 5 แสดงแบบจำลองของระบบชดเชยแสงใต้เซลล์แสงอาทิตย์ (ก) ชุดควบคุมการหมุนของระบบชดเชยแสงที่ใช้เซ็นเซอร์แสงกำหนดระยะในการหมุน (ข) การควบคุมการปรับมุม  $\alpha$  ด้วยเซ็นเซอร์ S1-S2 (ค) การควบคุมการปรับมุม  $\varphi$  ด้วยเซ็นเซอร์ S3-S



(จ)

รูปที่ 5 ต่อ (จ) การติดตั้งระบบชดเชยแสงกับโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 6 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบชดเชยแสง



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 7 ตัวอย่างการสะท้อนแสงไปซดเซยเงาใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากระบบที่ออกแบบขึ้นมา โดยที่แสงสะท้อนจะเคลื่อนที่จากตำแหน่ง (ก) ทางด้านซ้าย (ข) กึ่งกลาง และ (ค) ทางด้านขวา ของพื้นที่เงาใต้แผงตามลำดับ

### 3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

แสงสะท้อนจากระบบซดเซยแสงที่ออกแบบขึ้นในบทความนี้ ทำการเก็บผลการซดเซยเงาใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2562 พิกัดละติจูด 16.835817 ลองจิจูด 100.213140 ดังแสดงในรูปที่ 7 (ก) ระบบซดเซยแสงจะเริ่มหมุนเพื่อปรับมุมแสงสะท้อนไปยังตำแหน่งพื้นที่เงาด้านข้างดังแสดงในรูปที่ 7 (ข) และจะหมุนเพื่อปรับมุมสะท้อนไปยังตำแหน่งถัดไป ดังตัวอย่างในรูปที่ 7 (ค) เป็นต้น พบว่าระบบจะทำการปรับมุมสะท้อน ( $\alpha$ ) ตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งมุมดังกล่าวจะเปลี่ยนไปตามการโคจรของดวงอาทิตย์ จากนั้นระบบจะทำการหมุนตามมุม ( $\varphi$ ) เพื่อเป็นการกระจายแสงไปยังพื้นที่ต่างๆ ที่มีการปรับมุมดังรูปที่ 5 (ค) ในการกวาดแสงตามมุม  $\varphi$  สามารถกำหนดองศาตามขนาดพื้นที่เงาที่ต้องการให้ระบบสะท้อนแสงซดเซยได้ โดยเทคนิคนี้สามารถปรับความถี่ในการรับแสงแต่ละพื้นที่ได้โดยกำหนดความเร็วในการหมุนด้วยสัญญาณ PWM โดยพื้นที่แสงกวาดไปตามมุมต่างๆ ได้คำนวณเป็นอัตราส่วนพื้นที่ที่ได้รับแสงสะท้อนรวมต่อพื้นที่เงาทั้งหมด เพื่อหาสมรรถนะของระบบซดเซยแสงที่ออกแบบขึ้น

จากผลการทดสอบโดยการวัดพื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้รับการซดเซยแสงนั้น ได้ทำการเปรียบเทียบพื้นที่ที่ได้รับการซดเซยแสงต่อพื้นที่เงาใต้แผงทั้งหมด  $(Area_L / Area_S) \times 100$  เพื่อทำการคำนวณเป็นร้อยละ ของการซดเซยแสงที่ระบบสามารถทำงานได้ ดังตารางที่ 1 พบว่าพื้นที่เงาใต้แผงได้รับการซดเซยแสงจากระบบสะท้อนแสงมากถึงร้อยละ 97.88



ตารางที่ 1 แสดงพื้นที่ที่ได้รับแสงใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแปลงทดสอบ (ตัวอย่างวันที่ 7 พฤศจิกายน 2562)

ช่วงเวลา	พื้นที่เงาใต้เซลล์แสงอาทิตย์ : $Area_s$ (ตร.ม.)	พื้นที่แสงสะท้อนของระบบ ที่ชดเชย : $Area_r$ (ตร.ม.)	ปริมาณการชดเชย แสงร้อยละ
09.00	5.16	4.96	96.12
10.00	5.44	5.14	94.48
11.00	5.67	5.24	92.41
12.00	5.84	5.26	90.06
13.00	5.89	5.34	90.66
14.00	5.43	5.05	93.00
15.00	4.76	4.55	95.58
16.00	2.84	2.78	97.88

ในช่วงเวลา 16.00 น. โดยมีพื้นที่เงาไม่ได้รับแสงชดเชยประมาณ 0.06 ตารางเมตร ซึ่งช่วงระยะเวลาต่างๆ ของวันนั้นมีผลต่อพื้นที่ที่ถูกชดเชยแสง แต่อย่างไรก็ตามสามารถปรับให้พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการชดเชยได้มากกว่า 90% ของพื้นที่โดยการปรับมุม  $\alpha$  และ  $\varphi$  ของกระจก ในส่วนของความถี่ในการรับแสงสะท้อน จากการหมุนกระจกสะท้อน ในการคำนวณความถี่ในการรับแสงของพื้นที่เงา ผู้วิจัยได้ทำการใช้เซนเซอร์วัดแสงไปวางในตำแหน่งตัวอย่างของพื้นที่เงาใต้แผงเพื่อคำนวณหาความถี่ของแสงสะท้อนที่ตกกระทบพื้นที่เงา จากตัวอย่างในกรณีช่วงเวลา 13.00 น. พบว่าการรับแสงของพื้นที่เงาโดยเฉลี่ยเท่ากับ 21.83 นาฬิกาต่อชั่วโมง ซึ่งความเร็วในการหมุนด้วยความเร็วหมุนต่างๆ นั้นส่งผลกระทบต่อความถี่ในการรับแสงแต่ละตำแหน่งเท่านั้น แต่เวลาเฉลี่ยการรับแสงแต่ละพื้นที่จะมีค่าเท่ากัน นอกจากนั้นผลการทดลองความกว้างของเงาใต้แผงนั้นจะสัมพันธ์กับขนาดความกว้างของกระจกที่ใช้สะท้อนแสง จากตัวอย่างการทดลองพบว่าความกว้างของเงาใต้แผงมีความกว้าง โดยเฉลี่ยประมาณ 3 – 4 เท่าของกระจกสะท้อนแสง ทำให้ได้

ความสัมพันธ์กับช่วงเวลาความถี่การรับแสงประมาณ 15-20 นาฬิกาต่อชั่วโมง ในการเพิ่มความถี่การรับแสงสามารถเพิ่มความกว้างของกระจก ประมาณครึ่งหนึ่งของความกว้างเงาใต้แผง สามารถเป็นแนวทางในการเพิ่มความถี่การรับแสงได้มากถึง 30 นาฬิกาต่อชั่วโมงได้ ซึ่งตรงนี้เป็นกรณีที่ต้องศึกษาความต้องการแสงของพืชที่คาดว่าจะนำมาปลูกในอนาคต เพื่อเป็นการกำหนดความเหมาะสมในการออกแบบขนาดระบบสะท้อนแสง

ในการพิจารณาพลังงานที่ใช้กับมอเตอร์ทั้งสองแกนในระบบสะท้อนแสงที่ออกแบบขึ้นมาในงานวิจัยนี้ที่ใช้ระบบไฟกระแสตรง 12 โวลต์ในการขับเคลื่อนมอเตอร์นั้น พบว่าในแกนที่ปรับมุม  $\varphi$  สำหรับการกวาดแสงนั้นใช้พลังงานประมาณ 0.42 วัตต์ ในส่วนนี้จะมีการขับเคลื่อนมอเตอร์เพื่อกวาดแสงไปยังบริเวณต่างๆ ตลอดเวลาที่มีแสงอาทิตย์ ส่วนมอเตอร์สำหรับควบคุมการปรับมุม  $\alpha$  นั้นใช้พลังงาน 7.2 วัตต์ ซึ่งในส่วนนี้ระบบจะมีการปรับทุกช่วงเวลาประมาณ 10 นาที และใช้เวลาในการขับเคลื่อนในแต่ละครั้งประมาณ 1-2 วินาที เพื่อให้ได้องศาของแสงสะท้อนไปยังพื้นที่ที่ต้องการ



#### 4. บทสรุป

จากผลการศึกษาเรื่องการชดเชยแสงใต้เซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยการเพิ่มปริมาณแสงสะท้อนเพื่อชดเชยแสงใต้แผง โดยบทความนี้ได้เสนอการเพิ่มแสงชดเชยพื้นที่เงาใต้แผงด้วยการสะท้อนแสงของกระจกที่สามารถการปรับมุมสะท้อน ( $\alpha$ ) ตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา และมุมกวาด ( $\varphi$ ) เพื่อลดขนาดพื้นที่ของกระจกสะท้อนแสงและลดขนาดโครงสร้างของระบบสะท้อนแสง สำหรับกระจายแสงสะท้อนจากดวงอาทิตย์ไปยังพื้นที่เงาใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ด้วยการใช้ชุดเซ็นเซอร์ตรวจจับแสงสะท้อน 4 ตำแหน่งเพื่อกำหนดทิศทางของแสงสะท้อนให้ลงไปยังพื้นที่ที่ต้องการมากที่สุด ผลการทดลองพบว่าแสงสะท้อนสำหรับชดเชยเงาใต้แผงตลอดทั้งวันมีมากกว่าร้อยละ 90 ของพื้นที่เงาใต้แผง และมีปริมาณการชดเชยแสงเฉลี่ยสูงสุด 97.88 ในช่วงเวลา 16.00 น. ของตัวอย่างวันทดสอบ และมุมกวาดของระบบเพื่อให้การกระจายแสงสะท้อนให้ครอบคลุมพื้นที่เงาทำให้ได้ความถี่ในการรับแสงแต่ละตำแหน่งมีค่าเท่ากับ 21.83 นาทีต่อชั่วโมง ซึ่งในเรื่องของความถี่ในการรับแสงสะท้อน และพื้นที่เงาใต้แผงที่มีขนาดใหญ่ นั้นสามารถพัฒนากระจกสะท้อนให้มีขนาดใหญ่ขึ้น และออกแบบการปรับมุมสะท้อนองศาของระนาบแผ่นสะท้อน ( $\alpha$ ) ให้มีความเหมาะสมกับโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแบบจำลองในรูปที่ 3 เรื่องมุมสะท้อนนั้นจะมีความสัมพันธ์แปรผันตรงกับปริมาณพื้นที่การสะท้อนแสง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายแสงสะท้อนให้ดียิ่งขึ้นได้

ในเทคนิคที่นำเสนอในบทความนี้เป็นการชดเชยปริมาณแสงให้กับพื้นที่เงาใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ระบบที่ออกแบบขึ้นมาที่มีการใช้พลังงานหลักสำหรับมอเตอร์หมุนเพื่อการกวาดแสงเพียง 0.42 วัตต์ ทำให้พื้นที่ใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีปริมาณแสงเพียงพอที่จะทำการปลูกพืชที่ต้องการแสงต่อวันสั้น (Short Day Plant) และเหมาะสมสำหรับพืชที่ต้องการความเข้มแสงไม่มากหรือพืชที่ปลูกในโรงเรือน เนื่องจากแสงสะท้อนที่ออกแบบขึ้นมาี้มีความเข้มแสงน้อยกว่าการรับแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรง และพืชที่เพาะปลูกควรมีความสูงไม่มากเพื่อไม่ให้เกิดการบังเงาของพืชที่อยู่ด้านหน้า แต่ถ้าโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์มีขนาดสูงมากๆ สามารถออกแบบระบบชดเชยแสงให้มีความสูง ( $H$ ) ที่สูงมากขึ้น และมุม ( $\alpha$ ) ลดลงทำให้ลดโอกาสการบังเงาของพืชได้ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางที่ผู้วิจัยทำทดสอบการปลูกพืชใต้แผงเซลล์อาทิตย์จากแสงสะท้อนที่ชดเชยขึ้นมา ซึ่งการมีพืชในบริเวณฟาร์มเซลล์แสงอาทิตย์นั้น มีแนวโน้มที่จะลดอุณหภูมิในพื้นที่ดังกล่าว ส่งผลเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ทำให้เป็นแนวโน้มเรื่องการทำเกษตรใต้เซลล์แสงอาทิตย์มีความสนใจต่อยอดงานวิจัยในอนาคต

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จได้ด้วยการสนับสนุนทุนในการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ และคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม สำหรับเครื่องมือและสถานที่ในการทดสอบ



## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] D. Goswami, India's solar sunrise, *Renewable Energy Focus*, 2012, 13(2), 28-30.
- [2] T. Harinarayana and K.S.V. Vasavi, Solar energy generation using agriculture cultivated lands, *Smart Grid and Renewable Energy*, 2014, 5, 31-42.
- [3] K. Borah, S. Roy and T. Harinarayana, Optimization in site selection of wind turbine for energy using fuzzy logic system and GIS— A case study for Gujarat, *Open Journal of Optimization*, 2013, 2(4), 116-122.
- [4] <https://www.set.or.th/set/pdfnews.do?newsId=14592937857961&sequence=2016026039> (Accessed on 19 December 2021)
- [5] S. Janjai, Electricity generation potential by using photovoltaic solar cell panels, *Research Project, Department of Alternative Energy Development, Thailand*, 2017.
- [6] J. Owley and A.W. Morris, The new agriculture: from food farms to solar farms, *Columbia Journal of Environmental Law*, 2019, 44(2), 409–77.
- [7] J. Xue, Photovoltaic agriculture-New opportunity for photovoltaic applications in China, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, 73, 1-9.
- [8] R.H.E. Hassanien, M. Li and W.D. Lin, Advanced applications of solar energy in agricultural greenhouses, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, 54, 989-1001.
- [9] <http://www.renewableenergyworld.com/renews/article/2013/10/japan-next-generation-farmers-cultivate-agriculture-and-solar-energy>. (Accessed on 19 December 2021)
- [10] C. Dupraz, H. Marrou, G. Talbot, L. Dufour, A. Nogier and Y. Ferard, Combining solar photovoltaic panels and food crops for optimising land use: Towards new agrivoltaic schemes, *Renewable Energy*, 2011, 36, 2725-2762.
- [11] S. Schindele, M. Trommsdorff, A. Schlaak, T. Obergfell, G. Bopp, C. Reise, C. Braun, A. Weselek, A. Bauerle, P. Högy, A. Goetzberger and E. Weber, Implementation of agrophotovoltaics: Techno-economic analysis of the price-performance ratio and its policy implications, *Applied Energy*, 2020, 265, 114737.
- [12] J. Cho, S.M. Park, A.R. Park, O.C. Lee, G. Nam and In-Ho Ra, Application of photovoltaic systems for agriculture: A study on the relationship between power generation and farming for the improvement of photovoltaic applications in agriculture, *Energies*, 2020, 13(18), 4815.



- [13] S. Amaducci, X. Yin and M. Colauzzi, Agrivoltaic systems to optimise land use for electric energy production, *Applied Energy*, 2018, 220, 545-561.
- [14] A. Marucci, I. Zambon, A. Colantoni and D. Monarca, A combination of agricultural and energy purposes: Evaluation of a prototype of photovoltaic greenhouse tunnel, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 82, 1178-1186.
- [15] W. Liu, L. Liu, C. Guan, F. Zhang, M. Li, H. Lv, P. Yao and J. Ingenhoff, A novel agricultural photovoltaic system based on solar spectrum separation, *Solar Energy*, 2018, 162, 84-94.
- [16] A. Peña-García, L.M. Gil-Martín and E. Hernández-Montes, Use of sunlight in road tunnels: An approach to the improvement of light-pipes' efficacy through heliostats, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 2016, 60, 135-140.
- [17] C. Jamroen, P. Komkum, S. Kohsri, W. Himananto, S. Panupintu, S. Unkat, A low-cost dual-axis solar tracking system based on digital logic design: Design and implementation, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2020, 37, 100618.