



การหาจุดสมดุลเชิงเรขาคณิตของอุปกรณ์รวมแสงวี-ทรูเพื่อรับรังสีดวงอาทิตย์สะสมสูงสุด สำหรับแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์

[Determination of Geometric Equilibrium in V-Trough Solar Concentrators for Enhanced Energy Harvest of Polycrystalline Silicon Cells]

ณัฐดนัย บรรทองทิพย์¹, ดิณณ์ ชัยอรธ¹ มุขสุตา เกิดกร¹, วิชญาพร ผลเยี่ยม² และ ทวีศักดิ์ ภูชัย³

¹ โรงเรียนวิทยาศาสตร์จุฬาราชวิทยาลัย สระแก้ว, ตำบลวัฒนานคร, อำเภอวัฒนานคร, จังหวัดสระแก้ว 27120, ประเทศไทย

Email: natdanai.170352@gmail.com

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและพัฒนานวัตกรรมอุปกรณ์รวมแสงแบบกระจกสะท้อนแสง 2 ด้าน (V-Trough Concentrator) ในงบประมาณประหยัด เพื่อเพิ่มสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าให้แก่แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ โดยมุ่งเน้นการ วิเคราะห์หา มุมทางกระจก (Trough Wall Angle) ที่เหมาะสมที่สุดตามทฤษฎีของ Hollands และหลักการทางเดินแสง (Ray Tracing) เพื่อให้รังสีสะท้อนตกกระทบบนแผงได้สูงสุด วิธีการ ดำเนินงาน ประกอบด้วย การออกแบบโครงสร้างที่ปรับมุมกระจกได้อย่างอิสระโดยใช้ สถิติเกอร์เงินเงาเป็นตัว สะท้อนแสง การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ การทดสอบด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ (หลอดไส้ 200 วัตต์) และ การทดสอบภาคสนามด้วยแสงอาทิตย์จริง โดยทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Isc) และแรงดันไฟฟ้าขณะเปิด วงจร (Voc) ที่มุมทาง กระจกช่วง 55, 60, 65, 70 และ 75 องศา ผลการศึกษา พบว่ามุมทางกระจกที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดจากการทดลองทั้งสองรูปแบบคือ 60 องศา ในการทดสอบกับแสงอาทิตย์จริง ณ มุม 60 องศา สามารถเพิ่มค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Isc) จาก 0.258 แอมแปร์ ในสภาวะปกติ เป็น 0.284 แอมแปร์ คิดเป็น อัตราส่วนการรวมแสงจริง (CREff) เท่ากับ 1.10 หรือเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนการรวมแสงเชิงเรขาคณิตตามทฤษฎี (CRgeo) ที่ 2.914 พบว่ามีประสิทธิภาพเชิงแสง (Optical Efficiency: OE) เพียงร้อยละ 37.78 ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานทางทฤษฎี (ร้อยละ 82-92) ข้อสรุป จากการวิเคราะห์ตามสมการของ Hollands ระบุว่าที่มุม 60 องศา ความยาวแผ่นสะท้อนที่เหมาะสมควรเป็น 51 เซนติเมตร แต่แผ่นสะท้อนที่ใช้จริงมีความยาวเพียง 30 เซนติเมตร (ความคลาด เคลื่อนร้อยละ 41.2) ส่งผลให้รังสีสะท้อนบางส่วนไม่ตกกระทบบนแผง โครงการนี้จึงพิสูจน์ให้เห็นว่าการติดตั้งอุปกรณ์รวมแสงช่วยเพิ่มการผลิต ไฟฟ้าได้จริง แต่ประสิทธิภาพจะขึ้นอยู่กับความสอดคล้องระหว่างความยาวแผ่นสะท้อนและมุมทางกระจกตาม หลักเรขาคณิตเป็น สำคัญ คำสำคัญ: โซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์, มุมทางกระจก, อุปกรณ์รวมแสงแบบวี-ทรู, อัตราส่วนการรวมแสง

1. บทนำ

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานสำคัญในการตอบสนองความต้องการขั้นพื้นฐานของมนุษย์ และเป็นปัจจัยในการผลิตในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเกษตรกรประสบปัญหาด้านการผลิตพลังงานจากแผง โซลาร์ เซลล์ที่ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งาน เช่น การสูบน้ำ หรือใช้งานในฟาร์ม เกษตรกรมีความต้องการพลังงานที่มาก ขึ้นและต้องการประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากการใช้พลังงาน ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าไม่สะดวก และมีค่าใช้จ่ายต่อเนื่องสูง แสงอาทิตย์ถือเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถนำมาใช้และ เปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้ด้วยแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งเป็นพลังงาน ทดแทนที่มีศักยภาพสูงในประเทศไทย พลังงานแสงอาทิตย์ ในประเทศไทยนั้นมี

ศักยภาพที่สูง โดยมีความเข้มรังสีเฉลี่ย ตลอดทั้งปีประมาณ 17.6 ถึง 20 เมกะจูลต่อตารางเมตรต่อ วัน อย่างไรก็ตาม ปัญหาหลักของเกษตรกรในการ ใช้แผง โซลาร์เซลล์คือ ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าที่มักไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้งานจริง ในขณะที่การเพิ่ม จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ต้องใช้เงินลงทุนสูงและพื้นที่ติดตั้งจำนวนมาก คณะผู้วิจัยจึงสนใจการใช้ตัวรวมแสงแบบรางวี (V-Trough Concentrator) โดยการติดตั้งกระจกเงาสะท้อนแสง ขนาบ ข้างแผงโซลาร์เซลล์เพื่อเพิ่มความเข้มรังสีตกกระทบบ เป็น นวัตกรรมที่สามารถเพิ่มปริมาณรังสีตกกระทบบน แผงได้ โดยตรง ทฤษฎีระบุว่า การติดตั้งกระจกสะท้อนแสงสามารถ เพิ่มกำลังไฟฟ้าได้เฉลี่ยร้อยละ 20 ถึง 25 แต่ ความสำเร็จนี้ ขึ้นอยู่กับความแม่นยำของ



มุมทางกระจก (Trough Wall Angle) และ มุมเอียงของระบบ (System Tilt Angle) เพื่อให้รังสีสะท้อนตกกระทบบนแผงได้อย่างสม่ำเสมอและ ตรงจุดที่สุดตามหลักเรขาคณิต โครงการนี้จึงมุ่งเน้นการสร้าง นวัตกรรมอุปกรณ์จัดการแสงราคาประหยัด โดยนำ สมการทางคณิตศาสตร์ของ Hollands และ หลักการทางเดินแสง (Ray Tracing) มาใช้เพื่อพิสูจน์หามุมที่เหมาะสมที่สุด ผ่านการทดลองด้วย เครื่องจำลองแสงอาทิตย์ (Solar Simulator) เพื่อเพิ่มสมรรถนะทางไฟฟ้าให้กับแผงโซลาร์เซลล์ โดยไม่รวม 2 ผลกระทบด้านความร้อน เพื่อให้ได้ชุดข้อมูลที่แม่นยำ สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคเกษตรกรรมและ อุตสาหกรรมอื่นๆ 2.วัตถุประสงค์ 2.1. เพื่อพิสูจน์ประสิทธิภาพเชิงแสง (Optical Efficiency) โดยการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนการรวม แสง เชิงเรขาคณิต (CRgeo) กับอัตราส่วนการรวมแสงที่วัดได้จริง (CReff)

2. วิธีดำเนินการ

2.1 วัสดุและอุปกรณ์

ลำดับ	รายการอุปกรณ์	จำนวน
1	แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลี คริสตัลไลน์	2 แผง
2	สตีกเกอร์เงินเงา	2 แผง
3	มัลติมิเตอร์	1 เครื่อง
4	เคเบิลไทร์	4 อัน
5	เคเบิลไทร์	3 ท่อ
6	แผ่นพีวีเจอร์บอร์ด	2 แผง
7	โคมไฟที่ใส่หลอดไส้แบบใส	2 หลอด
8	องศาโปรแทรกเตอร์	1 อัน
9	หลอด LED	1 อัน

ตารางที่ 2.1 รายการอุปกรณ์ รายละเอียด พร้อมจำนวนอุปกรณ์

2.2 ขั้นตอนการทดลอง

- เตรียมวัสดุอุปกรณ์ในการทำฐานวางโซลาร์เซลล์ และ ฐานในการติดสตีกเกอร์เงินเงา แบบ VTrough โดยออกแบบให้กระจกทั้งสองด้านสามารถปรับมุมได้อย่างอิสระ ด้วยการตัดท่อ PVC มาทำเป็น โครง และวัดขนาดของโซลาร์เซลล์และระยะพื้นที่ช่องเปิดรับแสง 9
- ติดตั้งโคมไฟที่ใส่หลอดไส้แบบใส ขนาด 200 วัตต์วางเหนือแผงโซลาร์เซลล์ที่ระยะห่างคงที่ 9.5

เซนติเมตร เพื่อให้ได้ความเข้มรังสีที่สม่ำเสมอทั่วหน้าแผง

- วางและเชื่อมต่อแผงโซลาร์เซลล์ โดยที่โซลาร์เซลล์ทำมุมเอียง 14 ถึง 15 องศา
- ทดลองโดยไม่ติดตั้งสตีกเกอร์เงินเงา ก่อน ใช้เพียงแค โซลาร์เซลล์อย่างเดียวก่อน เพื่อหาค่าที่สนใจ
- บันทึกค่าของการทดลองที่ใช้เพียงแคโซลาร์เซลล์ที่ได้จากการทดลอง
- ทดลองโดยนำสตีกเกอร์เงินเงาทั้ง 2 แผ่น มาวางตรงฐานวางและวางโซลาร์เซลล์ไว้ตรงฐาน จากนั้นเปิดโคมไฟ ปรับมุมของตัวสตีกเกอร์เงินเงาไปจนกว่าจะเจอมุมที่ทำให้โซลาร์เซลล์ได้ประสิทธิภาพสูงสุด โดยที่จะวัดมุมในช่วง 55 60 65 70 75 และวัดค่าด้วยมัลติมิเตอร์ทำการทดลองซ้ำ 3 ถึง 5 ครั้ง
- นำข้อมูลของการทดลองทั้งสองแบบมาเปรียบเทียบกัน และนำค่าที่ได้นั้นนำไปพิสูจน์ในสมการว่าสอดคล้องหรือไม่
- นำชุดทดลองที่ติดสตีกเกอร์เงินเงา ไปทดสอบใช้กับแสงอาทิตย์จริง เพื่อหาค่าที่แท้จริงของข้อมูล
- ทำการทดลองเหมือนกับตอนที่ทดลองด้วยการใช้โคมไฟ โดยที่ใช้มุมที่ได้จากการทดลองด้วยโคมไฟ
- ทำการทดลองซ้ำ 3 ถึง 5 ครั้ง จากนั้นนำค่าที่หามาได้นั้น นำมาหาค่าเฉลี่ยและนำไปใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่สนใจ

2.3 สมการที่นำมาใช้คำนวณ

แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ ตอบสนองต่อรังสีตรงได้ดี กระแสไฟฟ้าลัดวงจร (Isc) จะแปรผันตรงกับ ความเข้มแสงที่ได้รับ การใช้กระแสรวมแสงจะทำให้ค่า (Isc) เพิ่มขึ้น อย่างเห็นได้ชัด ค่าเติมเต็ม (Fill Factor, FF) ใช้บ่งบอกคุณภาพทางไฟฟ้าและการสูญเสียพลังงานภายในแผง มีค่า ปกติระหว่าง 0.75-0.85 อัตราส่วนการรวมแสงที่วัดได้จริง (CReff) พิสูจน์ผลจากการทดลองโดยเปรียบเทียบ กระแสไฟฟ้า

$$CReff = \frac{Isc \text{ (ขณะรวมแสง)}}{Isc \text{ (แผงปกติ)}}$$

ระบบ V-Trough แบบ 2 ด้าน (CVSC) เป็น อุปกรณ์รวมแสงแบบไม่ใช้ภาพ (Non-imaging) ที่ใช้กระจก ราบ 2 บานวางทำมุมเอียงขนานข้างแผงโซลาร์

เซลล์, หลักการคือการ เปลี่ยนทิศทางรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นที่รับ 5 แสงที่กว้างกว่าให้สะท้อนลงสู่หน้าแผง โดยอัตราส่วนการรวมแสงเชิงเรขาคณิต (CRgeo): คืออัตราส่วน พื้นที่ช่องเปิดรับแสง (Aperture) ต่อพื้นที่หน้าแผงโซลาร์เซลล์ บอกถึงความสามารถทางทฤษฎีในการขยายพื้นที่ รับแสง

$$CR_{geo} = \frac{W_{ap}}{W_{ab}}$$

เมื่อ W_{ap} : ความกว้างของช่องเปิดรับแสง
 W_{ab} : ความกว้างของหน้าแผงโซลาร์เซลล์

สมการของ Hollands สำหรับมุมทางวิกฤต: เพื่อให้รังสีสะท้อนตกกระทบบนหน้าแผงได้อย่างสมบูรณ์ มุมทางกระจก ต้องสัมพันธ์กับความยาวกระจก และความกว้างแผง ดังนี้

$$\frac{L}{W_{ab}} = \frac{\cos\theta}{\sin(\frac{\theta}{2})}$$

เมื่อ L : ความยาวของกระจกสะท้อนแสง
 W_{ab} : ความกว้างของหน้าแผงโซลาร์เซลล์
การคำนวณประสิทธิภาพเชิงแสง ประสิทธิภาพเชิงแสงหาได้จากสัดส่วนของอัตราการรวมแสงที่วัดได้จริงต่ออัตราการรวมแสงทาง เรขาคณิต

$$OE = \frac{CR_{eff}}{CR_{geo}} \times 100\%$$

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดลองเมื่อใช้ วี-ทรู (V-Trough) กับ โคมไฟ

จากการทดลองหามุมเอียงของกระจก และวัดค่ากระแสไฟฟ้า(Isc)และแรงดันไฟฟ้า(Voc)ออกมาแล้ว ได้ค่าออกมาดังตาราง

มุมกระจก (°)	(Isc(A)/Voc(V))			ค่าเฉลี่ย(Isc(A))	ค่าเฉลี่ย(Voc(V))	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ(Isc(A))	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ(Voc(V))
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
55	0.0324 / 9.67V	0.0324 / 9.69V	0.0314 / 9.68V	0.0314	9.68V	เพิ่มขึ้น 24%	ไม่เปลี่ยนแปลง
60	0.0384 / 9.69V	0.0404 / 9.69V	0.0394 / 9.68V	0.0394	9.68V	เพิ่มขึ้น 56%(สูงสุด)	ไม่เปลี่ยนแปลง
65	0.0354 / 9.67V	0.0364 / 9.67V	0.0344 / 9.68V	0.0354	9.67V	เพิ่มขึ้น 40%	ลดลงประมาณ 0.1%
70	0.0354 / 9.68V	0.0364 / 9.69V	0.0334 / 9.68V	0.0344	9.68V	เพิ่มขึ้น 36%	ไม่เปลี่ยนแปลง
75	0.0334 / 9.66V	0.0314 / 9.66V	0.0334 / 9.65V	0.0324	9.66V	เพิ่มขึ้น 28%	ลดลงประมาณ 0.21%

ตารางที่ 4.1.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้า (Isc) และแรงดันไฟฟ้า (Voc) ที่ระดับมุมเอียงของกระจกต่างๆ

จากตารางพบว่า เมื่อเพิ่มมุมเอียงของกระจกจาก 55 องศาเพิ่มขึ้นไปจนถึง 75 องศา จะพบว่ามุมเอียงกระจกที่ 60 องศา มีค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้ามากที่สุด ซึ่ง

เฉลี่ยอยู่ที่ 0.039 แอมแปร์ โดยมีค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากปกติถึง 54 % เมื่อเทียบกับแผงแบบปกติ

3.2 ผลการทดลองเมื่อใช้วี-ทรู (V-Trough) กับ พระอาทิตย์

จากการทดลองหามุมเอียงของกระจก และวัดค่ากระแสไฟฟ้า(Isc)และแรงดันไฟฟ้า(Voc)ออกมาแล้ว ได้ค่าออกมาดังตาราง

มุมกระจก (°)	(Isc(A)/Voc(V))			ค่าเฉลี่ย(Isc(A))	ค่าเฉลี่ย(Voc(V))	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ(Isc(A))	เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงของ(Voc(V))
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3				
55	0.2624 / 10.39V	0.2634 / 10.38V	0.2654 / 10.39V	0.2634	10.38V	เพิ่มขึ้น 1.94%	ไม่เปลี่ยนแปลง
60	0.2864 / 10.39V	0.2834 / 10.38V	0.2864 / 10.40V	0.2864	10.39V	เพิ่มขึ้น 10.08%(สูงสุด)	เพิ่มขึ้น 0.1%
65	0.2664 / 10.37V	0.2654 / 10.36V	0.2664 / 10.38V	0.2664	10.37V	เพิ่มขึ้น 3.10%	ลดลง 0.1%
70	0.2594 / 10.38V	0.2584 / 10.36V	0.2574 / 10.36V	0.2574	10.36V	ลดลง 0.39%	ลดลง 0.19%
75	0.2454 / 10.35V	0.2464 / 10.35V	0.2454 / 10.34V	0.2454	10.35V	ลดลง 5.04%	ลดลง 0.29%

ตารางที่ 4.2.1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้า (Isc) และแรงดันไฟฟ้า (Voc) ที่วัดได้ของแผงโซลาร์เซลล์ที่ได้ติดตั้งวี-ทรู (V-Trough)

จากตารางพบว่า มุมเอียงกระจกที่ 60 องศา มีค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้ามากที่สุด เฉลี่ยอยู่ที่ 0.284 แอมแปร์ ซึ่งตรงกับ มุมเอียงกระจกที่ 60 ที่ทดลองใช้โคมไฟในการทดสอบ สรุปได้ว่ามุม 60 องศาเป็นมุมที่ได้ประสิทธิภาพมากที่สุดในการผลิตกระแส ของแผงโซลาร์เซลล์ที่ได้ติดตั้งวี-ทรู (V-Trough)

3.3 อัตราส่วนการรวมแสงเชิงเรขาคณิต

อัตราส่วนการรวมแสงเชิงเรขาคณิตแสดงถึงศักยภาพเชิงโครงสร้างของระบบในการเพิ่มพื้นที่รับแสงโดยคำนวณจาก

$$CR_{geo} = \frac{W_{ap}}{W_{ab}}$$

ซึ่งขนาดของโซลาร์เซลล์คือ 17.5 x 33 ซม. ทำให้ความกว้างหน้าแผงคือ 17.5 ซม.และ หลังจากใช้มุมเอียงกระจก 60 องศาทำให้สามารถ วัดค่าความกว้างช่องเปิดรับแสงได้ 51 ซม. ทำให้คำนวณค่าออกมาได้ คือ $CR_{geo} = 2.914$

3.4 อัตราส่วนการรวมแสงจริง (CR_{eff})

อัตราส่วนการรวมแสงจริงสะท้อนผลที่เกิดขึ้นจากการทดลองจริง โดยคำนวณจาก

$$CR_{eff} = \frac{I_{sc(\text{รวมแสง})}}{I_{sc(\text{ปกติ})}}$$

ค่าของ CR_{eff} สูงสุดที่ได้นั้น ได้จากมุมเอียง 60 องศา โดยค่าของ $I_{sc(\text{รวมแสง})}$ นั้นจะนำค่าของมุมเอียง กระจากที่ 60 องศา และจะนำค่าเฉลี่ยของข้อมูลมาใช้ในการคำนวณ โดย $I_{sc(\text{รวมแสง})}$ มีค่า 0.284A และค่าของ $I_{sc(\text{ปกติ})}$ มีค่า 0.258A ทำให้คำนวณค่าออกมาได้สูงสุด อยู่ที่ $CR_{eff} = 1.101$

3.5 อัตราส่วนการรวมแสงจริง (CReff)

ประสิทธิภาพเชิงแสงใช้ประเมินคุณภาพของการออกแบบและความสามารถในการจัดการทิศทางแสง โดยคำนวณจาก

$$OE = \frac{CR_{eff}}{CR_{geo}} \times 100\%$$

จากการคำนวณพบว่า แม้ระบบจะมีศักยภาพการรวมแสงตามทฤษฎีสูงถึง 2.91 เท่า แต่ผลที่เกิดขึ้นจริงเพิ่มขึ้นเพียง 1.10 เท่า ที่มุม 60° ที่ให้ค่าเยอะที่สุด ทำให้ $OE = 37.78\%$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าทฤษฎีของระบบ V-Trough ที่รายงานในงานวิจัยทั่วไปซึ่งมักอยู่ในช่วงประมาณ 82–92% พบว่าค่าที่ได้ต่ำกว่ามาตรฐาน แสดงว่าระบบมีการสูญเสียเชิงแสงค่อนข้างมาก กล่าวอีกนัยหนึ่ง พลังงานแสงที่ควรถูกรวมตามทฤษฎีประมาณ 100% ของศักยภาพ กลับถูกถ่ายทอดสู่แผงจริงเพียงประมาณ 38% ขณะที่อีกประมาณ 62% สูญเสียไปในกระบวนการสะท้อนและส่งผ่านแสง

4.6 การวิเคราะห์ความสอดคล้องกับสมการของ Hollands

เพื่อประเมินความถูกต้องเชิงเรขาคณิตของมุมทางกระจากที่ได้จากการทดลอง ได้ดำเนินการแทนค่าลงในสมการของ Hollands ซึ่งเป็นเงื่อนไขของการออกแบบระบบรวมแสงแบบ V-Trough เพื่อให้สามารถสะท้อนรังสีเข้าสู่หน้าแผงได้อย่างสมบูรณ์ สมการมีรูปแบบดังนี้

$$\frac{L}{W_{ab}} = \frac{\cos \theta}{\sin(\theta/2)}$$

คำนวณค่าความยาวแผ่นสะท้อน (L) ที่มุมเอียงต่าง ๆ พบว่า เมื่อมุมเอียงเท่ากับ 60° จะได้ค่า $L = 51$ เซนติเมตร ซึ่งเท่ากับความกว้างช่องเปิดรับแสงพอดี แสดงถึงสภาวะสมดุลเชิงเรขาคณิตตามแบบจำลองทางทฤษฎี อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่สร้างขึ้นจริง ซึ่งมีความยาวแผ่นสะท้อน 30 เซนติเมตร พบว่าค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ที่มุมประมาณ 70° ($L = 30.41$ เซนติเมตร) มากที่สุด ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่า แม้ผลการทดลองด้านกระแสไฟฟ้าจะให้ค่ามุมเหมาะสมที่สุดที่ 60° แต่โครงสร้างทางกายภาพของอุปกรณ์จริงมีส่วนเชิงเรขาคณิตที่สอดคล้องกับมุมประมาณ 70° ตามสมการของ Hollands ความแตกต่างนี้อธิบายได้ว่า การที่ความยาวแผ่นสะท้อนสั้นกว่าค่าทฤษฎีที่มุม 60° ทำให้พื้นที่สะท้อนแสงไม่ครอบคลุมตามเงื่อนไขทางเรขาคณิต ส่งผลให้ศักยภาพการรวมแสงลดลง และเป็นหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงแสง (OE) ต่ำกว่าค่าทฤษฎี

4. สรุปและอภิปรายผล

4.1 อภิปรายผลการทดลอง

หลังจากการคำนวณค่าความยาวแผ่นสะท้อน (L) ที่มุมเอียงต่าง ๆ พบว่า เมื่อมุมเอียงเท่ากับ 60° จะได้ค่า $L = 51$ เซนติเมตร ซึ่งเท่ากับความกว้างช่องเปิดรับแสงพอดี เมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างที่สร้างขึ้นจริง ซึ่งมีความยาวแผ่นสะท้อน 30 เซนติเมตร พบว่าค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับค่าที่คำนวณได้ที่มุมประมาณ 70° ($L = 30.41$ เซนติเมตร) มากที่สุด ทำให้เห็นว่าแม้ผลการทดลองด้านกระแสไฟฟ้าจะให้ค่ามุมเหมาะสมที่สุดที่ 60° แต่โครงสร้างทางกายภาพของอุปกรณ์จริงมีส่วนเชิงเรขาคณิตที่สอดคล้องกับมุมประมาณ 70° ตามสมการของ Hollands การที่ความยาวแผ่นสะท้อนสั้นกว่าค่าทฤษฎีที่มุม 60° ทำให้พื้นที่สะท้อนแสงไม่ครอบคลุม ส่งผลให้ศักยภาพการรวมแสงลดลง จากการคำนวณตามสมการของ Hollands เมื่อกำหนดมุมเอียง 60° พบว่าความยาวแผ่นสะท้อนตามทฤษฎีควรมีค่า 51 เซนติเมตร ขณะที่ระบบที่สร้างขึ้นมีความยาวเพียง 30 เซนติเมตร คิดเป็นความคลาดเคลื่อน 41.2% ความแตกต่างดังกล่าวส่งผลให้



แสงสะท้อนบางส่วนไม่สามารถเข้าสู่แผงโซลาร์เซลล์ได้เต็มที่ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ค่าประสิทธิภาพเชิงแสงต่ำกว่าทฤษฎี

4.2 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองพบว่า มุมเอียง 60 องศา ให้ประสิทธิภาพดีที่สุด โดยค่ากระแสลัดวงจร (Isc) เพิ่มขึ้นจาก 0.258 A (ไม่มีแผ่นสะท้อน) เป็น 0.284 A (มีแผ่นสะท้อน) หรือเพิ่มขึ้นประมาณ 10% ส่งผลให้ค่า $CR_{eff} = 1.10$ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับค่า $CR_{geo} = 2.91$ ซึ่งเป็นศักยภาพการรวมแสงตามทฤษฎี พบว่าระบบสามารถใช้ศักยภาพดังกล่าวได้เพียง 37.8% ($OE = 0.378$) แสดงว่ายังมีการสูญเสียแสงภายในระบบค่อนข้างมาก สาเหตุสำคัญคือ ความยาวแผ่นสะท้อนที่ใช้จริง (30 ซม.) สั้นกว่าค่าที่ทฤษฎี Hollands กำหนดสำหรับมุม 60° (51 ซม.) ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนประมาณ 41.2% ส่งผลให้แสงสะท้อนบางส่วนไม่ตกกระทบบนแผงโซลาร์เซลล์ทั้งหมด จึงทำให้ประสิทธิภาพการรวมแสงจริงต่ำกว่าค่าที่ทฤษฎีคาดการณ์ไว้

ข้อเสนอแนะ

1. เพิ่มความยาวแผ่นสะท้อนให้สอดคล้องกับแบบจำลอง Hollands ปรับความยาวแผ่นสะท้อนจาก 30 ซม. ให้ใกล้เคียงกับค่าทฤษฎีที่ 51 ซม. เพื่อให้รังสีอาทิตย์สะท้อนเข้าสู่พื้นผิวแผงได้เต็มพื้นที่และลดการสูญเสียพลังงานออกนอกระบบ
2. เลือกใช้วัสดุสะท้อนแสงที่มีคุณภาพสูง ใช้วัสดุที่มีค่าการสะท้อนสูงและผิวเรียบสม่ำเสมอ เพื่อลดการกระจายตัวของแสงและลดการสูญเสียที่เกิดจากการสะท้อนหลายครั้งภายในระบบ
3. พัฒนากลไกปรับมุมเอียงให้มีความละเอียดและแม่นยำ ความคลาดเคลื่อนเชิงมุมแม้เพียงเล็กน้อยส่งผลต่อทิศทางรังสีสะท้อนและประสิทธิภาพโดยรวมได้อย่างชัดเจน จึงควรพัฒนาระบบการปรับมุมให้ควบคุมได้แม่นยำยิ่งขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

การหาจุดสมดุลเชิงเรขาคณิตของอุปกรณ์รวมแสงวี-ทรูเพื่อรับรังสีดวงอาทิตย์สะสมสูงสุดสำหรับแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ได้รับการสนับสนุนจากผู้อำนวยการโรงเรียน นายทวีศักดิ์ เจริญเตี้ย ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ในการศึกษาและทดลองตลอดจนได้รับความอนุเคราะห์จากคุณครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ครูทวีศักดิ์ ภูชัย ครูที่ปรึกษา

โครงการที่ได้ให้คำแนะนำในการทำโครงการตลอดจนเอกสาร และตำราต่างๆที่ให้ประโยชน์สำหรับการศึกษา ค้นคว้าขอขอบคุณ ผู้ปกครองที่ให้คำแนะนำ และให้การสนับสนุนในการทำโครงการตั้งแต่เริ่มจนโครงการเสร็จสิ้น ขอขอบคุณคณะกรรมการการเรียนรู้วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่ได้ให้คำแนะนำในการทดลอง และสนับสนุน ด้านอุปกรณ์และเครื่องมือในการทำโครงการจนสำเร็จสุดท้ายนี้คณะผู้ศึกษา

ขอกราบขอบพระคุณในความกรุณาและความปรารถนาดีของท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

- Alnajideen, M., & Gao, M. (2022). A new configuration of V-trough concentrator for achieving improved concentration ratio of $>3.0\times$. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 245, 111877. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.111877>
- Chua, Y. L., Sheng, N. Y. R., Tay, T. T., & Koh, Y. Y. (2018). Performance evaluation of a V-trough solar concentrator photovoltaic system. *AIP Conference Proceedings*, 2030(1), 020001. <https://doi.org/10.1063/1.5066643>
- Laurensia, M., & Halim, L. (2024). Optimizing solar panel efficiency utilizing reflectors and water treatment techniques. *Journal of Energy Systems*, 8(2), 116–129. <https://doi.org/10.30521/jes.1352390>
- Pardellas, A., Fortuny-Ayuso, P., Bayón, L., & Barbón, A. (2023). A new two-foci V-trough concentrator for small-scale linear Fresnel reflectors. *Energies*, 16(4), 1597. <https://doi.org/10.3390/en16041597>
- Utomo, B., Darkwa, J., Du, D., & Worall, M. (2025). Solar photovoltaic cooling and power enhancement systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 216, 115644. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115644>
- ศิษย์พันธุ์ พลดี. (2563). การประมาณรังสีดวงอาทิตย์ในระนาบเอียงและมุมเอียงที่เหมาะสมของแผ่นรับรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทย [วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์].