

การศึกษาการปรับเทียบโซล่าเซลล์อ้างอิงชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว สำหรับโซล่าเซลล์ที่มีการผลิตเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย

STUDY ON CALIBRATION OF A REFERENCE CELL FOR A SINGLE CRYSTALLINE SILICON CELL COMMERCIALY PRODUCED IN THAILAND

ศิริชัย เทพา

กฤษณพงศ์ กীরติกร

ทงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์

จงจิตร หิรัญลาม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

คณะพลังงานและวัสดุ

SIRICHAH THEPA

KRISSANAPONG KIRTIKARA

TANONGKIAT KIATSIRIROAT

JONGJIT HIRUNLAB

School Of Energy and Materials

King Mongkut's Institute of Technology Thonburi

บทคัดย่อ

โซล่าเซลล์อ้างอิงที่ใช้เป็นมาตรฐานในการทดสอบสมรรถนะของแผงโซล่าเซลล์ต้องเป็นเซลล์ชนิดเดียวกับเซลล์ที่ประกอบเป็นแผงโซล่าเซลล์ การปรับเทียบโซล่าเซลล์อ้างอิงประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ คือ การศึกษาระบบแสงอาทิตย์เทียมใช้ในการทดสอบ และการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์เพื่อทำการปรับเทียบเซลล์ดังกล่าว งานวิจัยนี้รายงานผลการศึกษาการปรับเทียบโซล่าเซลล์อ้างอิงชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว ที่ใช้ในแผงโซล่าเซลล์ทางการค้าของบริษัทผู้ประกอบแผงรายหนึ่งในประเทศไทย

ระบบแสงอาทิตย์เทียมที่ใช้เป็นระบบหลายหลอดที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีพัฒนาขึ้นสำหรับตัวรับรังสีแผ่นราบ ใช้ทดสอบแบบสภาวะคงที่ การศึกษาระบบแสงอาทิตย์เทียมแสดงค่าความเข้มข้นพื้นที่ทดสอบโดยเฉลี่ยมีการเปลี่ยนแปลงไม่เกิน ± 2 เปอร์เซ็นต์ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่เวลาต่าง ๆ มีค่า 0.5 เปอร์เซ็นต์และความสอดคล้องของสเปกตรัมมีค่าเท่ากับ 2 ซึ่งทั้งสามประเด็นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน

การปรับเทียบเซลล์อ้างอิง ใช้โซล่าเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยวขนาด 2.54×5.08 ตารางเซนติเมตร วางอยู่บนตัวระบายความร้อนที่มีน้ำไหลผ่านด้านล่างเพื่อควบคุมอุณหภูมิโซล่าเซลล์ให้ได้ 25 ± 2 องศาเซลเซียส ส่วนด้านบนครอบด้วยควอทซ์ซึ่งมีค่าส่งผ่านแสงที่มีค่าเท่ากับ 1 ตลอดช่วงคลื่นแสงอาทิตย์ การศึกษาพบว่าเมื่ออุณหภูมิของเซลล์เปลี่ยนแปลงไป 2-3 องศาเซลเซียส กระแสลัดวงจรยังคงที่ ความต้านทานภายในของโซล่าเซลล์ 1.2 โอห์มและเซลล์มีประสิทธิภาพ 4.2 เปอร์เซ็นต์

ผลการปรับเทียบเซลล์อ้างอิงได้ค่า Calibration constant เท่ากับ $0.635 \text{ A}/(\text{W}/\text{cm}^2)$ เมื่อสภาวะทดสอบคืออุณหภูมิเซลล์ 25 องศาเซลเซียสความเข้มรังสีตกกระทบ $1,000 \text{ W}/\text{m}^2$ ที่มวลอากาศ 1.5

ABSTRACT

To test a solar cell panel, it is necessary to have a reference cell which is the same type so those of the panel. Calibration of the cell included the irradiance characteristic of the solar simulator and electrical properties of the cell. In this paper, one type of a single crystalline solar cell from one local manufacture was studied.

The solar simulator developed at KMITT is a multi-source type and used for flat plate solar collector testing under steady state condition. The irradiance flux has $\pm 2\%$ uniformity over a test plane with 0.5% temporal stability and the spectral mismatch of 2.

The reference solar cell had an area of $2.54 \times 5.08 \text{ cm}^2$. Controlling of the cell temperature at $25 \pm 2^\circ \text{C}$ was performed by passing cooling water underneath the cell. The cell was covered with a uniformly solar transparent quartz plate. Testing of the reference cell indicated that the short circuit current was constant with $2\text{--}3^\circ \text{C}$ temperature variation (from 25°C). Under the standard test condition (25°C , 1000 W/m^2 , AM. 1.5), it was found that the series internal resistance was 1.2 ohm with cell efficiency of 4.2% and a Calibration Constant of 0.634 A/W-cm^2

1. ความนำ

การนำโซล่าเซลล์ไปใช้งานนั้นจะต้องใช้ให้ได้ประโยชน์มากที่สุด เพราะโซล่าเซลล์มีราคาแพง ต้องคำนึงถึงพลังงานไฟฟ้าที่แผงเซลล์นั้นผลิตได้ โดยทั่วไปจะพิจารณาราคาพลังงานในเทอมของค่าใช้จ่ายต่อวัตต์สูงสุดเป็นหลัก เพราะฉะนั้นบริษัทผู้ผลิตจึงควรทำการทดสอบสมรรถนะของแผงโซล่าเซลล์ที่ผลิตได้เนื่องจากโซล่าเซลล์เป็นอุปกรณ์ที่มีความไวต่อช่วงสเปกตรัมของรังสีที่ตกกระทบ จึงทำให้มีปัญหาในการทดสอบเช่น การทดสอบกลางแจ้ง(outdoor)สเปกตรัมแสงจะแปรเปลี่ยนไปตามสถานที่ (Location) ภูมิอากาศ (Weather) ช่วงเวลาของการทดสอบ ส่วนการทดสอบในร่ม (Indoor) สเปกตรัมขึ้นกับชนิดของแสงอาทิตย์เทียมที่ใช้ทดสอบและอายุการใช้งานของแสงอาทิตย์เทียม

ดังนั้นเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดสอบสมรรถนะของโซล่าเซลล์ในเงื่อนไขการทดสอบที่ต่างกัน จึงจำเป็นต้องมีโซล่าเซลล์ที่รู้สมบัติแน่นอน ทำหน้าที่เป็นเซลล์อ้างอิงช่วยในการเปรียบเทียบไปสู่ที่สภาวะการทดสอบมาตรฐาน โซล่าเซลล์ที่จะเป็นเซลล์อ้างอิงจะต้องเป็นชนิดเดียวกับเซลล์ที่ใช้ประกอบเป็นแผง

2. ข้อกำหนดการเปรียบเทียบโซล่าเซลล์อ้างอิง

โซล่าเซลล์อ้างอิงที่เป็นตัวกลางเปรียบเทียบกับแหล่งกำเนิดแสงที่มีมวลอากาศ 1.5 ความเข้ม $1,000 \text{ W/m}^2$ อุณหภูมิเซลล์เท่ากับ 25°C วัดกระแสลัดวงจร ที่ได้ภายใต้สภาวะนี้เราเรียกโซล่าเซลล์ตัวกลางนี้ว่าเซลล์อ้างอิง (Reference Cell) เซลล์อ้างอิงนี้มี 2 ระดับมาตรฐานคือ

1. ระดับมาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard)
2. ระดับมาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard)

เนื่องจากแบบระดับมาตรฐานปฐมภูมิอาจขำรุได้ ดังนั้นในการใช้งานจริง จึงนิยมใช้แบบระดับมาตรฐานทุติยภูมิแทน โดยในแบบหลังจะใช้โซล่าเซลล์ชนิดเดียวกับ

โซล่าเซลล์ที่ต้องการทดสอบและนำมาเปรียบเทียบกับแสงอาทิตย์เทียม โดยใช้ระดับมาตรฐานปฐมภูมิเป็นบรรทัดฐาน

การเปรียบเทียบเซลล์อ้างอิงมีหลายวิธี แม้จะมีวิธีการที่คล้ายคลึงกัน แต่ก็มี ความแตกต่างกันในรายละเอียด เช่น สเปกตรัมของรังสีที่ใช้ทดสอบ วิธีการเปรียบเทียบโครงสร้างเป็นต้น

การเปรียบเทียบเซลล์อ้างอิงแต่ละวิธีมีความแตกต่างกัน ทำให้เกิดความจำเป็นในการกำหนดมาตรฐานสำหรับการเปรียบเทียบเพื่อที่จะกำหนดลักษณะร่วม ซึ่งในปัจจุบันข้อกำหนดเกี่ยวกับการเปรียบเทียบซึ่งเป็นที่ยอมรับกันมากได้แก่ ข้อกำหนดการเปรียบเทียบตามมาตรฐาน JIS มาตรฐาน ASTM และมาตรฐาน ECC

ข้อกำหนดต่าง ๆ เหล่านี้มีลักษณะร่วมส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังนี้

1. สเปกตรัมของแสงที่ใช้ทดสอบมีความเข้ม 1000 W/m^2 มวลอากาศ 1.5
2. โครงสร้างของเซลล์อ้างอิง
3. วิธีการคัดเลือกเซลล์ที่จะนำมาเปรียบเทียบเป็นเซลล์อ้างอิง
4. วิธีการเปรียบเทียบเซลล์อ้างอิง

2.1 สเปกตรัมของแสง

1) แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบ่งออกเป็น 2 แหล่งคือ แสงธรรมชาติและแสงอาทิตย์เทียม

2.1.1 แสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติที่ใช้ทดสอบได้ต้องมีความเข้ม 1000 W/m^2 มวลอากาศ 1.5 ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

ปริมาณไอน้ำที่กลั่นตัวได้ในอากาศ	1.42 เซนติเมตร
ความดันย่อยของไอน้ำในบรรยากาศ	0.34 เซนติเมตร
สัมประสิทธิ์ความขุ่นมัวที่ความยาว คลื่น	$0.5 \mu\text{m}$ 0.27
สัมประสิทธิ์การสะท้อนของผิวดิน	0.2
ความเข้มรังสีบนพื้นราบที่ทำมุมกับแนวระดับ	37 องศา

2.1.2 แสงอาทิตย์เทียม

แสงอาทิตย์เทียม เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีสมบัติของแสงใกล้เคียงแสงอาทิตย์ในธรรมชาติสามารถควบคุมความเข้มแสงให้คงที่ที่ค่าใด ๆ ตามต้องการ ระบบแสงอาทิตย์ใช้หลอดกำเนิดแสงที่มีสเปกตรัมใกล้เคียงแสงอาทิตย์ธรรมชาติ (ใกล้เคียงมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับชนิดของหลอดที่เลือกใช้) ระบบแสงอาทิตย์เทียมส่วนใหญ่ใช้เพื่อทดสอบสมรรถนะของอุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ เช่น ตัวรับแสง แผงรับแสง โซลาร์เซลล์ เป็นต้น

ระบบแสงอาทิตย์เทียม ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ได้ออกแบบมาเพื่อใช้ทดสอบตัวรับ

แสงแผ่ราบที่มีมวลอากาศ 2 แต่มาตรฐานที่กำหนดในการทดสอบแผงโซลาร์เซลล์ต้องมีสเปกตรัมที่สอดคล้องกับมวลอากาศ 1.5 ดังนั้นจึงต้องมีการตรวจสอบระบบแสงอาทิตย์เทียมของสถาบันฯ เทียบกับมาตรฐานของระบบแสงอาทิตย์เทียมตามมาตรฐานการทดสอบโซลาร์เซลล์ ดังนี้

1. ในขณะใดขณะหนึ่ง ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยจากระบบแสงอาทิตย์เทียมที่ตกตลอดผิวหน้าที่ได้รับแสงของโซลาร์เซลล์ต้องมีค่า 1000 W/m^2 และในการทดสอบค่าความเข้มแสงเฉลี่ยจะเปลี่ยนแปลงได้ไม่เกิน $\pm 50 \text{ W/m}^2$

2. การกระจายของสเปกตรัมของแสงจากระบบแสงอาทิตย์เทียมควรมีลักษณะดังนี้

ช่วงความยาวคลื่น (nm)	เปอร์เซ็นต์พลังงานในช่วง ความยาวคลื่นต่าง ๆ
400 - 500	18.5
500 - 600	20.1
600 - 700	18.3
700 - 800	12.2
900 - 1,100	16.1
400 - 1,100	100

3. ระบบแสงอาทิตย์เทียมแบ่งตามสมบัติทางแสงได้เป็น 3 ระดับ คือ

สมบัติทางแสงของแสงอาทิตย์เทียม	ระบบแสงอาทิตย์เทียม		
	ระดับ A	ระดับ B	ระดับ C
ความไม่สม่ำเสมอของความเข้มแสงบนพื้นที่ทดสอบ (Positional nonuniformity of irradiance)	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$	$\pm 10\%$
การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงที่เวลาต่าง ๆ (Temporal instability of irradiance)	$\pm 3\%$	$\pm 1\%$	$\pm 10\%$
ความสอดคล้องสเปกตรัม (Spectral match)	0.75-1.25	0.6-1.4	0.4-2.0

2.2 โครงสร้างของเซลล์อ้างอิง

โซลาร์เซลล์อ้างอิงจะอยู่ในอุปกรณ์ห่อหุ้มที่จะลดผลกระทบจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมและให้เก็บรักษาง่าย นอกจากนั้นอุปกรณ์นี้ยังมีสภาพเป็นไปตามเงื่อนไขที่จำเป็นและเงื่อนไขเพื่อเลือก ดังนี้

2.2.1 เงื่อนไขที่จำเป็น

1. โครงสร้างอุปกรณ์ห่อหุ้มสามารถควบคุมอุณหภูมิของเซลล์ให้คงที่ และการวัดอุณหภูมิจะต้องให้ละเอียดได้ถึง $\pm 1^{\circ}\text{C}$

2. อุปกรณ์ห่อหุ้มต้องมีช่องเปิดรับรังสี (Field of View) มากกว่า 160 องศาขึ้นไป

3. โซลาร์เซลล์สามารถดูดกลืนรังสีที่ตกกระทบได้อย่างน้อย 95%

4. ผิวด้านในที่บรรจุเซลล์ ต้องไม่สะท้อนแสง และมีสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงอย่างน้อย 0.95 ในช่วงความยาวคลื่นที่โซลาร์เซลล์ตอบสนอง

5. วัสดุที่ใช้ยึดเซลล์นั้นต้องไม่ทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงเสื่อมลงและวัสดุนี้จะต้องคงทนถาวร

2.2.2 เงื่อนไขเพื่อเลือก

ช่องที่เปิดรับแสงนั้น ควรให้แสงผ่านตลอดทุกๆ ช่วงคลื่นที่โซลาร์เซลล์ตอบสนองเท่า ๆ กัน ต่างไม่เกิน $\pm 1\%$ แสงที่ทะลุผ่านน้อยอย่างน้อยเท่ากับ 85% ของแสงทั้งหมด

วัสดุที่ใช้ทำตัวครอบนั้นมีสมบัติเท่าเทียมกับกระจกควอทซ์

2.3 วิธีการคัดเลือกเซลล์เพื่อนำมาเปรียบเทียบเป็นเซลล์อ้างอิง

โซลาร์เซลล์ที่จะนำมาเปรียบเทียบเป็นเซลล์อ้างอิง จะเลือกจากโซลาร์เซลล์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดเดียวกับโซลาร์เซลล์ที่จะทำการวัดสมรรถนะ โดยทำการสุ่ม (random sampling) มาประมาณ 20 เซลล์ และทำการทดสอบ ดังนี้

1.1 วัดกระแสลัดวงจร $I_{sc\ 1}$ และ $I_{sc\ 2}$ โดยใช้แหล่งกำเนิดแสงที่เสถียรภาพและมีสเปกตรัมต่างกัน โดยมีความเข้มรังสีที่ใช้ทดสอบมากกว่า $800\ \text{W/m}^2$

1.2 หาสัดส่วนของ I_{sc} ที่ได้และหาค่าเฉลี่ย

$$R = \frac{I_{sc\ 2} \text{ จวนครบ } n \text{ เซลล์ และหาค่าเฉลี่ย}}{I_{sc\ 1}}$$

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n}$$

1.3 เลือกเซลล์ที่มีค่า R แตกต่างจากค่า R เฉลี่ยมากกว่า 3% ทิ้งไป ส่วนเซลล์ที่มีค่า R ใกล้เคียงค่า $\bar{R}$ จะนำมาเปรียบเทียบต่อไป

การคำนวณค่าผิดพลาดของสเปกตรัม

คัดเลือกเซลล์ที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบเป็นเซลล์อ้างอิง โดยพิจารณาผลตอบสนองต่อแหล่งกำเนิดแสง โดยใช้แสงอาทิตย์เทียมทดสอบ ถ้าได้กำลังไฟฟ้าผิดพลาดไม่เกิน $\pm 2\%$ เซลล์เหล่านี้จะนำมาใช้เปรียบเทียบต่อไป

3. วิธีการเปรียบเทียบเซลล์อ้างอิง

3.1 เงื่อนไขในการเปรียบเทียบ

ใช้อุณหภูมิของเซลล์ที่ 25°C ถือว่าอุณหภูมินี้ทำให้โซลาร์เซลล์ทำงานที่มีประสิทธิภาพ อุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิแวดล้อมของเซตอบอุ้นซึ่งเป็นแหล่งที่มีการผลิตโซลาร์เซลล์มากกว่าบริเวณอื่น

ใช้สเปกตรัมมีมวลอากาศ 1.5 เนื่องจากบริเวณส่วนใหญ่ของสหรัฐอเมริกาที่มีการใช้โซลาร์เซลล์จำนวนมาก ตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า ทำให้เกิดสเปกตรัมนี้

ความเข้ม $1,000\ \text{W/m}^2$ ถือว่าเป็นความเข้มของรังสีที่ตกกระทบเท่ากับของรังสีอาทิตย์

3.2 ระบบและอุปกรณ์ที่ใช้

3.2.1 เซลล์อ้างอิงพร้อมอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

3.2.2 ระบบทำน้ำเย็น

3.2.3 ระบบแสงอาทิตย์เทียม

3.2.4 เครื่องมือวัด

เครื่องมือที่ใช้มีดังนี้

1. ไพรานอมิเตอร์ Kipp & Zonen CM10
Serial No. CM10830078
2. สเปกตรัมไพรานอมิเตอร์ Eppley PSP,
Serial Nos. 21774 F3, 24091 F3, 24093 F3,
24044 F3 และ 21777 F3.
3. Monochromator Kratos LPS-251HR,
Serial Nos. 428-082682 L/H-150/1 S/N595-
082682 GM 252 S/N 171-082682 Range180-
800 nm Dispersion 3.3 nm/mm Grating 1180
gr/nm
4. เทอร์โมมิเตอร์แบบตัวเลข Fluke 2175 A,
Serial No. 5219005
5. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ Fluke 8840 A, Serial
No. 5261024
6. ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ Fulke DM-880A,
Serial No. 91126002
7. X-Y recorder
8. อิเล็กทรอนิกส์โหลด
9. เทอร์โมคัปเปิ้ล Type K
10. สวิตช์เลือกจุด

3.3 ขั้นตอนการเปรียบเทียบ

1. วัดการตอบสนองของโซลาร์เซลล์
 2. วัดสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแส
 3. วัดความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดวงจร
กับ ความเข้มของรังสีที่ตกกระทบบ
 4. วัดความต้านทานอนุกรมของเซลล์
 5. หลังจากวัดสมบัติของเซลล์แล้วเริ่มทำการ
เปรียบเทียบค่าคงที่ของการเปรียบเทียบ ดังนี้
- 5.1 เปิดระบบแสงอาทิตย์เทียมจนได้ความเข้ม
สม่ำเสมอและปรับความเข้มให้ได้ $1,000 \text{ W/m}^2$
 - 5.2 นำเซลล์ที่ต้องการเปรียบเทียบ วางบนพื้นที่

ทดสอบและควบคุมอุณหภูมิเซลล์ให้อยู่ที่ $25 \pm 2^\circ\text{C}$
โดยใช้ระบบทำน้ำเย็น

5.3 ทำการวัดอุณหภูมิของเซลล์ ความเข้มรังสี
ที่ตกกระทบบกระแสลัดวงจรของเซลล์

5.4 ทำการทดลองซ้ำ 4 ถึง 5 ครั้ง

5.5 จากข้อมูลที่ได้ ทำการคำนวณหาค่า Cali-
bration Constant ตามสมการ

$$\text{Calibration Constant} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{I_{\text{sci}} [1 - \alpha(\text{Ti} - 25)] \text{mA}}{E_{\text{fi}} (\text{mW/cm}^2)}$$

เมื่อ	Ti	เป็นอุณหภูมิเซลล์, C
n		เป็นจำนวนข้อมูลที่ทำทดสอบ
	I_{sci}	เป็นกระแสลัดวงจรของเซลล์, mA
	α	สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแส
	$E_{\text{fi}} = E_{\text{ot}} \left[\frac{\int R(\lambda) E(\lambda) d\lambda}{\int R(\lambda) E_o(\lambda) d\lambda} \right]$	
เมื่อ	E_{ot}	เป็นรังสีตกกระทบบทั้งหมดจากความ เข้มแสงอ้างอิง (AM 1.5)
	$R(\lambda)$	เป็นการตอบสนองเชิงสเปกตรัมของเซลล์
	$E(\lambda)$	เป็นความเข้มของรังสีที่ตกกระทบบที่ ความยาวคลื่นนั้น ๆ
	$E_o(\lambda)$	เป็นความเข้มของรังสีที่ความยาวคลื่น ใด ๆ ของรังสีที่ AM 1.5

4. ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 สมบัติของระบบแสงอาทิตย์เทียม

การศึกษาสมบัติของแสงอาทิตย์เทียม (ตารางที่ 1)
พบว่า

ก. ความเข้มบนพื้นที่ทดสอบ (0.06×1.5
ตารางเมตร) มีความสม่ำเสมอ ± 0.2 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง
เป็นช่วงที่ยอมรับได้ตามมาตรฐาน JIS และ ASTM
และจัดว่าระบบแสงอาทิตย์เทียมอยู่ในเกรด A

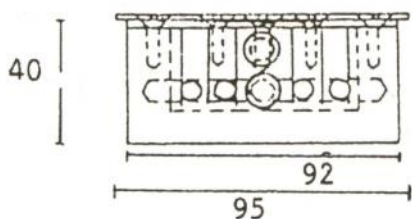
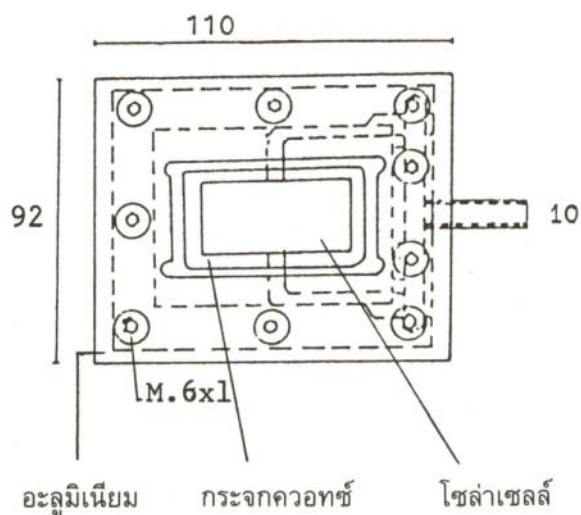
ข. การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงที่เวลาต่าง ๆ
มีค่า $\pm 0.5\%$

ค. Spectral match ของระบบแสงอาทิตย์เทียมของสถาบันฯ เทียบกับค่ามาตรฐาน (มวลอากาศ 1.5) เป็นดังนี้

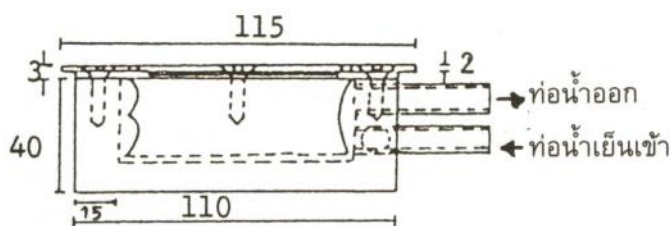
ช่วงความยาวคลื่น	พลังงานจากแสงอาทิตย์เทียมต่อพลังงานตามมวลอากาศ 1.5
0.400-0.495 μm	1.19
0.495-0.610 μm	1.73
0.610-0.715 μm	1.26
0.715-1.100 μm	0.53

ตารางที่ 1 ค่าความสม่ำเสมอของฟลักซ์ ความมีเสถียรภาพบนพื้นที่ทดสอบ และ Spectral Match ตามมาตรฐาน JIS C 8912 และ ASTM E 927-85 กับระบบแสงอาทิตย์เทียมที่พระจอมเกล้าธนบุรี (KMITT)

Characteristics	Simulator Class						KMITT
	JIS C 8912			ASTM E 927-85			
	GRADE			GRADE			
	A	B	C	A	B	C	
1. Positional non-Uniformity of total irradiance	+ 2%	+ 3%	+ 10%	+ 2%	+ 5%	+ 10%	+ 2%
2. Temporal instability of irradiance	+ 10%	+ 10%	+ 10%	+ 2%	+ 5%	+ 10%	+ 0.5%
3. Total irradiance with 30 field of view	-			>95%	>85%	>70%	-
4. Spectral match	0.75-1.25,0.6-1.4 0.4-2.0			0.75-1.25,0.6-1.4 0.4-2.0			0.5-2.0



หน่วย : มิลลิเมตร



รูปที่ 1 รายละเอียดของโซลาร์เซลล์พร้อมอุปกรณ์
ควบคุมอุณหภูมิ

4.2 การศึกษาสมบัติของเซลล์

ผลการศึกษสมบัติของเซลล์ ได้ค่าที่สำคัญดังนี้

ก. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีตกกระทบ
กับกระแสลัดวงจรเป็นเส้นตรงโดยมีค่าสหสัมพันธ์ 0.997
(รูปที่ 2)

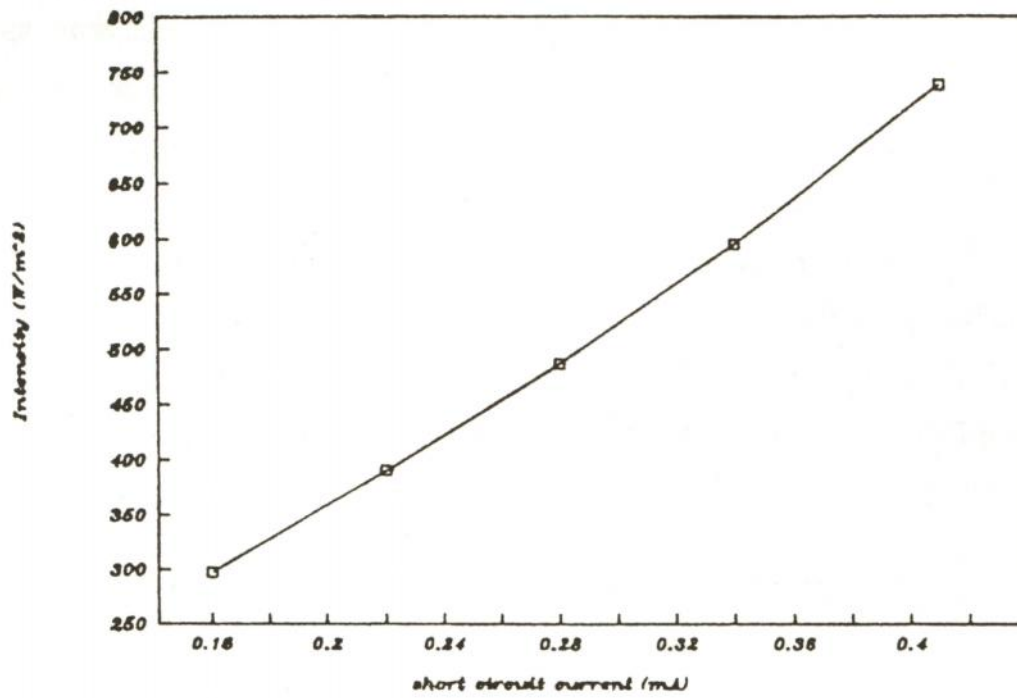
ข. ความต้านทานอนุกรมมีค่า 1.2 โอห์ม (รูปที่ 3)

ค. เซลล์มีประสิทธิภาพสูงสุดเท่ากับ 5.2 เปอร์เซ็นต์
(พลังงานไฟฟ้าที่ได้ต่อพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตก
กระทบ) จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของโซลาร์
เซลล์มีค่าน้อย สาเหตุเนื่องจากสเปกตรัมของแสงอาทิตย์
เทียมในช่วงความยาวคลื่น 0.7-1.1 μm มีค่าต่ำกว่า
พลังงานจากแสงธรรมชาติประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น
ถ้าวัดประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ภายใต้แสงธรรมชาติจะ
ทำให้ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ที่ได้สูงกว่านี้มาก

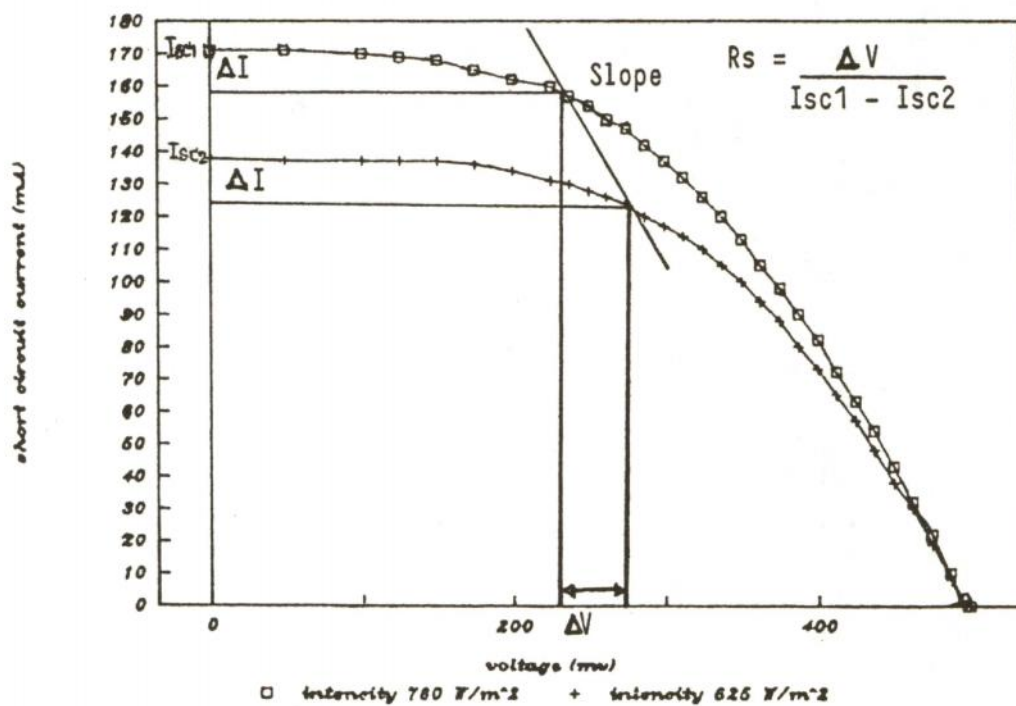
ง. ค่าของกระแสเปลี่ยนไป 0.0269mA เมื่อ
อุณหภูมิของเซลล์เปลี่ยนไปหนึ่งองศาหรือค่าสัมประสิทธิ์
ของอุณหภูมิของกระแส = 0.0269 mA/C (รูปที่ 4)
โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.98

เซลล์ที่นำมาเปรียบเทียบมีค่าคงที่ของการเปรียบเทียบ
เท่ากับ 0.634 A/(W/m²) จากค่าคงที่ของการเปรียบเทียบ
ที่ได้ หมายความว่าเมื่อเซลล์อ้างอิงนี้ไปวัดความ
เข้มแสง โดยควบคุม อุณหภูมิของเซลล์ที่ 25° C เมื่อ
มีแสงที่ตกกระทบเซลล์จะมีความเข้ม 1,000 W/m² ที่
มวลอากาศ 1.5 จะวัดกระแสลัดวงจรได้ 0.634 A

รูปที่ 5 เป็นค่าการตอบสนองของโซลาร์เซลล์ที่
ความยาวคลื่นต่าง ๆ เมื่อนำค่าที่ได้เปรียบเทียบกับค่า
มาตรฐานที่มีการรายงานสำหรับเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยว
ทั่วไปในช่วงความยาวคลื่น 0.5-0.7 μm พบว่าเซลล์
อ้างอิงมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มรังสีตกกระทบกับกระแสลัดวงจร



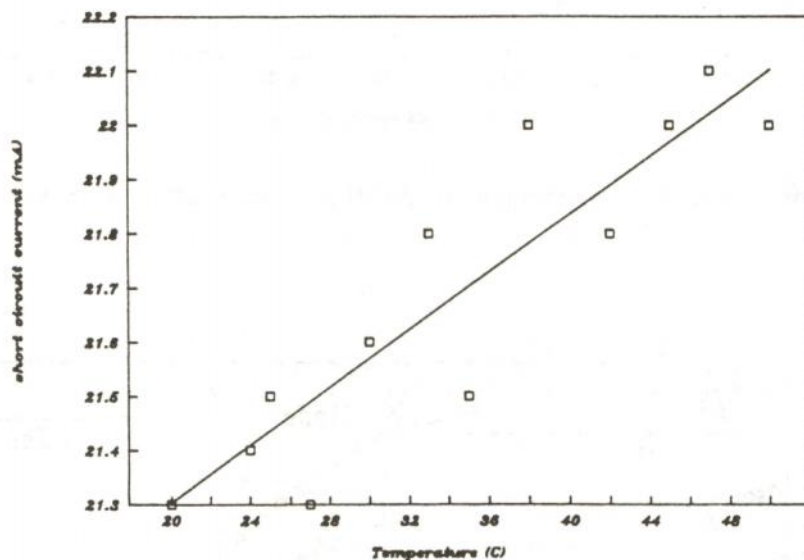
รูปที่ 3 วิธีการหาความต้านทานอนุกรม

สรุปและข้อเสนอแนะ

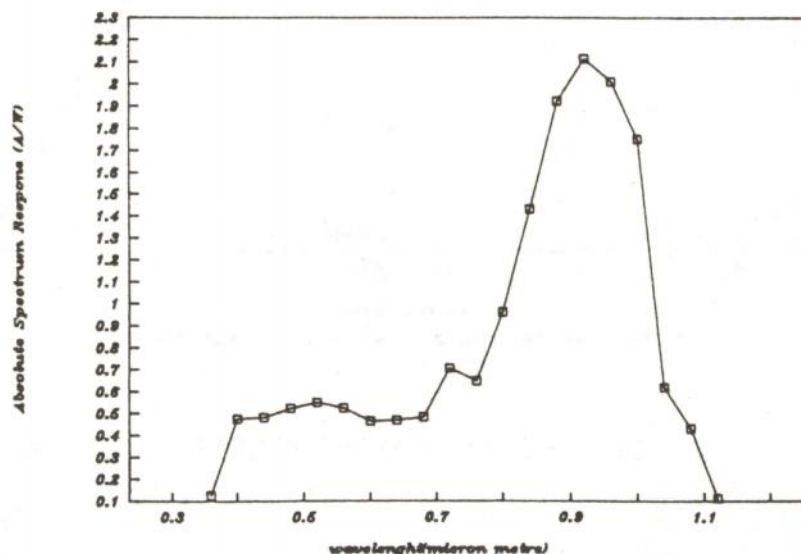
การศึกษานี้ให้ประสบการณ์ในขั้นตอนและเทคนิคการปรับเทียบเซลล์อ้างอิง เซลล์ที่ปรับเทียบแล้วนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการทดสอบสมรรถนะของแผงโซลาร์เซลล์ที่มีการผลิตเชิงพาณิชย์ในประเทศที่ทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกัน เพื่ออ้างอิงจากสภาวะทดสอบไปสู่สภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 25°C ความเข้มรังสี $1,000\text{ W/m}^2$ ที่มวลอากาศ 1.5)

การศึกษาแสดงว่าสเปกตรัมในช่วง $0.495\text{--}0.715\text{ }\mu\text{m}$ ของระบบแสงอาทิตย์เทียมที่ใช้ในการทดสอบจะมีพลังงานสูงกว่าที่สภาวะมาตรฐานส่วนในช่วง $0.7\text{--}1.1\text{ }\mu\text{m}$ จะต่ำกว่ามาตรฐาน

Spectral Response ของเซลล์ในช่วงความยาวคลื่นช่วงเดียวกันจะมีค่าตอบสนองต่ำ แต่จะตอบสนองสูงในช่วงประมาณ $0.715\text{--}1.100\text{ }\mu\text{m}$ ซึ่งในช่วงสเปกตรัมนี้รังสีจากระบบแสงอาทิตย์มีค่าต่ำ จึงมีผลทำให้ประสิทธิภาพรวมของเซลล์มีค่าต่ำ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสลัดวงจรกับอุณหภูมิ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Absolute spectrum response กับความยาวคลื่นที่รังสีตกกระทบ

เอกสารอ้างอิง

1. Standard Methods for Measuring the Spectral Response of Photovoltaic Cells, ASTM Standard E1021, 1984. (ASTM Philadelphia, PA)
2. Standard Practice for Determination of the Spectral Mismatch Parameter Between Photovoltaic Devices and Photovoltaic Reference Cell, ASTM Standard E973, 1983. (ASTM Philadelphia, PA)
3. Terrestrial Solar Spectral Irradiance Table at Air Mass 1.5 for a 37 Tilted Surface, ASTM Standard E892, 1982. (ASTM Philadelphia, PA)
4. Standard Specification for Solar Simulation for Terrestrial Photovoltaic Testing, ASTM Standard E927, 1985. (ASTM Philadelphia, PA)
5. Standard Test Method for Calibration of Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Primary Reference Cells Under Direct Irradiance, ASTM Standard E 1144, 1987. (ASTM Philadelphia, PA)
6. Standard Method for Calibration and Characterization of Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Reference Cells Under Global Irradiation, ASTM Standard E1039, 1985. (ASTM Philadelphia, PA)
7. Standard Test Method for Determining the Linearity of a Photovoltaic Device Parameter with Respect to a test Parameter, ASTM Standard E 1143, 1987. (ASTM Philadelphia, PA)
8. Standard Specification for Physical Characteristics of Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Reference Cells, ASTM Standard E 1040, 1984. (ASTM Philadelphia, PA)
9. Temperature Coefficient Measuring Methods for Crystalline Solar Cells and Modules, Japanese Industrial Standard. JIS C8916, 1989.
10. Secondary Reference Crystalline Solar Cells, Japanese Industrial Standard. JIS C8911, 1982.
11. Solar Simulators Used in Measuring Crystalline Solar Cells and Modules, Japanese Industrial Standard. JIS C8912, 1989.
12. Standard Test Method for Calibration of Primary Non-Concentrator Terrestrial Photovoltaic Reference Cells Using a Tabular Spectrums, ASTM Standard E1125, 1986. (ASTM Philadelphia, PA)
13. Treble, F.C., Performance Test Procedure for Solar Cells and Modules, Lecture of a course held at the Joint Research Centre, Ispra, Italy, November 11-18, pp. 163-187, 1981.
14. Bogus, K, Solar Cell and Module Performance Assessment based on Indoor Calibration Methods, Lecture of a Course held at the Joint Research Centre, Ispra, Italy, November 11-18, pp. 189-219, 1981.