

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ ๔๓๒๑ (พ.ศ. ๒๕๕๔)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. ๒๕๑๑

เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมส่วนสำเร็จรูปแรงดันเนื่องจากพลังแสง
ภาคพื้นดินแบบผลึกซิลิคอน - คุณลักษณะการออกแบบและการรับรองแบบ
และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภาคพื้นดิน
ชนิดผลึกซิลิคอน - คุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบ

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ส่วนสำเร็จรูปแรงดันเนื่องจาก
พลังแสงภาคพื้นดินแบบผลึกซิลิคอน - คุณลักษณะการออกแบบและการรับรองแบบ มาตรฐานเลขที่
มอก. 1843 - 2542

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๕ แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
พ.ศ. ๒๕๑๑ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม
ฉบับที่ ๒๗๒๓ (พ.ศ. ๒๕๔๓) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
พ.ศ. ๒๕๑๑ เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ส่วนสำเร็จรูปแรงดันเนื่องจากพลังแสง
ภาคพื้นดินแบบผลึกซิลิคอน - คุณลักษณะการออกแบบและการรับรองแบบ ลงวันที่ ๘ สิงหาคม
พ.ศ. ๒๕๔๓ และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผงเซลล์แสงอาทิตย์ภาคพื้นดิน
ชนิดผลึกซิลิคอน - คุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบ มาตรฐานเลขที่ มอก. 1843 - 2553 ขึ้นใหม่
ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด ๒๗๐ วัน นับตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๓ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๔

ชัยวุฒิ บรรณวัฒน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ภาคพื้นดินชนิดผลึกซิลิคอน

- คุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบ

1. ขอบข่ายและวัตถุประสงค์

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดคุณสมบัติที่ต้องการของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการออกแบบและรับรองแบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (terrestrial photovoltaic module) ซึ่งได้กำหนดไว้เฉพาะชนิดผลึกซิลิคอน สำหรับการใช้งานกลางแจ้งในระยะยาว ในภูมิอากาศทั่วไปที่ได้กำหนดไว้ใน IEC 60721-2-1 สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางได้กำหนดไว้ใน IEC 61646

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุม แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้การรวมแสงอาทิตย์ (concentrated sunlight)

วัตถุประสงค์ของลำดับการทดสอบคือ การหาคุณลักษณะทางไฟฟ้าและทางความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเพื่อแสดงความเป็นไปได้ของคุณลักษณะข้างต้น ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านราคาและเวลา แผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องสามารถทนอยู่ในที่กลางแจ้งเป็นเวลานาน ในภูมิอากาศที่ได้อธิบายในขอบข่ายนี้ อายุการใช้งานจริงที่คาดหวังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ผ่านคุณสมบัติที่ต้องการ ขึ้นอยู่กับการออกแบบ สภาพแวดล้อม และเงื่อนไขการทำงาน

2. เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิงที่ใช้กับมาตรฐานนี้ มีดังต่อไปนี้ สำหรับเอกสารที่ระบุปี ให้ใช้เฉพาะฉบับปีที่อ้างอิง ส่วนเอกสารอ้างอิงฉบับที่ไม่ได้ระบุปีที่พิมพ์ ให้ใช้ฉบับล่าสุด

IEC 60068-1 : 1988, *Environmental testing-Part 1 : General and guidance*

IEC 60068-2-21 : 1999, *Environmental testing-Part 2- 21 : Tests-Test U : Robustness of terminations and integral mounting devices*

IEC 60068-2-78 : 2001, *Environment testing – Part 2-78 : Tests – Test Cab : Damp heat, steady state*

IEC 60410 : 1973, *Sampling plans and procedures for inspection by attributes*

IEC 60721-2-1 : 1982, *Classification of environmental conditions-Part 2 : Environmental conditions appearing in nature- Temperature and humidity*

มอก.1843-2553

61215 © IEC:2005

IEC 60891 : 1987, *Procedures for temperature and irradiance corrections to measured I-V characteristics of crystalline silicon photovoltaic (PV) devices*

Amendment 1 (1992)

IEC 60904-1 : 1987, *Photovoltaic devices-Part 1 : Measurements of photovoltaic current-voltage characteristics*

IEC 60904-2 : 1989, *Photovoltaic devices – Part 2 : Requirements for reference solar cells*

IEC 60904-3 : 1989, *Photovoltaic devices-Part 3 : Measurements principles for terrestrial photovoltaic (PV) solar devices with reference spectral irradiance data*

IEC 60904-6 : 1994, *Photovoltaic devices – Part 6 : Requirements for reference solar modules*

IEC 60904-7 : 1998, *Photovoltaic devices – Part 7 : Computation of spectral mismatch error introduced in the testing of a photovoltaic device*

IEC 60904-9 : 1995, *Photovoltaic devices – Part 9 : Solar simulator performance requirements*

IEC 60904-10 : 1998, *Photovoltaic devices – Part 10 : Method of linearity measurements*

IEC 61853 : *Performance testing and energy rating of terrestrial photovoltaic (PV) modules*

ISO/IEC 17025 : 1999, *General requirements for competence of testing and calibration laboratories.*

3. การชักตัวอย่าง

ให้ชักตัวอย่าง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 8 แผง (อาจเพิ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำรองได้ตามความเหมาะสม) โดยวิธีสุ่มจากรุ่นการผลิต (batch) หรือหลายรุ่นการผลิต (batches) สำหรับการทดสอบคุณสมบัติที่ต้องการตาม ขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ใน IEC 60410 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องผลิตขึ้นจากวัสดุและส่วนประกอบที่กำหนดไว้ ตามแบบที่เขียน เอกสารกระบวนการผลิต และผ่านการตรวจพินิจ การควบคุมคุณภาพ และ ขั้นตอนการยอมรับได้ ในการผลิตตามปกติ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีความสมบูรณ์ในทุกรายละเอียด และต้องมีคู่มือของผู้ทำ ข้อเสนอแนะ ในการติดตั้ง รวมทั้งระบุค่าแรงดัน ไฟฟ้าสูงสุดของระบบที่สามารถใช้งานได้

ถ้าไม่สามารถเข้าถึงบายพาสส์ไดโอดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ให้จัดเตรียมตัวอย่างพิเศษ สำหรับการทดสอบ ทางความร้อนของ บายพาสส์ไดโอด (ข้อ 10.18) ต้องติดตั้งบายพาสส์ไดโอด เช่นเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตาม กระบวนการผลิต และติดตั้งตัวรับรู้อุณหภูมิบนไดโอด ตามข้อกำหนดในข้อ 10.18.2 ตัวอย่างไดโอดนี้ ไม่ทำไว้เพื่อ การทดสอบในขั้นตอนอื่นตามรูปที่ 1

ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบ เป็นต้นแบบของการออกแบบใหม่ และยังไม่เป็นผลิตภัณฑ์จากการผลิต ต้องแจ้ง ในรายงานการทดสอบ

4. การทำเครื่องหมาย

ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแผง อย่างน้อยต้องมีเครื่องหมายต่อไปนี้อย่างชัดเจนและไม่ลบเลือนง่าย

- ชื่อ ชื่อย่อ หรือ สัญลักษณ์ของผู้ทำ
- แบบ หรือหมายเลขแบบ
- หมายเลขลำดับ (serial number)
- แสดงสภาพขั้วของขั้วต่อสายหรือของสายไฟฟ้า (ใช้รหัสสีได้)
- ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

วันที่และสถานที่ของการผลิตต้องระบุไว้บนแผง หรือสามารถสอบกลับได้จากหมายเลขลำดับ

5. การทดสอบ

ก่อนการทดสอบ ให้นำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด รวมทั้งอุปกรณ์ควบคุม วางภายใต้แสงอาทิตย์ (ธรรมชาติหรือเทียม) โดยให้มีพลังงานรังสีอาทิตย์ 5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ถึง 5.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร และให้เปิดวงจรไว้

ให้แบ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นกลุ่ม ๆ และทดสอบตามลำดับตามรูปที่ 1 ในหัวข้อย่อยแต่ละหัวข้อตามมาตรฐานนี้ กระบวนการทดสอบ และความเข้มงวด รวมทั้งการวัดค่าเริ่มต้นและค่าสุดท้ายตามที่จำเป็น ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในข้อ 10.

หมายเหตุ 1 ผลการวัดขั้นสุดท้ายของการทดสอบในขั้นตอนที่ผ่านมาสามารถใช้เป็นค่าเริ่มต้นของการทดสอบในลำดับต่อไป ไม่จำเป็นต้องวัดซ้ำ

ในขณะที่ทดสอบควรปฏิบัติตามคำแนะนำในการต่อและติดตั้งตามคู่มือของผู้ทำ อาจยกเว้นการทดสอบตามข้อ 10.4 ข้อ 10.5 ข้อ 10.6 และข้อ 10.7 หากมีการทดสอบตาม IEC 61853

เงื่อนไขการทดสอบได้สรุปไว้ ตามตารางที่ 1

หมายเหตุ 2 ระดับการทดสอบ ในตารางที่ 1 เป็นข้อกำหนดคุณสมบัติขั้นต่ำ ถ้าหน่วยทดสอบและผู้ทำมีการตกลงเป็นอย่างอื่น การทดสอบอาจทำในระดับความเข้มงวดมากขึ้นได้

6. เกณฑ์ตัดสิน

การออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถือว่าผ่านการทดสอบคุณสมบัติ และผ่านการรับรองแบบตามมาตรฐานนี้ ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงเป็นไปตามเกณฑ์ต่อไปนี้

- ก) ภายหลังจากการทดสอบต้องไม่เกิดการเสื่อมสภาพที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงมากกว่าร้อยละ 8 ของแต่ละลำดับขั้นตอนการทดสอบ (sequence) หรือลดลงไม่เกินขีดจำกัดที่ได้กำหนดไว้แต่ละหัวข้อการทดสอบ

- ข) ระหว่างการทดสอบ วงจรภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแผงต้องไม่เปิดวงจร
- ค) ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่มองเห็นได้ตามที่กำหนดไว้ในข้อ 7.
- ง) ภายหลังจากการทดสอบ ผลการทดสอบการฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนด
- จ) การทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วขณะเปียกต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ทั้งขณะเริ่มต้นและสิ้นสุดแต่ละลำดับขั้นตอน รวมทั้งภายหลังจากการทดสอบความร้อนขึ้น
- ฉ) แต่ละหัวข้อการทดสอบต้องเป็นไปตามข้อกำหนดที่ได้ระบุไว้

ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่ 2 แผงขึ้นไปไม่ผ่านการทดสอบคุณสมบัติถือว่าไม่ผ่านข้อกำหนดคุณสมบัติที่ต้องการ ถ้าพบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบไม่ผ่านเกณฑ์ 1 แผงให้ชักตัวอย่างตามหัวข้อ 3 มาอีก 2 แผงและทำการทดสอบทั้งหมดตามลำดับตั้งแต่เริ่มต้น ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบใหม่นี้พบว่าแผงใดแผงหนึ่งไม่ผ่านการทดสอบให้ถือว่าไม่ผ่านข้อกำหนดคุณสมบัติที่ต้องการ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบใหม่ต้องผ่านข้อกำหนดทั้ง 2 แผง จึงถือว่าผ่านการทดสอบ

7. ความบกพร่องหลักที่มองเห็นได้

เพื่อเป็นไปตามจุดประสงค์ของคุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบ สภาพดังต่อไปนี้ให้ถือว่าเป็นความบกพร่องหลักที่มองเห็นได้

- ก) มีพื้นผิวภายนอก แตก ร้าว หรือฉีกขาด รวมถึง ชูเปอร์สเตรต ซับสเตรต กรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และกล่องต่อสาย
- ข) พื้นผิวภายนอกโค้ง หรือบิดเบี้ยว รวมถึง ชูเปอร์สเตรต ซับสเตรต กรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และกล่องต่อสาย ที่มีผลให้การติดตั้งและ/หรือ การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เสื่อมสภาพลง
- ค) การแพร่กระจายของรอยร้าวในเซลล์ มากกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ของเซลล์นั้น ๆ
- ง) มีฟองอากาศหรือเกิดการลอก่อนที่เกิดจากการผุกร่อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จนก่อให้เกิดแนวต่อเนื้องระหว่างส่วนใด ๆ ของวงจรไฟฟ้ากับขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- จ) สูญเสียความสมบูรณ์ทางกลมีผลให้การติดตั้ง และ/หรือการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เสื่อมลง

8. การรายงาน

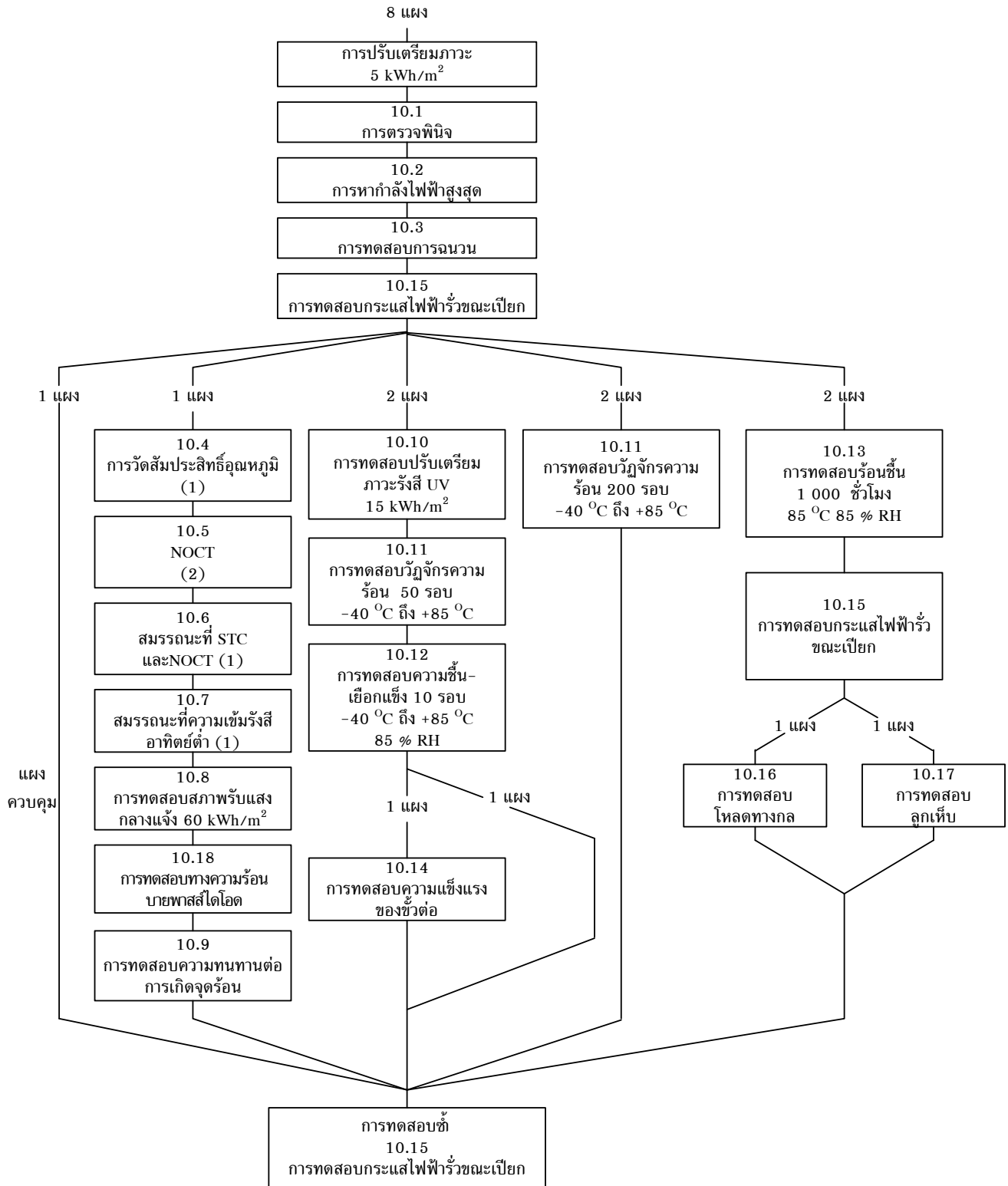
ตามการรับรองแบบ การรายงานการทดสอบด้วยการวัดคุณลักษณะทางสมรรถนะ และการให้รายละเอียดของควมบกพร่องที่ไม่ผ่านมาตรฐาน และการทดสอบซ้ำ รายงานนี้ต้องถูกจัดเตรียมโดยหน่วยงานที่ได้การรับรอง ISO/IEC 17025 รายงานต้องมีรายละเอียดลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แต่ละใบรับรองหรือรายงานผลการทดสอบอย่างน้อยต้องระบุสิ่งต่อไปนี้

- ก) เรื่อง
- ข) ชื่อ และที่อยู่ของห้องปฏิบัติการทดสอบ และสถานที่ทำการทดสอบ
- ค) การชี้บ่งของใบรับรอง หรือรายงานและการชี้บ่งของแต่ละหน้า
- ง) ชื่อและที่อยู่ของลูกค้า ตามความเหมาะสม
- จ) รายละเอียด และการชี้บ่ง ของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ
- ฉ) คุณลักษณะและสภาพ ของตัวอย่างที่นำมาทดสอบ
- ช) วันที่รับตัวอย่าง และช่วงวันที่ทำการทดสอบ ตามความเหมาะสม
- ซ) การชี้บ่งวิธีการทดสอบที่ใช้
- ฌ) การอ้างอิงวิธีการชักตัวอย่าง ตามหัวข้อที่เกี่ยวข้อง
- ญ) การเบี่ยงเบน ข้อเพิ่มเติม หรือข้อยกเว้นจากวิธีการทดสอบ และข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้องที่กำหนดไว้ใน การทดสอบ เช่นภาวะแวดล้อม
- ฎ) การวัด การตรวจสอบ และผลที่ได้รับในรูปของตาราง กราฟ ภาพสเก็ต และภาพถ่าย ตามความเหมาะสม รวมถึง
 - สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร
 - สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด
 - สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกำลังไฟฟ้าคายอด
 - ค่า NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)
 - กำลังไฟฟ้าที่ NOCT
 - กำลังไฟฟ้าที่ STC (Standard Test Condition)
 - กำลังไฟฟ้าที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ
 - สเปกตรัมของหลอดไฟฟ้าที่ใช้เพื่อการทดสอบรังสี UV

มอก.1843-2553

61215 © IEC:2005

- การสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สังเกตได้หลังผ่านการทดสอบทั้งหมด
 - ความบกพร่องอื่นๆ ที่สังเกตได้
- ฎ) ข้อความแสดงค่าโดยประมาณของความไม่แน่นอน (uncertainty) ของผลการทดสอบ (ที่เกี่ยวข้อง)
- จ) ลายเซ็น และตำแหน่ง หรือการชี้บ่งบุคคลที่รับผิดชอบในเนื้อหาของใบรับรองหรือรายงาน และวันที่ออกใบรับหรือรายงาน
- ช) ข้อความแสดงว่า รายงานการทดสอบเป็นผลการทดสอบของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเท่านั้น
- ฉ) ข้อความที่ระบุว่า ใบรับรองหรือรายงานการทดสอบต้องไม่ถูกทำซ้ำบางส่วน โดยไม่ได้รับการยินยอมจากหน่วยตรวจสอบเป็นลายลักษณ์อักษร ยกเว้นได้ทำซ้ำเต็มฉบับ
- ผู้ทำต้องเก็บสำเนารายงานการทดสอบ จุดประสงค์เพื่อใช้ในการอ้างอิง



- หมายเหตุ (1) อาจละเว้นได้ถ้าทดสอบตาม IEC 61853 แล้ว
 (2) ในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้ออกแบบสำหรับการติดตั้งบนโครงยึดแบบเปิดโล่ง (open-rack) อาจแทนที่ค่า NOCT ด้วยค่าเฉลี่ยสมดุลของอุณหภูมิรอยต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ (equilibrium mean solar cell junction temperature) ตามมาตรฐาน

รูปที่ 1 ลำดับของการทดสอบคุณสมบัติ

ตารางที่ 1 สรุปหัวข้อการทดสอบ

การทดสอบ	หัวข้อ	เงื่อนไขการทดสอบ
10.1	การตรวจพินิจ (visual inspection)	ดูรายละเอียดในหัวข้อ 10.1.2
10.2	การหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (maximum power determination)	ดู IEC 60904-1
10.3	การทดสอบการฉนวน (insulation test)	การทนได้อิเล็กทริกที่ 1 000 V d.c. + สองเท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบเป็นเวลา 1 นาที กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่น้อยกว่า 0.1 m ² ความต้านทานฉนวนต้องไม่น้อยกว่า 400 MΩ กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่มากกว่า 0.1 m ² ความต้านทานฉนวนคูณด้วยพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องไม่น้อยกว่า 40 MΩ ·m ² แรงดันไฟฟ้าที่ใช้วัด 500 V หรือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบ แล้วแต่ค่าใดสูงกว่า
10.4	การวัดสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (measurement of temperature coefficients) ดูหมายเหตุ 1	ดูรายละเอียดในหัวข้อ 10.4 ดู IEC 60904-10 เป็นแนวทาง
10.5	การวัด NOCT (measurement of NOCT) ดูหมายเหตุ 1	ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ 800 W/m ² อุณหภูมิโดยรอบที่ 20 °C ความเร็วลม 1 m/s
10.6	สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC และที่ NOCT (performance at STC and NOCT) ดูหมายเหตุ 1	อุณหภูมิเซลล์ที่ 25 °C และที่ NOCT ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ 1 000 และ 800 W/m ² การกระจายความเข้มของรังสีเชิงสเปกตรัมอ้างอิงตาม IEC 60904-3
10.7	สมรรถนะที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ (performance at low irradiance) ดูหมายเหตุ 1	อุณหภูมิเซลล์ที่ 25 °C ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ 200 W/m ² การกระจายความเข้มของรังสีเชิงสเปกตรัมอ้างอิงตาม IEC 60904-3
10.8	การทดสอบสภาพรับแสงกลางแจ้ง (outdoor exposure test)	พลังงานแสงอาทิตย์ 60 kWh/ m ²
10.9	การทดสอบความทนทานต่อการเกิดจุดร้อน (hot-spot endurance test)	วางไว้ 5 ชั่วโมงในความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ 1 000 W/m ² ในเงื่อนไขที่จุดร้อนที่ให้ผลเร็วที่สุด
10.10	การปรับเตรียมภาวะรังสี UV (UV preconditioning test)	พลังงานรังสี UV รวม 15 kWh/ m ² ที่ความยาวคลื่น 280 nm ถึง 385 nm พลังงานรังสี UV รวม 5 kWh/ m ² ที่ความยาวคลื่น 280 nm ถึง 320 nm
10.11	การทดสอบวัฏจักรความร้อน (thermal cycling test)	ทดสอบ 50 รอบ และ 200 รอบ ที่ -40 °C ถึง +85 °C โดยป้อนกระแสไฟฟ้าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ STC จำนวน 200 รอบ

การทดสอบ	หัวข้อ	เงื่อนไขการทดสอบ
10.12	การทดสอบความชื้น-เยือกแข็ง (humidity freeze test)	ทดสอบ 10 รอบ จาก +85 °C, 85% RH ถึง -40 °C
10.13	การทดสอบร้อนชื้น (damp-heat test)	ทดสอบ 1 000 ชั่วโมง ที่ +85 °C, 85% RH
10.14	การทดสอบความแข็งแรงของขั้วต่อ (robustness of termination test)	ดู IEC 60068-2-21
10.15	การทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วขณะเปียก (wet leakage current test)	ดูรายละเอียดในหัวข้อ 10.15 กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่น้อยกว่า 0.1 m ² ความต้านทานฉนวนต้องไม่น้อยกว่า 400 MΩ กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่มากกว่า 0.1 m ² ความต้านทานฉนวนคูณด้วยพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องไม่น้อยกว่า 40 MΩ·m ² แรงดันไฟฟ้าที่ใช้วัด 500 V หรือแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบ แล้วแต่ค่าใดสูงกว่า
10.16	การทดสอบโหลดทางกล (mechanical load test)	ทดสอบ 3 รอบ ด้วยโหลดสม่ำเสมอ 2 400 Pa ที่ผิวด้านหน้าและด้านหลัง รอบละ 1 ชั่วโมง ในรอบสุดท้ายของการทดสอบผิวด้านหน้าอาจจะเลือกใช้โหลดหิมะ 5 400 Pa ได้
10.17	การทดสอบลูกเห็บ (hail test)	ยิงลูกน้ำแข็งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm ด้วยความเร็ว 23.0 m/s จำนวน 11 ตำแหน่ง
10.18	การทดสอบทางความร้อนบายพาสไดโอด (bypass diode thermal test)	1 ชั่วโมง ที่ I_{sc} ที่ 75 °C 1 ชั่วโมง ที่ 1.25 เท่า I_{sc} ที่ 75 °C

หมายเหตุ 1 การทดสอบเหล่านี้จะเว้นได้ถ้าในอนาคตได้มีการทดสอบตาม IEC 61853 แล้ว

9. การปรับปรุงแก้ไข

ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงการออกแบบ วัสดุ ส่วนประกอบหรือขั้นตอนการผลิตของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจต้องทำการทดสอบคุณสมบัติใหม่ทั้งหมดหรือบางส่วน เพื่อรักษาการรับรองแบบไว้

10. ขั้นตอนการทดสอบ

10.1 การตรวจพินิจ

10.1.1 จุดประสงค์

เพื่อตรวจหาข้อบกพร่องของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยสายตา

10.1.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงอย่างระมัดระวัง ภายใต้การส่องสว่างไม่น้อยกว่า 1 000 ลักซ์ เพื่อหาสิ่งผิดปกติดังนี้

- มีพื้นผิวภายนอก แตก ร้าว ไค้งงอ บิดเบี้ยวหรือฉีกขาด
- เซลล์แตก
- เซลล์ร้าว
- ความผิดปกติของการต่อภายใน หรือของรอยต่อ
- เซลล์ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์สัมผัสกัน หรือสัมผัสกับกรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- เสี่ยงสภาพของการยึดเกาะ
- มีฟองอากาศหรือเกิดการลอกหล่อนที่เกิดจากการพ่นกแผงเซลล์แสงอาทิตย์จนก่อให้เกิดแนวต่อเนื่องระหว่างส่วนใด ๆ ของเซลล์กับที่ขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- เกิดการเหนียวเหนอะ (tacky) ของผิวหน้าพลาสติก
- การต่อไฟฟ้าผิดปกติ เผยให้เห็นส่วนที่มีไฟฟ้า
- ข้อเสียหายอื่นๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

บันทึก และ/หรือถ่ายภาพลักษณะและตำแหน่งของรอยร้าว ฟองอากาศ หรือรอยลอกหล่อน หรืออื่นๆ ซึ่งอาจมีผลเสียหรือมีผลกระทบต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของการทดสอบรายการถัดไป

10.1.3 ข้อกำหนด

สิ่งบกพร่องที่มองเห็นได้นอกเหนือจากความบกพร่องหลักที่มองเห็นได้ ตามรายการในข้อ 7. สามารถยอมรับได้สำหรับจุดประสงค์เพื่อการรับรองแบบ

10.2 การหากำลังไฟฟ้าสูงสุด

10.2.1 จุดประสงค์

เพื่อหากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนและหลังการทดสอบที่สภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ความทนซ้ำได้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด

10.2.2 เครื่องทดสอบ

- ก) แหล่งกำเนิดแสง (แสงอาทิตย์ธรรมชาติ หรือแสงอาทิตย์เทียมระดับ B หรือดีกว่า ตาม IEC 60904-9)

- ข) อุปกรณ์อ้างอิงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ตาม IEC 60904-2 หรือ IEC 60904-6 ถ้าใช้แสงอาทิตย์เทียมระดับ B อุปกรณ์อ้างอิงที่ใช้ต้องเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์อ้างอิงที่มีขนาดเท่ากัน และเป็นเทคโนโลยีเซลล์ชนิดเดียวกัน (เพื่อให้ตอบสนองเชิงสเปกตรัมที่สอดคล้องกัน) กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ
- ค) อุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสมเพื่อพยุงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงให้อยู่ในระดับตั้งฉากกับลำแสง
- ง) อุปกรณ์แสดงผลการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำ ± 1 องศาเซลเซียส และมีความทนซ้ำได้ ± 0.5 องศาเซลเซียส
- จ) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้
- ฉ) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้

10.2.3 ขั้นตอนการทดสอบ

หาลักษณะกระแส-แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตาม IEC 60904-1 ตามภาวะความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้เป็นชุด (แนะนำช่วงของอุณหภูมิระหว่าง 25 องศาเซลเซียส ถึง 50 องศาเซลเซียส และความเข้มรังสีอาทิตย์ระหว่าง 700 วัตต์ต่อตารางเมตร ถึง 1 100 วัตต์ต่อตารางเมตร) แสงอาทิตย์ธรรมชาติ หรือแสงอาทิตย์เทียมระดับ B หรือระดับที่ดีกว่า ตาม IEC 60904-9 ในกรณีพิเศษ ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกออกแบบเพื่อใช้งานในช่วงภาวะที่แตกต่างจากภาวะข้างต้น การทดสอบลักษณะกระแส-แรงดันไฟฟ้าสามารถทำได้ในภาวะอุณหภูมิและความเข้มรังสีอาทิตย์ที่คาดว่าจะใช้งานจริง การปรับแก้ภาวะอุณหภูมิและความเข้มรังสีอาทิตย์สามารถทำได้ตาม IEC 60891 เพื่อเปรียบเทียบชุดของการวัดที่ทำกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดียวกัน ทั้งก่อนและหลังการทดสอบสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามพยายามทำให้มั่นใจว่าได้วัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาวะที่ใกล้เคียงกัน เพื่อให้มีการปรับแก้ที่น้อยที่สุด โดยวัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดทุกค่าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิและความเข้มรังสีอาทิตย์เดียวกันโดยประมาณ ความทนซ้ำได้ต้องเบี่ยงเบนได้ไม่เกิน \pm ร้อยละ 1

หมายเหตุ ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ควบคุมตรวจสอบทุกครั้ง เมื่อตรวจวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ

10.3 การทดสอบการฉนวน

10.3.1 จุดประสงค์

เพื่อหาว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีการฉนวนระหว่างส่วนที่นำไฟฟ้ากับกรอบหรือสิ่งภายนอก ดีพอหรือไม่

10.3.2 เครื่องทดสอบ

- ก) แหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่จำกัดกระแสไฟฟ้าได้ สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้า 500 โวลต์ หรือ 1 000 โวลต์ บวกด้วย 2 เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามข้อ 10.3.4 ค)
- ข) เครื่องมือวัดความต้านทานฉนวน

10.3.3 ภาวะการทดสอบ

การทดสอบต้องทำบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิโดยรอบในบริเวณทดสอบ (ดู IEC 60068-1) และความชื้นสัมพัทธ์ไม่มากกว่าร้อยละ 75

10.3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

- ก) ลัดวงจรขั้วต่อด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แล้วต่อเข้ากับขั้วบวกของเครื่องทดสอบฉนวนกระแสตรงที่มีการจำกัดกระแสไฟฟ้า
- ข) ต่อส่วนโลหะที่เป็นกรอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับขั้วลบของเครื่องทดสอบ ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีกรอบหรือกรอบไม่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ให้หุ้มโลหะเปลวนำไฟฟ้า (conductive foil) รอบขอบและด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต่อโลหะเปลวกับขั้วลบของเครื่องทดสอบ
- ค) เพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายโดยเครื่องทดสอบ ด้วยอัตราการเพิ่มไม่มากกว่า 500 โวลต์ต่อวินาที จนถึงมากที่สุดที่ 1 000 โวลต์ บวกด้วย 2 เท่าของแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบ (เช่น แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบที่แสดงบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยผู้ทำ) ถ้าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบไม่มากกว่า 50 โวลต์ ให้จ่ายแรงดันไฟฟ้าเป็น 500 โวลต์ และคงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ระดับนี้ไว้ 1 นาที
- ง) ลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายลงเป็นศูนย์ และลัดวงจรขั้วของเครื่องทดสอบ เพื่อคายประจุลดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- จ) ปลดการลัดวงจร
- ฉ) เพิ่มแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายโดยเครื่องทดสอบ ด้วยอัตราการเพิ่มไม่มากกว่า 500 โวลต์ต่อวินาที จนถึง 500 โวลต์ หรือจนถึงแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบ แล้วแต่ค่าใดสูงกว่า คงค่าแรงดันไฟฟ้าที่ระดับนี้ไว้ 2 นาที แล้วจึงหาความต้านทานฉนวน
- ช) ลดแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายลงเป็นศูนย์ และลัดวงจรขั้วของเครื่องทดสอบ เพื่อคายประจุลดแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ซ) ปลดการลัดวงจร และปลดเครื่องทดสอบออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หมายเหตุ ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีกรอบโลหะหรือไม่มีซูเปอร์สเตรตที่เป็นแก้ว การทดสอบการฉนวนควรทำซ้ำด้วยแผ่นโลหะวางบนด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามข้อ 10.3.4 ข)

10.3.5 ข้อกำหนดการทดสอบ

ข้อกำหนดที่ต้องการ มีดังนี้

- ไม่มีการเสียหายยับย่นจาก ใดโอเล็คทริก หรือการเกิดรอยทางไฟฟ้าบนผิว (surface tracking) ระหว่างชั้นตอน ก)
- กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่น้อยกว่า 0.1 ตารางเมตร ความต้านทานฉนวนต้องไม่น้อยกว่า 400 เมกะโอห์ม
- กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่มากกว่า 0.1 ตารางเมตร ความต้านทานฉนวนที่วัดได้คูณกับพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะโอห์ม-ตารางเมตร

10.4 การวัดสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ

10.4.1 จุดประสงค์

เพื่อหาสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสไฟฟ้า (α) สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดันไฟฟ้า (β) และสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกำลังไฟฟ้าคายอด (δ) จากการวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สัมประสิทธิ์ที่หาได้นั้นเป็นจริงเฉพาะที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ขณะที่ทำการวัด สำหรับการประเมินสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ระดับความเข้มรังสีอาทิตย์ต่างกัน ดู IEC 60904-10

10.4.2 เครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบต่อไปนี้จำเป็นสำหรับใช้ควบคุมและวัดภาวะการทดสอบ

- ก) แหล่งกำเนิดแสง (แสงอาทิตย์ธรรมชาติ หรือแสงอาทิตย์เทียมระดับ B หรือดีกว่า ตาม IEC 60904-9) ที่ใช้ในการทดสอบตามลำดับ
- ข) อุปกรณ์อ้างอิงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ที่รู้ค่าลักษณะของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรกับความเข้มรังสีอาทิตย์ หาได้โดยสอบเทียบกับมาตรฐานรังสีสัมบูรณ์ (absolute radiometer) ตาม IEC 60904-2 หรือ IEC 60904-6
- ค) เครื่องทดสอบที่จำเป็นเพื่อใช้ปรับอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบตามช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ
- ง) อุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสมเพื่อยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงให้อยู่ในระดับตั้งฉากกับลำแสง

- จ) อุปกรณ์แสดงผลการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำ ± 1 องศาเซลเซียส และมีความทนซ้ำได้ ± 0.5 องศาเซลเซียส
- ฉ) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำ ร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้
- ช) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำ ร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้

10.4.3 ขั้นตอนการทดสอบ

การวัดสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสามารถทำได้ 2 วิธี

10.4.3.1 ขั้นตอนการทดสอบด้วยแสงธรรมชาติ

- ก) การวัดด้วยแสงธรรมชาติทำได้ต่อเมื่อ :
 - ความเข้มรังสีอาทิตย์รวมอย่างน้อยที่สุดมีค่าสูงเท่ากับขีดจำกัดบนของพิสัยที่ต้องการ
 - ค่าความแปรปรวนของความเข้มรังสีอาทิตย์ ที่เป็นการแปรปรวนช่วงสั้น (เมฆหมอก หรือ คว้น) คลาดเคลื่อนน้อยกว่า \pm ร้อยละ 2 ของความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่วัดจากอุปกรณ์อ้างอิง
 - ความเร็วลมน้อยกว่า 2 เมตรต่อวินาที
- ข) ติดตั้งอุปกรณ์อ้างอิงในระนาบเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบจนกระทั่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ตั้งฉากกับลำแสงอาทิตย์ โดยมีค่าคลาดเคลื่อน ± 5 องศา เชื่อมต่อเครื่องวัดที่จำเป็น
 - หมายเหตุ** การวัดที่จะอธิบายในข้อถัดไปควรทำอย่างรวดเร็วเท่าที่จะทำได้ภายในสองสามชั่วโมงในวันเดียวกัน เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมให้น้อยที่สุด หากทำไม่ได้จะต้องใช้ค่าปรับแก้สเปกตรัม
- ค) ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงมีการควบคุมอุณหภูมิ ต้องปรับตัวควบคุมอุณหภูมิในระดับที่ต้องการ
- ง) ถ้าไม่มีตัวควบคุมอุณหภูมิ ให้บังแสงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบกับอุปกรณ์อ้างอิงจากแสงอาทิตย์และลม จนกระทั่งมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับอุณหภูมิอากาศโดยรอบ ± 1 องศาเซลเซียส หรือปล่อยให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบมีอุณหภูมิคงตัวหรือทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ต้องการทดสอบ แล้วปล่อยให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามธรรมชาติ ในทำนองเดียวกันควรทำอุณหภูมิอุปกรณ์อ้างอิงให้คงตัว ± 1 องศาเซลเซียส ก่อนดำเนินการต่อไป

- จ) บันทึกลักษณะกระแส-แรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ ในเวลาเดียวกันให้บันทึกกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและอุณหภูมิของอุปกรณ์อ้างอิงที่อุณหภูมิต้องการ ถ้าจำเป็นให้วัดทันทีที่เอาบังแสงออก
- ฉ) กำหนดความเข้มรังสีอาทิตย์ G_0 ตาม IEC 60891 จากการวัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) ของอุปกรณ์อ้างอิงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ และปรับเทียบค่าที่ STC (I_{rc}) ควรใช้การปรับแก้โดยให้พิจารณาจากอุณหภูมิของอุปกรณ์อ้างอิง T_m โดยใช้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่กำหนดของอุปกรณ์อ้างอิง α_{rc}

$$G_0 = \frac{1000 \text{ Wm}^{-2} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times \left[1 - \alpha_{rc} (T_m - 25^\circ \text{C}) \right]$$

โดยที่ α_{rc} เป็นสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสัมพัทธ์ [$1/^\circ\text{C}$] ที่ 25 องศาเซลเซียส และ 1 000 วัตต์ต่อตารางเมตร

- ช) ปรับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบโดยใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ หรือเลือกใช้วิธีตากแดดและบังแสงสลับกันไป เพื่อให้ได้และรักษาอุณหภูมิตามที่ต้องการ หรือเลือกใช้วิธีปล่อยให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยธรรมชาติโดยใช้ขั้นตอนการบันทึกข้อมูลในข้อ ง) และให้บันทึกข้อมูลเป็นระยะๆ ในระหว่างที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น
- ซ) ต้องแน่ใจว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงคงตัวและคงที่ที่อยู่ใน ± 1 องศาเซลเซียส และความเข้มรังสีอาทิตย์ที่วัดจากอุปกรณ์อ้างอิงคงที่อยู่ใน \pm ร้อยละ 1 ระหว่างช่วงเวลานับข้อมูลในแต่ละชุด ข้อมูลทั้งหมดต้องบันทึกที่ 1 000 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือแปลงข้อมูลไปที่ระดับความเข้มรังสีอาทิตย์ 1 000 วัตต์ต่อตารางเมตร
- ฌ) ทดสอบซ้ำในขั้นตอนของข้อ ง) ถึงข้อ ซ) อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบต้องอยู่ในช่วงที่สนใจไม่น้อยกว่า 30 องศาเซลเซียส โดยมีส่วนเพิ่ม (increment) อย่างน้อย 4 ค่าที่เท่ากันโดยประมาณ ต้องทำการวัดอย่างน้อย 3 ครั้ง ในแต่ละภาวะการทดสอบ

10.4.3.2 ขั้นตอนการทดสอบด้วยแสงอาทิตย์เทียม

- ก) หากกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ตามต้องการที่อุณหภูมิห้อง ตาม IEC 60904-1

- ข) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบเข้ากับเครื่องวัดที่ใช้เปลี่ยนอุณหภูมิ ติดตั้งอุปกรณ์อ้างอิงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ให้อยู่ในลำแสง เชื่อมต่อกับเครื่องมือวัด
- ค) ปรับตั้งความเข้มรังสีจนกระทั่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบจ่ายกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเท่ากับค่าที่ได้มาจากข้อ ก) ใช้อุปกรณ์อ้างอิงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อรักษาการปรับตั้งค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ได้ตลอดการทดสอบ
- ง) เพิ่มหรือลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ ทันทีก่อนที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในอุณหภูมิที่ต้องการให้วัดค่า I_{sc} V_{oc} และกำลังไฟฟ้าค่ายอดเปลี่ยนอุณหภูมิ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบชั้นบนได้ขึ้นละประมาณ 5 องศาเซลเซียส ในช่วงที่ต้องการไม่น้อยกว่า 30 องศาเซลเซียส วัดค่า I_{sc} V_{oc} และกำลังไฟฟ้าค่ายอดซ้ำ

หมายเหตุ ลักษณะแรงดัน-กระแสไฟฟ้าที่สมบูรณ์ อาจวัดที่แต่ละอุณหภูมิเพื่อหาการเปลี่ยนต่ออุณหภูมิของแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าค่ายอด

10.4.3.3 การคำนวณสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ

- ก) เขียนจุดค่า I_{sc} V_{oc} และ P_{max} ในรูปสมการของอุณหภูมิและสร้างเส้นด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดพอเหมาะ (least-squares-fit curve) ในข้อมูลแต่ละชุด
- ข) จากความลาดเอียงของเส้นตรงกำลังสองน้อยสุดพอเหมาะ หาเส้นตรงสำหรับกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้า และ P_{max} กำหนด α คือสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร, β คือสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงไฟฟ้าวงจรเปิด และ δ คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกำลังไฟฟ้าค่ายอด ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หมายเหตุ 1 ดู IEC 60904-10 เพื่อหาค่าในกรณีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบพิจารณาว่าเป็นอุปกรณ์เชิงเส้น

หมายเหตุ 2 สัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่วัดได้จากขั้นตอนการทดสอบนี้ มีผลใช้ได้ที่ระดับความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ใช้วัดเท่านั้น สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสัมพัทธ์แสดงเป็นร้อยละสามารถหาได้โดยหารค่า α , β และ δ ด้วยค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าค่ายอดที่ 25 องศาเซลเซียส

หมายเหตุ 3 เนื่องจากฟิลล์แฟกเตอร์ (fill factor) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ จึงไม่สามารถใช้ผลคูณของค่า α และ β เป็นสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกำลังไฟฟ้าค่ายอด

10.5 การวัด NOCT

10.5.1 จุดประสงค์

เพื่อหา NOCT ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

10.5.2 บทนำ

NOCT หมายถึง อุณหภูมิรอยต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นค่าเฉลี่ยสมดุลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนโครงยึดแบบเปิดโล่ง (open-rack) และอยู่ในสภาพแวดล้อมมาตรฐาน (Standard Reference Environment, SRE) ดังต่อไปนี้

- มุมเอียง 45 องศาจากแนวราบ
- ความเข้มรังสีอาทิตย์รวม 800 วัตต์ต่อตารางเมตร
- อุณหภูมิโดยรอบ 20 องศาเซลเซียส
- ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที
- โหลดทางไฟฟ้า ไม่มี (วงจรเปิด)

NOCT สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับผู้ออกแบบระบบถึงอุณหภูมิในสถานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกใช้งานในสนาม และเป็นพารามิเตอร์ที่มีประโยชน์ที่ใช้เปรียบเทียบสมรรถนะของการออกแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแบบ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่แท้จริงที่เวลาเฉพาะใด ๆ ขึ้นอยู่กับโครงสร้างการติดตั้ง ความเข้มรังสีอาทิตย์ ความเร็วลม อุณหภูมิโดยรอบ อุณหภูมิท่อไฟฟ้า การสะท้อนและการแผ่รังสีจากพื้นดินและจากวัตถุที่อยู่ใกล้เคียง เพื่อให้การคาดคะเนสมรรถนะได้ถูกต้อง ควรคำนึงถึงผลของปัจจัยเหล่านี้ด้วย

วิธีที่ใช้หา NOCT มี 2 วิธีดังนี้

วิธีแรก เรียกว่า “วิธีปฐมภูมิ” สามารถใช้ได้ทั่วไปกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทุกชนิด ในกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้ออกแบบสำหรับโครงยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเปิดโล่ง วิธีปฐมภูมิอาจใช้หาอุณหภูมิรอยต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นค่าเฉลี่ยสมดุลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน SRE และในสภาพการติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ทำ

วิธีที่สอง เรียกว่า “วิธีแผ่นอ้างอิง” เป็นวิธีที่เร็วแต่ใช้ได้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่สนองต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบเท่านั้น (ภายใต้ขอบเขตที่จำกัดของความเร็วมและค่าความเข้มรังสีอาทิตย์) ในวิธีเดียวกันกับแผ่นอ้างอิงที่ใช้วัด แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกซิลิคอนที่ด้านหน้าเป็นกระจกและด้านหลังเป็นพลาสติก จัดอยู่ในประเภทนี้ การสอบเทียบแผ่นอ้างอิง ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนการทดสอบของวิธีปฐมภูมิ

10.5.3 วิธีปฐมภูมิ

10.5.3.1 หลักการ

วิธีนี้อยู่บนพื้นฐานของการเก็บข้อมูลในการวัดอุณหภูมิของเซลล์ภายใต้เงื่อนไขของภาวะแวดล้อม รวมถึง SRE ข้อมูลนี้มีความแม่นยำและความทนซ้ำได้ การประมาณค่าในช่วงของ NOCT ได้

อุณหภูมิรอยต่อของเซลล์ (T_j) เป็นสมการของอุณหภูมิโดยรอบ (T_{amb}) ความเร็วลมเฉลี่ย (V) และความเข้มรังสีอาทิตย์รวม (G) เกิดบนผิวรับรังสีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ความแตกต่างของอุณหภูมิ ($T_j - T_{amb}$) ไม่ขึ้นตรงกับอุณหภูมิโดยรอบ และมีสัดส่วนเป็นเชิงเส้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ระดับสูงกว่า 400 วัตต์ต่อตารางเมตร เขียนจุดแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $T_j - T_{amb}$ กับค่า G ในช่วงเวลาที่ความเร็วลมที่ต้องการ ค่า NOCT เบื้องต้นพิจารณาโดยการเพิ่มอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส สำหรับค่า $T_j - T_{amb}$ และประมาณค่าในช่วงไปที่ความเข้มของรังสีอาทิตย์ SRE ที่ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร ในที่สุดตัวประกอบปรับแก้ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเฉลี่ยและความเร็วลมเฉลี่ยในระหว่างการทดสอบจะถูกบวกเพิ่มเข้ากับ ค่า NOCT เบื้องต้น เพื่อปรับแก้ไปยังภาวะอุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที

10.5.3.2 เครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบที่ต้องการมีดังนี้

- ก) โครงยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเปิดโล่งสำหรับจับยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ และไพรานอมิเตอร์ (ดูข้อ 10.5.3.3) โครงยึดนี้ถูกออกแบบให้มีการนำความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้น้อยที่สุด และให้มีการรบกวนจากการแผ่รังสีความร้อนจากด้านหน้าและหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

หมายเหตุ ในกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับติดตั้งบน โครงยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเปิดโล่ง การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามคำแนะนำของผู้ทำ

- ข) ไพรานอมิเตอร์ ติดตั้งบนระนาบเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอยู่ภายในระยะ 0.3 เมตร จากชุดทดสอบ
- ค) เครื่องมือวัดความเร็วลมต้องสามารถวัดได้ต่ำถึง 0.25 เมตรต่อวินาที และเครื่องมือวัดทิศทางของลม ติดตั้งสูงจากส่วนบนสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 0.7 เมตร และวางห่างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1.2 เมตร ไปทางตะวันออกหรือตะวันตก
- ง) ตัวรับรู้อุณหภูมิโดยรอบที่มีค่าคงตัวเวลาเท่ากับหรือน้อยกว่าของตัวรับรู้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยให้ติดตั้งอยู่ในเปลือกหุ้มที่บังแสงที่มีการระบายอากาศดี และติดตั้งใกล้ตัวรับรู้ความเร็วและทิศทางลม

- จ) ตัวรับรู้อุณหภูมิของเซลล์ที่ติดตั้งด้วยสารยึดติดนำความร้อนไว้ที่ด้านหลังเซลล์ 2 เซลล์ที่อยู่ใกล้กึ่งกลางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแผงที่ทดสอบ หรือใช้อุปกรณ์อื่นที่จำเป็นสำหรับการวัดอุณหภูมิเซลล์ตามการรับรองของ IEC
- ฉ) ระบบเก็บข้อมูลที่มีค่าความแม่นยำของการวัดอุณหภูมิ ± 1 องศาเซลเซียส เก็บบันทึกค่าของพารามิเตอร์ดังนี้ ภายในช่วงเวลาไม่มากกว่า 5 วินาที
- ความเข้มรังสีอาทิตย์
 - อุณหภูมิโดยรอบ
 - อุณหภูมิเซลล์
 - ความเร็วลม
 - ทิศทางลม

10.5.3.3 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ

มุมเอียง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบต้องอยู่ในตำแหน่งมุมเอียง 45 ± 5 องศา กับระดับแนวราบ โดยด้านหน้าหันไปทางเส้นศูนย์สูตร

ความสูง ขอบล่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบต้องอยู่สูงจากระดับพื้นดิน 0.6 เมตร หรือมากกว่า ในระดับแนวราบของพื้นดินตามสภาพของพื้นที่

การจัดวางตัวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อจำลองขอบเขตเงาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ แผงเซลล์แสงอาทิตย์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนระนาบเดียวกันกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบต้องยื่นออกไปไม่น้อยกว่า 0.6 เมตรทุกทิศทาง กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกแบบสำหรับติดตั้งได้อิสระและด้านหลังเปิดโล่ง ให้ติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมสีดำหรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์อื่นแบบเดียวกัน เพื่อปิดพื้นที่เปิดอยู่ในระนาบนั้นให้เต็มพื้นที่โดยรอบ ต้องเป็นพื้นที่โล่งไม่มีสิ่งบดบัง เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบได้รับความเข้มรังสีอาทิตย์อย่างเต็มที่ตลอดในช่วงทำการทดสอบ 4 ชั่วโมง ก่อนและหลังเที่ยงสุริยะ (solar noon) พื้นดินรอบ ๆ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องไม่มีการสะท้อนรังสีสูงผิดปกติและต้องเป็นที่ราบหรือมีความลาดเทออกจากแท่นทดสอบโดยรอบทุกทิศทาง ขอบให้มี หญ้า พืชชนิดอื่น ๆ ยางอัลฟา สีสีดำหรือผงดิน ในพื้นที่โดยรอบนั้นได้

10.5.3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

- ก) ติดตั้งเครื่องทดสอบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบตามข้อ 10.5.3.3 และต้องแน่ใจว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบอยู่ในสภาพเปิดวงจร

- ข) ขณะทดสอบ ท้องฟ้าต้องโปร่งใส มีแสงอาทิตย์ มีลมพัดเพียงเล็กน้อย บันทึกข้อมูล อุณหภูมิ เซลล์ อุณหภูมิโดยรอบ ความเข้มรังสีอาทิตย์ ความเร็วลมและทิศทางลม สัมพันธ์กับเวลา
- ค) ตัดข้อมูลที่ได้ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้ทิ้ง
- ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีค่าต่ำกว่า 400 วัตต์ต่อตารางเมตร
 - ในช่วงเวลา 10 นาที หลังจากที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 10 จากค่าสูงสุดถึงค่าต่ำสุดที่บันทึกในคาบเวลา 10 นาที
 - ความเร็วลมที่ออกนอกพิสัย 1 เมตรต่อวินาที ± 0.75 เมตรต่อวินาที
 - อุณหภูมิโดยรอบที่ออกนอกพิสัย 20 องศาเซลเซียส ± 15 องศาเซลเซียส หรือเปลี่ยนแปลงมากกว่า 5 องศาเซลเซียส จากค่าสูงสุดถึงค่าต่ำสุดที่บันทึกระหว่างการรวมข้อมูล 1 ครั้ง
 - ในช่วงเวลา 10 นาที หลังจากลมกระโชก (wind gust) ที่มีความเร็วมากกว่า 4 เมตรต่อวินาที
 - ทิศทางลมอยู่ในช่วง ± 20 องศา ของทิศตะวันออกหรือตะวันตก
- ง) ข้อมูลอย่างน้อย 10 จุดที่ยอมรับได้ที่ครอบคลุมช่วงของความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 300 วัตต์ต่อตารางเมตร ต้องแน่ใจว่าจุดของข้อมูลได้มาจากก่อนและหลังเที่ยงสุริยะ เขียนกราฟ ความสัมพันธ์ของ $(T_j - T_{amb})$ กับความเข้มรังสีอาทิตย์ และใช้การวิเคราะห์ด้วยสมการการถดถอย เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูล
- จ) หาค่าของ $(T_j - T_{amb})$ ที่ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร และบวกเพิ่ม 20 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ NOCT เบื้องต้น
- ฉ) กำหนดค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยรอบ (T_{amb}) และค่าเฉลี่ยของความเร็วลม (V) จากข้อมูลที่ยอมรับได้ และกำหนดตัวประกอบค่าแก้ไขที่เหมาะสมจากรูปที่ 2
- ช) บวกตัวประกอบค่าแก้ไขกับ NOCT เบื้องต้น เพื่อปรับไปสู่ค่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และความเร็วลมที่ 1 เมตรต่อวินาที ผลรวมนี้เป็น NOCT ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ซ) ทำการทดสอบซ้ำทั้งหมดของขั้นตอนการทดสอบ เพิ่มอีก 2 วัน และเฉลี่ย NOCT ทั้ง 3 ค่า สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบแต่ละแผง

10.5.4 วิธีแผ่นอ้างอิง (reference-plate method)

10.5.4.1 หลักการ

วิธีนี้มีพื้นฐานบนหลักการของการเปรียบเทียบอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบกับแผ่นอ้างอิงมาตรฐานในภาวะที่เหมือนกันของความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิโดยรอบ และความเร็วลม อุณหภูมิคงตัวของแผ่นอ้างอิงในสภาพ SRE หาได้โดยใช้วิธีปฐมภูมิในข้อ 10.5.3

NOCT ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบได้มาโดยปรับแก้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบกับแผ่นอ้างอิงไปยังสภาพ SRE และบวกค่านี้กับอุณหภูมิคงตัวเฉลี่ยของแผ่นอ้างอิงในสภาพ SRE เป็นที่ยอมรับกันว่าความแตกต่างของอุณหภูมิที่วัดไม่ไวต่อการแปรผันของความเข้มรังสีอาทิตย์ และการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยของอุณหภูมิโดยรอบและความเร็วลม

10.5.4.2 แผ่นอ้างอิง

แผ่นอ้างอิงต้องทำด้วยอะลูมิเนียมแข็งที่มีมิติตามรูปที่ 3 พื้นผิวด้านหน้าต้องทาสีดำด้าน และพื้นผิวด้านหลังทาสีขาวมัน วิธีทดสอบต้องเตรียมการวัดอุณหภูมิของแผ่นอ้างอิงให้มีความถูกต้องตามที่กำหนด วิธีหนึ่งที่ใช้เทอร์มอคัปเปิล 2 อัน ดังแสดงในรูปที่ 3 เทอร์มอคัปเปิลอันแรกให้ปกคลุมออกเป็นระยะทาง 25 มิลลิเมตรจากรอยต่อ แล้วนำไปยึดติดในแขนงของร่องเซาะ (milled groove) ด้วยสารยึดติดที่นำความร้อนและเป็นฉนวนไฟฟ้า เทอร์มอคัปเปิลอันที่สองยึดติดในร่องด้วยสารยึดติดนำความร้อน

ต้องทำแผ่นอ้างอิงและสอบเทียบอย่างน้อย 3 แผ่น ตามวิธีปฐมภูมิตามข้อ 10.5.3 อุณหภูมิคงตัวที่ใช้ต้องอยู่ในพิสัย 46 องศาเซลเซียส ถึง 50 องศาเซลเซียส และต้องมีค่าความแตกต่างไม่มากกว่า 1 องศาเซลเซียส ต้องเก็บแผ่นอ้างอิงไว้ 1 แผ่น เพื่อใช้ควบคุม ก่อนวัด NOCT อุณหภูมิคงตัวของแผ่นอ้างอิงต้องตรวจสอบกับแผ่นควบคุมในภาวะที่ยอมรับได้ตามข้อ ค) ของข้อ 10.5.3.4 เพื่อตรวจหาการเปลี่ยนแปลงใดๆ ของคุณสมบัติทางความร้อน ถ้าอุณหภูมิที่วัดของแผ่นอ้างอิงแตกต่างมากกว่า 1 องศาเซลเซียส ต้องหาและแก้ไขข้อผิดพลาด ก่อนดำเนินการทดสอบ

10.5.4.3 สถานที่ทดสอบ

เลือกสถานที่ทดสอบเป็นพื้นราบที่ไม่มีการรบกวนของลมเนื่องจากอาคาร ต้นไม้ และลักษณะของภูมิประเทศ ต้องหลีกเลี่ยงการสะท้อนที่ไม่สม่ำเสมอจากพื้นดินและวัตถุที่อยู่หลังระนาบทดสอบ

10.5.4.4 เครื่องทดสอบ

เครื่องทดสอบที่ต้องการมีดังนี้ (ดูรูปที่ 4)

- ก) จำนวนของแผ่นอ้างอิงตามข้อ 10.5.4.2 (มากกว่าจำนวนแผงที่ทดสอบพร้อมกัน 1 แผ่น)
- ข) ไพรานอมิเตอร์ หรืออุปกรณ์อ้างอิงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์

- ค) โครงยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเปิดโล่งสำหรับจับยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ แผ่นอ้างอิง และไพรานอมิเตอร์ เอียง 45 องศา \pm 5 องศาที่ระดับแนวราบ โดยให้ด้านหน้าหันไปทางเส้นศูนย์สูตร แต่ละแผงต้องวางระหว่างกลางแผ่นอ้างอิง 2 แผ่น โดยวางให้ชิดกัน ขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์วางเหนือพื้นดินประมาณ 1 เมตร โครงยึดนี้ต้องถูกออกแบบให้มีนำความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแผ่นอ้างอิงได้น้อยที่สุด และมีการรบกวนจากการแผ่รังสีความร้อนจากด้านหน้าและหลังน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้
- ง) เครื่องมือวัดความเร็วลมต้องสามารถวัดได้ต่ำถึง 0.25 เมตรต่อวินาที และเครื่องมือวัดทิศทางของลม ติดตั้งสูงจากส่วนบนสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 0.7 เมตร และห่างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1.2 เมตร ไปทางตะวันออกหรือตะวันตก ตามรูปที่ 4
- จ) ตัวรับรู้อุณหภูมิโดยรอบที่มีค่าคงตัวเวลาเท่ากับหรือน้อยกว่าของตัวรับรู้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยให้ติดตั้งอยู่ในเปลือกหุ้มที่บังแสงที่มีการระบายอากาศดี และติดตั้งใกล้ตัวรับรู้ความเร็วและทิศทางลม
- ฉ) ตัวรับรู้อุณหภูมิของเซลล์ที่ติดด้วยสารยึดติดนำความร้อนไว้ที่ด้านหลังเซลล์ 2 เซลล์ที่อยู่ใกล้กึ่งกลางแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงทดสอบ หรือใช้อุปกรณ์อื่นที่จำเป็นสำหรับการวัดอุณหภูมิเซลล์ตามการรับรองของ IEC
- ช) ระบบเก็บข้อมูลที่มีค่าความแม่นยำของการวัดอุณหภูมิ \pm 1 องศาเซลเซียส เก็บบันทึกค่าของพารามิเตอร์ดังนี้ ภายในช่วงเวลาไม่มากกว่า 5 วินาที
- ความเข้มรังสีอาทิตย์
 - อุณหภูมิโดยรอบ
 - อุณหภูมิเซลล์
 - ความเร็วลม
 - ทิศทางลม
 - อุณหภูมิของแผ่นอ้างอิง

10.5.4.5 ขั้นตอนการทดสอบ

- ก) ติดตั้งเครื่องทดสอบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและแผ่นอ้างอิง ดังรูปที่ 4 ต้องแน่ใจว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบอยู่ในสภาพเปิดดวงจร

- ข) ขณะทดสอบห้องฟ้าต้องโปร่งใส มีแสงอาทิตย์มีลมพัดเพียงเล็กน้อย บันทึกข้อมูลอุณหภูมิ เซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ อุณหภูมิของแผ่นอ้างอิง ความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิโดยรอบ ความเร็วลมและทิศทางลมสัมพันธ์กับเวลา
- ค) ตัดข้อมูลที่ได้ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้ถึง รวมถึงข้อมูลหลังจากนั้น 15 นาที
- ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีค่าต่ำกว่า 750 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือสูงกว่า 850 วัตต์ต่อ ตารางเมตร
 - ความเข้มรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงมากกว่า ± 40 วัตต์ต่อตารางเมตร ระหว่างการเก็บ ข้อมูลหนึ่งครั้ง
 - ความเร็วลมมากกว่า 2 เมตรต่อวินาที อย่างต่อเนื่องมากกว่า 30 วินาที
 - ความเร็วลมต่ำกว่า 0.5 เมตรต่อวินาที
 - ทิศทางของลมอยู่ในช่วง ± 20 องศาตะวันออกหรือตะวันตก
 - ความแตกต่างอุณหภูมิของแผ่นอ้างอิงมากกว่า 1 องศาเซลเซียส
- ง) สำหรับจุดข้อมูลแต่ละจุดในคาบเวลาที่เลือก บันทึกอุณหภูมิเฉลี่ย T_p ของแผ่นอ้างอิงทุกแผ่น
- จ) สำหรับจุดข้อมูลแต่ละจุดในคาบเวลาที่เลือก และสำหรับแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ
- 1) บันทึกค่าอุณหภูมิของเซลล์เฉลี่ย T_j และคำนวณดังนี้

$$\Delta T_{jp} = T_j - T_p$$

ถ้า ΔT_{jp} เปลี่ยนแปลงมากกว่า 4 องศาเซลเซียส วิธีแผ่นอ้างอิงไม่สามารถนำมาใช้ได้ ต้องใช้วิธีปฐมภูมิตามข้อ 10.5.3

- 2) เฉลี่ยค่า ΔT_{jp} ทั้งหมด เพื่อได้ค่า ΔT_{jpm}
- 3) ปรับแก้ค่า ΔT_{jp} เพื่อเป็นสภาพ SRE ดังนี้

$$\Delta T_{jpm}(\text{ปรับแก้ค่าแล้ว}) = (f/\zeta R) \cdot \Delta T_{jpm}(\text{ยังไม่ได้ปรับแก้ค่า})$$

โดยที่

f หมายถึง ตัวประกอบปรับแก้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ คือ 800 หารด้วยความเข้ม รังสีอาทิตย์เฉลี่ยในคาบเวลาที่เลือก

ζ หมายถึง ตัวประกอบปรับแก้ค่าอุณหภูมิโดยรอบ ที่ได้มาจากอุณหภูมิโดยรอบเฉลี่ย (T_{amb}) ในคาบเวลาที่เลือกตามตารางดังนี้ (การประมาณค่าในช่วงเชิงเส้นสำหรับค่า ζ สามารถยอมรับได้)

T_{amb} (°C)	ζ
0	1.09
10	1.05
20	1.00
30	0.96
40	0.92
50	0.87

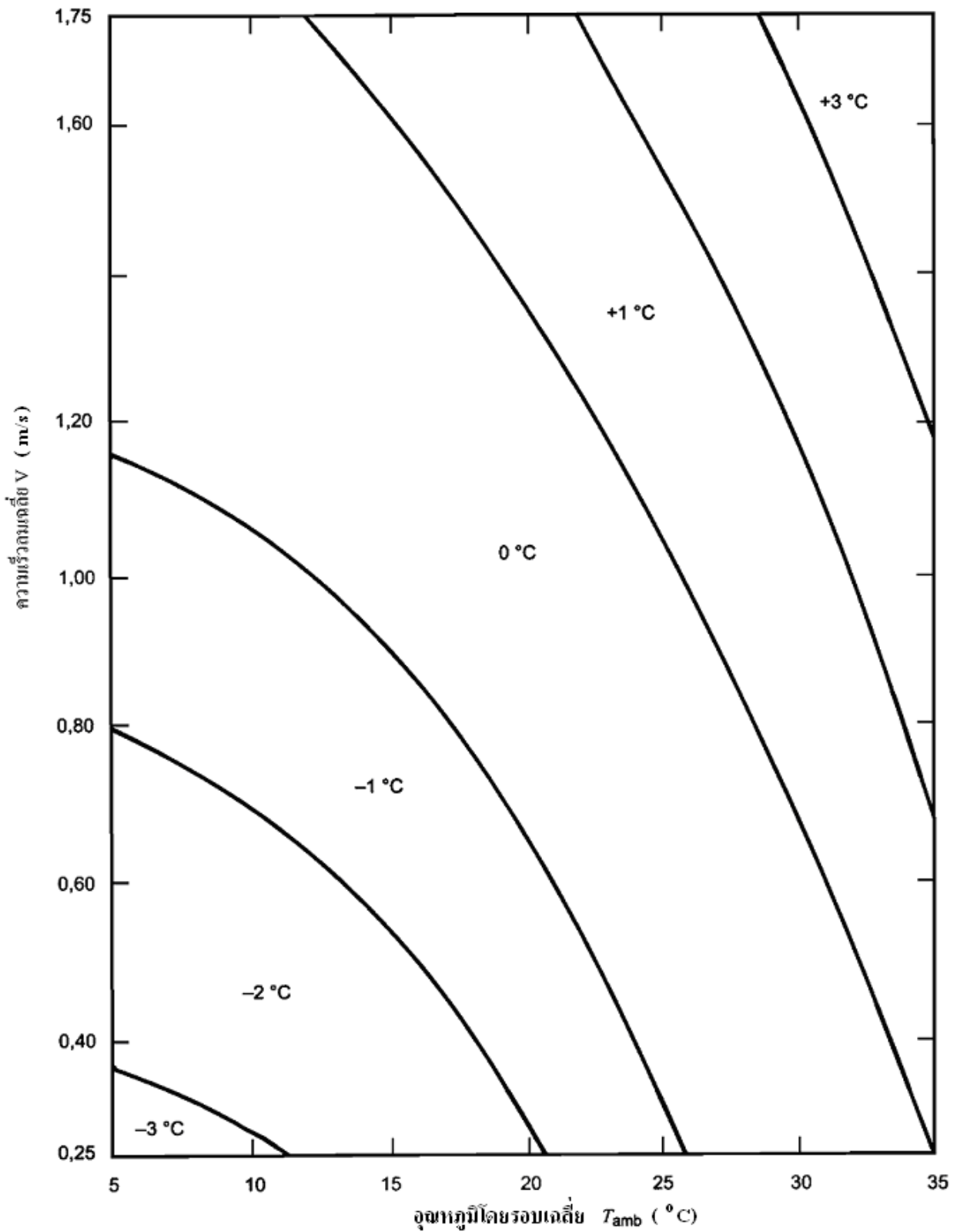
R หมายถึง ตัวประกอบปรับแก้ค่าความเร็วของลม ที่ได้มาจากความเร็วลมเฉลี่ยในคาบเวลาที่เลือก ดังกราฟแสดงในรูปที่ 5

4) จำนวน NOCT ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบดังนี้

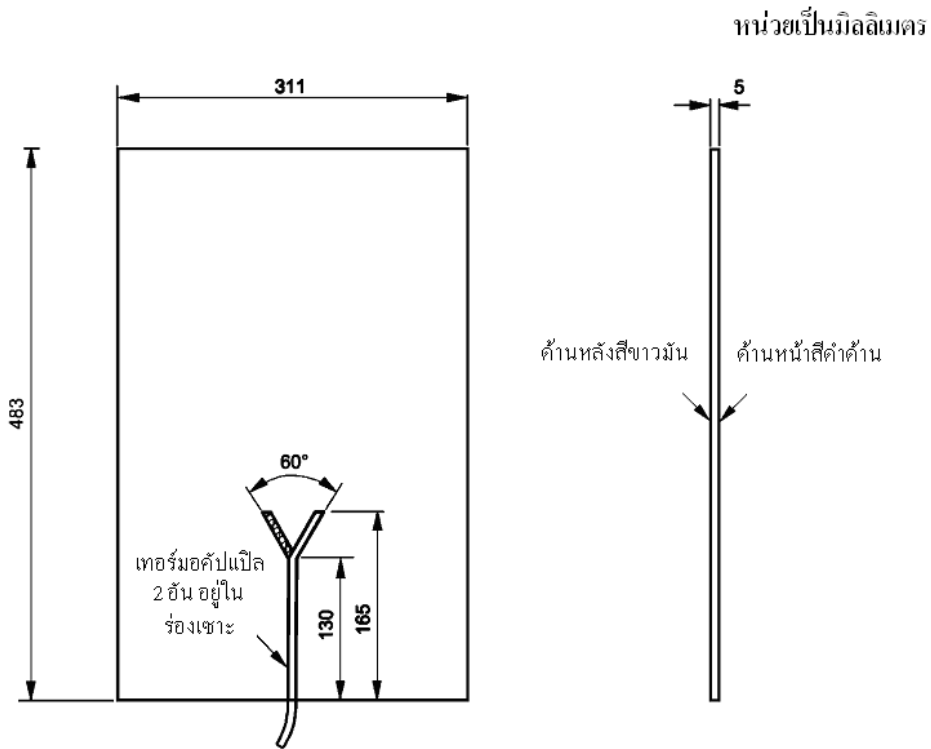
$$NOCT = T_{PR} + \Delta T_{JPM} \text{ (ปรับแก้ค่าแล้ว)}$$

โดยที่ T_{PR} คือ อุณหภูมิคงตัวเฉลี่ยของแผ่นอ้างอิงในสภาพ SRE

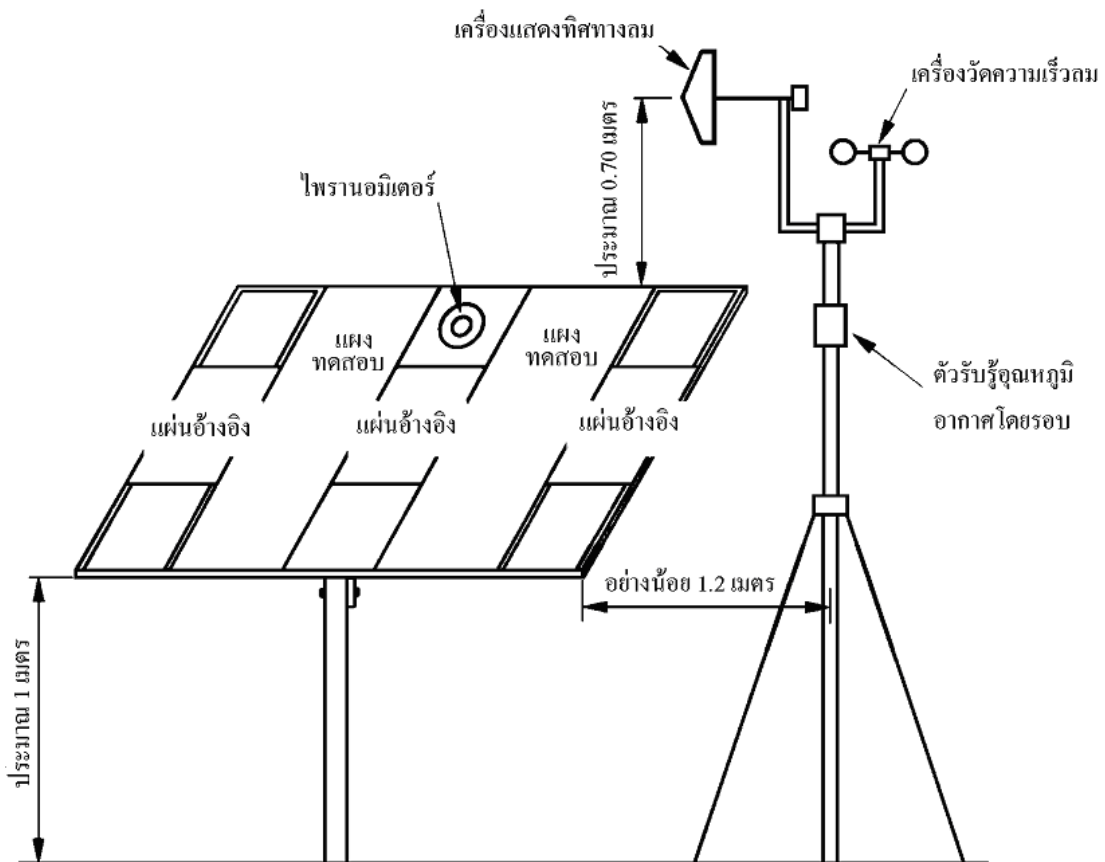
ฉ) ทำการทดสอบซ้ำทั้งหมดของขั้นตอนการทดสอบ เพิ่มอีก 2 วัน และเฉลี่ยค่า NOCT ทั้ง 3 ค่าสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบแต่ละแผง



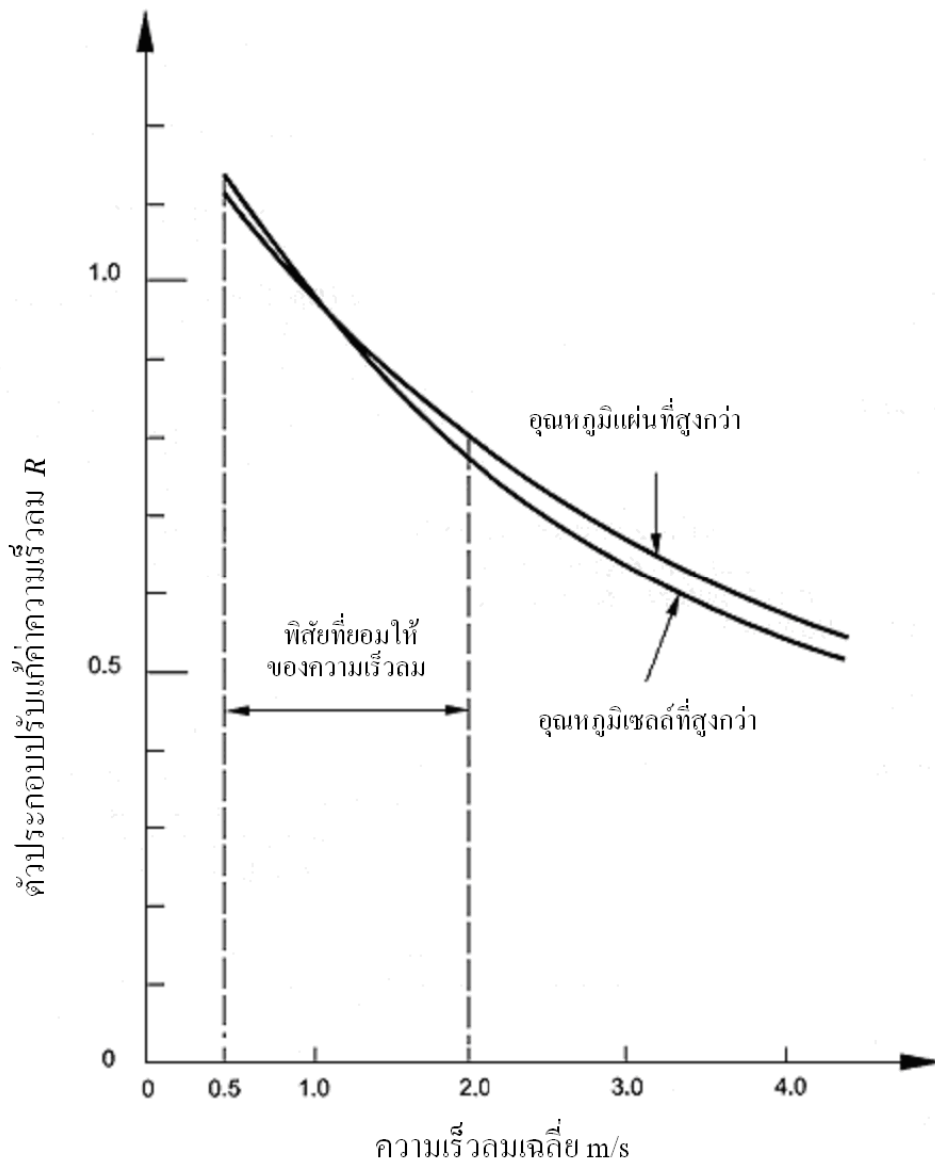
รูปที่ 2 ตัวประกอบปรับแก้ NOCT



รูปที่ 3 แผ่นอ้างอิง



รูปที่ 4 การวัด NOCT โดยวิธีแผ่นอ้างอิง



รูปที่ 5 ตัวประกอบปรับแก้ค่าความเร็วลม

10.6 สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC และที่ NOCT

10.6.1 จุดประสงค์

เพื่อหาสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แปรผันด้วยโหลดที่ STC (1 000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิของเซลล์ 25 องศาเซลเซียส และการกระจายความเข้มของรังสีเชิงสเปกตรัมอ้างอิง ตาม IEC 60904-3) และ ที่ NOCT ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร และการกระจายความเข้มของรังสีเชิงสเปกตรัมอ้างอิง ตาม IEC 60904-3

10.6.2 เครื่องทดสอบ

- ก) แหล่งกำเนิดแสง (แสงอาทิตย์ธรรมชาติ หรือแสงอาทิตย์เทียมระดับ B หรือดีกว่า) ตาม IEC 60904-9
- ข) อุปกรณ์อ้างอิงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ตาม IEC 60904-2 หรือ IEC 60904-6 ถ้าใช้แสงอาทิตย์เทียมระดับ B อุปกรณ์อ้างอิงที่ใช้ต้องเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดเท่ากัน และเป็นเทคโนโลยีเซลล์ชนิดเดียวกันเพื่อให้การตอบสนองเชิงสเปกตรัมสอดคล้องกัน
- ค) อุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสมเพื่อรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงให้อยู่ในระดับตั้งฉากกับลำแสง
- ง) อุปกรณ์แสดงผลการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำ ± 1 องศาเซลเซียส และมีความทนซ้ำได้ ± 0.5 องศาเซลเซียส
- จ) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำ ร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้
- ฉ) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำ ร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้
- ช) เครื่องทดสอบที่จำเป็นเพื่อใช้เปลี่ยนอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบตามอุณหภูมิที่ NOCT ที่วัดตามข้อ 10.5

10.6.3 ขั้นตอนการทดสอบ

10.6.3.1 สมรรถนะที่ STC

คงอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส และเขียนกราฟลักษณะของกระแส-แรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1 000 วัตต์ต่อตารางเมตร (วัดด้วยอุปกรณ์อ้างอิงที่เหมาะสม) ตามมาตรฐาน IEC 60904-1 โดยใช้แสงอาทิตย์ธรรมชาติ หรือแสงอาทิตย์เทียมระดับ B หรือดีกว่า ตามข้อกำหนด IEC 60904-9

10.6.3.2 สมรรถนะที่ NOCT

เพิ่มอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์อย่างสม่ำเสมอจนถึงค่า NOCT และเขียนกราฟลักษณะของกระแส-แรงดันไฟฟ้าที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร (วัดด้วยอุปกรณ์อ้างอิงที่เหมาะสม) ตามมาตรฐาน IEC 60904-1 โดยใช้แสงอาทิตย์ธรรมชาติ หรือแสงอาทิตย์เทียมระดับ B หรือดีกว่า ตามข้อกำหนด IEC 60904-9

ถ้าอุปกรณ์อ้างอิงมีการตอบสนองเชิงสเปกตรัมไม่สอดคล้องกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ ให้คำนวณหาตัวประกอบปรับแก้ความไม่สอดคล้องเชิงสเปกตรัม (spectral mismatch correction) โดยใช้ IEC 60904-7

10.7 สมรรถนะที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ

10.7.1 จุดประสงค์

เพื่อหาสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แปรผันด้วยโหลดที่อุณหภูมิของเซลล์ 25 องศาเซลเซียส และความเข้มรังสีอาทิตย์ 200 วัตต์ต่อตารางเมตร (วัดด้วยอุปกรณ์อ้างอิงที่เหมาะสม) ตามมาตรฐาน IEC 60904-1 โดยใช้แสงอาทิตย์ธรรมชาติ หรือแสงอาทิตย์เทียมระดับ B หรือดีกว่า ตามข้อกำหนด IEC 60904-9

10.7.2 เครื่องทดสอบ

- ก) แหล่งกำเนิดแสง (แสงอาทิตย์ธรรมชาติ หรือแสงอาทิตย์เทียมระดับ B หรือดีกว่า) ตาม IEC 60904-9
- ข) อุปกรณ์ที่จำเป็นเพื่อปรับความเข้มรังสีอาทิตย์เป็น 200 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยไม่มีผลต่อการกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์เชิงสเปกตรัมสัมพัทธ์ และไม่มีผลต่อความสม่ำเสมอเชิงพื้นที่ (spatial uniformity) ตาม IEC 60904-10
- ค) อุปกรณ์อ้างอิงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ตาม IEC 60904-2 หรือ IEC 60904-6
- ง) อุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสมเพื่อรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงให้อยู่ในระดับตั้งฉากกับลำแสง
- จ) อุปกรณ์แสดงผลการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำ ± 1 องศาเซลเซียส และมีความทนซ้ำได้ ± 0.5 องศาเซลเซียส
- ฉ) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำ ร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้
- ช) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่นยำ ร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้

10.7.3 ขั้นตอนการทดสอบ

หาลักษณะกระแส-แรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิแผง 25 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียสและความเข้มรังสีอาทิตย์ 200 วัตต์ต่อตารางเมตร (วัดด้วยอุปกรณ์อ้างอิงที่เหมาะสม) ตาม IEC 60904-1 ใช้แสงอาทิตย์ธรรมชาติ หรือแสงอาทิตย์เทียมระดับ B หรือดีกว่า ตาม IEC 60904-9 ต้อง

ลดความเข้มรังสีอาทิตย์ให้อยู่ในระดับที่กำหนด โดยใช้แผ่นกรองแสงแบบเป็นกลาง(neutral filter) หรือเทคนิคอื่นซึ่งไม่มีผลต่อการกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์เชิงสเปกตรัม(ดู IEC 60904-10 สำหรับข้อเสนอแนะการลดความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ไม่เปลี่ยนการกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์เชิงสเปกตรัม)

10.8 การทดสอบสภาพรับแสงกลางแจ้ง

10.8.1 จุดประสงค์

เพื่อประเมินเบื้องต้นถึงความสามารถของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการทนต่อภาวะรับแสงกลางแจ้ง และแสดงให้เห็นการเสื่อมสภาพใด ๆ ซึ่งอาจจะตรวจไม่พบในห้องทดสอบ

หมายเหตุ ควรระวัง ในการตัดสินใจเกี่ยวกับอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นฐานของการผ่านการทดสอบนี้ เพราะว่าเป็นการทดสอบในช่วงสั้นและมีการเปลี่ยนแปลงภาวะแวดล้อมในขณะที่ทดสอบ ผลการทดสอบนี้ควรใช้เป็นเพียงแนวทางหรือตัวบ่งชี้ถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้

10.8.2 เครื่องทดสอบ

- ก) อุปกรณ์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์ ที่มีค่าความไม่แน่นอนน้อยกว่า \pm ร้อยละ 5
- ข) วิธีจับยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามคำแนะนำของผู้ทำ โดยต้องวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระนาบเดียวกับอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์
- ค) เลือกใช้โหลดที่มีขนาดใกล้เคียงกับการทำงานที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ STC

10.8.3 ขั้นตอนการทดสอบ

- ก) ต่อเชื่อมโหลดความต้านทานเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และติดตั้งไว้กลางแจ้งตามคำแนะนำของผู้ทำ และวางในระนาบเดียวกับเครื่องเฝ้าสังเกตพลังงานรังสีอาทิตย์ (irradiation monitor) ก่อนทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันการเกิดจุดร้อน (hot-spot) ตามคำแนะนำของผู้ทำ
- ข) ให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับพลังงานรังสีอาทิตย์รวม 60 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ซึ่งวัดโดยเครื่องเฝ้าสังเกต และต้องแน่ใจว่าอยู่ในภาวะภูมิอากาศเปิดโล่งทั่วไป ตาม IEC 60721-2-1

10.8.4 การวัดขั้นสุดท้าย

ทำการทดสอบซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 10.1 ข้อ 10.2 และ ข้อ 10.3

10.8.5 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่มองเห็นได้ ตามที่ระบุในข้อ 7.

- การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากก่อนการทดสอบ
- ความต้านทานฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดเริ่มต้น

10.9 การทดสอบความทนทานต่อการเกิดจุดร้อน

10.9.1 จุดประสงค์

เพื่อหาว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทนต่อผลของความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากจุดร้อน ตัวอย่างเช่น การหลอมละลายของการบัดกรี หรือการเสื่อมสภาพของวัสดุห่อหุ้ม ซึ่งอาจมีสาเหตุจากการแตกของเซลล์หรือการเลือกเซลล์ไม่สอดคล้องกัน (mismatch) การเชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างเซลล์ไม่ดี การถูกบังแสงบางส่วนหรือสิ่งสกปรกบังบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์บางส่วน

10.9.2 ผลกระทบจากจุดร้อน

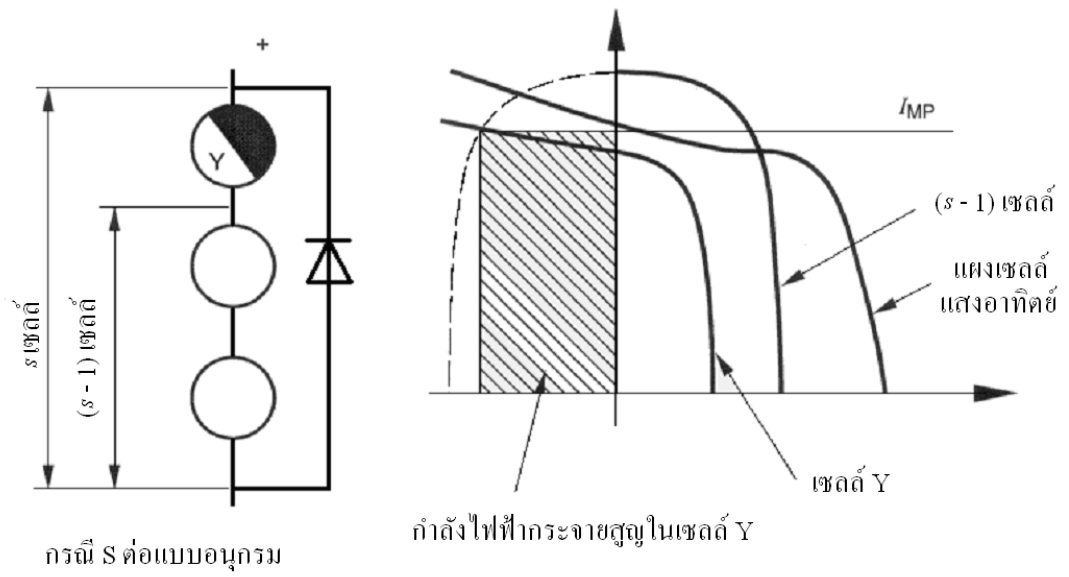
ความร้อนจากจุดร้อนเกิดขึ้นในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อกระแสไฟฟ้าใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีค่ามากกว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ลดลงของเซลล์หรือกลุ่มเซลล์ที่ถูกบังแสงหรือที่เสียหายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ซึ่งเป็นผลให้เซลล์หรือกลุ่มเซลล์นั้นอยู่ในภาวะไบแอสย้อนกลับ และกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเป็นเหตุให้เกิดความร้อนสูงขึ้น

รูปที่ 6 แสดงถึงผลของจุดร้อนที่เกิดขึ้นในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของเซลล์ที่ต่ออนุกรมกัน หนึ่งในนั้นมีเซลล์ Y ที่ถูกบังบางส่วน ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในเซลล์ Y มีค่าเท่ากับผลคูณของกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับที่ตกคร่อมเซลล์ Y ที่ระดับของความเข้มรังสีอาทิตย์ต่าง ๆ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ลดลงในภาวะกระแสไฟฟ้าลัดวงจร เมื่อแรงดันไฟฟ้าย้อนกลับตกคร่อมเซลล์ Y เท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตจากเซลล์ที่เหลือของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (s-1) จากรูปที่ 6 สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่แรเงาจะให้เส้นตัดของลักษณะ I-V ด้านกลับของ Y กับภาพของลักษณะ I-V ปกติของเซลล์ (s-1)

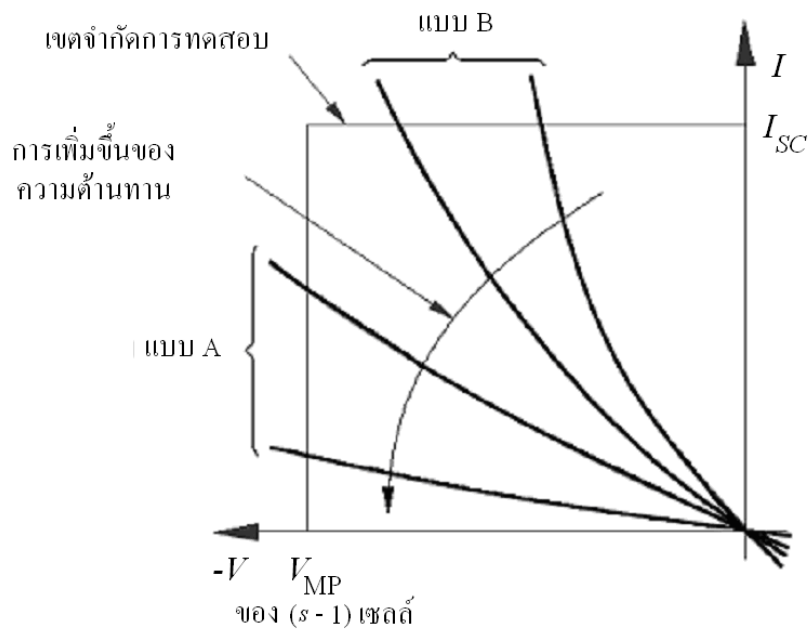
เนื่องจากลักษณะด้านกลับ (reverse characteristic) ของแต่ละเซลล์ สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างมาก จึงจำเป็นต้องจำแนกประเภทของเซลล์เป็นแบบจำกัดแรงดันไฟฟ้า (แบบ A) หรือแบบจำกัดกระแสไฟฟ้า (แบบ B) ขึ้นอยู่กับเส้นลักษณะด้านกลับที่ตัดกับ “เขตจำกัดการทดสอบ (Test limit zone)” ดังแสดงในรูปที่ 7

รูปที่ 6 ใช้ได้กับเซลล์แบบ A ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การสูญเสียสูงสุดของเซลล์แบบ A ที่มีความมืดพร่องหรือถูกบังแสง จะเกิดขึ้นเมื่อลักษณะด้านกลับของเซลล์ตัดรูปเสมือนของเส้น (s-1) ที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

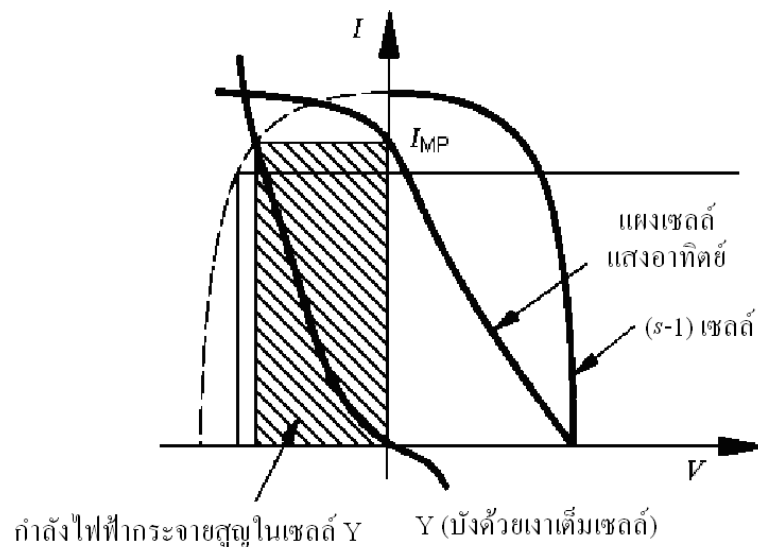
ในทางตรงข้าม รูปที่ 8 แสดงการสูญเสียสูงสุดที่เกิดขึ้นกับเซลล์แบบ B ที่ถูกบังแสงเต็มเซลล์ แต่สังเกตว่า ในกรณีนี้กำลังไฟฟ้าสูญเสียอาจเป็นเพียงบางส่วนของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 6 ผลจากจุดร้อนในเซลล์แบบ A



รูปที่ 7 ลักษณะด้านกลับ



รูปที่ 8 ผลจากจุดร้อนในเซลล์แบบ B

10.9.3 การแบ่งประเภทการต่อเซลล์

เซลล์แสงอาทิตย์ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อาจมีวิธีการต่อได้ดังนี้

- กรณี S การต่ออนุกรมของเซลล์จำนวน s เซลล์เป็น 1 สาย (string)
- กรณี SP การต่ออนุกรม-ขนาน เช่น การต่อขนานของจำนวน p สายและแต่ละสายประกอบด้วยจำนวน s เซลล์ต่ออนุกรมกัน ดังรูปที่ 9
- กรณี SPS การต่ออนุกรม-ขนาน-อนุกรม เช่น การต่ออนุกรมกันของกลุ่ม (block) จำนวน b กลุ่ม ที่แต่ละกลุ่มประกอบด้วยการต่อขนานกัน p สาย โดยแต่ละสายมีเซลล์ต่ออนุกรมกันจำนวน s เซลล์ ดังรูปที่ 10

ถ้ามีการต่อบายพาสส์ไดโอด เพื่อจำกัดแรงดันไฟฟ้าป้อนกลับของเซลล์ทั้งหมดที่ไดโอดต่อคร่อมอยู่ เพื่อระบุส่วนของวงจรที่นำมาทดสอบ ทั้งนี้การสูญเสียกำลังไฟฟ้าภายในสูงสุดเกิดขึ้นโดยการลัดวงจรของแผง

หมายเหตุ การสูญเสียกำลังไฟฟ้าภายในสูงสุดของไดโอดปรากฏ เมื่อส่วนย่อยวงจรที่ได้รับการป้องกันด้วยบายพาสส์ไดโอดถูกลัดวงจร โดยปกติคือการลัดวงจรทั้งแผง ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีการต่อบายพาสส์ไดโอด ก่อนที่จะติดตั้งบายพาสส์ไดโอดให้ทำตามคำแนะนำของผู้ทำว่าจำนวนสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมที่แนะนำไว้ ถ้าจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดที่แนะนำมากกว่าหนึ่ง การทดสอบลำดับถัดไปในส่วนนี้ควรทดสอบตามจำนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมดังกล่าว ถ้าจำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวมีมาก อาจใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าคงที่แทนแผงเซลล์

แสงอาทิตย์ทั้งหมด ยกเว้นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบ ในกรณีนี้ ต้องปรับกระแสไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟที่ I_{MP} ในระหว่าง 5 ชั่วโมง ที่ฉายแสง

10.9.4 เครื่องทดสอบ

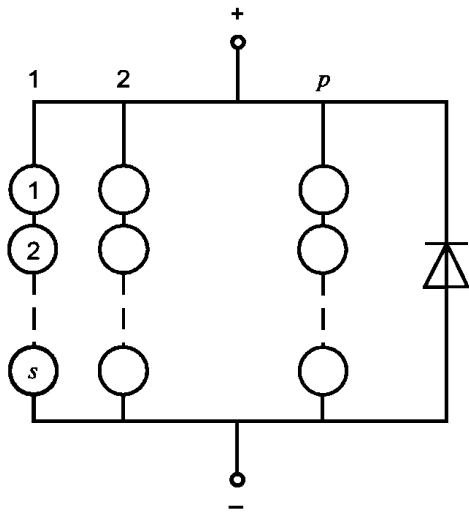
- ก) แหล่งกำเนิดแสงที่ 1 แสงอาทิตย์เทียมคงตัวหรือแสงอาทิตย์ธรรมชาติที่สามารถให้ความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 700 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีค่าความไม่สม่ำเสมอ (non-uniformity) ไม่มากกว่า \pm ร้อยละ 2 และมีค่าเสถียรชั่วขณะ (temporal stability) ไม่มากกว่า \pm ร้อยละ 5
- ข) แหล่งกำเนิดแสงที่ 2 คือแสงอาทิตย์เทียมคงตัวระดับ C (หรือดีกว่า) หรือแสงอาทิตย์ธรรมชาติที่สามารถให้ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1 000 วัตต์ต่อตารางเมตร \pm ร้อยละ 10
- ค) อุปกรณ์บันทึกค่าเส้นกราฟ I-V ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ง) ชุดบังทึบแสงสำหรับบังแสงเซลล์ ที่สามารถเพิ่มอัตราการบังแสงได้ขั้นละร้อยละ 5
- จ) เครื่องตรวจจับอุณหภูมิที่เหมาะสม

10.9.5 ขั้นตอนการทดสอบ

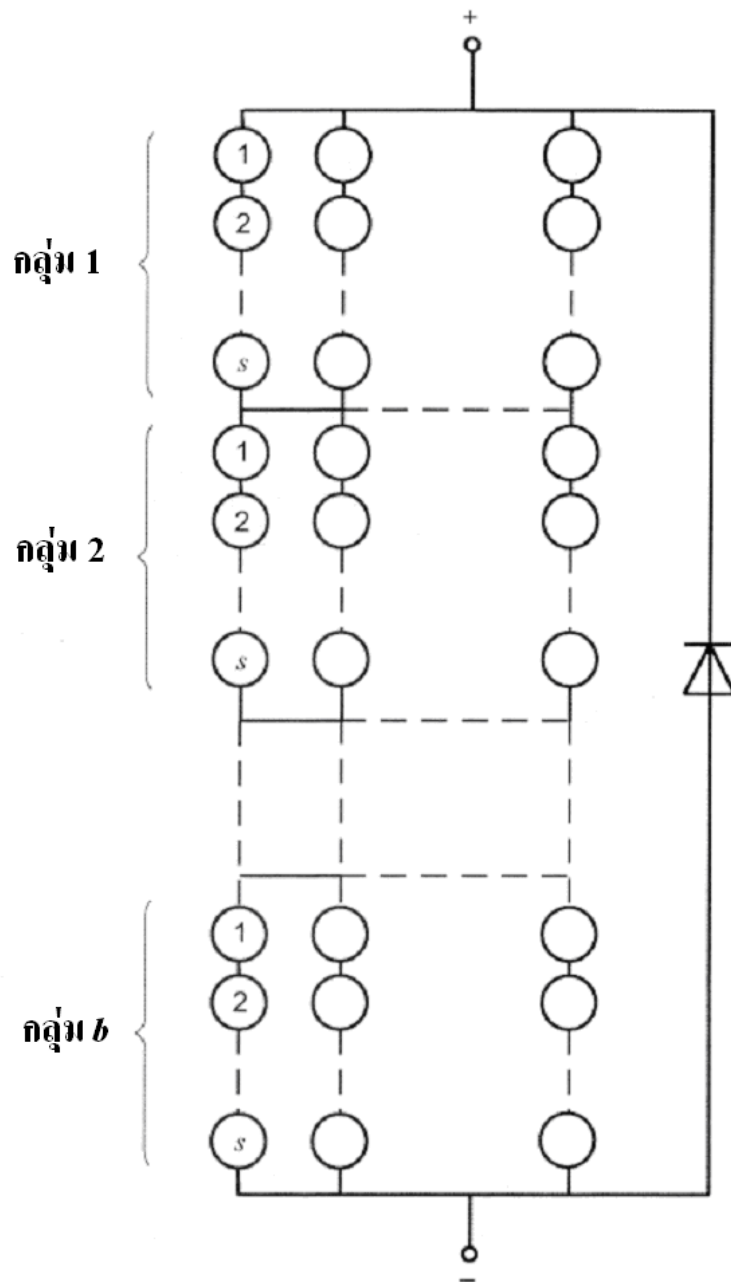
อุปกรณ์ป้องกันจุกร้อนต่าง ๆ ที่ผู้ทำแนะนำไว้ต้องติดตั้งก่อนทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

10.9.5.1 กรณี S

- ก) ฉายแสงโดยไม่บังแสงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 700 วัตต์ต่อตารางเมตร ทำการวัดลักษณะของ I-V และหาค่ากระแสไฟฟ้าที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด (I_{MP})
- ข) ลัดวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเลือกเซลล์มา 1 เซลล์โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้



รูปที่ 9 กรณี SP การต่ออนุกรม-ขนาน



รูปที่ 10 กรณี SPS การต่ออนุกรม-ขนาน-อนุกรม

- 1) ฉายแสงด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์คงที่ไม่น้อยกว่า 700 วัตต์ต่อตารางเมตร หาเซลล์ที่ร้อนที่สุด โดยใช้เครื่องตรวจจับอุณหภูมิที่เหมาะสม (แนะนำให้ใช้กล้องอินฟราเรด(IR))
- 2) ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ระบุในขั้นตอน ก) ให้บังแสงแบบบังเต็มพื้นที่เซลล์ทีละเซลล์ สลับกันไป และเลือกหนึ่งเซลล์หรือหนึ่งเซลล์จากหลายเซลล์ที่ให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลงมากที่สุด เมื่อถูกบังแสง ในระหว่างขั้นตอนนี้ ความเข้มรังสีอาทิตย์ต้องเปลี่ยนแปลงไม่มากกว่า \pm ร้อยละ 5

- ค) ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เดียวกัน (เปลี่ยนแปลงได้ไม่มากกว่า \pm ร้อยละ 3) เช่นเดียวกับในขั้นตอน
- ก) ทำการบังแสงแบบเต็มพื้นที่เซลล์ที่เลือก และตรวจสอบว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{SC}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่ากระแสไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (I_{MP}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้มาจากขั้นตอน ก) ถ้าไม่น้อยกว่า ภาวะของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายในเซลล์เดียวไม่สามารถปรับตั้งได้ ในกรณีนี้ให้ดำเนินการทดสอบด้วยเซลล์ที่เลือกไว้โดยการบังแสงแบบเต็มเซลล์ และให้ข้ามขั้นตอน ง)
- ง) ลดพื้นที่ที่ถูกบังแสงของเซลล์ที่เลือกทีละน้อย จนกระทั่งค่า I_{SC} ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใกล้เคียงกับค่า I_{MP} เท่าที่ทำได้ ในภาวะนี้ กำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุดได้เกิดขึ้นในเซลล์ที่เลือก
- จ) ฉายแสงให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 ให้บันทึกค่าของ I_{SC} และคงภาวะของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูงสุด ปรับการบังแสงซ้ำถ้าจำเป็น เพื่อคงค่า I_{SC} ตามระดับที่กำหนดไว้ ที่อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่าง 50 องศาเซลเซียส \pm 10 องศาเซลเซียส
- ฉ) คงภาวะนี้ไว้เป็นเวลารวม 5 ชั่วโมง

10.9.5.2 กรณี SP

- ก) ฉายแสงด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 โดยไม่มีการบังแสงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 700 วัตต์ต่อตารางเมตร ทำการวัดลักษณะของ I-V และหาค่า $I_{SC} (*)$ คือค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่เกิดจากเงื่อนไขของค่าสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูงสุดของการเกิดจุดร้อนจากสมการดังต่อไปนี้ โดยถือว่าเซลล์ทุกสายจ่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากันหมด

$$I_{SC} (*) = I_{SC} \cdot (p-1) / p + (I_{MP} / p)$$

โดยที่

I_{SC} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะที่ไม่มีการบังแสง

I_{MP} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะที่ไม่มีการบังแสง

p คือ จำนวนสายของเซลล์ที่ต่อขนานกัน

- ข) ทำการลัดวงจรแผงเซลล์และเลือกเซลล์มาหนึ่งเซลล์โดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังนี้
- 1) ฉายแสงด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์คงที่ไม่น้อยกว่า 700 วัตต์ต่อตารางเมตร หาเซลล์ที่ร้อนที่สุด โดยใช้เครื่องตรวจจับอุณหภูมิที่เหมาะสม
 - 2) ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ระบุในขั้นตอน ก) ให้ทำการบังแสงแบบบังเต็มพื้นที่เซลล์ทีละเซลล์สลับกันไป และหาเซลล์ซึ่งให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลงมากที่สุด เมื่อถูก

บังแสง ในระหว่างขั้นตอนนี้ ความเข้มรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงได้ไม่มากกว่า \pm ร้อย
ละ 5

- ค) ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เดียวกัน (เปลี่ยนแปลงได้ไม่มากกว่า \pm ร้อยละ 3) เช่นเดียวกับใน
ขั้นตอน ก) ทำการบังแสงแบบเต็มพื้นที่เซลล์ที่เลือก และตรวจสอบว่าค่ากระแสไฟฟ้า
ลัดวงจร (I_{SC}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่า $I_{SC}(*)$ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ได้มาจาก
ขั้นตอน ก) ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นแสดงว่าภาวะของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูงสุด
ภายในเซลล์เดียวไม่สามารถปรับตั้งได้ ในกรณีนี้ให้ดำเนินการทดสอบด้วยเซลล์ที่เลือกไว้
โดยการบังแสงแบบเต็มเซลล์ และให้ข้ามขั้นตอน ง)
- ง) ให้ลดพื้นที่ที่ถูกบังแสงของเซลล์ที่เลือกทีละน้อย จนกระทั่งค่า I_{SC} ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ใกล้เคียงกับค่า $I_{SC}(*)$ เท่าที่ทำได้ในภาวะนี้ แสดงว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุดเกิดขึ้นภายใน
เซลล์ที่เลือก
- จ) ฉายแสงให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 ให้สังเกตค่าของ I_{SC} และคง
ภาวะของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูงสุด ถ้าจำเป็น ปรับการบังแสงซ้ำเพื่อให้ได้ค่า I_{SC} ตาม
ระดับที่กำหนดไว้ ภายใต้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่าง 50 องศาเซลเซียส \pm 10
องศาเซลเซียส
- ฉ) คงภาวะนี้ไว้เป็นเวลารวม 5 ชั่วโมง

10.9.5.3 กรณี SPS

- ก) ให้ลัดวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการบังแสง และฉายแสงด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ที่
ความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 700 วัตต์ต่อตารางเมตร สุ่มเซลล์อย่างน้อยร้อยละ 30 ของ
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ บังแสงแบบเต็มเซลล์แต่ละเซลล์สลับกันไปและวัดอุณหภูมิในภาวะที่
คงตัว โดยการใช้เครื่องวัดความร้อนแบบภาพความร้อน(thermal imaging) หรือเครื่องวัดที่
เหมาะสม
- ข) บังแสงแบบเต็มเซลล์กับเซลล์ที่พบว่าร้อนที่สุด จากขั้นตอน ก)
- ค) ขณะที่กำลังเฝ้าตรวจอุณหภูมิ ให้ลดพื้นที่การบังแสงทีละน้อย เพื่อหาภาวะที่ทำให้เกิดค่า
อุณหภูมิสูงสุด
- ง) ฉายแสงให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 และคงภาวะการบังแสงตาม
ขั้นตอน ค) ภายใต้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่าง 50 องศาเซลเซียส \pm 10 องศา
เซลเซียส
- ฉ) คงภาวะนี้ไว้เป็นเวลารวม 5 ชั่วโมง

10.9.6 การวัดขั้นสุดท้าย

ทำการทดสอบซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 10.1 ข้อ 10.2 และ ข้อ 10.3

10.9.7 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่สังเกตเห็นได้ ตามที่ระบุในหัวข้อ 7. ถ้ามีหลักฐานความเสียหายที่สำคัญ ซึ่งไม่เข้าข่ายคุณสมบัติตามความบกพร่องหลักที่สังเกตเห็นได้ ให้ทดสอบซ้ำเพิ่มอีก 2 เซลล์ ถ้าทั้ง 2 เซลล์ไม่มีความเสียหายที่สังเกตเห็นได้เกิดขึ้น ถือว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านการทดสอบจุกเรียบร้อย
- การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากก่อนการทดสอบ
- ความต้านทานฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดตอนที่เริ่มต้น

10.10 การทดสอบปรับเตรียมภาวะรังสี UV

10.10.1 จุดประสงค์

การปรับเตรียมภาวะแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยรังสี UV (อัลตราไวโอเล็ต) ก่อนการทดสอบวัฏจักรความร้อน /การทดสอบความชื้น-เยือกแข็ง เพื่อใช้ประเมินความทนทานต่อรังสี UVของวัสดุและสารติดยึดที่ใช้

10.10.2 เครื่องทดสอบ

- ก) อุปกรณ์เพื่อควบคุมอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะฉายรังสี UV อุปกรณ์นี้ต้องสามารถรักษาอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส \pm 5 องศาเซลเซียส
- ข) วิธีสำหรับการวัดและบันทึกอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าความแม่นยำ \pm 2 องศาเซลเซียส ตัวรับรู้อุณหภูมิต้องติดอยู่กับผิวด้านหน้าหรือผิวด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใกล้กับจุดกึ่งกลาง ถ้ามีการทดสอบมากกว่า 1 แผงในเวลาเดียวกัน ข้อมูลอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตัวแทนก็เพียงพอสำหรับการทดสอบ
- ค) ความสามารถของเครื่องมือวัดใช้วัดพลังงานรังสี UV ที่ผลิตจากแหล่งกำเนิดรังสี UV ในระนาบเดียวกันกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พิสัยความยาวคลื่นระหว่าง 280 นาโนเมตร ถึง 320 นาโนเมตร และ 320 นาโนเมตร ถึง 385 นาโนเมตร มีค่าความไม่แน่นอน \pm ร้อยละ 15
- ง) แหล่งกำเนิดรังสี UVที่สามารถผลิตพลังงานรังสี UVที่มีความเข้มรังสีสม่ำเสมอ \pm ร้อยละ 15 บนระนาบทดสอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งไม่มีค่าความเข้มรังสีที่ความยาวคลื่นต่ำกว่า 280 นาโนเมตร และสามารถให้พลังงานรังสีที่จำเป็นในย่านของสเปกตรัมต่าง ๆ ที่กำหนดตามข้อ 10.10.3

10.10.3 ขั้นตอนการทดสอบ

- ก) ใช้มาตรรังสี (radiometer) ที่สอบเทียบแล้ว วัดความเข้มรังสีบนระนาบทดสอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และต้องแน่ใจว่าที่ความยาวคลื่นระหว่าง 280 นาโนเมตร ถึง 385 นาโนเมตร ความเข้มรังสีไม่มากกว่า 250 วัตต์ต่อตารางเมตร (ประมาณ 5 เท่าของระดับแสงอาทิตย์ธรรมชาติ) และมีควมสม่ำเสมอ \pm ร้อยละ 15 บนระนาบทดสอบ
- ข) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพวงจรเปิดในระนาบทดสอบที่ตำแหน่งที่เลือกตามขั้นตอน ก) โดยวางตั้งฉากกับลำแสง UV ต้องแน่ใจว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส \pm 5 องศาเซลเซียส
- ค) ให้พลังงานรังสี UV รวม 15 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่พิสัยความยาวคลื่นระหว่าง 280 นาโนเมตร ถึง 385 นาโนเมตร และอย่างน้อยที่สุดที่ 5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ที่พิสัยความยาวคลื่นระหว่าง 280 นาโนเมตร ถึง 385 นาโนเมตร รักษาระดับอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่ในพิสัยที่กำหนดข้างต้น

10.10.4 การวัดขั้นสุดท้าย

ทำการทดสอบซ้ำตามขั้นตอนในข้อ 10.1 ข้อ 10.2 และ ข้อ 10.3

10.10.5 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่สังเกตเห็นได้ ตามที่ระบุในข้อ 7.
- การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากก่อนการทดสอบ
- ความต้านทานฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดตอนที่เริ่มต้น

10.11 การทดสอบวัฏจักรความร้อน

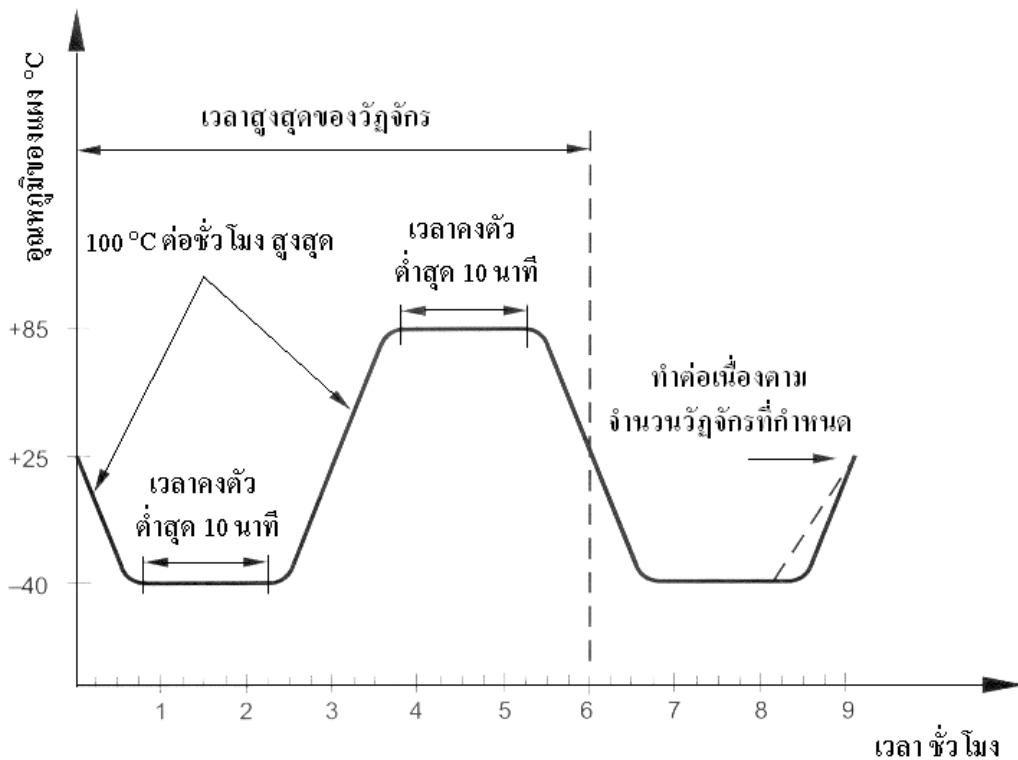
10.11.1 จุดประสงค์

เพื่อหาความสามารถของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทนทานต่อผลของความแตกต่างด้านความร้อน ความล้ม และความเค้นอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีรอบซ้ำ ๆ กัน

10.11.2 เครื่องทดสอบ

- ก) ห้องทดสอบที่ควบคุมอุณหภูมิอย่างอัตโนมัติ มีวิธีการไหลเวียนของอากาศภายใน และวิธีการการกั่นตัวของไอน้ำให้มีน้อยที่สุดในขณะทดสอบ และมีพื้นที่สามารถใช้ทดสอบวัฏจักรความร้อนตามรูปที่ 11 ได้อย่างน้อย 1 แผง

- ข) วิธีสำหรับจับยึดหรือรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในห้องทดสอบ ให้มีการไหลเวียนของอากาศได้อย่างอิสระ โครงที่ใช้จับยึดหรือรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าการนำความร้อนต่ำ เสมือนว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกแยกออกจากการถ่ายเทความร้อน เพื่อความเหมาะสมในทางปฏิบัติ
- ค) วิธีสำหรับการวัดและบันทึกอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าความแม่นยำ ± 1 องศาเซลเซียส ตัวรับรู้อุณหภูมิต้องติดอยู่กับผิวด้านหน้าหรือผิวด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใกล้กับจุดกึ่งกลาง ถ้ามีการทดสอบมากกว่าหนึ่งแผงในเวลาเดียวกัน ข้อมูลอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตัวแทนก็เพียงพอสำหรับการทดสอบ
- ง) วิธีสำหรับปรับให้กระแสไฟฟ้าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ STC ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระหว่างการทดสอบ
- จ) วิธีสำหรับเฝ้าตรวจการไหลของกระแสไฟฟ้าไหลผ่านแต่ละแผง ตลอดการทดสอบ



รูปที่ 11 การทดสอบวัฏจักรความร้อน

10.11.3 ขั้นตอนการทดสอบ

- ก) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในห้องทดสอบที่อุณหภูมิห้อง
- ข) ต่ออุปกรณ์เฝ้าตรวจอุณหภูมิกับตัวรับรู้อุณหภูมิ และต่อแต่ละแผงกับแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยต่อขั้วบวกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับขั้วบวกของแหล่งจ่ายไฟฟ้า และต่อขั้วที่เหลือเข้ากับขั้วลบ

ระหว่างการทดสอบวัฏจักรความร้อน 200 วัฏจักร ปรับตั้งการไหลของกระแสไฟฟ้าให้เท่ากับ กระแสไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าค่าขอดที่ STC เปลี่ยนแปลงได้ไม่มากกว่า \pm ร้อยละ 2 ขณะที่อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ต้องรักษาการไหลของกระแสไฟฟ้าให้คงที่

สำหรับการทดสอบวัฏจักรความร้อน 50 วัฏจักร ไม่จำเป็นต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

- ค) ปิด(ประตู)ห้องทดสอบ และปรับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีค่าวัฏจักรความร้อนอยู่ระหว่าง - 40 องศาเซลเซียส \pm 2 องศาเซลเซียส และ 85 องศาเซลเซียส \pm 2 องศาเซลเซียส ให้มีรูปแบบดังรูปที่ 11 ทั้งนี้อัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างค่าสูงสุดกับต่ำสุดต้องไม่มากกว่า 100 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าคงตัวไม่น้อยกว่า 10 นาที ในคาบเวลาแต่ละคาบที่อุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุด เวลาต่อวัฏจักรต้องไม่มากกว่า 6 ชั่วโมง เว้นแต่ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีความจุความร้อนสูงจนกระทั่งต้องการวัฏจักรที่นานกว่า จำนวนวัฏจักรต้องเป็นไปตามรูปที่ 1
- ง) บันทึกอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเฝ้าตรวจการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตลอดการทดสอบ

หมายเหตุ ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่อวงจรแบบขนาน ถ้ามีวงจรเปิดใน 1 กิ่ง (branch) จะเป็นสาเหตุให้แรงดันไฟฟ้าไม่ต่อเนื่อง แต่ไม่เป็นสาเหตุทำให้แรงดันไฟฟ้าไม่ลดลงเป็นศูนย์

10.11.4 การวัดขั้นสุดท้าย

ทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง เพื่อให้คืนสภาพ หลังจากนั้นทดสอบซ้ำตามข้อ 10.1 ข้อ 10.2 และ ข้อ 10.3

10.11.5 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- การไหลของกระแสไฟฟ้าต้องไม่หยุดชะงักระหว่างการทดสอบ
- ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่สังเกตเห็นได้ ตามที่ระบุในข้อ 7
- การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากก่อนการทดสอบ
- ความต้านทานฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดตอนที่เริ่มต้น

10.12 การทดสอบความชื้น-เยือกแข็ง

10.12.1 จุดประสงค์

จุดประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อหาความสามารถของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทนต่อผลของภาวะอุณหภูมิสูงและความชื้นสูง ตามด้วยอุณหภูมิต่ำกว่าศูนย์ ซึ่งไม่ใช่การทดสอบการเปลี่ยนอุณหภูมิโดยฉับพลัน (thermal shock test)

10.12.2 เครื่องทดสอบ

- ก) ห้องทดสอบที่ควบคุมอุณหภูมิ และควบคุมความชื้นอย่างอัตโนมัติ ซึ่งสามารถใช้ทดสอบตามวัฏจักรความชื้น-เยือกแข็ง ตามรูปที่ 12 ได้อย่างน้อย 1 แผง
- ข) วิธีสำหรับจับยึดหรือรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในห้องทดสอบ ให้มีการไหลเวียนของอากาศได้อย่างอิสระ โครงที่ใช้จับยึดหรือรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าการนำความร้อนต่ำ เสมือนว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกแยกออกจากการถ่ายเทความร้อน เพื่อความเหมาะสมในทางปฏิบัติ
- ค) วิธีสำหรับการวัดและบันทึกอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าความแม่นยำ ± 1 องศาเซลเซียส (ถ้ามีการทดสอบมากกว่า 1 แผงในเวลาเดียวกัน ข้อมูลอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตัวแทนก็เพียงพอสำหรับการทดสอบ)
- จ) วิธีสำหรับเฝ้าตรวจความต่อเนื่องของวงจรภายในของแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตลอดการทดสอบ

10.12.3 ขั้นตอนการทดสอบ

- ก) ติดตัวรับรู้อุณหภูมิเข้ากับผิวด้านหน้าหรือด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใกล้บริเวณตรงกลางแผง
- ข) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิห้อง ในห้องทดสอบ
- ค) ต่อสายตัวรับรู้อุณหภูมิเข้ากับเครื่องเฝ้าติดตามอุณหภูมิ
- ง) ปิด (ประตู) ห้องทดสอบ ปรับให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับภาวะทดสอบตามรูปที่ 12 จำนวน 10 วัฏจักร โดยมีอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดแตกต่างจากค่าที่กำหนดไม่มากกว่า ± 2 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างจากค่าที่กำหนดไม่มากกว่า ± 5 หน่วยความชื้นสัมพัทธ์ ตลอดช่วงที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง
- จ) บันทึกอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดการทดสอบ

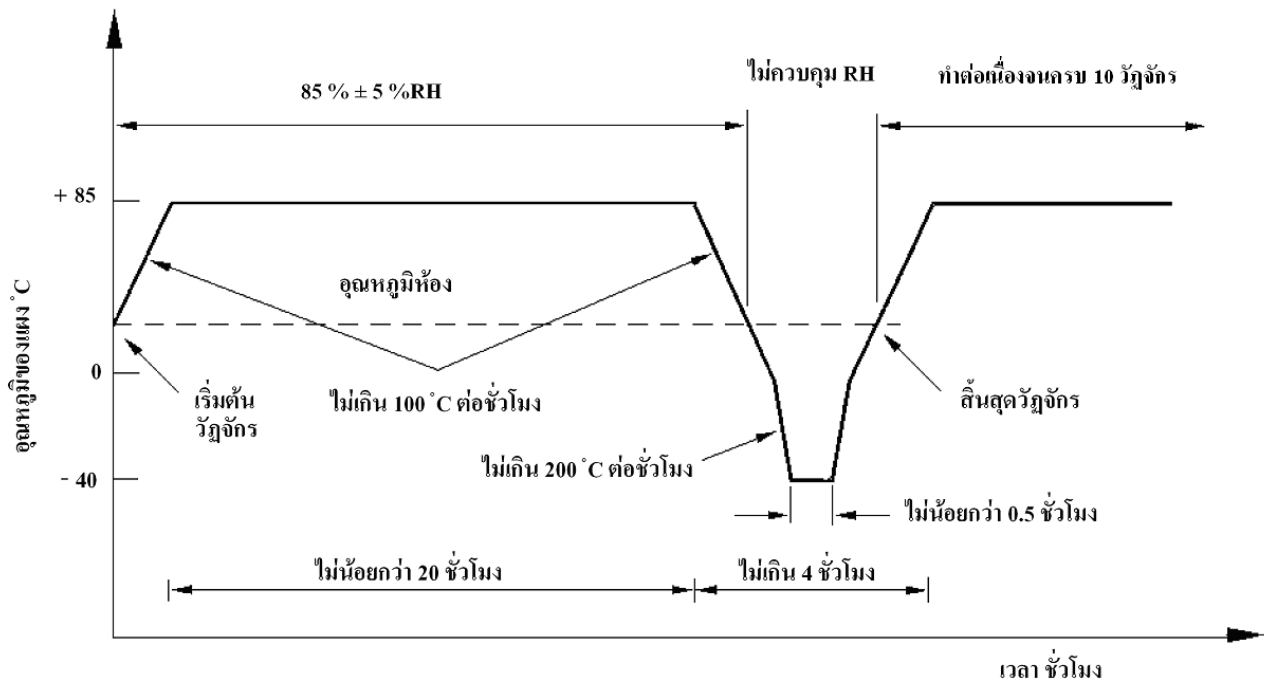
10.12.4 การวัดขั้นสุดท้าย

ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง ถึง 4 ชั่วโมง เพื่อให้คืนสภาพหลังจากนั้นทดสอบซ้ำตามข้อ 10.3 แล้วจึงทดสอบซ้ำ ข้อ 10.1 และข้อ 10.2

10.12.5 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่สังเกตเห็นได้ ตามที่ระบุในข้อ 7.
- การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากก่อนการทดสอบ
- ความต้านทานฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดตอนที่เริ่มต้น



รูปที่ 12 การทดสอบวัฏจักรความชื้น-เยือกแข็ง

10.13 การทดสอบร้อนชื้น

10.13.1 จุดประสงค์

เพื่อหาความสามารถของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อผลของการแทรกซึมจากความชื้นในระยะยาว

10.13.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ต้องทำการทดสอบตาม IEC 60068-2-78 โดยมีการจัดเตรียมดังนี้

ก) การปรับเตรียมภาวะ

ต้องนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าห้องทดสอบที่อุณหภูมิห้อง โดยไม่มีการปรับเตรียมภาวะ

ข) ความรุนแรง

ภาวะห้องทดสอบให้เป็นไปดังนี้

อุณหภูมิทดสอบ

85 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส

ความชื้นสัมพัทธ์	ร้อยละ 85 ± ร้อยละ 5
ระยะเวลาทดสอบ	1 000 ชั่วโมง

10.13.3 การวัดขั้นสุดท้าย

ทิ้งไว้ 2 ชั่วโมงถึง 4 ชั่วโมง เพื่อให้คืนสภาพ จากนั้นทดสอบซ้ำตามข้อ 10.3 และข้อ 10.15 แล้วจึงทดสอบซ้ำ ข้อ 10.1 และข้อ 10.2

10.13.4 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่สังเกตเห็นได้ ตามที่ระบุในหัวข้อ 7.
- การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากก่อนการทดสอบ
- การทดสอบการฉนวนและการทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วขณะเบี่ยงต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดเริ่มต้น

10.14 การทดสอบความแข็งแรงของขั้วต่อ

10.14.1 จุดประสงค์

เพื่อทดสอบว่าการต่อขั้วสายและการยึดขั้วต่อเข้ากับตัวแผงจะสามารถทนแรงเค้นที่ใช้ในระหว่างขั้นตอนการติดตั้งหรือการขนย้าย ได้

10.14.2 ชนิดของขั้วต่อ

มีขั้วต่อ 3 ชนิดที่ต้องพิจารณา

- ชนิด ก : สายปล่อยปลาย (wire or flying lead)
- ชนิด ข : ขั้วต่อที่ขันด้วยสกรู (tags, threaded studs, screws etc.)
- ชนิด ค : ขั้วต่อเสียบ (connector)

10.14.3 ขั้นตอนการทดสอบ

การเตรียมภาวะ: ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงที่ภาวะบรรยากาศมาตรฐานสำหรับการวัดและทดสอบ

10.14.3.1 ขั้วต่อชนิด ก

การทดสอบการดึง ให้ทดสอบตาม IEC 60068-2-21 การทดสอบ Ua โดยเตรียมการดังต่อไปนี้

- ขั้วต่อทั้งหมดต้องถูกทดสอบ

- แรงดึงต้องไม่เกินน้ำหนักของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบการตัดโค้ง ให้ทดสอบตาม IEC60068-2-21 การทดสอบ Ub โดยเตรียมการดังต่อไปนี้

- ขั้วต่อทั้งหมดต้องถูกทดสอบ
- วิธีการ 1-10 วัฏจักร (1 วัฏจักร คือการดึงในทิศทางบวกและลบ 90 องศาจากทิศทางที่สายไฟฟ้าออก)

10.14.3.2 ขั้วต่อชนิด ข

การทดสอบการดึงและการตัดโค้ง

- ก) กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขั้วต่อยื่นออกมา แต่ละขั้วต่อต้องถูกทดสอบเหมือนขั้วต่อชนิด ก
- ข) ถ้าขั้วต่อปิดหุ้มอยู่ในกล่องป้องกัน ต้องปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้
 - ใช้สายไฟฟ้าที่มีขนาดและชนิดตามคำแนะนำของผู้ทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตัดให้ยาวพอเหมาะ และต่อกับขั้วต่อภายในกล่อง ตามขั้นตอนที่ผู้ทำแนะนำ นำสายไฟฟ้าสอดผ่านรูของปลอกกันชื้น (cable gland) ควรระวังการใช้อุปกรณ์การจับยึดสายที่เตรียมไว้ให้ ปิดฝาปิดของกล่องอย่างแน่นหนา แล้วจึงทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เหมือนกับขั้วต่อชนิด ก

การทดสอบการบิด ให้ทดสอบตาม IEC 60068-2-21 การทดสอบ Ud โดยเตรียมการ ดังต่อไปนี้

- ขั้วต่อทั้งหมดต้องถูกทดสอบ
- ความรุนแรงระดับ 1 (severity 1)

เป็นเกลียว หรือสลักเกลียวควรที่จะสามารถไขออกได้ เว้นแต่ว่าได้ถูกออกแบบให้เป็นแบบติดถาวร

10.14.3.3 ขั้วต่อชนิด ค

ใช้สายไฟฟ้าที่มีขนาดและชนิดตามคำแนะนำของผู้ทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตัดสายไฟฟ้าให้ยาวพอเหมาะ ต้องต่อสายที่ขั้วต่อ (connector) ด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และทำการทดสอบเหมือนกับขั้วต่อชนิด ก

10.14.4 การวัดขั้นสุดท้าย

ทดสอบซ้ำตามข้อ 10.1 ข้อ 10.2 และ ข้อ 10.3

10.14.5 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- ไม่ปรากฏความเสียหายทางกล
- การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากก่อนการทดสอบ
- ความต้านทานฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดเริ่มต้น

10.15 การทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วขณะเปียก

10.15.1 จุดประสงค์

เพื่อประเมินความเป็นฉนวนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในภาวะการทำงานขณะเปียก และตรวจพิสูจน์ว่าความชื้นจาก ฝน หมอก น้ำค้าง หรือการละลายของหิมะไม่สามารถเข้าถึงส่วนที่เป็นวงจรไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการกักคร่อน ความผิดปกติของดิน หรือความไม่ปลอดภัย

10.15.2 เครื่องทดสอบ

ก) อ่างหรือ ถังที่มีขนาดเพียงพอที่สามารถวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์พร้อม โครงได้ในแนวราบ อ่างหรือถังต้องบรรจุน้ำหรือสารละลายตามข้อกำหนดดังนี้

- สภาพต้านทาน 3 500 โอห์ม เซนติเมตร หรือน้อยกว่า
- ความตึงผิว 0.03 นิวตันต่อเมตร หรือน้อยกว่า
- อุณหภูมิ 22 องศาเซลเซียส \pm 3 องศาเซลเซียส

ความลึกของสารละลายต้องเพียงพอที่จะท่วมทุกพื้นผิวยกเว้นกล่องต่อสายที่ไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับจุ่มน้ำ

ข) เครื่องพ่นที่บรรจุสารละลายเดียวกัน

ค) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดจำกัดกระแสไฟฟ้าที่สามารถให้แรงดันไฟฟ้าได้ 500 โวลต์ หรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดของระบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วแต่ค่าใดมากกว่า

ง) เครื่องวัดความต้านทานฉนวน

10.15.3 ขั้นตอนการทดสอบ

การต่อสายทั้งหมดต้องเหมือนกับการติดตั้งเดินสายไฟฟ้าที่ใช้งานจริงตามคำแนะนำ และต้องระวังไม่ให้เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วจากการเดินสายไฟฟ้าของเครื่องวัดที่ต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ก) จุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงในถังบรรจุสารละลายที่มีความลึกพอที่จะท่วมทุกพื้นผิวยกเว้นทางเข้าของกล่องต่อสายที่ไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับจุ่มสารละลาย ทางเข้าของสายไฟฟ้าต้องถูกพ่น

โดยทั่วด้วยสารละลาย ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีขั้วต่อต้องจุ่มขั้วต่อนี้ในสารละลายในระหว่าง การทดสอบด้วย

- ข) ลัดวงจรขั้วต่อสายด้านนอกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดและต่อเข้ากับขั้วบวกของเครื่อง ทดสอบ และต่อขั้วลบเครื่องทดสอบเข้ากับสารละลายทดสอบโดยผ่านตัวนำโลหะที่เหมาะสม
- ค) ป้อนแรงดันไฟฟ้าด้วยเครื่องทดสอบที่อัตราเพิ่มไม่มากกว่า 500 โวลต์ต่อวินาที จนถึง แรงดันไฟฟ้า 500 โวลต์ หรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดของระบบของแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ แล้วแต่ค่าใดมากกว่า คงแรงดันไฟฟ้าระดับนี้ไว้ 2 นาที แล้วจึงหาความต้านทาน ฉนวน
- ง) ลดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ให้เป็นศูนย์ และลัดวงจรไฟฟ้าขั้วต่อของเครื่องทดสอบเพื่อคายประจุไฟฟ้าที่ เกิดขึ้นในแผงเซลล์แสงอาทิตย์

10.15.4 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่น้อยกว่า 0.1 ตารางเมตร ความต้านทานฉนวนต้องไม่น้อยกว่า 400 เมกะโอห์ม
- กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่มากกว่า 0.1 ตารางเมตร ความต้านทานฉนวนคูณพื้นที่ของแผง เซลล์แสงอาทิตย์ต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะโอห์ม ตารางเมตร

10.16 การทดสอบโหลดทางกล

10.16.1 จุดประสงค์

เพื่อหาความสามารถของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถทนต่อแรงลม หิมะ โหลดสถิตหรือโหลด น้ำแข็ง

10.16.2 เครื่องทดสอบ

- ก) แท่นทดสอบที่คงรูป (rigid) ที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ด้านหน้าหงายขึ้นหรือคว่ำ หน้าลง แท่นทดสอบต้องยอมให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โค้งตัวได้อย่างอิสระขณะรับ โหลด
- ข) เครื่องวัดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระหว่างการทดสอบ
- ค) น้ำหนักที่เหมาะสมหรือวิธีการใช้ความดันที่สามารถเพิ่ม โหลดได้ที่ละน้อยและด้วยความ สม่ำเสมอ

10.16.3 ขั้นตอนการทดสอบ

- ก) จัดเตรียมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถเผื่อตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของวงจรภายในได้ การเผื่อตรวจสอบต้องเป็นไปอย่างต่อเนื่องระหว่างการทดสอบ
- ข) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนแท่นทดสอบตามวิธีที่ผู้ทำกำหนดไว้ (ถ้ามีหลายวิธี ใช้วิธีที่ให้ผลเร็วที่สุดโดยเลือกตำแหน่งจุดจับยึดที่มีระยะห่างกันมากที่สุด)
- ค) เพิ่มโหลดที่ละน้อยบนพื้นผิวด้านหน้าโดยกระจายโหลดอย่างสม่ำเสมอจนถึง 2 400 พาสคัล (โหลดนี้อาจใช้นิวแมติกหรือโดยวิธีใช้น้ำหนักทับทั่วพื้นผิว ในกรณีหลังให้ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามแนวราบ) คงโหลดนี้ไว้ 1 ชั่วโมง
- ง) ทำตามขั้นตอนที่ผ่านมาแล้วอีกครั้งกับด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- จ) ทำตามขั้นตอน ค) และ ง) รวมทั้งหมด 3 วัฏจักร

หมายเหตุ ความดัน 2 400 พาสคัล เทียบเท่ากับกระแสลมความเร็ว 130 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (ประมาณ \pm 800 พาสคัล) ใช้ตัวประกอบความปลอดภัย (safety factor) เป็น 3 สำหรับกระแสลมกระซอก ถ้าต้องให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทนต่อการสะสมของหิมะและน้ำแข็ง ให้ใช้โหลดในวัฏจักรสุดท้าย ด้านหน้าเพิ่มจาก 2 400 พาสคัล เป็น 5 400 พาสคัล ระหว่างการทดสอบ

10.16.4 การวัดขั้นสุดท้าย

ทดสอบซ้ำตามข้อ 10.1 ข้อ 10.2 และข้อ 10.3

10.16.5 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- ต้องไม่พบความผิดปกติของการเปิดวงจรเป็นครั้งคราวระหว่างการทดสอบ
- ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่สังเกตเห็นได้ ตามที่ระบุในข้อ 7.
- การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากก่อนการทดสอบ
- ความต้านทานฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดเริ่มต้น

10.17 การทดสอบลูกเห็บ

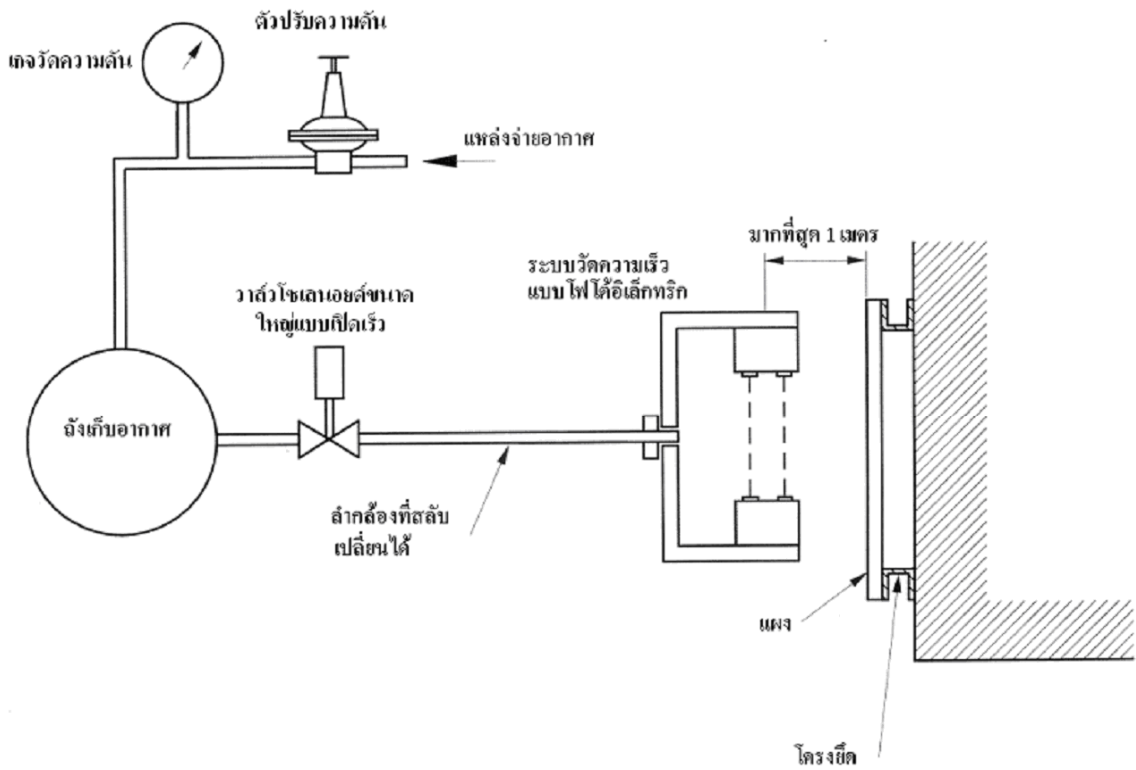
10.17.1 จุดประสงค์

เพื่อยืนยันว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทนทานต่อแรงกระทบจากลูกเห็บได้

10.17.2 เครื่องทดสอบ

- ก) แบบพิมพ์ที่เหมาะสมสำหรับหล่อลูกน้ำแข็งทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางตามที่กำหนด เส้นผ่านศูนย์กลางมาตรฐานคือ 25 มิลลิเมตร แต่ในกรณีสภาพแวดล้อมพิเศษ อาจใช้เส้นผ่านศูนย์กลางที่ระบุไว้ในตารางที่ 2 ได้
- ข) ตู้แช่แข็งที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส \pm 5 องศาเซลเซียส
- ค) ตู้เก็บลูกน้ำแข็งต้องมีอุณหภูมิในการเก็บลูกน้ำแข็ง -4 องศาเซลเซียส \pm 2 องศาเซลเซียส
- ง) เครื่องยิงลูกน้ำแข็งที่สามารถยิงลูกน้ำแข็งได้ความเร็วตามที่กำหนด คลาดเคลื่อนได้ \pm ร้อยละ 5 และยิงได้ตรงตำแหน่งที่กำหนด วิธีของลูกน้ำแข็งจากเครื่องยิงถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจเป็นแนวราบ แนวตั้ง หรือมุมใด ๆ ที่เป็นไปตามข้อกำหนดของการทดสอบ
- จ) โครงยึดที่คงรูปสำหรับใช้พุงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบตามวิธีที่ผู้ทำระบุไว้ โดยให้พื้นผิวจุดกระทบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับเส้นทางการยิงของลูกน้ำแข็ง
- ฉ) เครื่องชั่งสำหรับหามวลของลูกน้ำแข็งที่มีค่าความแม่นยำ \pm ร้อยละ 2
- ช) เครื่องมือวัดความเร็วของลูกน้ำแข็ง ที่มีค่าความแม่นยำ \pm ร้อยละ 2 ตัวจับความเร็วต้องอยู่ไม่เกินระยะ 1 เมตรจากผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ

รูปที่ 13 เป็นตัวอย่างแผนภาพของอุปกรณ์ที่เหมาะสมประกอบด้วยเครื่องยิงแนวราบ ที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวตั้ง และเครื่องวัดความเร็วอิเล็กทรอนิกส์โดยคำนวณจากเวลาที่ลูกน้ำแข็งตัดผ่านระยะลำแสงทั้งสอง นี่เป็นหนึ่งตัวอย่างจากแบบอื่นซึ่งรวมถึงเครื่องยิงแบบหนังสติ๊ก (slingshot) หรือใช้สปริงจับที่สามารถใช้ได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 13 อุปกรณ์ในการทดสอบลูกเห็บ

ตารางที่ 2 มวลลูกน้ำแข็งและความเร็วในการทดสอบ

เส้นผ่านศูนย์กลาง	มวล	ความเร็วที่ใช้ทดสอบ	เส้นผ่านศูนย์กลาง	มวล	ความเร็วที่ใช้ทดสอบ
mm	g	m/s	mm	g	m/s
12.5	0.94	16.0	45	43.9	30.7
15	1.63	17.8	55	80.2	33.9
25	7.53	23.0	65	132.0	36.7
35	20.7	27.2	75	203.0	39.5

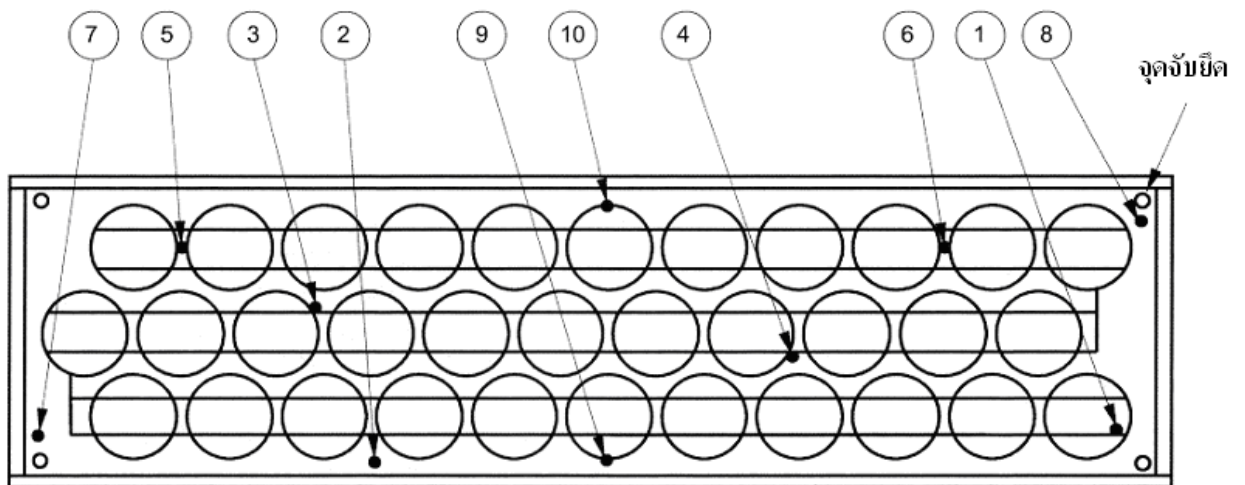
10.17.3 ขั้นตอนการทดสอบ

- ก) ใช้แบบพิมพ์และตู้แช่แข็งหล่อลูกน้ำแข็งตามขนาดที่กำหนด ให้มีจำนวนเพียงพอสำหรับการทดสอบ และสำหรับการปรับค่าความเร็วให้ได้ตามที่กำหนดก่อนทดสอบ
- ข) ตรวจสอบ รอยร้าว ขนาดและมวลของลูกน้ำแข็งแต่ละลูก ลูกน้ำแข็งที่ยอมรับได้ต้องเป็นดังต่อไปนี้
 - ไม่พบรอยร้าว ด้วยตาเปล่า
 - เส้นผ่านศูนย์กลางมีความผิดพลาดไม่มากกว่า \pm ร้อยละ 5 จากขนาดที่กำหนด

- มวลมีค่าความผิดพลาดไม่มากกว่า \pm ร้อยละ 5 ของค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2
- ค) เก็บลูกน้ำแข็งในตู้เก็บลูกน้ำแข็ง และทิ้งไว้ก่อนใช้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง
- ง) ต้องแน่ใจว่าพื้นผิวทั้งหมดของเครื่องยิงลูกน้ำแข็งที่สัมผัสกับลูกน้ำแข็งต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง
- จ) ทดลองยิงตามจำนวนครั้งและตำแหน่งของเป้าตามขั้นตอน ข) ด้านล่าง และปรับแก้เครื่องยิงให้ยิงลูกน้ำแข็งด้วยความเร็วตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 ผิดพลาดไม่มากกว่า \pm ร้อยละ 5 โดยใช้เครื่องวัดความเร็วดังที่ได้กล่าวมาแล้ว
- ฉ) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิห้องตามการติดตั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยให้พื้นผิวกระทบบอยู่ในทิศตั้งฉากกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกน้ำแข็ง
- ช) นำลูกน้ำแข็งจากตู้เก็บลูกน้ำแข็งบรรจุในเครื่องยิง เล็งเป่าไปยังตำแหน่งที่แสดงในตารางที่ 3 และยิงเป้า เวลาในการนำลูกน้ำแข็งจากที่เก็บถึงเวลาที่ลูกน้ำแข็งกระทบบเป้าต้องไม่มากกว่า 60 วินาที
- ซ) ตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณที่ถูกยิงด้วยตาเปล่า เพื่อตรวจสอบความเสียหาย และจดบันทึกผลที่เกิดขึ้น ตำแหน่งยิงที่ผิดพลาดภายใน 10 มิลลิเมตร ถือว่ายอมรับได้
- ฅ) ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เสียหายให้ทำขั้นตอน ข) และ ช) ซ้ำโดยเปลี่ยนตำแหน่งการยิงตามตารางที่ 3 และ ดังรูปที่ 14

ตารางที่ 3 ตำแหน่งกระทบ

ยั้งครั้งที	ตำแหน่ง
1	ทีมุดด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยห่างจากกรอบไม่มากกว่า 50 มิลลิเมตร
2	ทีขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยห่างจากกรอบไม่มากกว่า 12 มิลลิเมตร
3, 4	ทีขอบของเซลล์ใกล้กับจุดเชื่อมต่อทางเดินไฟฟ้า
5, 6	ทีช่องว่างทีแคบทีสุดระหว่างเซลล์
7, 8	ทีด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยให้จุดยั้งอยู่ห่างจากจุดจับยึดกับโครงสร้างไม่มากกว่า 12 มิลลิเมตร
9, 10	ทีด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยให้จุดยั้งอยู่ห่างจากจุดยั้งอื่น ๆ เป็นระยะทีไกลทีสุด
11	จุดใดก็ได้ทีเห็นว่าเป็นตำแหน่งทีแยทีสุดต่อลูกเห็บตกกระทบ



รูปที่ 14 แสดงตำแหน่งกระทบ

10.17.4 การวัดขั้นสุดท้าย

ทดสอบซ้ำตามข้อ 10.1 ข้อ 10.2 และ ข้อ 10.3

10.17.5 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดทีต้องการมีดังนี้

- ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักทีสังเกตเห็นได้ ตามทีระบุในข้อ 7.

- การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากก่อนการทดสอบ
- ความต้านทานฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดเริ่มต้น

10.18 การทดสอบทางความร้อนบายพาสส์ไดโอด

10.18.1 จุดประสงค์

เพื่อประเมินความเหมาะสมของการออกแบบด้านความร้อน และความน่าเชื่อถือของบายพาสส์ไดโอด ที่ใช้งานในระยะยาว เพื่อจำกัดผลกระทบความเสียหายที่เกิดจากจุดร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หมายเหตุ ถ้าไม่สามารถเข้าถึงบายพาสส์ไดโอดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ให้เตรียมตัวอย่างพิเศษสำหรับการทดสอบนี้ได้ ตัวอย่างพิเศษนี้ต้องผลิตตามกระบวนการผลิตปกติมากที่สุด แต่ต้องสามารถให้เข้าถึงบายพาสส์ไดโอดเพื่อวัดอุณหภูมิระหว่างการทดสอบได้ โดยการทดสอบต้องดำเนินไปตามปกติ ตัวอย่างพิเศษนี้ต้องใช้เพื่อทดสอบความร้อนของบายพาสส์ไดโอดเท่านั้น ไม่ทำไว้เพื่อทดสอบในขั้นตอนอื่น ๆ

10.18.2 เครื่องทดสอบ

- ก) อุปกรณ์ให้ความร้อน เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส \pm 5 องศาเซลเซียส
- ข) อุปกรณ์วัดและบันทึกอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าความแม่นยำ \pm 1 องศาเซลเซียส
- ค) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิของบายพาสส์ไดโอด ที่เตรียมไว้สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ควรระวังให้การวัดมีผลน้อยที่สุดต่อคุณสมบัติของไดโอดหรือทางเดินของความร้อน
- ง) อุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1.25 เท่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ STC ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกทดสอบ และอุปกรณ์สำหรับเฟ้าตรวจการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดการทดสอบ

10.18.3 ขั้นตอนการทดสอบ

- ก) ลัดวงจรไฟฟ้าบล็อกลิ่งไดโอดที่ใช้ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ข) ใช้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่กำหนดที่ STC ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากฉลาก หรือคู่มือแนะนำ
- ค) เตรียมการวัดอุณหภูมิของบายพาสส์ไดโอดระหว่างการทดสอบ
- ง) ต่อสายไฟฟ้าที่มีขนาดไม่เล็กกว่าที่ผู้ทำแนะนำกับขั้วด้านนอกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องปฏิบัติตามข้อแนะนำของผู้ทำสำหรับการเดินสายไฟฟ้าเข้าไปในกล่องต่อสายและปิดฝากล่องต่อสาย

หมายเหตุ แผงเซลล์แสงอาทิตย์บางแบบที่มีการซ้อนเหลื่อม (overlapping) ของวงจรบายพาสส์ไดโอด ในกรณีนี้อาจจำเป็นต้องใช้สายต่อคร่อม (jumper cable) เพื่อให้แน่ใจว่ากระแสไฟฟ้าทั้งหมดไหลผ่านบายพาสส์ไดโอดเพียงตัวเดียว

- จ) ทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส \pm 5 องศาเซลเซียส จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC โดยมีค่าผิดพลาดไม่มากกว่า \pm ร้อยละ 2 หลังจากนั้น 1 ชั่วโมงวัดอุณหภูมิของบายพาสส์ไดโอดแต่ละตัว ใช้ข้อมูลของผู้ทำไดโอดคำนวณหาอุณหภูมิรอยต่อจากอุณหภูมิที่วัดได้จากเปลือกหุ้มไดโอด และการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในไดโอด โดยใช้สมการดังนี้

$$T_j = T_{\text{case}} + R_{\text{THjc}} \cdot U_D \cdot I_D$$

โดยที่

T_j คือ อุณหภูมิรอยต่อของไดโอด

T_{case} คือ อุณหภูมิที่วัดได้จากเปลือกหุ้มของไดโอด

R_{THjc} คือ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิรอยต่อกับอุณหภูมิเปลือกหุ้มที่ได้จากผู้ทำไดโอด

U_D คือ แรงดันไฟฟ้าของไดโอด

I_D คือ กระแสไฟฟ้าของไดโอด

หมายเหตุ ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีครีบบระบายความร้อนที่ออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อลดอุณหภูมิขณะทำงานของไดโอด การทดสอบนี้อาจกระทำที่อุณหภูมิของครีบบระบายความร้อนที่สูงขึ้นในภาวะ 1 000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิโดยรอบ 43 องศาเซลเซียส \pm 3 องศาเซลเซียส ขณะไม่มีลม แทนที่จะเป็นที่ 75 องศาเซลเซียส

- ฉ) เพิ่มกระแสไฟฟ้า 1.25 เท่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC ขณะที่อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ที่ 75 องศาเซลเซียส \pm 5 องศาเซลเซียส และคงการไหลของกระแสไฟฟ้าไว้ 1 ชั่วโมง

- ช) ทวนสอบว่าไดโอดยังคงทำงานได้

หมายเหตุ การทำงานของไดโอดสามารถทวนสอบได้โดยใช้การทดสอบต่อจากการทดสอบจุดร้อน(ข้อ 10.9)

10.18.4 การวัดขั้นสุดท้าย

ทดสอบซ้ำตามข้อ 10.1 ข้อ 10.2 และข้อ 10.3

10.18.5 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- อุณหภูมิรอยต่อของไดโอดที่ทำได้จากข้อ 10.18.3 จ) ต้องไม่มากกว่าค่าอุณหภูมิรอยต่อสูงสุดของไดโอดที่ผู้ทำไดโอดได้กำหนดไว้

- ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่สังเกตเห็นได้ ตามที่ระบุในข้อ 7.
 - การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากค่าที่วัดก่อนการทดสอบ
 - ความต้านทานฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดเริ่มต้น
 - ไดโอดต้องทำงานได้ตามปกติ หลังจากสรุปผลการทดสอบ
-