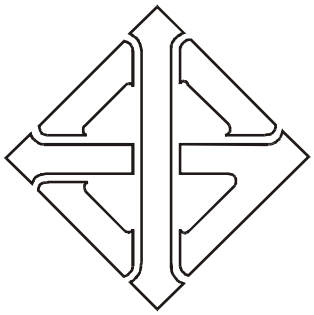


มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 1843 – 2553

IEC 61215 (2005 – 04)

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ภาคพื้นดินชนิดผลึกซิลิคอน - คุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบ

CRYSTALLINE SILICON TERRESTRIAL PHOTOVOLTAIC (PV) MODULES - DESIGN QUALIFICATION AND TYPE APPROVAL

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 27.160

ISBN 978-616-231-312-7

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ภาคพื้นดินชนิดผลึกซิลิคอน - คุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบ

มอก. 1843 – 2553

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3300

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศและงานทั่วไป เล่ม 128 ตอนพิเศษ 63ง
วันที่ 7 มิถุนายน พุทธศักราช 2554

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 1016
มาตรฐานระบบเซลล์แสงอาทิตย์

ประธานกรรมการ

นายธีรยุทธ์ เจนวิทยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กรรมการ

ศ. ดุสิต เครืองาม	บริษัท โซลาร์ตรอน จำกัด (มหาชน)
นายอิศระ ตะวันชุลี	
นายวุฒิพงศ์ สุพนธนา	สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย
นายพินิจ ศิริพฤกษ์พงษ์	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
นางสาวอรศิริ ชวนะพงศ์	การไฟฟ้านครหลวง
นายนิวัฒน์ ฉายากุล	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
นายศุภกร แสงศรีธร	
นายสุรีย์ จรูญศักดิ์	กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน
นายมนตรี พรรณรัตน์	ศูนย์ทดสอบผลิตภัณฑ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
นายพิชิต ลำยอง	คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
นายวิวรรธน์ ตาฬวัฒน์	บริษัท บางกอกโซลาร์ จำกัด
นายนิพนธ์ เจ็ดศิริ	บริษัท โซล่าร์ พีวี (ประเทศไทย) จำกัด

กรรมการและเลขานุการ

นายสถาพร รุ่งรัตนาอุบล	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภาคพื้นดินชนิดผลึกซิลิคอน - คุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบ นี้ ได้ประกาศใช้ครั้งแรกเป็นมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมส่วนสำเร็จรูปแรงดันเนื่องจากพลังแสงภาคพื้นดิน แบบผลึกซิลิคอน - คุณลักษณะการออกแบบและการรับรองแบบ มาตรฐานเลขที่ มอก.1843-2542 ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 117 ตอนที่ 92 ง วันที่ 16 พฤศจิกายน พุทธศักราช 2543 แต่เนื่องจากในปัจจุบันผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้มีการพัฒนาเป็นอันมากทั้งทางด้านการผลิตและด้านเทคโนโลยี ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับเทคโนโลยีในปัจจุบัน จึงได้แก้ไขปรับปรุงโดยยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมดังกล่าว และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภาคพื้นดินชนิดผลึกซิลิคอน - คุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบขึ้นมาใหม่

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้กำหนดขึ้นโดยรับ IEC 61215 (2005-04) Crystalline silicon terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval มาใช้ในระดับเหมือนกันทุกประการ (identical) โดยวิธีแปล

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

สารบัญ

หน้า

1. ขอบข่ายและวัตถุประสงค์ 1
2. เอกสารอ้างอิง 1
3. การชักตัวอย่าง 2
4. การทำเครื่องหมาย 3
5. การทดสอบ 3
6. เกณฑ์ตัดสิน 3
7. ความบกพร่องหลักที่มองเห็นได้ 4
8. การรายงาน 5
9. การปรับปรุงแก้ไข 9
10. ขั้นตอนการทดสอบ 9
    - 10.1 การตรวจพินิจ 9
    - 10.2 การหากำลังไฟฟ้าสูงสุด 10
    - 10.3 การทดสอบการฉนวน 11
    - 10.4 การวัดสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ 13
    - 10.5 การวัด NOCT 16
    - 10.6 สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC และที่ NOCT 27
    - 10.7 สมรรถนะที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ 29
    - 10.8 การทดสอบสภาพรับแสงกลางแจ้ง 30
    - 10.9 การทดสอบความทนทานต่อการเกิดจุดร้อน 31
    - 10.10 การทดสอบปรับเตรียมภาวะรังสี UV 38
    - 10.11 การทดสอบวัฏจักรความร้อน 39
    - 10.12 การทดสอบความชื้น-เยือกแข็ง 41
    - 10.13 การทดสอบร้อนชื้น 43
    - 10.14 การทดสอบความแข็งแรงของขั้วต่อ 44
    - 10.15 การทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วขณะเปียก 46
    - 10.16 การทดสอบโหลดทางกล 47
    - 10.17 การทดสอบลูกเห็บ 48
    - 10.18 การทดสอบทางความร้อนบายพาสส์ไดโอด 53

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 ลำดับของการทดสอบคุณสมบัติ 7
รูปที่ 2 ตัวประกอบปรับแก้ NOCT 25
รูปที่ 3 แผ่นอ้างอิง 26
รูปที่ 4 การวัด NOCT โดยวิธีแผ่นอ้างอิง 26
รูปที่ 5 ตัวประกอบปรับแก้ค่าความเร็วลม 27
รูปที่ 6 ผลจากจุดร้อนในเซลล์แบบ A 32
รูปที่ 7 ลักษณะด้านกลับ 32
รูปที่ 8 ผลจากจุดร้อนในเซลล์แบบ B 33
รูปที่ 9 กรณี SP การต่ออนุกรม–ขนาน 34
รูปที่ 10 กรณี SPS การต่ออนุกรม–ขนาน–อนุกรม 35
รูปที่ 11 การทดสอบวัฏจักรความร้อน 40
รูปที่ 12 การทดสอบวัฏจักรความชื้น–เยือกแข็ง 43
รูปที่ 13 อุปกรณ์ในการทดสอบลูกเห็บ 50
รูปที่ 14 แสดงตำแหน่งกระทบ 52

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 สรุปหัวข้อการทดสอบ 8
ตารางที่ 2 มวลลูกน้ำแข็งและความเร็วในการทดสอบ 50
ตารางที่ 3 ตำแหน่งกระทบ 52

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 4321 (พ.ศ. 2554)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง ยกเลิกมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมส่วนสำเร็จรูปแรงดันเนื่องจากพลังแสง ภาคพื้นดินแบบผลึกซิลิคอน – คุณลักษณะการออกแบบและการรับรองแบบ และกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ภาคพื้นดิน ชนิดผลึกซิลิคอน – คุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบ

โดยที่เป็นการสมควรปรับปรุงมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ส่วนสำเร็จรูปแรงดันเนื่องจากพลังแสง ภาคพื้นดินแบบผลึกซิลิคอน – คุณลักษณะการออกแบบและการรับรองแบบ มาตรฐานเลขที่ มอก.1843–2542

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศยกเลิกประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2723 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ส่วนสำเร็จรูปแรงดันเนื่องจากพลังแสงภาคพื้นดินแบบผลึกซิลิคอน – คุณลักษณะการออกแบบและการรับรองแบบ ลงวันที่ 8 สิงหาคม พ.ศ. 2543 และออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แผงเซลล์แสงอาทิตย์ภาคพื้นดินชนิดผลึกซิลิคอน – คุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบ มาตรฐานเลขที่ มอก.1843–2553 ขึ้นใหม่ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลเมื่อพ้นกำหนด 270 วัน นับตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ 3 มีนาคม พ.ศ. 2554

ชัยวุฒิ บรรณวัฒน์

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ภาคพื้นดินชนิดผลึกซิลิคอน - คุณสมบัติการออกแบบและรับรองแบบ

1. ขอบข่ายและวัตถุประสงค์

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

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ ไม่ครอบคลุม แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้การรวมแสงอาทิตย์ (concentrated sunlight)

วัตถุประสงค์ของลำดับการทดสอบคือ การหาคุณลักษณะทางไฟฟ้าและทางความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเพื่อแสดงความเป็นไปได้ของคุณลักษณะข้างต้น ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านราคาและเวลา แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องสามารถทนอยู่ในที่กลางแจ้งเป็นเวลานาน 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*

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) สำหรับการทดสอบคุณสมบัติที่ต้องการตามขั้นตอนที่ได้กำหนดไว้ใน IEC 60410 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องผลิตขึ้นจากวัสดุและส่วนประกอบได้กำหนดไว้ตามแบบที่เขียน เอกสารกระบวนการผลิต และผ่านการตรวจพินิจ การควบคุมคุณภาพ และ ขั้นตอนการยอมรับได้ในการผลิตตามปกติ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีความสมบูรณ์ในทุกรายละเอียด และต้องมีคู่มือของผู้ทำ ข้อแนะนำในการติดตั้ง รวมทั้งระบุค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของระบบที่สามารถใช้งานได้

ถ้าไม่สามารถเข้าถึงบายพาสส์ไดโอดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ให้จัดเตรียมตัวอย่างพิเศษ สำหรับการทดสอบทางความร้อนของ บายพาสส์ไดโอด (ข้อ 10.18) ต้องติดตั้งบายพาสส์ไดโอด เช่นเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามกระบวนการผลิต และติดตั้งตัวรับรู้อุณหภูมิบนไดโอด ตามข้อกำหนดในข้อ 10.18.2 ตัวอย่างไดโอดนี้ ไม่ทำไว้เพื่อการทดสอบในขั้นตอนอื่นตามรูปที่ 1

ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบ เป็นต้นแบบของการออกแบบใหม่ และยังไม่เป็นผลิตภัณฑ์จากการผลิต ต้องแจ้งในรายงานการทดสอบ

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

ในขณะทดสอบควรปฏิบัติตามคำแนะนำในการต่อและติดตั้งตามคู่มือของผู้ทำ 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) ภายหลังการทดสอบต้องไม่เกิดการเสื่อมสภาพที่ทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงมากกว่าร้อยละ 8 ของแต่ละลำดับขั้นตอนการทดสอบ (sequence) หรือลดลงไม่เกินขีดจำกัดที่ได้กำหนดไว้แต่ละหัวข้อการทดสอบ

ข) ระหว่างการทดสอบ วงจรภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแผงต้องไม่เปิดวงจร

ค) ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่มองเห็นได้ตามที่กำหนดไว้ในข้อ 7.

ง) ภายหลังการทดสอบ ผลการทดสอบการฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนด

จ) การทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วขณะเปียกต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ทั้งขณะเริ่มต้นและสิ้นสุดแต่ละลำดับขั้นตอน รวมทั้งภายหลังจากการทดสอบความร้อนชื้น

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 ซูเปอร์สเตรต ซับสเตรต กรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และกล่องต่อสาย

ข) พื้นผิวภายนอกโค้ง หรือบิดเบี้ยว รวมถึง ซูเปอร์สเตรต ซับสเตรต กรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และกล่องต่อสาย ที่มีผลให้การติดตั้งและ/หรือ การทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เสื่อมสภาพลง

ค) การแพร่กระจายของรอยร้าวในเซลล์ มากกว่าร้อยละ 10 ของพื้นที่ของเซลล์นั้น ๆ

ง) มีฟองอากาศหรือเกิดการลอกล่อนที่เกิดจากการผนึกแผงเซลล์แสงอาทิตย์จนก่อให้เกิดแนวต่อเนื่องระหว่างส่วนใด ๆ ของวงจรไฟฟ้ากับขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จ) สูญเสียความสมบูรณ์ทางกลมีผลให้การติดตั้ง และ/หรือการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เสื่อมลง

8. การรายงาน

ตามการรับรองแบบ การรายงานการทดสอบด้วยการวัดคุณลักษณะทางสมรรถนะ และการให้รายละเอียดของความบกพร่องที่ไม่ผ่านมาตรฐาน 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 และข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้องที่กำหนดไว้ในการทดสอบ เช่นภาวะแวดล้อม

ฏ) การวัด การตรวจสอบ และผลที่ได้รับในรูปของตาราง กราฟ ภาพสเก็ต และภาพถ่าย ตามความเหมาะสม รวมถึง

- สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสไฟฟ้าลัดวงจร
- สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด
- สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกำลังไฟฟ้าค่ายอด
- ค่า NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)
- กำลังไฟฟ้าที่ NOCT
- กำลังไฟฟ้าที่ STC (Standard Test Condition)
- กำลังไฟฟ้าที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ต่ำ
- สเปกตรัมของหลอดไฟฟ้าที่ใช้เพื่อการทดสอบรังสี UV

- การสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สังเกตได้หลังผ่านการทดสอบทั้งหมด
- ความบกพร่องอื่นๆ ที่สังเกตได้

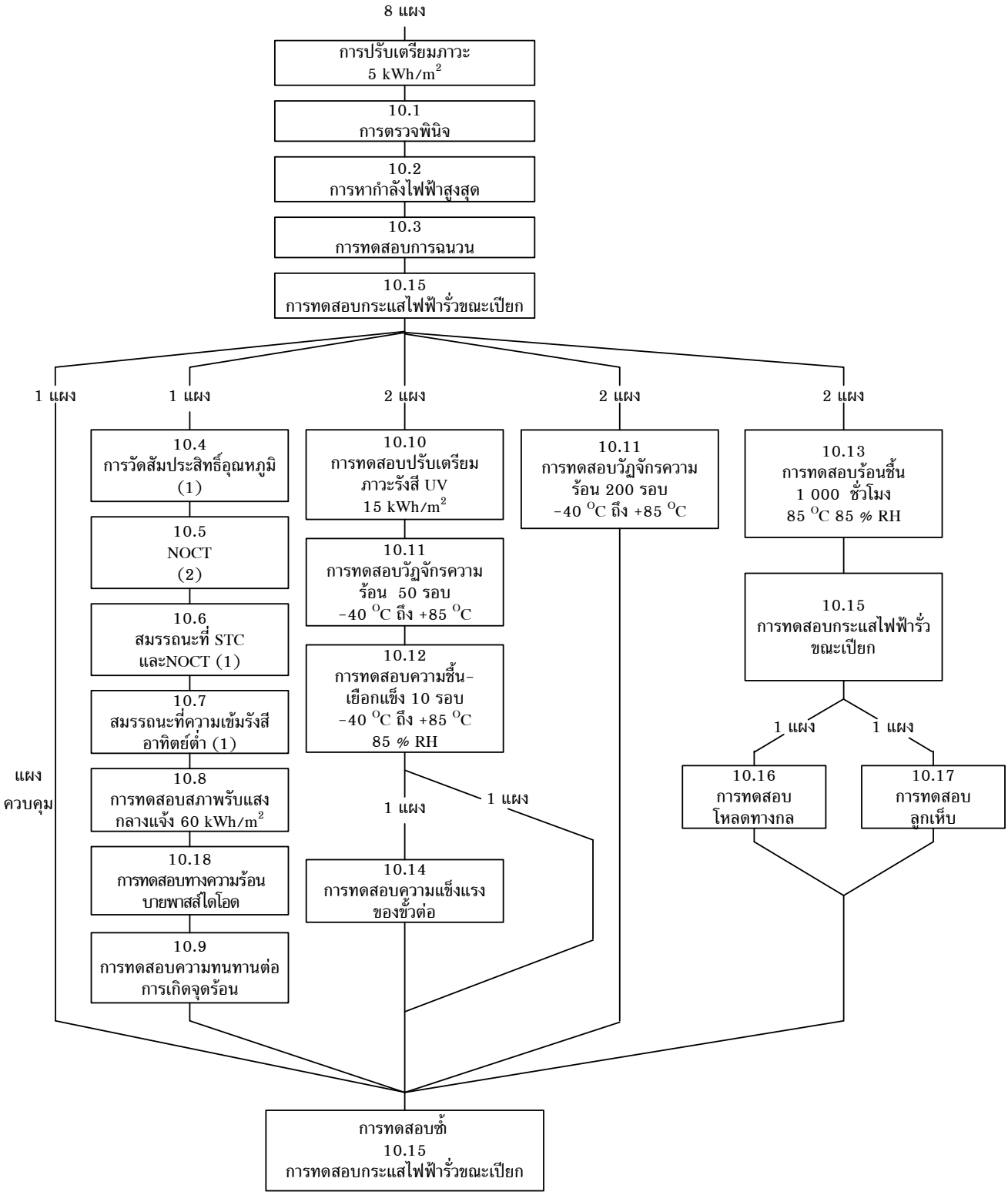
ฎ) ข้อความแสดงค่าโดยประมาณของความไม่แน่นอน (uncertainty) ของผลการทดสอบ (ที่เกี่ยวข้อง)

ฐ) ลายเซ็น และตำแหน่ง หรือการชี้บ่งบุคคลที่รับผิดชอบในเนื้อหาของใบรับรองหรือรายงาน และวันที่ออกใบรับหรือรายงาน

ฑ) ข้อความแสดงว่า รายงานการทดสอบเป็นผลการทดสอบของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเท่านั้น

ฒ) 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	การหากำลังไฟฟ้าสูงสุด (maximum power determination)	ดู IEC 60904-1
10.3	การทดสอบการฉนวน (insulation test)	การทนไดอิเล็กทริกที่ 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 ในเงื่อนไขที่จุดร้อนที่ให้ผลเลวที่สุด
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 โดยป้อนกระแสไฟฟ้าเท่ากับกระแสไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 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	การทดสอบทางความร้อนบายพาสส์ไดโอด (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 การทดสอบเหล่านี้อาจละเว้นได้ถ้าในอนาคตได้มีการทดสอบตาม 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 โค้งงอ บิดเบี้ยวหรือฉีกขาด
- เซลล์แตก
- เซลล์ร้าว
- ความผิดพร่องของการต่อภายใน หรือของรอยต่อ
- เซลล์ในแผงเซลล์แสงอาทิตย์สัมผัสกัน หรือสัมผัสกับกรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- เสียสภาพของการยึดเกาะ
- มีฟองอากาศหรือเกิดการลอกล่อนที่เกิดจากการผนึกแผงเซลล์แสงอาทิตย์จนก่อให้เกิดแนวต่อเนื่องระหว่างส่วนใด ๆ ของเซลล์กับที่ขอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- เกิดการเหนียวเหนอะ (tacky) ของผิวหน้าพลาสติก
- การต่อไฟฟ้าผิดพร่อง เผยให้เห็นส่วนที่มีไฟฟ้า
- ข้อเสียหายอื่นๆ ที่มีผลต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

บันทึก และ/หรือถ่ายภาพลักษณะและตำแหน่งของรอยร้าว ฟองอากาศ หรือรอยลอกล่อน หรืออื่นๆ ซึ่งอาจมีผลเสียหรือมีผลกระทบต่อสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของการทดสอบรายการถัดไป

10.1.3 ข้อกำหนด

สิ่งบกพร่องที่มองเห็นได้นอกเหนือจากความบกพร่องหลักที่มองเห็นได้ ตามรายการในข้อ 7. สามารถยอมรับได้สำหรับจุดประสงค์เพื่อการรับรองแบบ

10.2 การหากำลังไฟฟ้าสูงสุด

10.2.1 จุดประสงค์

เพื่อหากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนและหลังการทดสอบที่สภาพแวดล้อมที่ต่างกัน ความทวนซ้ำได้เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด

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) อุปกรณ์แสดงผลการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± 1 องศาเซลเซียส และมีความทวนซ้ำได้ ± 0.5 องศาเซลเซียส

จ) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± ร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้

ฉ) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± ร้อยละ 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 ในกรณีพิเศษถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกออกแบบเพื่อใช้งานในช่วงภาวะที่แตกต่างจากภาวะข้างต้น การทดสอบลักษณะกระแส-แรงดันไฟฟ้าสามารถทำได้ในภาวะอุณหภูมิและความเข้มรังสีอาทิตย์ที่คาดว่าจะใช้งานจริง การปรับแก้ภาวะอุณหภูมิและความเข้มรังสีอาทิตย์สามารถทำได้ตาม IEC 60891 เพื่อเปรียบเทียบชุดของการวัดที่ทำกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์เดียวกัน ทั้งก่อนและหลังการทดสอบสภาพแวดล้อม อย่างไรก็ตามพยายามทำให้มั่นใจว่าได้วัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาวะที่ใกล้เคียงกันเพื่อให้มีการปรับแก้น้อยที่สุด โดยวัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดทุกค่าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิและความเข้มรังสีอาทิตย์เดียวกันโดยประมาณ ความทวนซ้ำได้ต้องเบี่ยงเบนได้ไม่เกิน ± 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

- ไม่มีการเสียสภาพฉับพลันจาก ไดอิเล็กทริก หรือการเกิดรอยทางไฟฟ้าบนผิว (surface tracking) ระหว่างขั้นตอน ค)
- 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) และสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกำลังไฟฟ้าค่ายอด (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 หาได้โดยสอบเทียบกับมาตรรังสีสัมบูรณ์ (absolute radiometer) ตาม IEC 60904-2 หรือ IEC 60904-6

ค) เครื่องทดสอบที่จำเป็นเพื่อใช้ปรับอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบตามช่วงอุณหภูมิที่ต้องการ

ง) อุปกรณ์จับยึดที่เหมาะสมเพื่อยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงให้อยู่ในระดับตั้งฉากกับลำแสง

จ) อุปกรณ์แสดงผลการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± 1 องศาเซลเซียส และมีความทวนซ้ำได้ ± 0.5 องศาเซลเซียส

ฉ) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± ร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้

ช) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± ร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้

10.4.3 ขั้นตอนการทดสอบ

การวัดสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสามารถทำได้ 2 วิธี

10.4.3.1 ขั้นตอนการทดสอบด้วยแสงธรรมชาติ

ก) การวัดด้วยแสงธรรมชาติทำได้ต่อเมื่อ :

- ความเข้มรังสีอาทิตย์รวมอย่างน้อยที่สุดมีค่าสูงเท่ากับขีดจำกัดบนของพิสัยที่ต้องการ
- ค่าความแปรปรวนของความเข้มรังสีอาทิตย์ ที่เป็นการแปรปรวนช่วงสั้น (เมฆ หมอก หรือ ควัน) คลาดเคลื่อนน้อยกว่า ± ร้อยละ 2 ของความเข้มรังสีอาทิตย์รวมที่วัดจากอุปกรณ์อ้างอิง
- ความเร็วลมน้อยกว่า 2 เมตรต่อวินาที

ข) ติดตั้งอุปกรณ์อ้างอิงในระนาบเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบจนกระทั่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 2 ตั้งฉากกับลำแสงอาทิตย์ โดยมีค่าคลาดเคลื่อน ± 5 องศา เชื่อมต่อเครื่องวัดที่จำเป็น

หมายเหตุ การวัดที่จะอธิบายในข้อถัดไปควรทำอย่างรวดเร็วเท่าที่จะทำได้ภายในสองสามชั่วโมงในวันเดียวกัน เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสเปกตรัมให้น้อยที่สุด หากทำไม่ได้อาจต้องใช้ค่าปรับแก้สเปกตรัม

ค) ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงมีการควบคุมอุณหภูมิ ต้องปรับตัวควบคุมอุณหภูมิในระดับที่ต้องการ

ง) ถ้าไม่มีตัวควบคุมอุณหภูมิ ให้บังแสงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบกับอุปกรณ์อ้างอิงจากแสงอาทิตย์และลม จนกระทั่งมีอุณหภูมิคงที่เท่ากับอุณหภูมิอากาศโดยรอบ ± 1 องศาเซลเซียส หรือปล่อยให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบมีอุณหภูมิคงตัวหรือทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ต้องการทดสอบ แล้วปล่อยให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามธรรมชาติ ในทำนองเดียวกันควรทำอุณหภูมิอุปกรณ์อ้างอิงให้คงตัว ± 1 องศาเซลเซียส ก่อนดำเนินการต่อไป

จ) บันทึกลักษณะกระแส-แรงดันไฟฟ้าและอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ ในเวลาเดียวกันให้บันทึกกระแสไฟฟ้าลัดวงจรและอุณหภูมิของอุปกรณ์อ้างอิงที่อุณหภูมิต้องการ ถ้าจำเป็นให้วัดทันทีที่เอาบังแสงออก

ฉ) คำนวณความเข้มรังสีอาทิตย์ G_O ตาม IEC 60891 จากการวัดกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{sc}) ของอุปกรณ์อ้างอิงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ และปรับเทียบค่าที่ STC (I_{rc}) ควรใช้การปรับแก้โดยให้พิจารณาจากอุณหภูมิของอุปกรณ์อ้างอิง T_m โดยใช้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่กำหนดของอุปกรณ์อ้างอิง α_{rc}

$$G_o = \frac{1\,000\,\mathrm{Wm}^{-2} \times I_{sc}}{I_{rc}} \times \left[1 - \alpha_{rc}\left(T_m - 25^{o}\mathrm{C}\right)\right]$$

โดยที่ α_{rc} เป็นสัมประสิทธิ์อุณหภูมิสัมพัทธ์ [1/^{O}C] ที่ 25 องศาเซลเซียส และ 1 000 วัตต์ต่อตารางเมตร

ช) ปรับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบโดยใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ หรือเลือกใช้วิธีตากแดดและบังแสงสลับกันไป เพื่อให้ได้และรักษาอุณหภูมิตามที่ต้องการ หรือเลือกใช้วิธีปล่อยให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบมีอุณหภูมิสูงขึ้นโดยธรรมชาติโดยใช้ขั้นตอนการบันทึกข้อมูลในข้อ ง) และให้บันทึกข้อมูลเป็นระยะๆ ในระหว่างที่มีอุณหภูมิสูงขึ้น

ซ) ต้องแน่ใจว่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงคงตัวและคงที่อยู่ใน ± 1 องศาเซลเซียส และความเข้มรังสีอาทิตย์ที่วัดจากอุปกรณ์อ้างอิงคงที่อยู่ใน ± ร้อยละ 1 ระหว่างช่วงเวลาบันทึกข้อมูลในแต่ละชุด 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) หากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ตามต้องการที่อุณหภูมิห้อง ตาม IEC 60904-1

ข) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบเข้ากับเครื่องวัดที่ใช้เปลี่ยนอุณหภูมิ ติดตั้งอุปกรณ์อ้างอิงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ ให้อยู่ในลำแสง เชื่อมต่อกับเครื่องมือวัด

ค) ปรับตั้งความเข้มรังสีจนกระทั่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบจ่ายกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเท่ากับค่าที่ได้มาจากข้อ ก) ใช้อุปกรณ์อ้างอิงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อรักษาการปรับตั้งค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ได้ตลอดการทดสอบ

ง) เพิ่มหรือลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ ทันทีที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ในอุณหภูมิที่ต้องการให้วัดค่า I_{sc} V_{oc} และกำลังไฟฟ้าค่ายอดเปลี่ยนอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบขั้นบันไดขั้นละประมาณ 5 องศาเซลเซียส ภายในช่วงที่ต้องการไม่น้อยกว่า 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 หาเส้นตรงสำหรับกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และ P_{max} คำนวณ 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 อุณหภูมิท้องฟ้า การสะท้อนและการแผ่รังสีจากพื้นดินและจากวัตถุที่อยู่ใกล้เคียง เพื่อทำให้การคาดคะเนสมรรถนะได้ถูกต้อง ควรคำนึงถึงผลของปัจจัยเหล่านี้ด้วย

วิธีที่ใช้หา NOCT มี 2 วิธีดังนี้

วิธีแรก เรียกว่า “วิธีปฐมภูมิ” สามารถใช้ได้ทั่วไปกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทุกชนิด ในกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้ออกแบบสำหรับโครงยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเปิดโล่ง วิธีปฐมภูมิอาจใช้หาอุณหภูมิรอยต่อของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เป็นค่าเฉลี่ยสมดุลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน SRE และในสภาพการติดตั้งตามคำแนะนำของผู้ทำ

วิธีที่สอง เรียกว่า “วิธีแผ่นอ้างอิง” เป็นวิธีที่เร็วแต่ใช้ได้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบที่สนองตอบต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิโดยรอบเท่านั้น (ภายใต้ขอบเขตที่จำกัดของความเร็วลมและความเข้มรังสีอาทิตย์) ในวิธีเดียวกันกับแผ่นอ้างอิงที่ใช้วัด แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึกซิลิคอนที่ด้านหน้าเป็นกระจกและด้านหลังเป็นพลาสติก จัดอยู่ในประเภทนี้ การสอบเทียบแผ่นอ้างอิง ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนการทดสอบของวิธีปฐมภูมิ

10.5.3 วิธีปฐมภูมิ

10.5.3.1 หลักการ

วิธีนี้อยู่บนพื้นฐานของการเก็บข้อมูลในการวัดอุณหภูมิของเซลล์ภายใต้เงื่อนของภาวะแวดล้อม รวมถึง SRE ข้อมูลนี้มีความแม่นและความทวนซ้ำได้ 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 ในกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับติดตั้งบนโครงยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเปิดโล่ง การทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามคำแนะนำของผู้ทำ

ข) ไพรานอมิเตอร์ ติดตั้งบนระนาบเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอยู่ภายในระยะ 0.3 เมตรจากชุดทดสอบ

ค) เครื่องมือวัดความเร็วลมต้องสามารถวัดได้ต่ำถึง 0.25 เมตรต่อวินาที และเครื่องมือวัดทิศทางของลม ติดตั้งสูงจากส่วนบนสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 0.7 เมตร และวางห่างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1.2 เมตร ไปทางตะวันออกหรือตะวันตก

ง) ตัวรับรู้อุณหภูมิโดยรอบที่มีค่าคงตัวเวลาเท่ากับหรือน้อยกว่าของตัวรับรู้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยให้ติดตั้งอยู่ในเปลือกหุ้มที่บังแสงที่มีการระบายอากาศดี และติดตั้งใกล้ตัวรับรู้ความเร็วและทิศทางลม

จ) ตัวรับรู้อุณหภูมิของเซลล์ที่ติดด้วยสารยึดติดนำความร้อนไว้ที่ด้านหลังเซลล์ 2 เซลล์ที่อยู่ใกล้กึ่งกลางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุกแผงที่ทดสอบ หรือใช้อุปกรณ์อื่นที่จำเป็นสำหรับการวัดอุณหภูมิเซลล์ตามการรับรองของ IEC

ฉ) ระบบเก็บข้อมูลที่มีค่าความแม่นของการวัดอุณหภูมิ ± 1 องศาเซลเซียส เก็บบันทึกค่าของพารามิเตอร์ดังนี้ ภายในช่วงเวลาไม่มากกว่า 5 วินาที

- ความเข้มรังสีอาทิตย์
- อุณหภูมิโดยรอบ
- อุณหภูมิเซลล์
- ความเร็วลม
- ทิศทางลม

10.5.3.3 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ

มุมเอียง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบต้องอยู่ในตำแหน่งมุมเอียง 45 องศา ± 5 องศากับระดับแนวราบ โดยด้านหน้าหันไปทางเส้นศูนย์สูตร

ความสูง ขอบล่างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบต้องอยู่สูงจากระดับพื้นดิน 0.6 เมตร หรือมากกว่า ในระดับแนวราบของพื้นดินตามสภาพของพื้นที่

การจัดวางตัวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อจำลองขอบเขตเงื่อนไขทางความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ แผงเซลล์แสงอาทิตย์อื่น ๆ ที่ติดตั้งบนระนาบเดียวกันกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบต้องยื่นออกไปไม่น้อยกว่า 0.6 เมตรทุกทิศทาง กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ออกแบบสำหรับติดตั้งได้อิสระและด้านหลังเปิดโล่ง ให้ติดตั้งแผ่นอะลูมิเนียมสีดำหรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์อื่นแบบเดียวกัน เพื่อปิดพื้นที่เปิดอยู่ในระนาบนั้นให้เต็ม

พื้นที่โดยรอบ ต้องเป็นพื้นที่โล่งไม่มีสิ่งบดบัง เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบได้รับความเข้มรังสีอาทิตย์อย่างเต็มที่ตลอดในช่วงทำการทดสอบ 4 ชั่วโมง ก่อนและหลังเที่ยงสุริยะ(solar noon) พื้นดินรอบ ๆ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องไม่มีการสะท้อนรังสีสูงผิดปกติและต้องเป็นที่ราบหรือมีความลาดเทออกจากแท่นทดสอบโดยรอบทุกทิศทาง ยอมให้มี หญ้า พืชชนิดอื่นๆ ยางอัลฟาสต์สีดำหรือผงดิน ในพื้นที่โดยรอบนั้นได้

10.5.3.4 ขั้นตอนการทดสอบ

ก) ติดตั้งเครื่องทดสอบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบตามข้อ 10.5.3.3 และต้องแน่ใจว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบอยู่ในสภาพเปิดวงจร

ข) ขณะทดสอบ ท้องฟ้าต้องโปร่งใส มีแสงอาทิตย์ มีลมพัดเพียงเล็กน้อย บันทึกข้อมูล อุณหภูมิเซลล์ อุณหภูมิโดยรอบ ความเข้มรังสีอาทิตย์ ความเร็วลมและทิศทางลม สัมพันธ์กับเวลา

ค) ตัดข้อมูลที่ได้ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้ทิ้ง

- ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีค่าต่ำกว่า 400 วัตต์ต่อตารางเมตร
- ในช่วงเวลา 10 นาที หลังจากที่ความเข้มรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงมากกว่าร้อยละ 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 เขียนกราฟความสัมพันธ์ของ (T_J-T_{amb}) กับความเข้มรังสีอาทิตย์ และใช้การวิเคราะห์ด้วยสมการการถดถอย เพื่อให้สอดคล้องกับข้อมูล

จ) หาค่าของ (T_J-T_{amb}) ที่ 800 วัตต์ต่อตารางเมตร และบวกเพิ่ม 20 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้ NOCT เบื้องต้น

ฉ) คำนวณหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิโดยรอบ (T_{amb}) และค่าเฉลี่ยของความเร็วลม (V) จากข้อมูลที่ยอมรับได้ และกำหนดตัวประกอบค่าแก้ที่เหมาะสมจากรูปที่ 2

ช) บวกตัวประกอบค่าแก้กับ 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

แผ่นอ้างอิงต้องทำด้วยอะลูมิเนียมเจือแข็งที่มีมิติตามรูปที่ 3 พื้นผิวด้านหน้าต้องทาสีดำด้าน และพื้นผิวด้านหลังทาสีขาวมัน วิธีทดสอบต้องเตรียมการวัดอุณหภูมิของแผ่นอ้างอิงให้มีความถูกต้องตามที่กำหนด วิธีหนึ่งที่ใช้ เทอร์มอคัปเปิล 2 อัน ดังแสดงในรูปที่ 3 เทอร์มอคัปเปิลอันแรกให้ปอกฉนวนออกเป็นระยะทาง 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 ± 5 องศากับระดับแนวราบ โดยให้ด้านหน้าหันไปทางเส้นศูนย์สูตร แต่ละแผงต้องวางระหว่างกลางแผ่นอ้างอิง 2 แผ่น โดยวางให้ชิดกัน ขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์วางเหนือพื้นดินประมาณ 1 เมตร โครงยึดนี้ต้องถูกออกแบบให้มีนำความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแผ่นอ้างอิงได้น้อยที่สุด และมีการรบกวนจากการแผ่รังสีความร้อนจากด้านหน้าและหลังน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

ง) เครื่องมือวัดความเร็วลมต้องสามารถวัดได้ต่ำถึง 0.25 เมตรต่อวินาที และเครื่องมือวัดทิศทางของลม ติดตั้งสูงจากส่วนบนสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประมาณ 0.7 เมตร และวางห่างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 1.2 เมตร ไปทางตะวันออกหรือตะวันตก ตามรูปที่ 4

จ) ตัวรับรู้อุณหภูมิโดยรอบที่มีค่าคงตัวเวลาเท่ากับหรือน้อยกว่าของตัวรับรู้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยให้ติดตั้งอยู่ในเปลือกหุ้มที่บังแสงที่มีการระบายอากาศดี และติดตั้งใกล้ตัวรับรู้ความเร็วและทิศทางลม

ฉ) ตัวรับรู้อุณหภูมิของเซลล์ที่ติดด้วยสารยึดติดนำความร้อนไว้ที่ด้านหลังเซลล์ 2 เซลล์ที่อยู่ใกล้กึ่งกลางแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงทดสอบ หรือใช้อุปกรณ์อื่นที่จำเป็นสำหรับการวัดอุณหภูมิเซลล์ตามการรับรองของ IEC

ช) ระบบเก็บข้อมูลที่มีค่าความแม่นของการวัดอุณหภูมิ ± 1 องศาเซลเซียส เก็บบันทึกค่าของพารามิเตอร์ดังนี้ ภายในช่วงเวลาไม่มากกว่า 5 วินาที

- ความเข้มรังสีอาทิตย์
- อุณหภูมิโดยรอบ
- อุณหภูมิเซลล์
- ความเร็วลม
- ทิศทางลม
- อุณหภูมิของแผ่นอ้างอิง

10.5.4.5 ขั้นตอนการทดสอบ

ก) ติดตั้งเครื่องทดสอบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและแผ่นอ้างอิง ดังรูปที่ 4 ต้องแน่ใจว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบอยู่ในสภาพเปิดวงจร

ข) ขณะทดสอบท้องฟ้าต้องโปร่งใส มีแสงอาทิตย์มีลมพัดเพียงเล็กน้อย บันทึกข้อมูลอุณหภูมิเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ อุณหภูมิของแผ่นอ้างอิง ความเข้มรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิโดยรอบ ความเร็วลมและทิศทางลมสัมพันธ์กับเวลา

ค) ตัดข้อมูลที่ได้ตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้ทิ้ง รวมถึงข้อมูลหลังจากนั้น 15 นาที

- ความเข้มรังสีอาทิตย์ที่มีค่าต่ำกว่า 750 วัตต์ต่อตารางเมตร หรือสูงกว่า 850 วัตต์ต่อตารางเมตร
- ความเข้มรังสีอาทิตย์เปลี่ยนแปลงมากกว่า ± 40 วัตต์ต่อตารางเมตร ระหว่างการเก็บข้อมูลหนึ่งครั้ง
- 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_Jและคำนวณดังนี้

$$\Delta T_{JP} = T_J - T_P$$

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

ΔT_{JPm}(ปรับแก้ค่าแล้ว) = (f /ζR)· ΔT_{JPm}(ยังไม่ได้ปรับแก้ค่า)

โดยที่

f หมายถึง ตัวประกอบปรับแก้ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ คือ 800 หารด้วยความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยในคาบเวลาที่เลือก

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

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

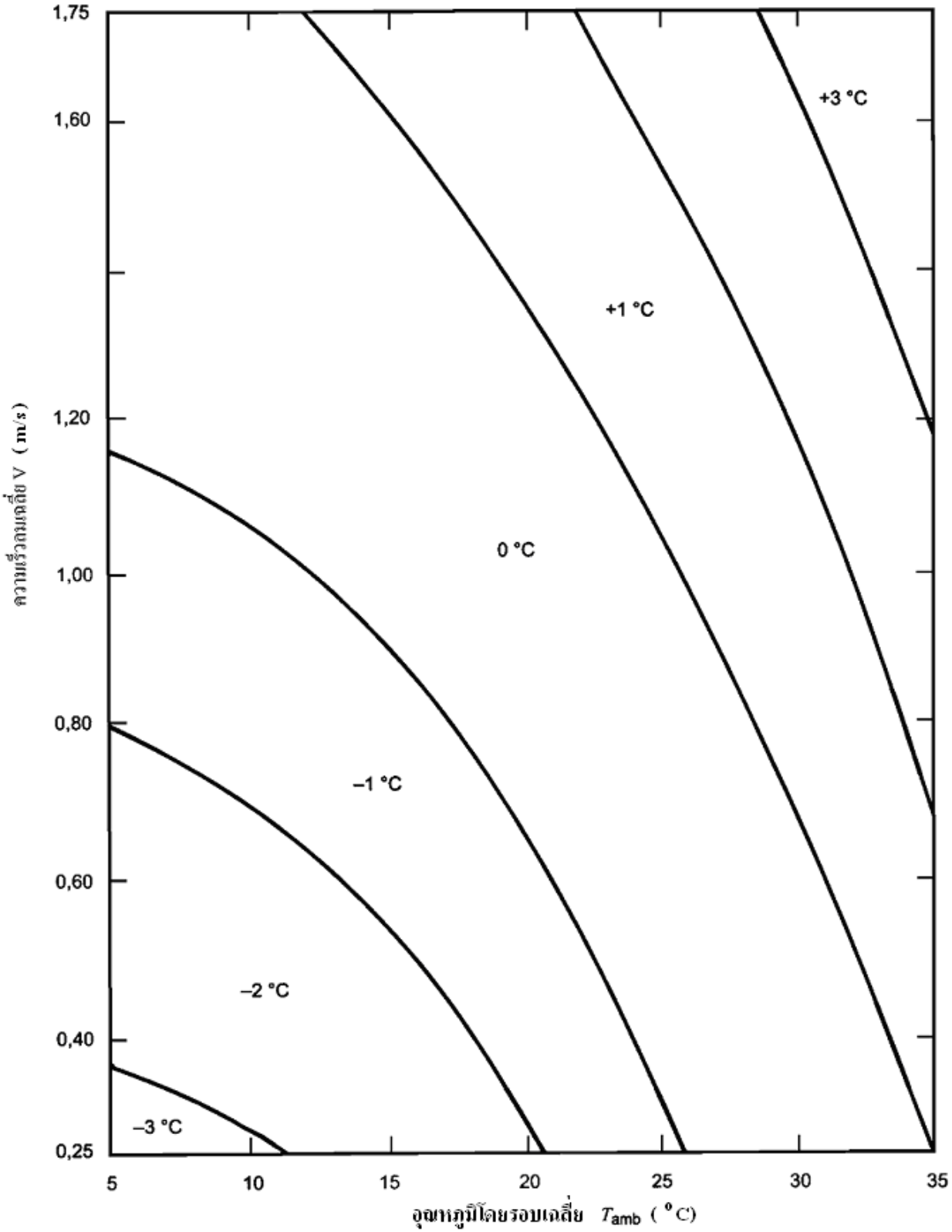
R หมายถึง ตัวประกอบปรับแก้ค่าความเร็วของลม ที่ได้มาจากความเร็วลมเฉลี่ยในคาบเวลาที่เลือก ดังกราฟแสดงในรูปที่ 5

4) คำนวณ NOCT ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบดังนี้

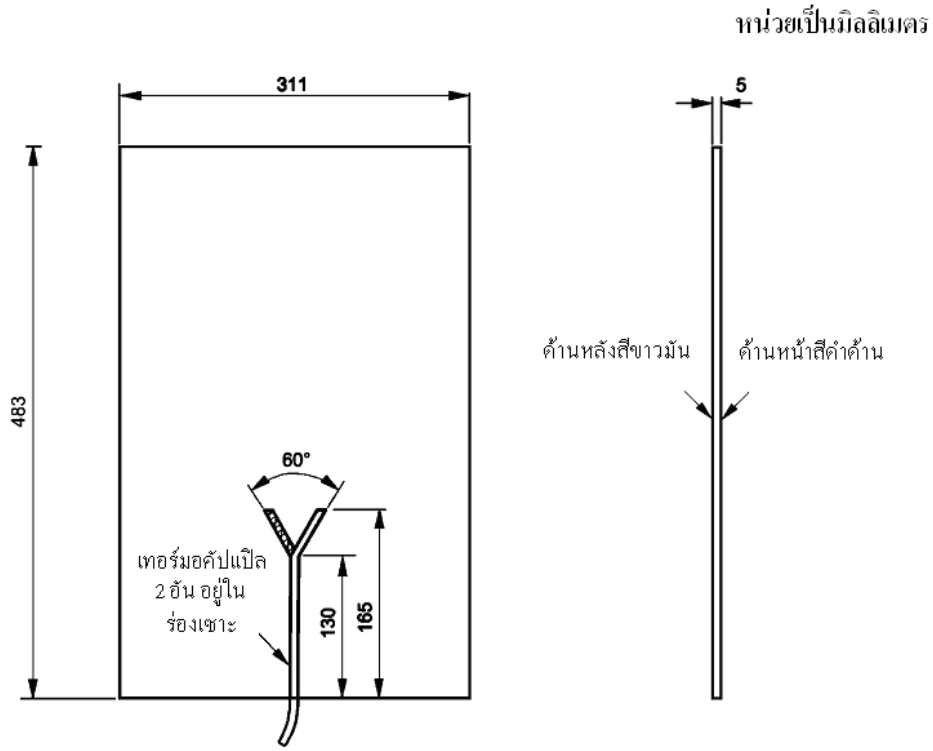
$$\text{NOCT} = T_{PR} + \Delta T_{JPm} \text{(ปรับแก้ค่าแล้ว)}$$

โดยที่ T_{PR} คือ อุณหภูมิคงตัวเฉลี่ยของแผ่นอ้างอิงในสภาพ SRE

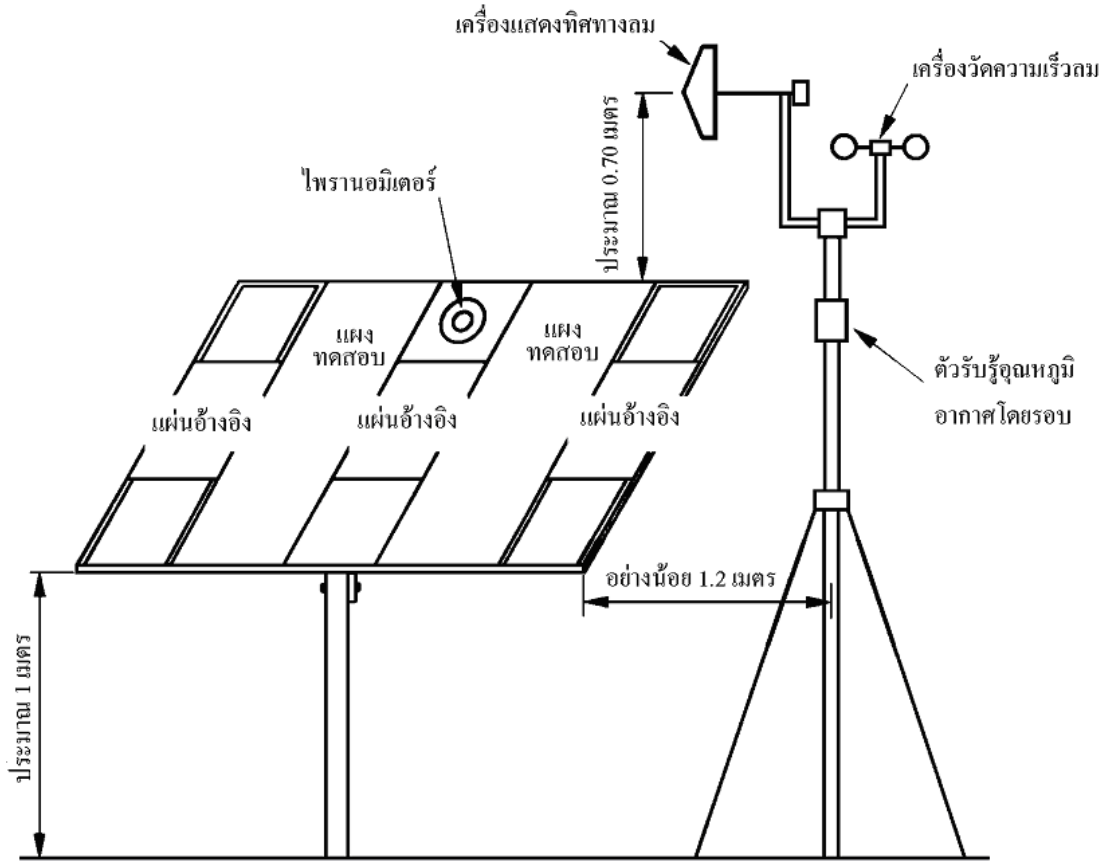
ฉ) ทำการทดสอบซ้ำทั้งหมดของขั้นตอนการทดสอบ เพิ่มอีก 2 วัน และเฉลี่ยค่า NOCT ทั้ง 3 ค่า สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบแต่ละแผง



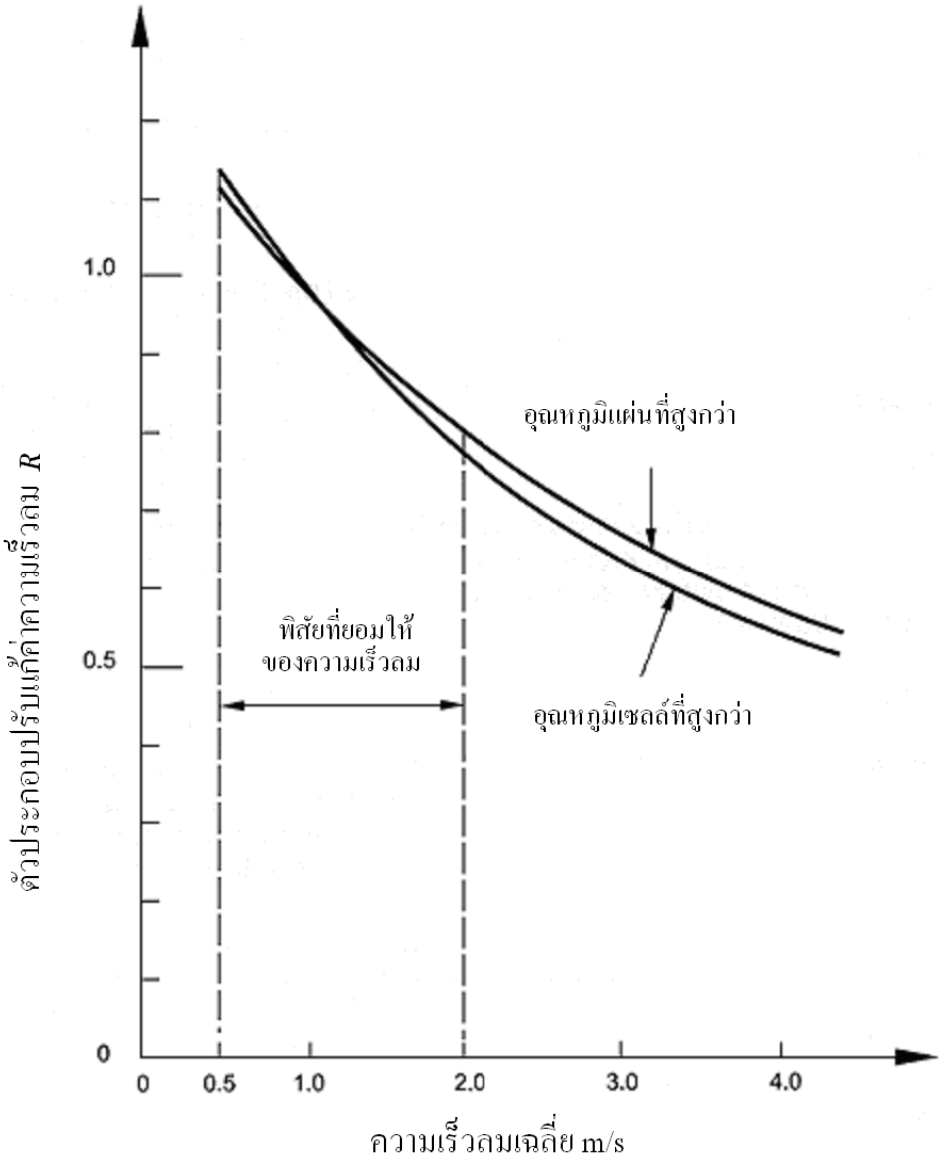
รูปที่ 2 ตัวประกอบปรับแก้ NOCT



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) อุปกรณ์แสดงผลการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± 1 องศาเซลเซียส และมีความทวนซ้ำได้ ± 0.5 องศาเซลเซียส

จ) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± ร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้

ฉ) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± 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 หรือดีกว่าตามข้อกำหนด 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) อุปกรณ์แสดงผลการวัดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± 1 องศาเซลเซียส และมีความทวนซ้ำได้ ± 0.5 องศาเซลเซียส

ฉ) เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± ร้อยละ 0.2 ของค่าที่อ่านได้

ช) เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบและอุปกรณ์อ้างอิงต้องมีความแม่น ± 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 สำหรับข้อแนะนำการลดความเข้มรังสีอาทิตย์ ที่ไม่เปลี่ยนการกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์เชิงสเปกตรัม)

10.8 การทดสอบสภาพรับแสงกลางแจ้ง

10.8.1 จุดประสงค์

เพื่อประเมินเบื้องต้นถึงความสามารถของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในการทนต่อภาวะรับแสงกลางแจ้ง และแสดงให้เห็นการเสื่อมสภาพใด ๆ ซึ่งอาจจะตรวจไม่พบในห้องทดสอบ

หมายเหตุ ควรระวัง ในการตัดสินเกี่ยวกับอายุการใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นฐานของการผ่านการทดสอบนี้ เพราะว่าเป็นการทดสอบในช่วงสั้นและมีการเปลี่ยนแปลงภาวะแวดล้อมในขณะทดสอบ ผลการทดสอบนี้ควรใช้เป็นเพียงแนวทางหรือตัวบ่งชี้ถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้

10.8.2 เครื่องทดสอบ

ก) อุปกรณ์วัดความเข้มรังสีอาทิตย์ ที่มีค่าความไม่แน่นอนน้อยกว่า ± 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

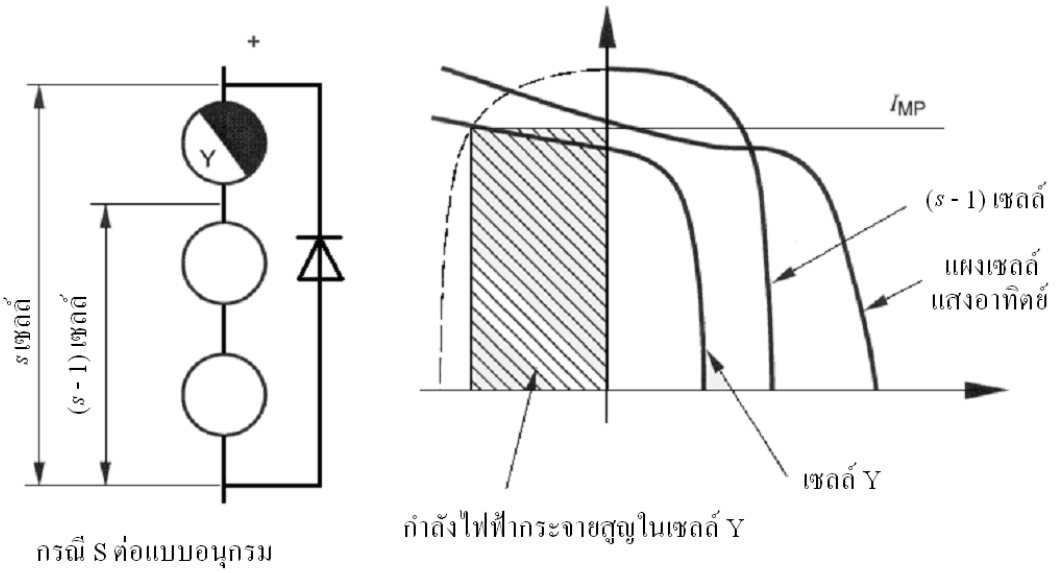
ความร้อนจากจุดร้อนเกิดขึ้นในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อกระแสไฟฟ้าใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่ามากกว่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ลดลงของเซลล์หรือกลุ่มเซลล์ที่ถูกบังแสงหรือที่เสียหายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้น ซึ่งเป็นผลให้เซลล์หรือกลุ่มเซลล์นั้นอยู่ในภาวะไบแอสย้อนกลับ และกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียเป็นเหตุให้เกิดความร้อนสูงขึ้น

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

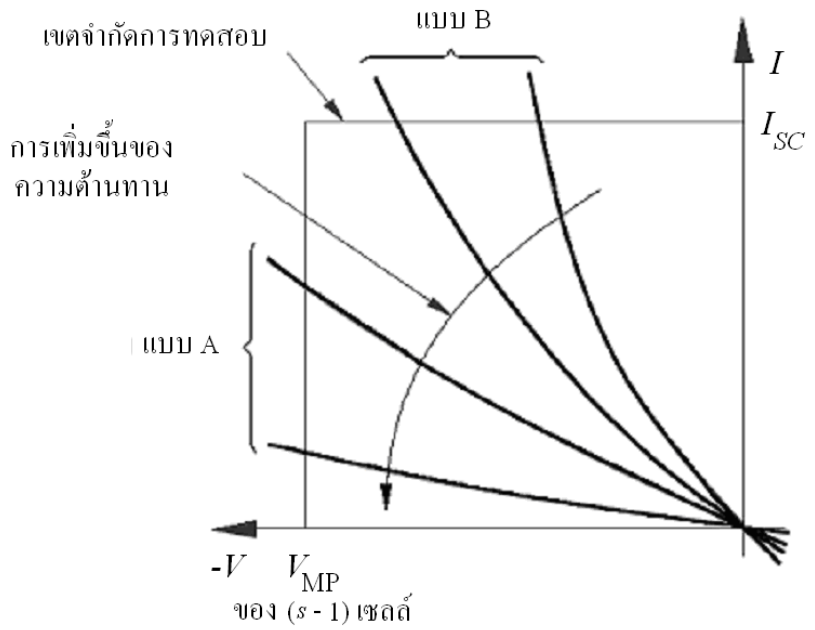
เนื่องจากลักษณะด้านกลับ (reverse characteristic) ของแต่ละเซลล์ สามารถเปลี่ยนแปลงได้อย่างมาก จึงจำเป็นต้องจำแนกประเภทของเซลล์เป็นแบบจำกัดแรงดันไฟฟ้า (แบบ A) หรือแบบจำกัดกระแสไฟฟ้า (แบบ B) ขึ้นอยู่กับเส้นลักษณะด้านกลับที่ตัดกับ “เขตจำกัดการทดสอบ (Test limit zone)” ดังแสดงในรูปที่ 7

รูปที่ 6 ใช้ได้กับเซลล์แบบ A ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การสูญเสียสูงสุดของเซลล์แบบ A ที่มีความผิดพร่องหรือถูกบังแสง จะเกิดขึ้นเมื่อลักษณะด้านกลับของเซลล์ตัดรูปเสมือนของเส้น (s-l) ที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด

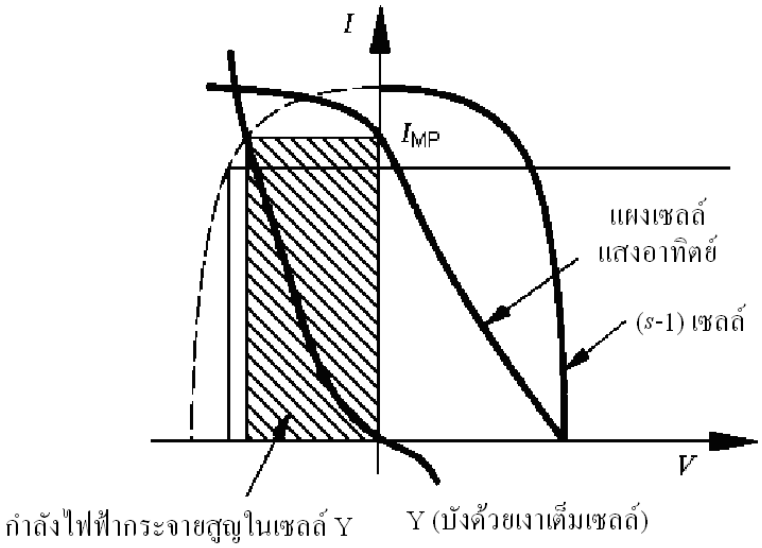
ในทางตรงข้าม รูปที่ 8 แสดงการสูญเสียสูงสุดที่เกิดขึ้นกับเซลล์แบบ B ที่ถูกบังแสงเต็มเซลล์ แต่สังเกตว่า ในกรณีนี้กำลังไฟฟ้าสูญเสียอาจเป็นเพียงบางส่วนของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่จ่ายจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์



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 ก่อนที่จะติดตั้งบายพาสส์ไดโอดให้ทำตามข้อแนะนำของผู้ทำว่าจำนวนสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต่ออนุกรมที่แนะนำไว้ 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±ร้อยละ 2 และมีค่าเสถียรชั่วขณะ (temporal stability) ไม่มากกว่า ± ร้อยละ 5

ข) แหล่งกำเนิดแสงที่ 2 คือแสงอาทิตย์เทียมคงตัวระดับ C (หรือดีกว่า)หรือแสงอาทิตย์ธรรมชาติที่สามารถให้ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1 000 วัตต์ต่อตารางเมตร ± ร้อยละ 10

ค) อุปกรณ์บันทึกค่าเส้นกราฟ I-V ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ง) ชุดบังทึบแสงสำหรับบังแสงเซลล์ ที่สามารถเพิ่มอัตราการบังแสงได้ขั้นละร้อยละ 5

จ) เครื่องตรวจจับอุณหภูมิที่เหมาะสม

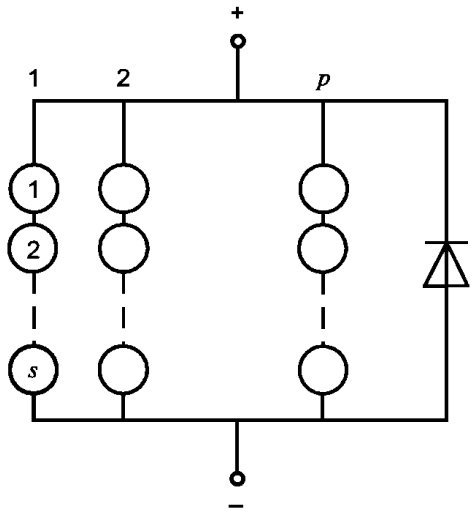
10.9.5 ขั้นตอนการทดสอบ

อุปกรณ์ป้องกันจุดร้อนต่าง ๆ ที่ผู้ทำแนะนำไว้ต้องติดตั้งก่อนทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

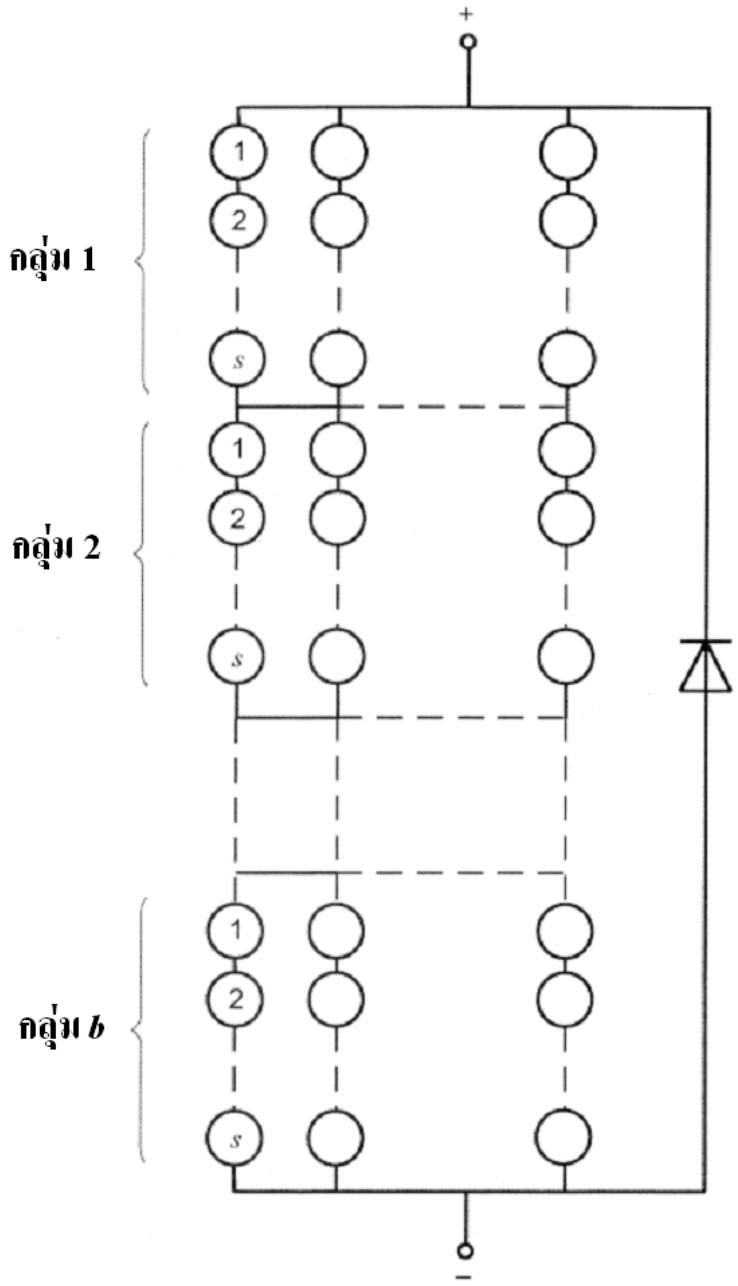
10.9.5.1 กรณี S

ก) ฉายแสงโดยไม่บังแสงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 700 วัตต์ต่อตารางเมตร ทำการวัดลักษณะของ I-V และหาค่ากระแสไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (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) ให้บังแสงแบบบังเต็มพื้นที่เซลล์ทีละเซลล์สลับกันไป และเลือกหนึ่งเซลล์หรือหนึ่งเซลล์จากหลายเซลล์ที่ให้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรลดลงมากที่สุด เมื่อถูกบังแสง ในระหว่างขั้นตอนนี้ ความเข้มรังสีอาทิตย์ต้องเปลี่ยนแปลงไม่มากกว่า ± ร้อยละ 5

ค) ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เดียวกัน (เปลี่ยนแปลงได้ไม่มากกว่า ± ร้อยละ 3) เช่นเดียวกับในขั้นตอน ก) ทำการบังแสงแบบเต็มพื้นที่เซลล์ที่เลือก และตรวจสอบว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{SC}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่ากระแสไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (I_{MP}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ได้มาจากขั้นตอน 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 ± 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 ± ร้อยละ 5

ค) ที่ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เดียวกัน (เปลี่ยนแปลงได้ไม่มากกว่า ±ร้อยละ 3) เช่นเดียวกับในขั้นตอน ก) ทำการบังแสงแบบเต็มพื้นที่เซลล์ที่เลือก และตรวจสอบว่าค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{SC}) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์น้อยกว่า I_{SC}(*) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ได้มาจากขั้นตอน ก) ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขข้างต้นแสดงว่าภาวะของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูงสุดภายในเซลล์เดี่ยวไม่สามารถปรับตั้งได้ ในกรณีนี้ให้ดำเนินการทดสอบด้วยเซลล์ที่เลือกไว้โดยการบังแสงแบบเต็มเซลล์ และให้ข้ามขั้นตอน ง)

ง) ให้ลดพื้นที่ที่ถูกบังแสงของเซลล์ที่เลือกทีละน้อย จนกระทั่งค่า I_{SC} ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใกล้เคียงกับค่า I_{SC}(*) เท่าที่ทำได้ในภาวะนี้ แสดงว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุดเกิดขึ้นภายในเซลล์ที่เลือก

จ) ฉายแสงให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 ให้สังเกตค่าของ I_{SC} และคงภาวะของการสูญเสียกำลังไฟฟ้าสูงสุด ถ้าจำเป็น ปรับการบังแสงซ้ำเพื่อให้ได้ค่า I_{SC} ตามระดับที่กำหนดไว้ ภายใต้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่าง 50 องศาเซลเซียส ± 10 องศาเซลเซียส

ฉ) คงภาวะนี้ไว้เป็นเวลารวม 5 ชั่วโมง

10.9.5.3 กรณี SPS

ก) ให้ลัดวงจรแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการบังแสง และฉายแสงด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 1 ที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ไม่น้อยกว่า 700 วัตต์ต่อตารางเมตร สุ่มเซลล์อย่างน้อยร้อยละ 30 ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ บังแสงแบบเต็มเซลล์แต่ละเซลล์สลับกันไปและวัดอุณหภูมิในภาวะที่คงตัว โดยการใช้เครื่องวัดความร้อนแบบภาพความร้อน(thermal imaging) หรือเครื่องวัดที่เหมาะสม

ข) บังแสงแบบเต็มเซลล์กับเซลล์ที่พบว่าร้อนที่สุด จากขั้นตอน ก)

ค) ขณะที่กำลังเฝ้าตรวจอุณหภูมิ ให้ลดพื้นที่การบังแสงทีละน้อย เพื่อหาภาวะที่ทำให้เกิดค่าอุณหภูมิสูงสุด

ง) ฉายแสงให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงที่ 2 และคงภาวะการบังแสงตามขั้นตอน ค) ภายใต้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่าง 50 องศาเซลเซียส ± 10 องศาเซลเซียส

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 ถือว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ผ่านการทดสอบจุดร้อน
- การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากก่อนการทดสอบ
- ความต้านทานฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดตอนที่เริ่มต้น

10.10 การทดสอบปรับเตรียมภาวะรังสี UV

10.10.1 จุดประสงค์

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

10.10.2 เครื่องทดสอบ

ก) อุปกรณ์เพื่อควบคุมอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะฉายรังสี UV อุปกรณ์นี้ต้องสามารถรักษาอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้อยู่ที่ 60 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส

ข) วิธีสำหรับการวัดและบันทึกอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าความแม่น ± 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 ± ร้อยละ 15

ง) แหล่งกำเนิดรังสี UVที่สามารถผลิตพลังงานรังสี UVที่มีความเข้มรังสีสม่ำเสมอ ± 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) และมีความสม่ำเสมอ ± ร้อยละ 15 บนระนาบทดสอบ

ข) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาพวงจรเปิดในระนาบทดสอบที่ตำแหน่งที่เลือกตามขั้นตอน ก) โดยวางตั้งฉากกับลำแสง UV ต้องแน่ใจว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส

ค) ให้พลังงานรังสี UV รวม 15 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่พิสัยความยาวคลื่นระหว่าง 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 ความล้า และความเค้นอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีรอบซ้ำ ๆ กัน

10.11.2 เครื่องทดสอบ

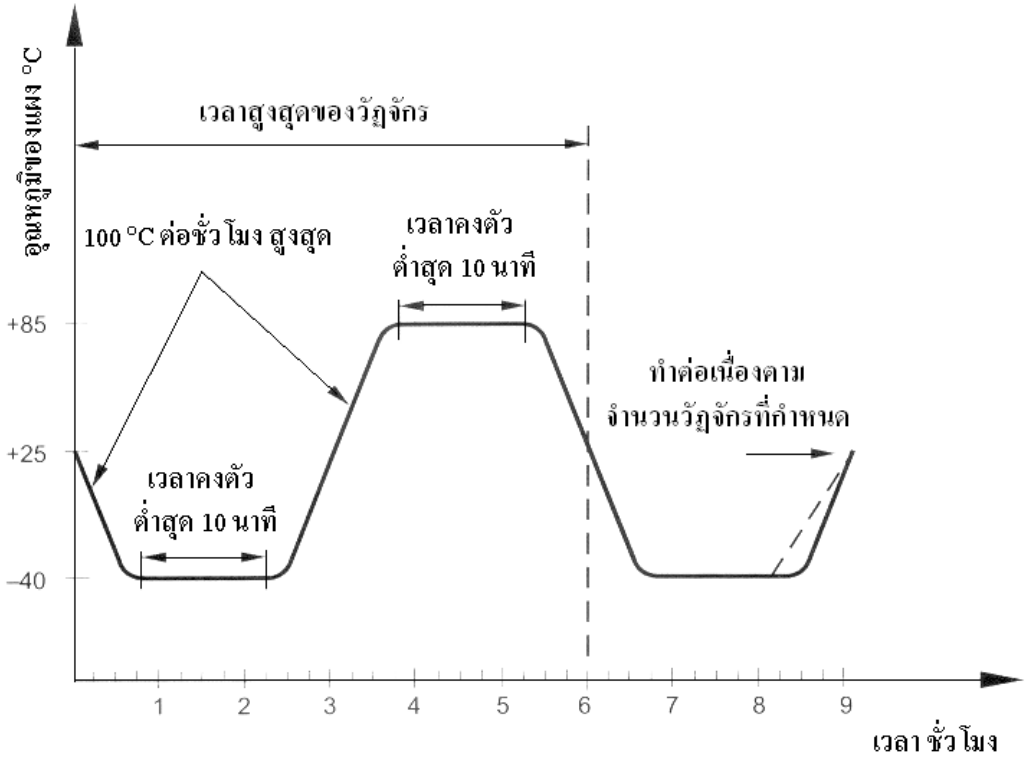
ก) ห้องทดสอบที่ควบคุมอุณหภูมิอย่างอัตโนมัติ มีวิธีการไหลเวียนของอากาศภายใน และวิธีลดการกลั่นตัวของไอน้ำให้มีน้อยที่สุดในขณะทดสอบ และมีพื้นที่สามารถใช้ทดสอบวัฏจักรความร้อนตามรูปที่ 11 ได้อย่างน้อย 1 แผง

ข) วิธีสำหรับจับยึดหรือรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในห้องทดสอบ ให้มีการไหลเวียนของอากาศได้อย่างอิสระ โครงที่ใช้จับยึดหรือรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าการนำความร้อนต่ำ เสมือนว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกแยกออกจากการถ่ายเทความร้อน เพื่อความเหมาะสมในทางปฏิบัติ

ค) วิธีสำหรับการวัดและบันทึกอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าความแม่น ± 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 ปรับตั้งการไหลของกระแสไฟฟ้าให้เท่ากับกระแสไฟฟ้าที่กำลังไฟฟ้าค่ายอดที่ STC เปลี่ยนแปลงได้ไม่มากกว่า ± ร้อยละ 2 ขณะที่อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ต้องรักษาการไหลของกระแสไฟฟ้าให้คงที่

สำหรับการทดสอบวัฏจักรความร้อน 50 วัฏจักร ไม่จำเป็นต้องจ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

ค) ปิด(ประตู)ห้องทดสอบ และปรับอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีค่าวัฏจักรความร้อนอยู่ระหว่าง – 40 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส และ 85 องศาเซลเซียส ± 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) วิธีสำหรับการวัดและบันทึกอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าความแม่น ± 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

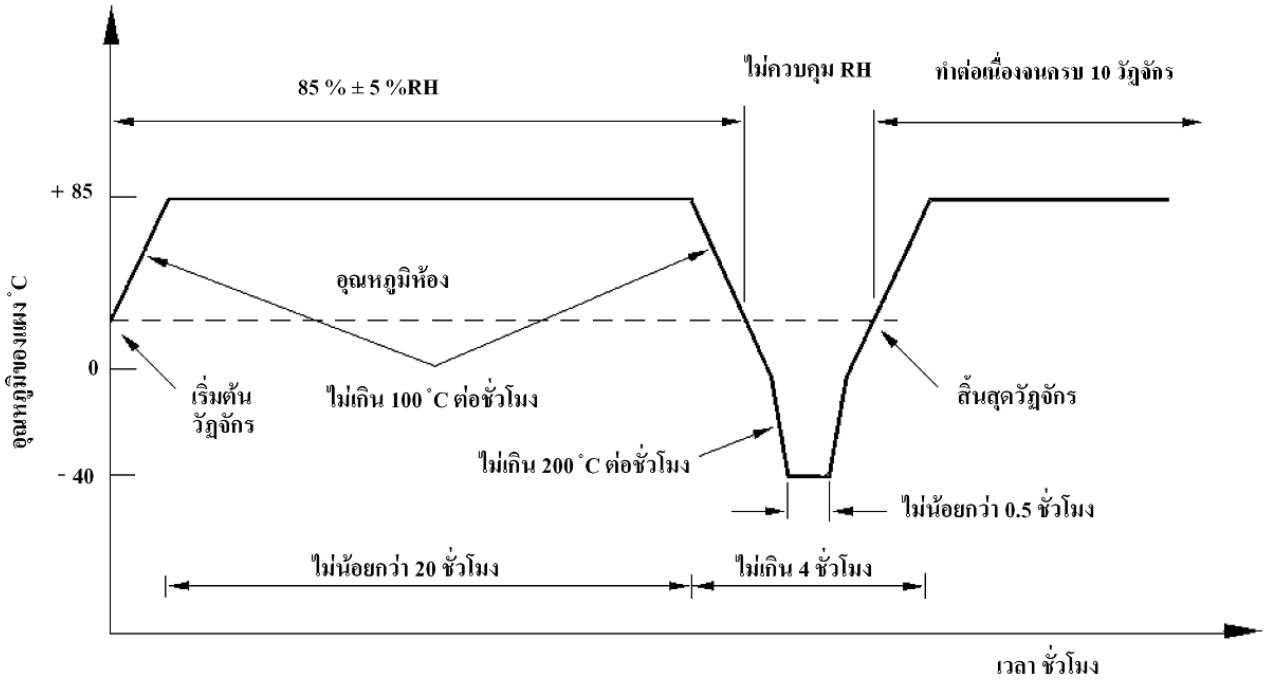
10.12.4 การวัดขั้นสุดท้าย

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
- การทดสอบการฉนวนและการทดสอบกระแสไฟฟ้ารั่วขณะเปียกต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดเริ่มต้น

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

การปรับเตรียมภาวะ: ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงที่ภาวะบรรยากาศมาตรฐานสำหรับการวัดและทดสอบ

10.14.3.1 ขั้วต่อชนิด ก

การทดสอบการดึง ให้ทดสอบตาม IEC 60068-2-21 การทดสอบ Ua โดยเตรียมการดังต่อไปนี้

- ขั้วต่อทั้งหมดต้องถูกทดสอบ

- แรงดึงต้องไม่เกินน้ำหนักของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การทดสอบการดัดโค้ง ให้ทดสอบตาม IEC60068-2-21 การทดสอบ Ub โดยเตรียมการดังต่อไปนี้

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

10.14.3.2 ขั้วต่อชนิด ข

การทดสอบการดึงและการดัดโค้ง

ก) กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขั้วต่อยื่นออกมา แต่ละขั้วต่อต้องถูกทดสอบเหมือนขั้วต่อชนิด ก

ข) ถ้าขั้วต่อปิดหุ้มอยู่ในกล่องป้องกัน ต้องปฏิบัติตามขั้นตอนต่อไปนี้

- ใช้สายไฟฟ้าที่มีขนาดและชนิดตามคำแนะนำของผู้ทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตัดให้ยาวพอเหมาะ และต่อกับขั้วต่อภายในกล่อง ตามขั้นตอนที่ผู้ทำแนะนำ นำสายไฟฟ้าสอดผ่านรูของปลอกกันซึม (cable gland) ควรระวังการใช้อุปกรณ์การจับยึดสายที่เตรียมไว้ให้ ปิดฝาปิดของกล่องอย่างแน่นหนา แล้วจึงทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เหมือนกับขั้วต่อชนิด ก

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

- ขั้วต่อทั้งหมดต้องถูกทดสอบ
- ความรุนแรงระดับ 1 (severity 1)

แป้นเกลียว 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 ที่ซึ่งอาจเป็นสาเหตุของการกัดกร่อน ความผิดพร่องลงดิน หรือความไม่ปลอดภัย

10.15.2 เครื่องทดสอบ

ก) อ่างหรือ ถังที่มีขนาดเพียงพอที่สามารถวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์พร้อมโครงได้ในแนวราบ อ่างหรือถังต้องบรรจุน้ำหรือสารละลายตามข้อกำหนดดังนี้

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

ความลึกของสารละลายต้องเพียงพอที่จะท่วมทุกพื้นผิวยกเว้นกล่องต่อสายที่ไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับจุ่มน้ำ

ข) เครื่องพ่นที่บรรจุสารละลายเดียวกัน

ค) แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดจำกัดกระแสไฟฟ้าที่สามารถให้แรงดันไฟฟ้าได้ 500 โวลต์ หรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดของระบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วแต่ค่าใดมากกว่า

ง) เครื่องวัดความต้านทานฉนวน

10.15.3 ขั้นตอนการทดสอบ

การต่อสายทั้งหมดต้องเหมือนกับการติดตั้งเดินสายไฟฟ้าที่ใช้งานจริงตามคำแนะนำ และต้องระวังไม่ให้เกิดกระแสไฟฟ้ารั่วจากการเดินสายไฟฟ้าของเครื่องวัดที่ต่อกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ก) จุ่มแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงในถังบรรจุสารละลายที่มีความลึกพอที่ให้ท่วมทุกพื้นผิวยกเว้นทางเข้าของกล่องต่อสายที่ไม่ได้ถูกออกแบบมาสำหรับจุ่มสารละลาย ทางเข้าของสายไฟฟ้าต้องถูกพ่น

โดยทั่วด้วยสารละลาย ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีคู่ขั้วต่อต้องจุ่มขั้วต่อนี้ในสารละลายในระหว่างการทดสอบด้วย

ข) ลัดวงจรขั้วต่อสายด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดและต่อเข้ากับขั้วบวกของเครื่องทดสอบ และต่อขั้วลบเครื่องทดสอบเข้ากับสารละลายทดสอบโดยผ่านตัวนำโลหะที่เหมาะสม

ค) ป้อนแรงดันไฟฟ้าด้วยเครื่องทดสอบที่อัตราเพิ่มไม่มากกว่า 500 โวลต์ต่อวินาที จนถึงแรงดันไฟฟ้า 500 โวลต์ หรือเท่ากับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดของระบบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แล้วแต่ค่าใดมากกว่า คงแรงดันไฟฟ้าระดับนี้ไว้ 2 นาที แล้วจึงหาความต้านทานฉนวน

ง) ลดแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ให้เป็นศูนย์ และลัดวงจรไฟฟ้าขั้วต่อของเครื่องทดสอบเพื่อคายประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแผงเซลล์แสงอาทิตย์

10.15.4 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่น้อยกว่า 0.1 ตารางเมตร ความต้านทานฉนวนต้องไม่น้อยกว่า 400 เมกะโอห์ม
- กรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่มากกว่า 0.1 ตารางเมตร ความต้านทานฉนวนคูณพื้นที่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะโอห์ม ตารางเมตร

10.16 การทดสอบโหลดทางกล

10.16.1 จุดประสงค์

เพื่อหาความสามารถของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถทนต่อแรงลม หิมะ โหลดสถิตหรือโหลดน้ำแข็ง

10.16.2 เครื่องทดสอบ

ก) แท่นทดสอบที่คงรูป (rigid) ที่สามารถติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ด้านหน้าหงายขึ้นหรือ คว่ำหน้าลง แท่นทดสอบต้องยอมให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โค้งตัวได้อย่างอิสระขณะรับโหลด

ข) เครื่องวัดความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ระหว่างการทดสอบ

ค) น้ำหนักที่เหมาะสมหรือวิธีการใช้ความดันที่สามารถเพิ่มโหลดได้ทีละน้อยและด้วยความสม่ำเสมอ

10.16.3 ขั้นตอนการทดสอบ

ก) จัดเตรียมแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถเฝ้าตรวจความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของวงจรภายในได้ การเฝ้าตรวจต้องเป็นไปอย่างต่อเนื่องระหว่างการทดสอบ

ข) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนแท่นทดสอบตามวิธีที่ผู้ทำกำหนดไว้ (ถ้ามีหลายวิธี ใช้วิธีที่ให้ผลเลวที่สุดโดยเลือกตำแหน่งจุดจับยึดที่มีระยะห่างกันมากที่สุด)

ค) เพิ่มโหลดทีละน้อยบนพื้นผิวด้านหน้าโดยกระจายโหลดอย่างสม่ำเสมอจนถึง 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 ± 800 พาสคัล) ใช้ตัวประกอบความปลอดภัย (safety factor) เป็น 3 สำหรับกระแสลมกระชาก 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

- ต้องไม่พบความผิดพร่องของการเปิดวงจรเป็นครั้งคราวระหว่างการทดสอบ
- 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 ± 5 องศาเซลเซียส

ค) ตู้เก็บลูกน้ำแข็งต้องมีอุณหภูมิในการเก็บลูกน้ำแข็ง – 4 องศาเซลเซียส ± 2 องศาเซลเซียส

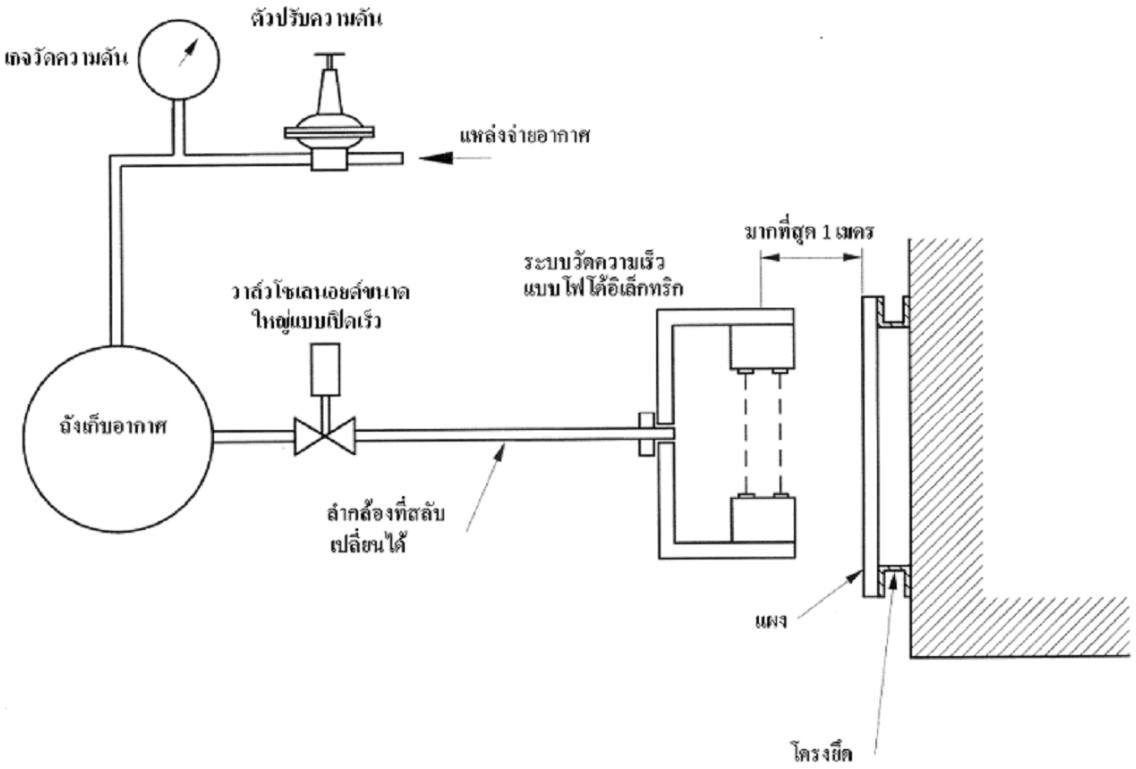
ง) เครื่องยิงลูกน้ำแข็งที่สามารถยิงลูกน้ำแข็งได้ความเร็วตามที่กำหนด คลาดเคลื่อนได้ ± ร้อยละ 5 และยิงได้ตรงตำแหน่งที่กำหนด วิถีของลูกน้ำแข็งจากเครื่องยิงถึงแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจเป็นแนวราบ แนวตั้ง หรือมุมใด ๆ ที่เป็นไปตามข้อกำหนดของการทดสอบ

จ) โครงยึดที่คงรูปสำหรับใช้พยุงแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบตามวิธีที่ผู้ทำระบุไว้ โดยให้พื้นผิวจุดกระทบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับเส้นทางการยิงของลูกน้ำแข็ง

ฉ) เครื่องชั่งสำหรับหามวลของลูกน้ำแข็งที่มีค่าความแม่น ± ร้อยละ 2

ช) เครื่องมือวัดความเร็วของลูกน้ำแข็ง ที่มีค่าความแม่น± ร้อยละ 2 ตัวจับความเร็วต้องอยู่ไม่เกินระยะ 1 เมตรจากผิวหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทดสอบ

รูปที่ 13 เป็นตัวอย่างแผนภาพของอุปกรณ์ที่เหมาะสมประกอบด้วยเครื่องยิงแนวราบ ที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวดิ่ง และเครื่องวัดความเร็วอิเล็กทรอนิกส์โดยคำนวณจากเวลาที่ลูกน้ำแข็งตัดผ่านระยะลำแสงทั้งสอง นี้เป็นหนึ่งตัวอย่างจากแบบอื่นซึ่งรวมถึงเครื่องยิงแบบหนังสติ๊ก (slingshot) หรือใช้สปริงขับที่สามารถใช้ได้อย่างสมบูรณ์



รูปที่ 13 อุปกรณ์ในการทดสอบลูกเห็บ

ตารางที่ 2 มวลลูกน้ำแข็งและความเร็วในการทดสอบ

เส้นผ่านศูนย์กลาง mm	มวล g	ความเร็วที่ใช้ทดสอบ m/s	เส้นผ่านศูนย์กลาง mm	มวล g	ความเร็วที่ใช้ทดสอบ 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 ± ร้อยละ 5 จากขนาดที่กำหนด

- มวลมีค่าความผิดพลาดไม่มากกว่า ± ร้อยละ 5 ของค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2

ค) เก็บลูกน้ำแข็งในตู้เก็บลูกน้ำแข็ง และทิ้งไว้ก่อนใช้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง

ง) ต้องแน่ใจว่าพื้นผิวทั้งหมดของเครื่องยิงลูกน้ำแข็งที่สัมผัสกับลูกน้ำแข็งต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง

จ) ทดลองยิงตามจำนวนครั้งและตำแหน่งของเป้าตามขั้นตอน ช) ด้านล่าง และปรับแก้เครื่องยิงให้ยิงลูกน้ำแข็งด้วยความเร็วตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 ผิดพลาดไม่มากกว่า ± ร้อยละ 5 โดยใช้เครื่องวัดความเร็วดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

ฉ) ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิห้องตามการติดตั้งที่ได้กล่าวมาแล้ว โดยให้พื้นผิวกระทบอยู่ในทิศตั้งฉากกับเส้นทางการเคลื่อนที่ของลูกน้ำแข็ง

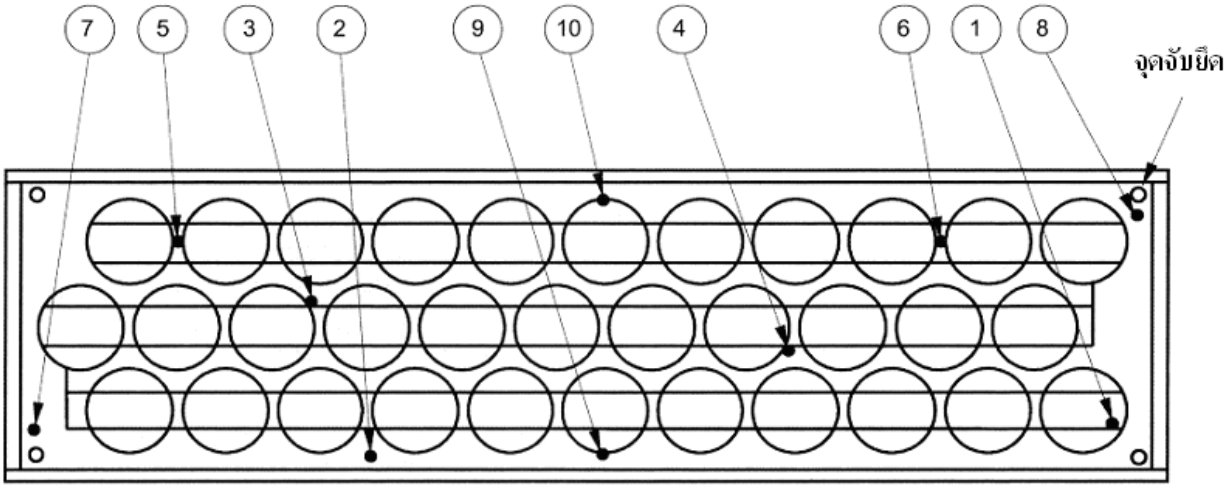
ช) นำลูกน้ำแข็งจากตู้เก็บลูกน้ำแข็งบรรจุในเครื่องยิง เล็งเป้ายิงยังตำแหน่งที่แสดงในตารางที่ 3 และยิงเป้า เวลาในการนำลูกน้ำแข็งจากที่เก็บถึงเวลาที่ลูกน้ำแข็งกระทบเป้าต้องไม่มากกว่า 60 วินาที

ซ) ตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์บริเวณที่ถูกยิงด้วยตาเปล่า เพื่อตรวจดูความเสียหาย และจดบันทึกผลที่เกิดขึ้น ตำแหน่งยิงที่ผิดพลาดภายใน 10 มิลลิเมตร ถือว่ายอมรับได้

ฌ) ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เสียหายให้ทำขั้นตอน ช) และ ซ) ซ้ำโดยเปลี่ยนตำแหน่งการยิงตามตารางที่ 3 และ ดังรูปที่ 14

ตารางที่ 3 ตำแหน่งกระทบ

ยิงครั้งที่	ตำแหน่ง
1	ที่มุมด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยห่างจากกรอบไม่มากกว่า 50 มิลลิเมตร
2	ที่ขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยห่างจากกรอบไม่มากกว่า 12 มิลลิเมตร
3, 4	ที่ขอบของเซลล์ใกล้กับจุดเชื่อมต่อทางเดินไฟฟ้า
5, 6	ที่ช่องว่างที่แคบที่สุดระหว่างเซลล์
7, 8	ที่ด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยให้จุดยิงอยู่ห่างจากจุดจับยึดกับโครงสร้างไม่มากกว่า 12 มิลลิเมตร
9, 10	ที่ด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยให้จุดยิงอยู่ห่างจากจุดยิงอื่น ๆ เป็นระยะที่ไกลที่สุด
11	จุดใดก็ได้ที่เห็นว่าเป็นตำแหน่งที่แย่ที่สุดต่อลูกเห็บตกกระทบ



รูปที่ 14 แสดงตำแหน่งกระทบ

10.17.4 การวัดขั้นสุดท้าย

ทดสอบซ้ำตามข้อ 10.1 ข้อ 10.2 และ ข้อ 10.3

10.17.5 ข้อกำหนด

ข้อกำหนดที่ต้องการมีดังนี้

- ไม่ปรากฏความบกพร่องหลักที่สังเกตเห็นได้ ตามที่ระบุในข้อ 7.

- การเสื่อมของกำลังไฟฟ้าออกสูงสุดลดลงไม่มากกว่าร้อยละ 5 จากก่อนการทดสอบ
- ความต้านทานฉนวนต้องเป็นไปตามข้อกำหนดเดียวกันกับการวัดเริ่มต้น

10.18 การทดสอบทางความร้อนบายพาสส์ไดโอด

10.18.1 จุดประสงค์

เพื่อประเมินความเหมาะสมของการออกแบบด้านความร้อน และความน่าเชื่อถือของบายพาสส์ไดโอดที่ใช้งานในระยะยาว เพื่อจำกัดผลกระทบความเสียหายที่เกิดจากจุดร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หมายเหตุ ถ้าไม่สามารถเข้าถึงบายพาสส์ไดโอดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ให้เตรียมตัวอย่างพิเศษสำหรับการทดสอบนี้ได้ ตัวอย่างพิเศษนี้ต้องผลิตตามกระบวนการผลิตปกติมากที่สุด แต่ต้องสามารถให้เข้าถึงบายพาสส์ไดโอดเพื่อวัดอุณหภูมิระหว่างการทดสอบได้ โดยการทดสอบต้องดำเนินไปตามปกติ ตัวอย่างพิเศษนี้ต้องใช้เพื่อการทดสอบความร้อนของบายพาสส์ไดโอดเท่านั้น ไม่ทำไว้เพื่อการทดสอบในขั้นตอนอื่น ๆ

10.18.2 เครื่องทดสอบ

ก) อุปกรณ์ให้ความร้อน เพื่อให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส

ข) อุปกรณ์วัดและบันทึกอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้องมีค่าความแม่น ± 1 องศาเซลเซียส

ค) อุปกรณ์วัดอุณหภูมิของบายพาสส์ไดโอด ที่เตรียมไว้สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ควรระวังให้การดัดแปลงมีผลน้อยที่สุดต่อคุณสมบัติของไดโอดหรือทางเดินของความร้อน

ง) อุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 1.25 เท่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่ STC ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกทดสอบ และอุปกรณ์สำหรับเฝ้าตรวจการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตลอดการทดสอบ

10.18.3 ขั้นตอนการทดสอบ

ก) ลัดวงจรไฟฟ้าบล็อกกิ้งไดโอดที่ใช้ร่วมกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ข) ใช้ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่กำหนดที่ STC ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากฉลาก หรือคู่มือแนะนำ

ค) เตรียมการวัดอุณหภูมิของบายพาสส์ไดโอดระหว่างการทดสอบ

ง) ต่อสายไฟฟ้าที่มีขนาดไม่เล็กกว่าที่ผู้ทำแนะนำกับขั้วด้านออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องปฏิบัติตามข้อแนะนำของผู้ทำสำหรับการเดินสายไฟฟ้าเข้าไปในกล่องต่อสายและปิดฝากล่องต่อสาย

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

จ) ทำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้มีอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ± 5 องศาเซลเซียส จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC โดยมีค่าผิดพลาดไม่มากกว่า ± ร้อยละ 2 หลังจากนี้ 1 ชั่วโมงวัดอุณหภูมิของบายพาสส์ไดโอดแต่ละตัว ใช้ข้อมูลของผู้ทำไดโอดคำนวณหาอุณหภูมิรอยต่อจากอุณหภูมิที่วัดได้จากเปลือกหุ้มไดโอด และการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในไดโอด โดยใช้สมการดังนี้

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

โดยที่

T_j คือ อุณหภูมิรอยต่อของไดโอด

T_{case} คือ อุณหภูมิที่วัดได้จากเปลือกหุ้มของไดโอด

R_{THjc} คือ ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิรอยต่อกับอุณหภูมิเปลือกหุ้มที่ได้จากผู้ทำไดโอด

U_D คือ แรงดันไฟฟ้าของไดโอด

I_D คือ กระแสไฟฟ้าของไดโอด

หมายเหตุ ถ้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีครีบระบายความร้อนที่ออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อลดอุณหภูมิขณะทำงานของไดโอด การทดสอบนี้อาจกระทำที่อุณหภูมิของครีบระบายความร้อนที่สูงขึ้นในภาวะ 1 000 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิโดยรอบ 43 องศาเซลเซียส ± 3 องศาเซลเซียส ขณะไม่มีลม แทนที่จะเป็นที่ 75 องศาเซลเซียส

ฉ) เพิ่มกระแสไฟฟ้า 1.25 เท่าของกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC ขณะที่คงอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ที่ 75 องศาเซลเซียส ± 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

- อุณหภูมิรอยต่อของไดโอดที่หาได้จากข้อ 10.18.3 จ) ต้องไม่มากกว่าค่าอุณหภูมิรอยต่อสูงสุดของไดโอดที่ผู้ทำไดโอดได้กำหนดไว้

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