



คู่มือการตรวจวินิจฉัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แล้ว

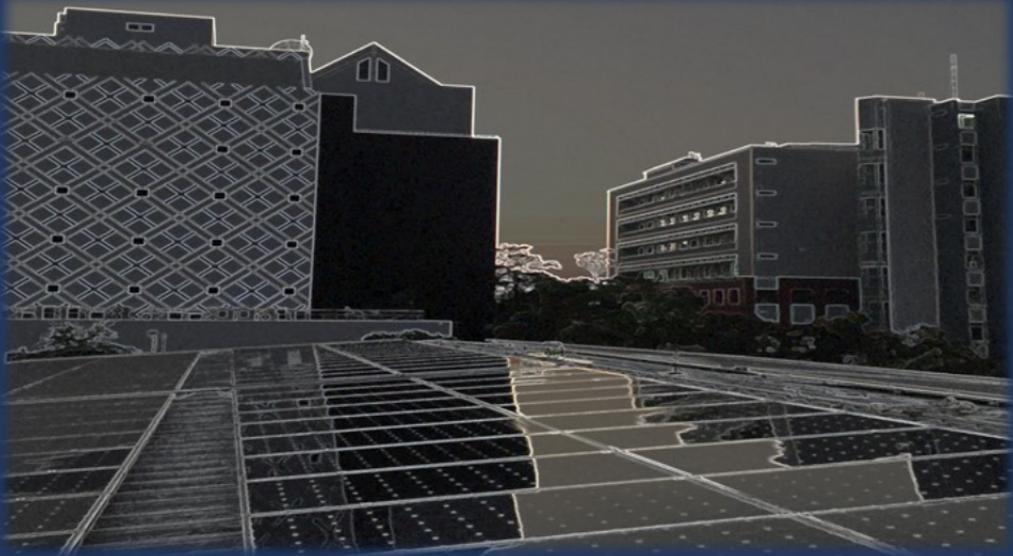
ภายใต้การสนับสนุนโดย

กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

แผนอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน

กลุ่มงานศึกษา ค้นคว้าวิจัย นวัตกรรม และสาธิตต้นแบบ



เรียบเรียงโดย

ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

คู่มือการตรวจวินิจฉัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แล้ว

เรียบเรียงโดย

ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ภายใต้การสนับสนุนโดย

กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564

แผนอนุรักษ์พลังงานและพลังงานทดแทน

กลุ่มงานศึกษา ค้นคว้าวิจัย นวัตกรรม และสาธิตต้นแบบ

คำนำ

การตรวจสอบสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้วเบื้องต้น โดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่าเพื่อทราบความผิดปกติทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และคัดกรองก่อนการทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่สภาวะมาตรฐานซึ่งเป็นที่ยอมรับในเชิงพาณิชย์ และสามารถยืนยันคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยอาศัยภาพถ่ายเรืองแสง (Electroluminescence) เพื่อให้ทราบลักษณะทางกายภาพของเซลล์ในระดับไมโครที่ทำให้ทราบว่าเซลล์อยู่ในสภาพปกติหรือเซลล์แตกร้าว การจัดทำคู่มือฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการวิจัยที่ได้รับการสนับสนุนเงินกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 สัญญาเลขที่ กทอ.64-03-0063

คู่มือฉบับนี้แนะนำวิธีการตรวจสอบสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้วเบื้องต้น โดยการตรวจสอบด้วยตาเปล่า และลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผิดปกติ รวมถึงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และภาพถ่ายเรืองแสง จะทำให้สามารถคัดแยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้วจากลักษณะทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และทราบวิธีการชั่งคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเชิงพาณิชย์ รวมถึงเข้าใจผลกระทบของเซลล์แสงอาทิตย์ในระดับไมโครกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าคู่มือการตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้นนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งาน และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

คณะผู้จัดทำ

ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

กันยายน 2565

สารบัญ

บทนำ.....	5
ส่วนที่ 1 เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้ว.....	6
ลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แล้ว	7
ส่วนที่ 2 ขั้นตอนการตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้ว	15
วิธีการตรวจสอบทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ตาเปล่า	16
การตรวจเช็คแผงเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้น.....	16
การตรวจสอบตามมาตรฐานห้องปฏิบัติการทดสอบ IEC 61215	17
ตัวอย่างลักษณะความผิดปกติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แล้ว.....	18
การตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	20
ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	20
วิธีการตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	21
การตรวจวัดกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคสนาม	21
การตรวจสอบทางกายภาพระดับเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	22
ส่วนที่ 3 แนวทางการซ่อมแซมแผงเซลล์แสงอาทิตย์	26
แผ่นฉนวน backsheet	26
ข้อแนะนำวิธีการซ่อมแซมแผ่นฉนวน backsheet	27
ส่วนที่ 4 บทสรุป	30
เอกสารอ้างอิง	31
ภาคผนวก	32
แบบฟอร์มการตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้น.....	32

บทนำ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานอยู่ในประเทศไทย แบ่งตามช่วงเวลาผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์และการใช้งาน โดยเฉพาะกลุ่มโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนรายเล็ก (SPP) และผู้ผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนรายเล็กมาก (VSPP) ส่วนใหญ่เริ่มเดินเครื่องเชิงพาณิชย์ในปี 2554 ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลานั้นประเทศผู้ผลิตหลายประเทศ ได้แก่ ประเทศจีน ญี่ปุ่น ไต้หวัน มาเลเซีย สิงคโปร์ สหรัฐอเมริกา เป็นต้น

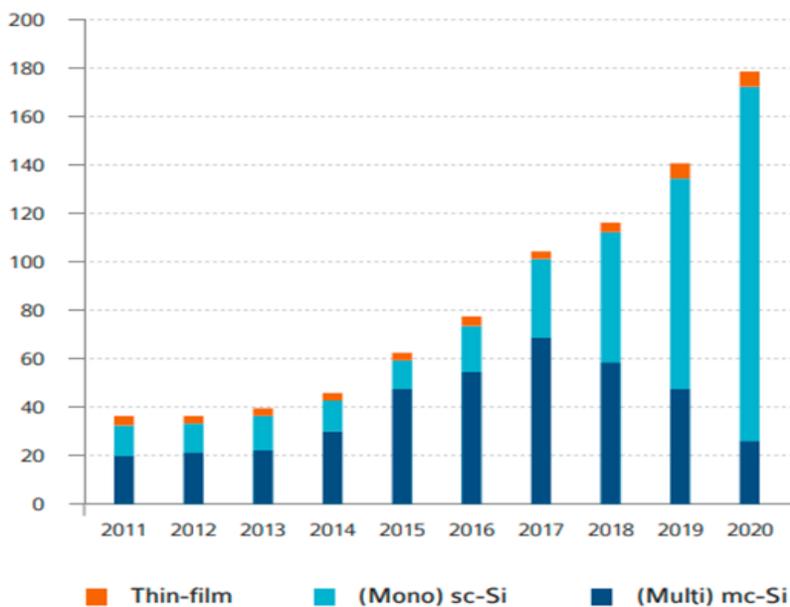
เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้เชิงพาณิชย์ ประกอบด้วย เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิคอนแบบซิลิคอนผลึกเดี่ยว (โมโนคริสตัลไลน์ซิลิคอน) และแบบซิลิคอนหลายผลึก (โพลีคริสตัลไลน์ซิลิคอน) และเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ฟิล์มบาง ได้แก่ อะมอร์ฟัสซิลิคอน อะมอร์ฟัสซิลิคอนแบบหลายรอยต่อ หรือ HIT คอปเปอร์อินเดียมเซลีนไนด์ และแคดเมียมเทลลูไรด์ ซึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประสิทธิภาพสูง จะมีราคาที่สูงสอดคล้องกัน

ในช่วงประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา การผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยอาศัยความน่าเชื่อถือของผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเงินทุนที่จัดหาได้จากการระดมทุนแบบต่างๆ เนื่องจากไม่สามารถทราบล่วงหน้าได้ว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานในประเทศไทยจะมีอายุการใช้งานนานเพียงใด จึงมีงานศึกษาวิจัยการวินิจฉัยอายุการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทย และนำผลการศึกษามาจัดทำเป็นคู่มือการตรวจวินิจฉัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แล้ว

อย่างไรก็ตาม การพัฒนาของเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในอีก 5 – 10 ปีต่อมาได้ทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ในเชิงพาณิชย์ในปี 2565 มีความแตกต่างจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในปี 2554 โดยจะเฉพาะทางด้านสถาปัตยกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ ทั้งภายในเซลล์โดยเพิ่มการสะท้อนของอิเล็กตรอน และการจัดเรียงเซลล์ในรูปแบบใหม่ที่ทำให้ได้แรงดัน กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น การตรวจวินิจฉัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แล้วฉบับนี้ สามารถใช้เป็นแนวทางการตรวจวินิจฉัยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ที่สอดคล้องไปกับวิธีการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามมาตรฐาน IEC 61215

ส่วนที่ 1 เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้ว

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นที่รู้จักกันทั่วไป ใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยนำไปวางกลางแจ้ง ปรากฏการณ์นี้เกิดมาจากโฟตอนเคลื่อนที่เข้าภายในสารกึ่งตัวนำ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนข้ามชั้นระดับพลังงานภายในสารกึ่งตัวนำอย่างต่อเนื่อง และสารกึ่งตัวนำที่รู้จักกันทั่วไป คือ ซิลิคอน ซึ่งจัดเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ซิลิคอนเป็นพื้นฐาน ทั้งที่มีลักษณะเป็นโครงสร้างผลึกเรียงตัวเป็นระเบียบ (Mono-crystalline Silicon) และผลึกเรียงตัวอย่างอิสระ (Multi-crystalline Silicon) รวมถึงไม่มีโครงสร้างผลึก หรืออะสัณฐาน (Amorphous Silicon) มักเรียกว่าฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน แต่ในอีกกลุ่มเป็นสารกึ่งตัวนำที่ไม่ใช่ซิลิคอน และจัดเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในกลุ่มฟิล์มบางเป็นสารกึ่งตัวนำในหมู่ 3 และหมู่ 5 ของตารางธาตุ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูง หากเปรียบเทียบในเชิงปริมาณส่วนใหญ่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากราคาที่ต่ำและมีความหลากหลายผู้จำหน่ายให้เลือกซื้อ



ที่มา : IEA PVPS T1-41 : 2021

รูปที่ 1.1 ปริมาณแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในเชิงพาณิชย์ในตลาดโลกในช่วงปี 2011 – 2020 [1]

ในช่วงปี 2011 หรือ 2554 ในประเทศไทยมีกำลังการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในช่วงเวลานั้นสัดส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ Multi-mc Si มากกว่า Mono-mc Si แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในประเทศไทยจึงเป็นลักษณะเดียวกับในตลาดโลก

ลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แล้ว

อายุการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับกระบวนการผลิต เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์และสภาพแวดล้อมในการใช้งานหรือปัจจัยจากสภาพอากาศ ซึ่งประกอบด้วย อุณหภูมิ พลังงานแสงอาทิตย์ ฝุ่นและสิ่งสกปรก ความชื้น ไอเกลือ / ก๊าซ / ลม / หิมะ และลูกเห็บ โดยปัจจัยที่กล่าวมาจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เกิดการเสื่อมสภาพและปัจจัยเหล่านี้สามารถจัดเป็นกลุ่มๆ ได้แก่ อุณหภูมิของสภาพแวดล้อม พลังงานแสงอาทิตย์และฝุ่นและสิ่งสกปรก ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 ปัจจัยจากสภาพอากาศต่อชนิดของการลดลงของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจัยจากสภาพอากาศ	ชนิดของการเสื่อมสภาพ	เงื่อนไขที่เปลี่ยนแปลงของปัจจัยจากสภาพแวดล้อม
อุณหภูมิ	การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารพอลิเมอร์	อุณหภูมิสูงมากหรืออุณหภูมิต่ำมาก
	ความร้อนและความล้าทางกลของโลหะเชื่อม	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว
	การเกิดจุดความร้อน (Hot Spot)	ระดับความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิสูง
	ความเสียหายของบายพาสไดโอด	
พลังงานแสงอาทิตย์	การเกิดจุดความร้อน (Hot Spot)	ความไม่สม่ำเสมอของพลังงานแสงอาทิตย์
	ความเสียหายของบายพาสไดโอด	การบังเงา
	การสูญเสียสภาพของตัวหุ้มท่อเซลล์แสงอาทิตย์	รังสีอาทิตย์ที่มีรังสียูวีสูง
	สารพอลิเมอร์เปลี่ยนเป็นสีเหลือง	รังสีสะท้อน (albedo)
ฝุ่นและสิ่งสกปรก	การเกิดจุดความร้อน (Hot Spot)	ความไม่สม่ำเสมอของการสะสมฝุ่นหรือสิ่งสกปรก
	ความเสียหายของบายพาสไดโอด	
	สร้างโอกาสให้เกิดการลดลงของกำลังไฟฟ้าเนื่องจากสภาวะศักย์ทางไฟฟ้าสูงมาก PID (Potential Induced Degradation)	
ความชื้น	การกัดกร่อนของแผ่นโลหะเชื่อมต่อภายในเซลล์	ความไม่สม่ำเสมอของความชื้นที่ซึมเข้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ไอเกลือ / ก๊าซ	ช่วยเร่งกระบวนการกัดกร่อน และ PID (Potential Induced Degradation)	เกลือหรือก๊าซซึมผ่านเข้าไปในแผงเซลล์แสงอาทิตย์
ลม / หิมะ	การแตกหักของเซลล์ / เฟรม และไม่สามารถยึดเกาะกับโครงสร้างรับแผงได้	ความไม่สม่ำเสมอของแรงกดเชิงกล หรือได้รับความร้อน
ลูกเห็บ	การแตกหักของเซลล์ / กระฉก	การถูกกระแทก (ณ ขณะใดขณะหนึ่ง)

ลักษณะความผิดปกติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากการใช้งาน [2]

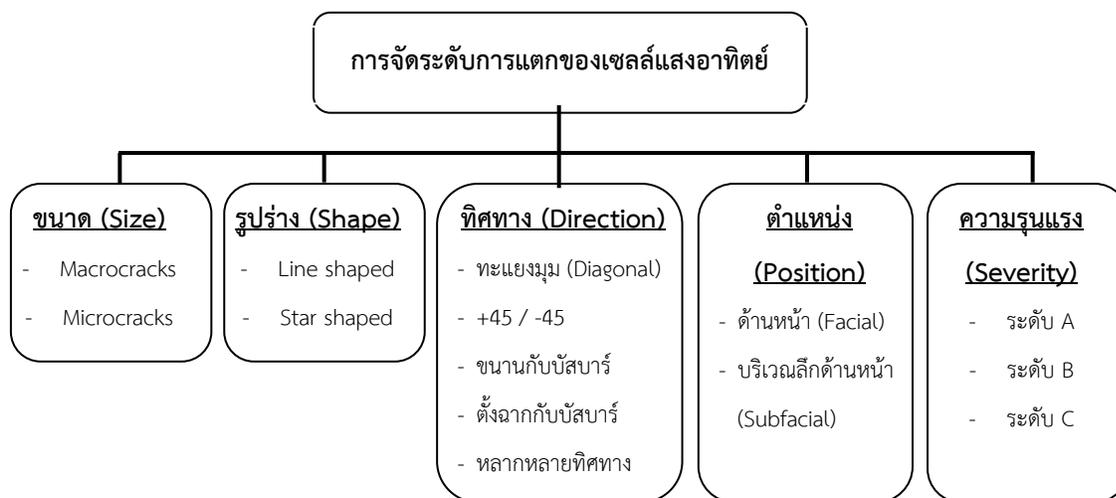
1. การแตกของเซลล์

2. การชำรุดของแผ่นฉนวน Backsheet

การแตกของเซลล์มีสาเหตุเนื่องจากความร้อนเชิงกล และการแตกในขั้นตอนของการผลิต ได้แก่ การเตรียมแผ่นเวเฟอร์ การประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงการขนส่งและสภาพแวดล้อมภายนอก ทั้งนี้การแตกของเซลล์อาจไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและเกิดการขยายตัวของรอยที่แตกอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดเสื่อมสภาพเชิงกลและการเสื่อมสภาพทางไฟฟ้า

แผ่นฉนวน ประกอบด้วยชั้นของพอลิเมอร์หลายๆ ชั้น เป็นวัสดุพลาสติกที่มีความยืดหยุ่นสูงซึ่งมีโอกาสเพียงเล็กน้อยที่จะเกิดการฉีกขาดเนื่องจากแรงกดหรือแรงดึง แต่คุณสมบัติความยืดหยุ่นนี้จะลดลงได้จากสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะแบบค่อยเป็นค่อยไปต่อเนื่องเป็นเวลานาน (Long-term weathering) อย่างไรก็ตามการแตกหรือการฉีกขาดของแผ่นฉนวน เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบทางเคมีและกระบวนการผลิต และมีปัจจัยมาจากแรงกดและแรงดึงภายในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระหว่างใช้งาน โดยเฉพาะจากโลหะเชื่อมและบริเวณขอบของเซลล์

กระจกกับแผ่นฉนวน ซึ่งเป็นวัสดุคุณละประเภทแต่ทำหน้าที่คล้ายกันคือช่วยป้องกันเซลล์ที่อยู่ภายในชั้นระหว่างวัสดุทั้งสอง โดยทั่วไปกระจกมีความหนาประมาณ 3.2 มิลลิเมตร แต่ความสามารถในการยึดและหดตัวเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุทั้งสองมีความแตกต่างกัน รวมถึงมีการอบแห้งที่จำกัดการขยายตัวของวัสดุ ทำให้เซลล์ที่ทำจากซิลิคอนและมีลักษณะเปราะบางสูงจึงได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงนี้ไปด้วย นอกจากนี้แรงกระทำจากภายนอก เช่น แรงลม การกดทับและก้อนน้ำแข็ง ทำให้เกิดการแตกของเซลล์ตามมาได้

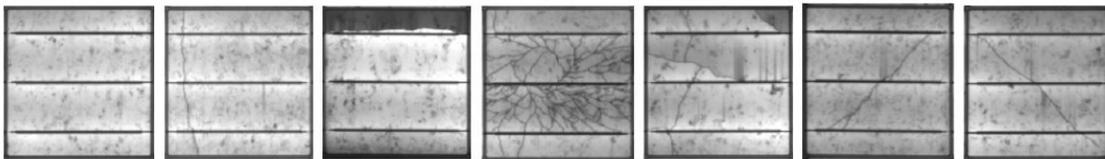


รูปที่ 1.2 การจัดแบ่งกลุ่มของการแตกของเซลล์แสงอาทิตย์ตามขนาด รูปร่าง ทิศทาง ตำแหน่งและความรุนแรง [2]

การแตกของเซลล์

การแบ่งระดับการแตกของเซลล์ จัดแบ่งได้ 5 กลุ่ม ดังนี้

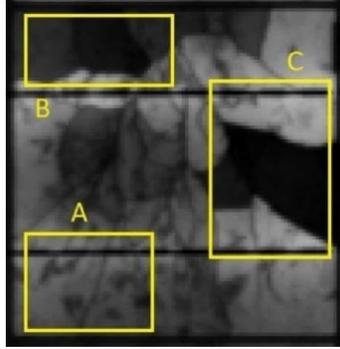
1. ขนาด สามารถจัดแบ่งได้ 2 แบบ ได้แก่ (1) ไมโครแครก (Microcracks) โดยใช้หลักเกณฑ์ขนาดของรอยแตกซึ่งขนาดน้อยกว่า 30 ไมโครเมตร และ (2) แมโครแครก (Macrocracks) ขนาดมากกว่า 30 ไมโครเมตร
2. รูปร่าง
3. ทิศทาง ของรอยแตกเกิดขึ้นได้หลายๆ แบบ ได้แก่ แนวทแยง, ขนานไปกับบัสบาร์, ตั้งฉากกับบัสบาร์, แนวทแยง $\pm 45^\circ$ การแตกหลากหลายๆ ทิศทาง และการแตกเป็นรูปพื้น ซึ่งทิศทางที่แตกแบบทแยงมุมและแบบแตกหลายๆ ทิศทาง ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 1.3 การจัดกลุ่มการแตกของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน โดยจากซ้ายมาขวา: ไม่มีการแตกของเซลล์ เซลล์แตกตั้งฉากกับบัสบาร์ เซลล์แตกขนานกับบัสบาร์ เซลล์แตกเป็นรูปพื้น เซลล์แตกหลากหลายๆ ทิศทาง และ เซลล์แตกแนว 45 องศา [2]

4. ตำแหน่งที่เกิดรอยแตกสามารถจัดแบ่งได้ 2 กลุ่ม ได้แก่ (1) บริเวณหน้าแผง หรือบริเวณที่สามารถมองเห็นได้และบริเวณขอบแผง ซึ่งอาจเกิดจากการกระแทกโดยตรงบนแผ่นเวเฟอร์และ (2) บริเวณที่อยู่ลึกกว่าหน้าแผ่นเวเฟอร์ หรือเริ่มตั้งแต่หน้าแผงแล้วขยายลึกเข้าไปในแผ่นเวเฟอร์เรียกว่า Interior Cracks

5. ความรุนแรง สามารถจัดแบ่งได้ 3 ระดับ โดยพิจารณาจากภาพถ่ายเรืองแสง (Electroluminescence) ได้แก่ ระดับ A คือบริเวณที่มีรอยแตกของเซลล์แต่ยังสามารถเรืองแสงออกมาแสดงว่าการแตกไม่ส่งผลกระทบต่อ การส่งผ่านทางไฟฟ้าของเซลล์ ระดับ B คือบริเวณที่มีรอยแตกของเซลล์และพบว่าบางส่วนไม่มีการเรืองแสงเป็น บริเวณกว้าง แสดงว่าการส่งผ่านไฟฟ้าไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในบริเวณที่มีตและระดับ C คือบริเวณที่มีรอยแตกและพบว่าส่วนที่ไม่เรืองแสงได้แยกออกจากวงจรไฟฟ้าของเซลล์อย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้ความรุนแรงระดับ B และ C ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าของเซลล์ลดลงและอาจส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์จุดร้อน (Hot Spots) จากการ Reverse bias ภายในเซลล์ได้



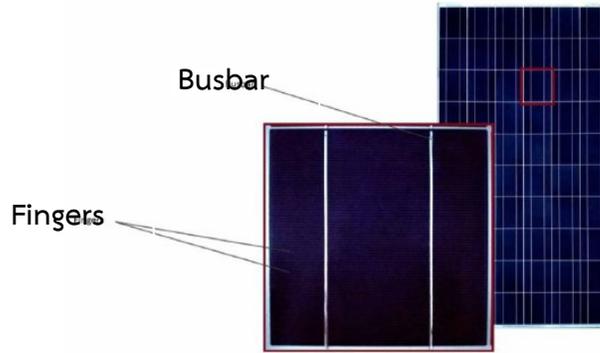
รูปที่ 1.4 ภาพถ่าย Electroluminescence ของการแตกภายในเซลล์และความรุนแรงในระดับ A:ไม่เกิดพื้นที่ของเซลล์ไม่ทำงาน ระดับ B:เกิดมีพื้นที่บางบริเวณไม่ทำงาน และระดับ C:เกิดมีบริเวณที่ไม่ทำงานและแยกอิสระ [2]

อิทธิพลของคุณสมบัติเชิงกลต่อการแตกของเซลล์

การศึกษาปัจจัยที่ทำให้เกิดการแตกของเซลล์และการขยายของรอยแตกจะสามารถลดการสูญเสียของกำลังไฟฟ้าและช่วยปรับปรุงความน่าเชื่อถือของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งปัจจัยสำคัญคือ คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุในแผงเซลล์แสงอาทิตย์เกี่ยวข้องกับความฝืด และความแข็งแรงที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์

คุณสมบัติของซิลิคอนกับการขยายตัวและการเชื่อมต่อของวัสดุ

ซิลิคอนที่สภาวะอุณหภูมิห้องมีคุณสมบัติเป็นวัสดุที่เปราะแตกหักได้ง่าย จึงทำให้การแตกของเซลล์แสงอาทิตย์เกิดขึ้นได้ง่ายเมื่อมีความเค้นกระทำต่อเซลล์ และบริเวณที่เกิดจุดแตกเล็กๆ เมื่อมีความเค้นกระทำมากกว่าค่าความเค้นวิกฤตจะส่งผลให้เกิดการขยายของรอยแตกได้ ทั้งนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีส่วนองค์ประกอบต่างๆ เช่น กระจก พอลิเมอร์ที่ใช้หุ้มเซลล์ พอลิเมอร์ที่แผ่นฉนวน Backsheet โลหะตัวนำไฟฟ้า (Finger) ที่ทำหน้าที่รวมอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจากผิวของเซลล์ไปยังบัสบาร์ (Busbar) รูปที่ 1.5

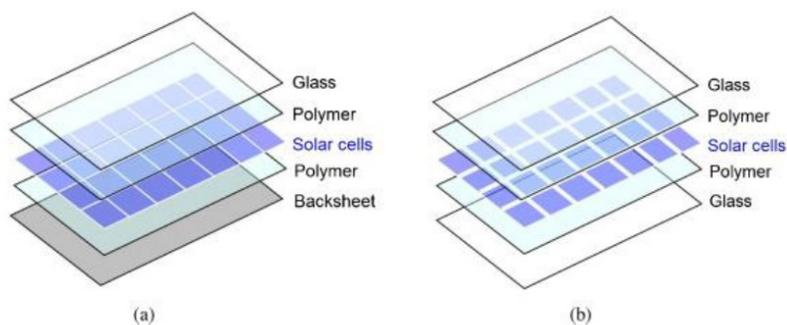


รูปที่ 1.5 โครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และเซลล์แสงอาทิตย์ที่แสดงส่วนของบัสบาร์ Busbars และ Finger [2]

ชนิดของแผ่นฉนวน Backsheet

แผ่นฉนวนเป็นส่วนสำคัญในโครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งช่วยลดความเค้นจากสภาพแวดล้อมและจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการทดลองเปรียบเทียบระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีและไม่มีแผ่นฉนวน พบว่ากรณีไม่มีแผ่นฉนวน ทำให้การสูญเสียกำลังไฟฟ้าลดลงถึง 10.3% ของกำลังไฟฟ้าเริ่มต้น ในขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีแผ่นฉนวน พบว่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าลดลง 2.2% ของกำลังไฟฟ้าเริ่มต้น รวมทั้งข้อดีในการช่วยปกป้องเซลล์แสงอาทิตย์จะสามารถลดความกว้างของรอยแตกของเซลล์ได้ถึง 30%

รูปที่ 1.6 แสดงลำดับชั้นในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (a) แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีเฟรม พอลิเมอร์และแผ่นฉนวน (b) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกระจกบนกระจก ซึ่งกรณีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกระจกบนกระจกพบว่าความสมดุลของแรงกระทำต่อเซลล์สม่ำเสมอมากกว่าแบบเดิมแต่กลับมีข้อด้อยเกี่ยวกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นและความปลอดภัยของการใช้งาน



รูปที่ 1.6 ลำดับชั้นในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (a) แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีเฟรม พอลิเมอร์และแผ่นฉนวน (b) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดกระจกบนกระจก [2]

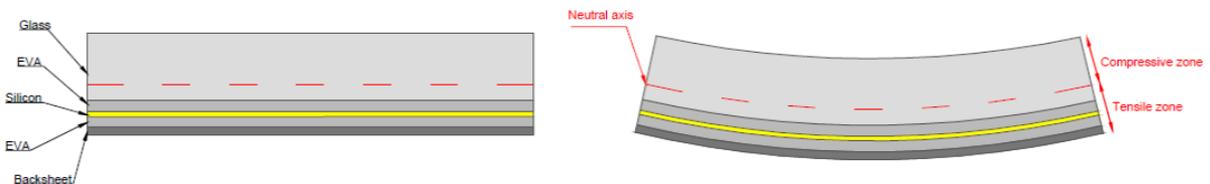
ชนิดของวัสดุหุ้มท่อเซลล์

วัสดุหุ้มท่อเซลล์โดยทั่วไปเป็นสารพอลิเมอร์ช่วยป้องกันเซลล์แสงอาทิตย์จากสภาพแวดล้อม เช่น แร่กระทำทางกล ความชื้นในอากาศและช่วยลดความเค้นจากความร้อนเชิงกลของความแตกต่างค่าสัมประสิทธิ์ทางความร้อนระหว่างกระจกกับซิลิคอน และซิลิคอนกับแผ่นฉนวน ทั้งนี้วัสดุที่ใช้ได้แก่ (1) เอทิลีนไวนิลอะซิเตท (EVA) เป็นวัสดุที่มีการใช้งานมากที่สุด เนื่องจากทนทานต่อสภาพแวดล้อมได้ดี และมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าและทางกลที่ดี ส่วนวัสดุอื่นๆ คือ (2) โพลีไวนิลบิวทิริล (PVB) และ (3) โพลีเอทิลีน (PE)

สารพอลิเมอร์เหล่านี้จะมีค่าความฝืดซึ่งขึ้นกับอุณหภูมิและเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับหาค่าความเค้นที่ส่งผ่านจากกระจกไปยังซิลิคอน ทั้งนี้ความแข็งแรงของวัสดุหุ้มท่อเซลล์ขึ้นกับค่ายังโมดูลัสและความหนาของวัสดุที่ใช้

อิทธิพลจากสมบัติของรูปร่างที่มีต่อการแตกของเซลล์

ความหนาและตำแหน่งที่ถูกจัดวางของวัสดุแต่ละชนิดในโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์นั้นมีความสำคัญต่อความน่าเชื่อถือของเซลล์แสงอาทิตย์และปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงคือ ความไม่สมมาตร ที่เกิดจากความหนาของวัสดุที่แตกต่างกัน ดังในตารางที่ 1.2 แสดงความหนาของวัสดุที่ประกอบในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในหน่วยไมโครเมตร พบว่ากระจกมีความหนามากที่สุด (2000-4000) รองลงมาคือ อีวีเอ (350-500) แผ่นฉนวน (250-400) และซิลิคอน (120-200) ตามลำดับ ความหนาที่แตกต่างกันนี้ส่งผลต่อลักษณะการโค้งงอของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ (ดังแสดงในรูปที่ 1.7)



รูปที่ 1.7 ลำดับชั้นในโครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป (ทางซ้ายมือ) และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่รับน้ำหนักจากด้านหน้าส่วนบน (ทางขวามือ) [2]

ตารางที่ 1.2 ความหนาของวัสดุที่ประกอบในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [2]

ชนิดของวัสดุ	ความหนา (ไมโครเมตร)
กระจก	2000-4000
อีวีเอ	350-500
ซิลิคอน	250-400
แผ่นฉนวน	120-200

ความหนาของซิลิคอน

ความหนาของซิลิคอนในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกทำให้ลดลงเนื่องจากความต้องการลดต้นทุนในการผลิต และจากภาวะการขาดแคลนซิลิคอน ส่งผลให้ความหนาของซิลิคอนลดลงจาก 300 ไมโครเมตรเป็น 150 ไมโครเมตร แผ่นซิลิคอนที่เปราะบางจึงถูกทำให้เกิดความเสียหายจากแรงทางกลได้ง่ายขึ้น นอกจากนี้ระดับความหนาที่ใช้อยู่ที่ราว 100 ไมโครเมตร ไม่ได้มีการปรับปรุงกระบวนการของการผลิตอื่นๆ คู่ขนานกันไป ดังนั้นอัตราความเสียหายจึงเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ

กรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์และตัวรองรับ

กรอบแผงเซลล์ที่แข็งแรงหรือกรอบแผงเซลล์ที่เพิ่มตัวรองรับจะสามารถใช้งานได้ดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบดั้งเดิม แม้ว่าทำให้ราคาของวัสดุและการจัดส่งเพิ่มขึ้นแต่ช่วยลดความเสียหายได้ ในการออกแบบเพื่อเพิ่มความฝืดให้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเพิ่มโครงสร้างด้านหลังหรืออาจทำเป็นชิ้นส่วนเล็กๆ ที่เรียกว่า Small Unit Compound (SUC) จะช่วยในการจับยึดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้อย่างมาก ดังนั้นการมีกรอบแผงเซลล์ช่วยทำให้เพิ่มความแข็งแรงและลดโอกาสของการแตกของเซลล์

โดยทั่วไปความฝืดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนขึ้นกับกรอบแผงและกระจกด้านหน้า ซึ่งการลดขนาดและน้ำหนักของกรอบแผงหรือกระจกทำให้ความสมบูรณ์ทางกลของโครงสร้างลดลงด้วย และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไปที่เป็นแบบกระจกกับแผ่นฉนวน และมีกรอบแผงเซลล์ล้อมรอบจะมีพื้นที่ส่วนตรงกลางเป็นบริเวณขนาดใหญ่ที่ไม่รองรับ อาจนำมาซึ่งความเสียหายต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ แต่ในอีกทางหนึ่งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบกระจกกับกระจกที่มีค่าความฝืดสูงมาก พบว่าส่วนใหญ่ไม่มีความโก่งตัว จึงสามารถติดตั้งโดยไม่ต้องเพิ่มกรอบแผง โดยขึ้นอยู่กับค่าความหนา และ/หรือ ค่ายังโมดูลัสของกระจกที่มีค่ามากเพียงพอ

ทั้งนี้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้วจะมีลักษณะทางกายภาพที่เปลี่ยนไปขึ้นกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ใช้งาน ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่อาจจะลดลงเพียงเล็กน้อย หรืออาจลดลงมาก ดังนั้นการวินิจฉัยอายุการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยวิธีการทดสอบทางมาตรฐานจะช่วยให้สามารถตรวจสอบความผิดปกติของแผง (หากมี) และระดับความรุนแรงเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นความเสียหายที่สามารถแก้ไขและซ่อมแซมได้ จะทำให้การใช้ประโยชน์จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ยาวนานมากขึ้น

ส่วนที่ 2 ขั้นตอนการตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้ว



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้ว

การตรวจสอบทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ตาเปล่า

การตรวจสอบเริ่มต้นสำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้ว ทำให้ทราบลักษณะทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับแผง ก่อนที่จะทำการตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

การตรวจสอบนี้จะทำให้ทราบค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง ค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าที่เหลืออยู่ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และใช้เปรียบเทียบกับค่าตั้งต้นหรือค่าในปีก่อนหน้านี้จะทำให้ทราบอัตราการลดลงทางไฟฟ้า

การตรวจสอบทางกายภาพระดับเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ภาพถ่ายเรียงแสง

การตรวจสอบทางกายภาพโดยใช้ภาพถ่ายเรียงแสงเป็นการตรวจสอบเพื่อยืนยันผลของคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้ทราบว่า การลดลงทางไฟฟ้ามีความสัมพันธ์กับการแตกร้าวในระดับเซลล์ในระดับเล็กน้อยหรือระดับวิกฤต

วิธีการตรวจสอบทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ตาเปล่า

การตรวจแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ตาเปล่าในเบื้องต้นสามารถปฏิบัติได้ทันที โดยไม่มีเงื่อนไขของสภาพแวดล้อม แต่หากเป็นการตรวจตามมาตรฐานห้องปฏิบัติการทดสอบจำเป็นต้องควบคุมแสงสว่างและสภาพแวดล้อมให้เป็นไปตามที่มาตรฐานกำหนด

การตรวจเช็คแผงเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้น

1. การตรวจสอบด้านหน้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- รอยขีด-ข่วน ด้านหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยส่วนใหญ่ รอยดังกล่าวจะมีขนาดแตกต่างกันออกไป หากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกทำเช็ดล้างด้วยน้ำสะอาดจะสามารถมองเห็นได้ชัดเจนยิ่งขึ้น
- แผงแตก การเกิดปัญหาแผงแตก ส่วนใหญ่จะเกิดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทไม่มีเฟรม ซึ่งมีจุดสังเกตได้ง่าย คือ บริเวณมุมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มักจะพบการแตกบิ่นของกระจก
- การหัก งอ แตก และบิ่นของกรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งอาจเกิดจากแรงกระทำ อุบัติเหตุต่างๆ และภัยธรรมชาติ

2. การตรวจสอบด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- แผ่นป้ายชื่อ ต้องอยู่ในสภาพสมบูรณ์และสามารถมองตัวอักษรได้ชัดเจน
- รอยขีด-ข่วน ด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ลักษณะเป็นรอยขีดที่มีความลึก-ความตื้น และความยาวของรอย รวมถึงตำแหน่งที่พบ หากใกล้บริเวณจุดเชื่อมต่อไฟฟ้า อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มากกว่าบริเวณที่ห่างจากจุดเชื่อมต่อไฟฟ้า
- ฟองอากาศ สามารถมองเห็นได้ด้วยตา โดยจะพบเป็นลักษณะบวม โป่งขึ้นมาจากพื้นผิว โดยมีขนาดแตกต่างกันออกไป
- กล่องต่อสาย โดยต้องมีฝาปิด และไม่เป็นสนิม
- สายไฟฟ้า ขั้วต่อสายจะต้องไม่แตกหัก และอยู่ในสภาพสมบูรณ์
- กรอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องอยู่ในสภาพที่ไม่บิด แตก หรือเป็นรอยพับงอ

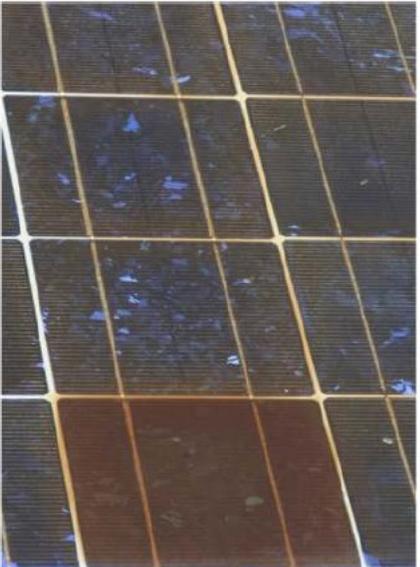
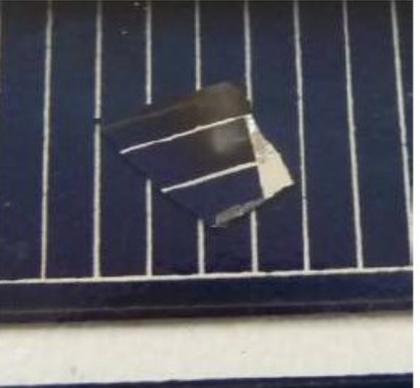
การตรวจสอบตามมาตรฐานห้องปฏิบัติการทดสอบ IEC 61215

การตรวจสอบสภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยตาเปล่า สามารถตรวจสอบอย่างละเอียดโดยปฏิบัติตามหัวข้อการทดสอบ Visual Inspection ตามมาตรฐาน IEC61215-2 ซึ่งมีหลักเกณฑ์ในการตรวจพินิจทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังตารางที่ 2.1

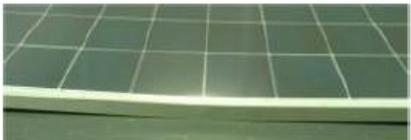
ตารางที่ 2.1 เกณฑ์การตรวจพินิจทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยตาเปล่า

ลำดับ	ลักษณะที่กำหนดตามมาตรฐาน
ก)	การหัก การแตก และคดงอของพื้นผิวภายนอก
ข)	การงอ หรือไม่อยู่ในแนวเดียวกันของพื้นผิวภายนอก ชั้นด้านใน ด้านล่าง กรอบแผง รวมถึงกล่องสายไฟหลังแผง
ค)	ฟองอากาศ หรือการดีลามีเนชันที่เกิดขึ้นโดยเชื่อมต่อส่วนที่เป็นวงจรไฟฟ้ากับขอบแผง
ง)	พื้นที่รวมทั้งหมดของฟองอากาศหรือดีลามีเนชันไม่เกิน 1% ของพื้นที่แผง
จ)	การหลอมหรือการไหม้ของฉนวนหุ้มทั้งด้านหน้าและด้านหลังแผง ไดโอด หรือส่วนประกอบที่สำคัญของแผง
ฉ)	การสูญเสียสภาพพร้อมใช้งานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไม่เหมาะสมที่นำไปติดตั้งและใช้งาน
ช)	เซลล์แตกและเซลล์หักโดยเกิดขึ้นมากกว่า 10% ของพื้นที่เซลล์จากตำแหน่งวงจรไฟฟ้าของแผง
ซ)	ช่องว่าง (voids) และการกัดกร่อน (corrosion) ที่มองเห็นด้วยตาเปล่าในทุกๆ เลเยอร์ในวงจรไฟฟ้า ซึ่งมีการขยายตัวมากกว่า 10% ของทุกๆ เซลล์
ฌ)	การแตกออกของจุดเชื่อมต่อ และรอยต่อต่างๆ
ญ)	การลัดวงจรไฟฟ้า ในส่วนต่างๆ ของแผง
ฎ)	เครื่องหมายและการแสดงข้อมูลของแผงไม่สามารถอ่านได้

ตัวอย่างลักษณะความผิดปกติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้แล้ว

ส่วนประกอบ	ลักษณะความผิดปกติ	ตัวอย่างรูปภาพ ¹
ด้านหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์	เกิดฟองอากาศ ดีลามิเนชัน	
	เปลี่ยนเป็นสีเหลือง และสีน้ำตาล	
ภายในเซลล์แสงอาทิตย์	เซลล์แตก หัก การเปลี่ยนสีของสารสะท้อนแสง	

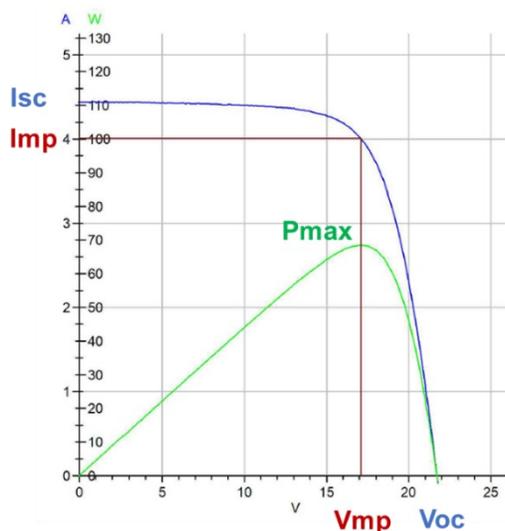
¹ Review of Failure of Photovoltaic Modules, Report IEA-PVPS T13-01-2014

ส่วนประกอบ	ลักษณะความผิดปกติ	ตัวอย่างรูปภาพ ¹
ส่วนเชื่อมต่อเซลล์	การไหม้ และการเกิดออกซิเดชัน	
กรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ เฟรม	การงอ แตกหัก รอยขีดข่วน และไม่อยู่ในแนวเดิม	
ด้านหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์	การดีลามิเนชัน เกิดฟองอากาศ เปลี่ยนเป็นสีเหลือง รอยขีดข่วน	
	และการไหม้	
กล่องต่อสาย (Junction box)	สายหลวม การเกิดออกซิเดชัน และการกัดกร่อน (Corrosion)	
สายไฟฟ้าและสายเชื่อมต่อต่างๆ	การหลุด บิดงอ มีแผลเปิดถึงส่วนที่นำไฟฟ้าได้	

การตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ค่ากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ทำให้ทราบค่ากำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีลักษณะความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนแบบผลึกเดี่ยว (Mono-crystalline Silicon)

I_{sc} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะที่ไม่มีแรงดันไฟฟ้า ส่วน I_{mp} คือ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สภาวะมาตรฐานทดสอบ ซึ่งในรูปที่ 2.2 I_{sc} เท่ากับ 4.44 แอมแปร์ และ I_{mp} เท่ากับ 4.01 แอมแปร์ (A)

V_{oc} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขณะที่ไม่มีกระแสไฟฟ้า ส่วน V_{mp} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สภาวะมาตรฐานทดสอบ ซึ่งในรูปที่ 2.2 V_{oc} เท่ากับ 21.7 โวลต์ และ V_{mp} เท่ากับ 17.1 โวลต์ (V)

P_{max} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่สภาวะมาตรฐานทดสอบ ซึ่งในรูปที่ 2.2 P_{max} เท่ากับ 68.5 วัตต์ (W)

หมายเหตุ สภาวะมาตรฐานทดสอบ คือ สภาวะที่ความเข้มแสงอาทิตย์เท่ากับ 1,000 วัตต์/เมตร² มวลอากาศเท่ากับ 1.5 และอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 25 °C

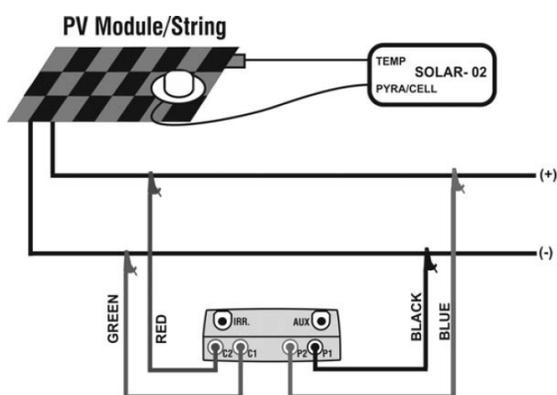
วิธีการตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

กรณีตรวจวัดด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ (Solar Simulator)

การตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แสงอาทิตย์จำลองซึ่งใช้อย่างแพร่หลายในเชิงพาณิชย์ ทั้งนี้ในประเทศไทยจะยอมรับผลการทดสอบตามมาตรฐาน IEC 61215 และ มอก. 61215 ซึ่งเครื่องจำลองแสงอาทิตย์มี 2 แบบ คือแบบแสงคงที่ และแบบพัลส์ ในกรณีของเครื่องจำลองแสงอาทิตย์แบบแสงคงที่ต้องมีเครื่องมือเพิ่มเติม ได้แก่ ตัวต้านทานชั้น (Shunt Resistance) และเครื่องเก็บข้อมูลอัตโนมัติ อย่างไรก็ตามในเชิงพาณิชย์นั้น การตรวจวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะกระทำโดยหน่วยงานที่ได้รับ การรับรองความสามารถ ISO 17025 เครื่องมือที่ใช้จะต้องสามารถสอบย้อนกลับได้อย่างน้อยถึงระดับทุติยภูมิ และมีการสอบเทียบเครื่องมือสม่ำเสมอ

การตรวจวัดกระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในภาคสนาม

การวัดสมรรถนะแผง/สตริงเซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาวะการทำงานแบบกลางแจ้งโดยใช้เครื่อง I-V curve tracer เครื่องวัดพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องวัดอุณหภูมิแผงและวัดอุณหภูมิอากาศของสภาวะแวดล้อม ในรูปที่ 2.3 แสดงไดอะแกรมการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในภาคสนาม



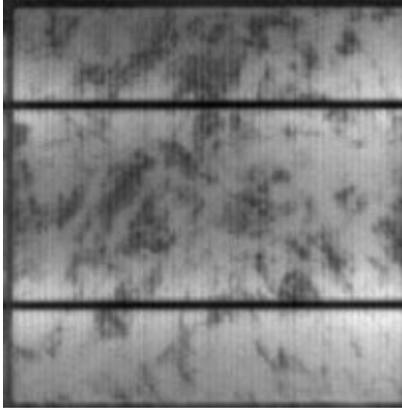
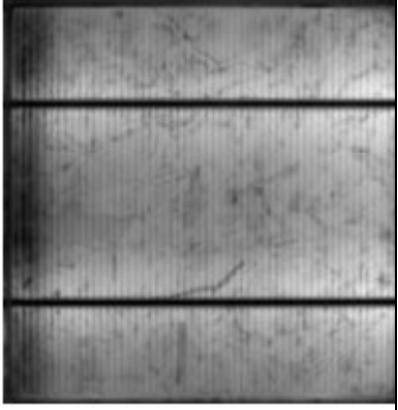
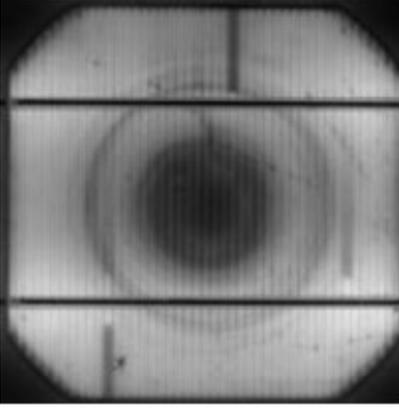
รูปที่ 2.3 ไดอะแกรมการตรวจวัดกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในภาคสนาม

ชุดเครื่องมือจะเก็บบันทึกข้อมูลทั้งหมดซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลในเวลาเดียวกัน จากนั้นข้อมูลจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อทราบประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถตรวจสอบความเป็นปกติของการทำงานได้โดยเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จาก Nameplate และค่าที่วัดได้จาก I-V curve tracer

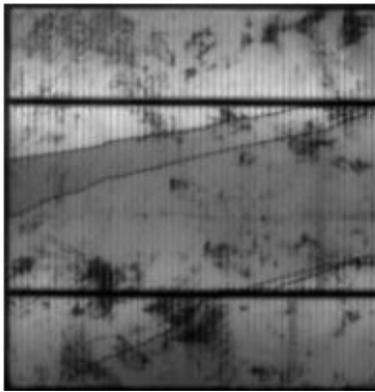
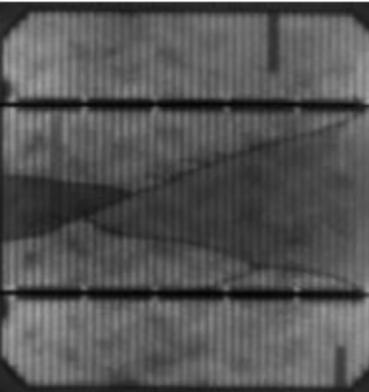
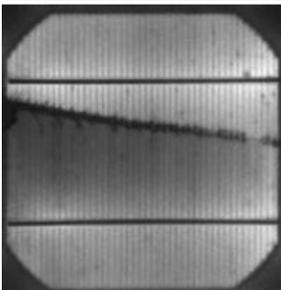
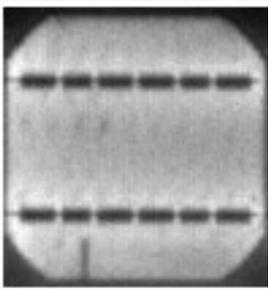
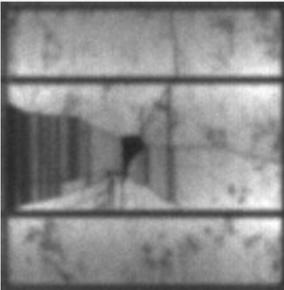
การตรวจสอบทางกายภาพระดับเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

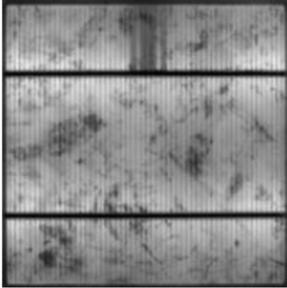
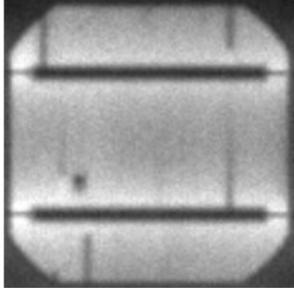
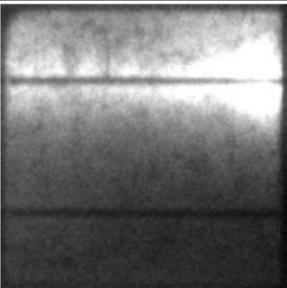
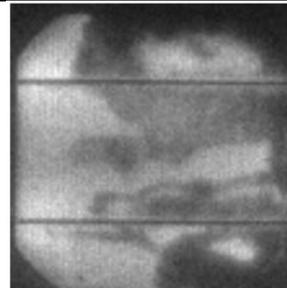
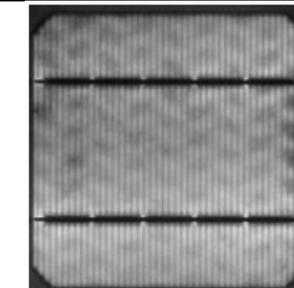
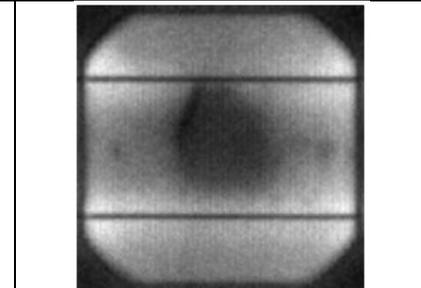
ภาพถ่ายเรืองแสงหรือ EL ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ EL ย่อมาจาก Electroluminescence จะสามารถบอกถึงความผิดปกติต่างๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยเฉพาะการแตกของเซลล์ (Cell cracks) ที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งตำแหน่งของการแตกจะปรากฏเป็นแนวเส้นที่ทึบแสงที่อยู่บนพื้นที่เซลล์และจากภาพถ่าย EL ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนหลายผลึก สามารถบอกถึงความไม่สมบูรณ์ของการจัดเรียงตัวของผลึกได้ด้วย โดยจะแสดงในรูปแบบเส้นทึบแสงเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามภาพถ่าย EL ไม่สามารถระบุความผิดปกติได้ในทันทีที่ต้องพิจารณาเปรียบเทียบกับคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในตารางที่ 2.2 – 2.4 แสดงตัวอย่างภาพถ่าย EL แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ

ตารางที่ 2.2 ภาพถ่าย EL ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ใช่ความผิดปกติ¹

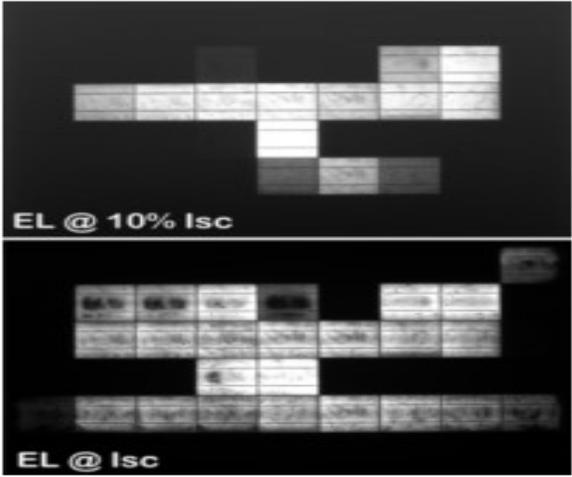
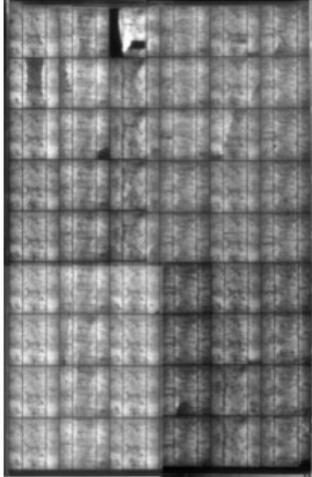
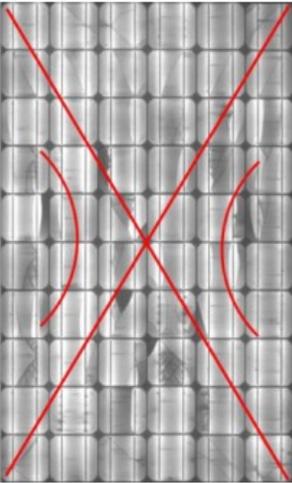
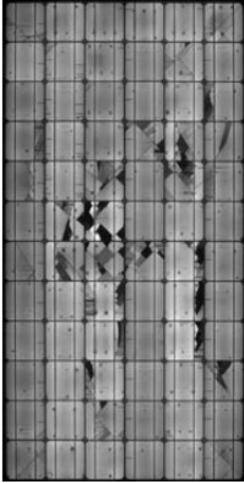
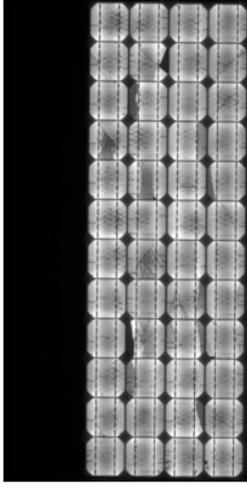
		
<p>การจัดเรียงตัวของผลึกของเซลล์ชนิดซิลิคอนหลายผลึก (multi crystalline silicon)</p>	<p>การเปล่งแสงไม่สม่ำเสมอในบริเวณขอบของเซลล์หรือเวเฟอร์</p>	<p>การเกิดรูปร่างแหวนบนเซลล์ชนิดซิลิคอนผลึกเดี่ยว (monocrystalline silicon) หรือ Striation rings</p>

ตารางที่ 2.3 ภาพถ่าย EL ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่แสดงความผิดปกติ

(1) ความผิดปกติที่ส่งผลต่อความปลอดภัยของการทำงานและการลดลงของกำลังไฟฟ้า		
		
<p>- การแตกของเซลล์ (Cracks cell) ที่มีรอยแตกไม่กระทบต่อการไหลของกระแสที่ผ่านบริเวณรอยแตก</p> <p>- มีความสัมพันธ์กับการลดลงของกำลังไฟฟ้าในรูปแบบเชิงเส้น</p>	<p>- การแตกของเซลล์ (Cracks cell) ที่มีผลกระทบต่อการไหลของกระแสที่บริเวณจุดเชื่อมต่อของ ribbon และเซลล์ แต่ยังมี การเชื่อมต่อระหว่างกัน</p> <p>- มีความสัมพันธ์กับการลดลงของกำลังไฟฟ้าในรูปแบบเชิงเส้น</p>	<p>- การแตกของเซลล์ (Cracks cell) ที่มีบางส่วนของเซลล์ที่ไม่มีการเชื่อมกับ ribbon โดยสมบูรณ์ ทำให้กระแสไม่สามารถไหลผ่านได้</p> <p>- มีความสัมพันธ์กับการลดลงของกำลังไฟฟ้าในรูปแบบเชิงเส้น</p>
		
<p>- การแตกของเซลล์ในลักษณะที่เป็นเส้นบนแนวของ gridline</p> <p>- อาจทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงน้อยกว่า 3% จากค่าที่ควรจะเป็น</p>	<p>- ความผิดปกติของ gridline ที่รับกวนการไหลของกระแสไฟฟ้าบนเซลล์</p> <p>- อาจทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงน้อยกว่า 3% จากค่าที่ควรจะเป็น</p>	<p>- ความผิดปกติของ gridline ที่รับกวนการไหลของกระแสไฟฟ้าบนบริเวณที่เกิดการแตกของเซลล์</p> <p>- มีความสัมพันธ์กับการลดลงของกำลังไฟฟ้าในรูปแบบเชิงเส้น</p>

		
<p>- ความผิดปกติของ gridline ซึ่งส่งผลกระทบกับจุดเชื่อมต่อต่างๆของเซลล์</p> <p>- มีความสัมพันธ์กับการลดลงของกำลังไฟฟ้าในรูปแบบเชิงเส้น</p>	<p>- ความผิดปกติของความต้านทานภายในเซลล์ (Shunt fault)</p> <p>- อาจทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงน้อยกว่า 3% จากค่าที่ควรจะเป็น</p>	<p>- ความผิดปกติของความต้านทานภายในเซลล์ (Shunt fault) ที่เกิดจากความบกพร่องของการเชื่อมต่อเซลล์</p> <p>- อาจทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงน้อยกว่า 3% จากค่าที่ควรจะเป็น</p>
		
<p>- ความบกพร่องของการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์</p> <p>- อาจทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงน้อยกว่า 3% จากค่าที่ควรจะเป็น</p>		
<p>(2) ความผิดปกติที่ส่งเฉพาะการลดลงของกำลังไฟฟ้าแต่ไม่ส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยของการใช้งาน</p>		
		
<p>- การเกิด Corrosion อันเนื่องมาจากความชื้น</p> <p>- อาจทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา</p>	<p>- จุดเชื่อมต่อผิดปกติอันเกิดจากอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอในกระบวนการสร้าง gridline</p> <p>- อาจทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงน้อยกว่า 3% จากค่าที่ควรจะเป็น</p>	<p>- จุดเชื่อมต่อผิดปกติจากอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอในการสร้าง gridline ส่งผลต่อความต้านทานบริเวณกลางเซลล์</p> <p>- อาจทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงน้อยกว่า 3% จากค่าที่ควรจะเป็น</p>

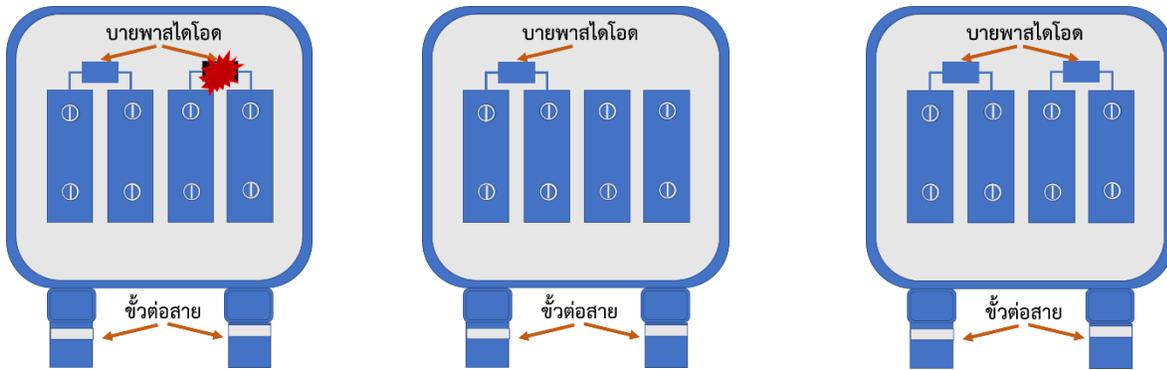
ตารางที่ 2.4 ภาพถ่าย EL ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่แสดงความผิดปกติ

		
<ul style="list-style-type: none"> - Potential induced degradation (PID) บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ - ส่งผลต่อแรงดันของแผงและระบบ 	<ul style="list-style-type: none"> - การแตกของเซลล์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแผง - ความผิดปกติมีความสัมพันธ์กับการลดลงของกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์ 	
		
<ul style="list-style-type: none"> - การแตกของเซลล์อันเนื่องมาจากแรงกดทับโดยตำแหน่งการแตกจะพบในรูปแบบตัว X ดังเส้นสีแดง - ความผิดปกติมีความสัมพันธ์กับการลดลงของกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์ 	<ul style="list-style-type: none"> - การแตกแบบกระจายของเซลล์ในบริเวณกลางแผง - ความผิดปกติมีความสัมพันธ์กับการลดลงของกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์ 	<ul style="list-style-type: none"> - ความผิดปกติของบายพาสไดโอด หรือ อาจจะทำให้เกิดความผิดปกติของสตริงภายในแผง - ความผิดปกติมีความสัมพันธ์กับการลดลงของกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์

ส่วนที่ 3 แนวทางการซ่อมแซมแผงเซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความชำรุดด้านกายภาพ แต่คุณสมบัติทางไฟฟ้ายังเป็นปกติ สามารถดำเนินการซ่อมแซมความบกพร่องทางกายภาพได้ ส่วนใหญ่ที่พบเป็นความผิดปกติของบายพาสไดโอด และการหลุดออกของแผ่นฉนวน backsheet โดยมีแนวทางในการซ่อมแซมดังรูปที่ 3.1

บายพาสไดโอด



- (1) บายพาสไดโอดเสีย (2) นำบายพาสไดโอดที่เสียออกแล้วใส่ตัวใหม่ (3) หลังจากเปลี่ยนบายพาสไดโอด

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการซ่อมแซม

- (1) เปิดกล่องขั้วต่อสายไฟหลังแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- (2) นำบายพาสไดโอดที่เสียออก แล้วจึงใส่บายพาสไดโอดตัวใหม่แทนที่
- (3) ปิดกล่องขั้วต่อสายให้เรียบร้อย

แผ่นฉนวน backsheet

แผ่นฉนวน backsheet ทำหน้าที่ช่วยป้องกันส่วนของเซลล์และส่วนที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้าในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อลดผลกระทบจากความร้อน ความเย็นและความชื้นของสภาพแวดล้อมในธรรมชาติ รวมถึงทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าป้องกันไม่ให้ผู้ใช้งานได้รับอันตรายจากไฟฟ้าช็อต แผ่นฉนวนที่ได้รับความเสียหายจากการใช้งาน โดยทั่วไปจะเกิดการแตกร้าวหลังจากการใช้งานได้ระยะหนึ่ง แต่ในบางกรณีจะเกิดรอยขีดข่วน เนื่องจากการกระแทก หรือการขยี้ย ดั้งนั้นการซ่อมแซมแผ่นฉนวนนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ ได้แก่ (1) ซ่อมแซมส่วนที่ได้รับ ความเสียหาย โดยการเติมหรืออุดร่องและช่องว่างที่เกิดขึ้น เมื่อฉนวนเกิดการแตกร้าว และ (2) ป้องกันการเพิ่มขึ้น และการขยายพื้นที่ของความเสียหายของรอยแตกร้าวและช่องว่างที่เกิดขึ้น รวมถึงคงความเป็นฉนวนไฟฟ้าซึ่งช่วย ป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการรั่วของไฟฟ้าได้

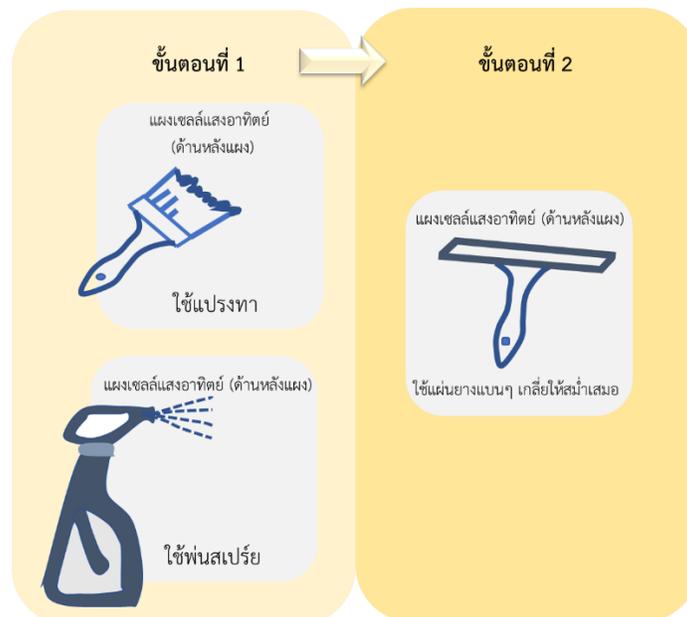
ข้อเสนอแนะวิธีการซ่อมแซมแผ่นฉนวน backsheet²

การซ่อมแซมแผ่นฉนวน backsheet โดยใช้ซิลิโคนเหลว (Flowable Silicone) สามารถใช้ได้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งอยู่กับโครงรองรับแผง (สำหรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ปลดแผงออกจากโครงรองรับแผง) และใช้กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ปลดออกจากโครงรองรับแผง

การซ่อมแซมแผ่นฉนวน สำหรับแผงที่ไม่ปลดออกจากโครงรองรับแผง ดังรูปที่ 3.2

วิธีที่ 1: ใช้แปรงทาซิลิโคนเหลว และใช้แผ่นยางแบนๆ เกลี่ยให้ซิลิโคนเหลวสม่ำเสมอทั่วบริเวณที่ต้องการซ่อมแซม แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง

วิธีที่ 2: สเปรย์ซิลิโคนเหลว โดยใช้หัวฉีดอัดลม เหลว และใช้แผ่นยางแบนๆ เกลี่ยให้ซิลิโคนเหลวสม่ำเสมอทั่วบริเวณที่ต้องการซ่อมแซมแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง

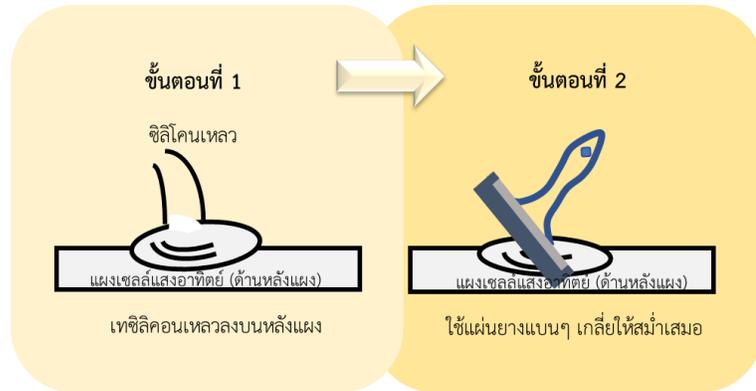


รูปที่ 3.2 การซ่อมแซมแผ่นฉนวน สำหรับแผงที่ไม่ปลดออกจากโครงรองรับแผง

การซ่อมแซมแผ่นฉนวน สำหรับแผงที่ปลดแผงออกจากโครงรองรับแผง

วางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในแนวนอน โดยให้ด้านหน้าแผงติดกับพื้น จากนั้นเทซิลิโคนเหลวลงบนหลังแผง จากนั้นใช้แผ่นยางแบนๆ กวาดซิลิโคนเหลวให้ทั่วบริเวณที่ต้องการซ่อมแซม ดังรูปที่ 3.3 แล้วทิ้งไว้ให้แห้ง

² Guy Beaucarne, Gabriele Eder, Emmanuel Jadot, Yuliya Voronko and Wolfgang Mühleisen, "Repair and preventive maintenance of photovoltaic modules with degrading backsheets using flowable silicon sealant," Prog Photovolt Res Appl. 2021;1-9, Doi:10.1002/pip.3492



รูปที่ 3.3 การซ่อมแซมแผ่นฉนวน สำหรับแผงที่ปลดแผงออกจากโครงรองรับแผง

กลไกการทำงานของซิลิโคนเหลวในการซ่อมแซมแผ่นฉนวน backsheet ดังแสดงในรูป 3.4 เมื่อซิลิโคนแห้ง จะทำหน้าที่เชื่อมประสานวัสดุแผ่นฉนวนเดิม จึงสามารถป้องกันการขยายของพื้นที่แตกร้าวของแผ่นฉนวนได้



รูปที่ 3.4 กลไกการทำงานของซิลิโคนเหลวในการซ่อมแซมแผ่นฉนวน backsheet ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

หมายเหตุ (1) วิธีการซ่อมแซมแผ่นฉนวนโดยใช้ซิลิโคนเหลว จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าถ้าหากกรอรอยแตกร้าวเพียงเล็กน้อย และยังมีวัสดุแผ่นฉนวน เดิมอยู่ เนื่องจากซิลิโคนเหลวจะทำหน้าที่ช่วยเชื่อมประสานช่องว่างที่เกิดขึ้นได้ แต่ยังมีข้อด้อยหากใช้งานสำหรับกันความชื้นโดยตรง นั่นคือ ซิลิโคนไม่เหมาะที่ใช้เพื่อป้องกันความชื้นในพื้นที่ใหญ่ๆ

(2) สามารถใช้วัสดุอื่นในการซ่อมแซมได้ คือ อีพอกซี โพลียูรีเทน กาวยาง ทั้งนี้ควรตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้และมีตัวแทนจำหน่ายอย่างเป็นทางการ

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติและเงื่อนไขการใช้งานสารปิดทับแผ่นฉนวน backsheet ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยที่การทำงานของสารปิดทับทุกตัวทำที่อุณหภูมิห้อง

สารที่ใช้	ตัวทำละลาย	เงื่อนไขการใช้งาน	สี
อีพ็อกซี	ใช้ตัวทำละลาย	ใช้สาร 1 ชนิด	ใส ไม่มีสี
โพลียูรีเทน	ใช้ตัวทำละลาย	ใช้สาร 2 ชนิด	ใส ไม่มีสี
ซิลิโคนเหลว	ไม่ใช้ตัวทำละลาย	ใช้สาร 1 ชนิด	ใส ไม่มีสี
กาวยาง	ใช้ตัวทำละลาย	ใช้สาร 1 ชนิด	สีดำ / สีขาว

ตารางที่ 3.2 ปริมาณที่ใช้งานและราคาต่อแผงสำหรับสารปิดทับในการซ่อมแซมแผ่นฉนวน backsheet

สารที่ใช้	เวลาที่ใช้ (นาที)			ปริมาณที่ใช้ต่อแผง (กรัม)	ราคาต่อแผง (บาท)
	ชั้นที่ 1	ทำให้แห้ง	ชั้นที่ 2		
อีพ็อกซี (2 ชั้น)	3-4	อย่างน้อย 10 นาที	4	72	45.60
โพลียูรีเทน ((2 ชั้น)	3-4	อย่างน้อย 10 นาที	4	74	87.40
ซิลิโคนเหลว	11	-	-	47	114.00
สารรองพื้น + กาว ยาง (2 ชั้น)	2 สำหรับ สารรองพื้น	30	2-3 (ทาทับ 2 ชั้น)	60 + 100	110.20

หมายเหตุ ณ วันที่ 29 พ.ย. 2564 อัตราแลกเปลี่ยนเงิน 38 บาทต่อยูโร

ส่วนที่ 4 บทสรุป

การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นวิธีการตรวจสอบเบื้องต้น เพื่อคัดเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีความผิดปกติ และอาจมีคุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ลดลง การคัดแยกแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้ว โดยเริ่มจากแหล่งที่มาของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ / ผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าโดยทั่วไปช่วงอายุการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยจะมีการลดลงของกำลังไฟฟ้าอย่างชัดเจนในปีที่ 5 ของการใช้งาน ซึ่งจะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ คือลดลง 27-28% แต่จากการวิจัยมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์อีกกลุ่มที่จะสามารถเห็นการลดลงของกำลังไฟฟ้าได้ช่วงปีที่ 10 ของการใช้งานและมีอัตราการลดลง 4-5% อ้างอิงผลการศึกษารายวิจัยโครงการวิจัยอายุการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานแล้วโดยวิธีการทดสอบมาตรฐาน (กทอ.64-03-0063)

นอกจากนี้การซ่อมแซมเพื่อลดความเสียหายจากการชำรุดของแผ่นฉนวนเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ โดยใช้วิธีที่สะดวกและปลอดภัย รวมถึงใช้วัสดุที่หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด เช่น อีพ็อกซี, โพลียูรีเทน, ซิลิโคนเหลว, และกาวยาง เป็นต้น จึงช่วยยืดอายุการใช้งานแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ไม่ปล่อยให้ความเสียหายเพิ่มขึ้นโดยมิได้ป้องกันวิธีซ่อมแซมแผ่นฉนวนด้วยวิธีนี้สามารถนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้งานตามปกติ และสารที่ทาปิดทับไว้ติดแน่นนานถึง 6 เดือน และคาดว่าจะนานถึง 1 ปี

เอกสารอ้างอิง

1. IEA PVPS T1-41: 2021, Trends in Photovoltaic Applications 2021.
2. IEC 61215-2:2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval - Part 2: Test procedures.
3. IEC TS 60904-13: Photovoltaic devices-Part 13: Electroluminescence of photovoltaic modules.
4. Lamprini Papargyri, Marios Theristis, Bernhard Kubicek, Thomas Krametz, Christoph Mayr, Panos Papanastasiou, and George E. Georghiou, Modelling and experimental investigations of microcracks in crystalline silicon photovoltaics: A review, Renewable Energy, January 2020.
5. Yuliya Voronko, Gabriele C. Eder, Christian Breitwieser, Wolfgang Mühleisen, Lukas Neumaier, Sonja Feldbacher, Gernot Oreski, and Norbert Lenck, Repair options for PV modules with cracked backsheets, Energy Science & Engineering, 1 June 2021, DOI: 10.1002/ese3.936.

ภาคผนวก

แบบฟอร์มการตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์เบื้องต้น

1) การตรวจสอบทางกายภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ตาเปล่า

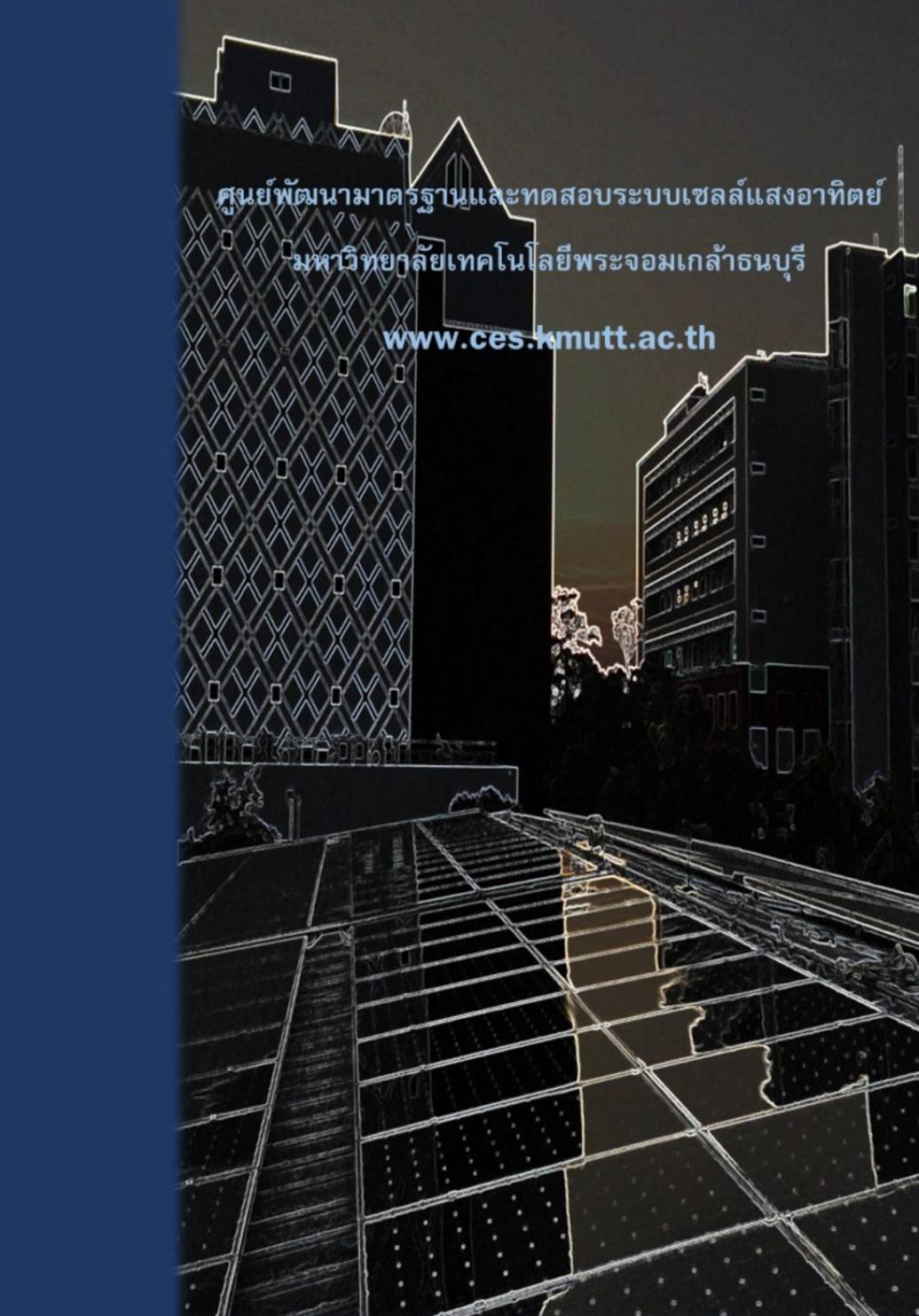
ส่วนประกอบ	ลักษณะความผิดปกติ	สิ่งที่ตรวจพบปกติ	ตรวจพบสิ่งผิดปกติ
1. ด้านหน้าแผงเซลล์ แสงอาทิตย์	1.1 เกิดฟองอากาศ / ดีลามิเนชัน		
	1.2 เปลี่ยนเป็นสีเหลือง และสีน้ำตาล		
2. ภายในเซลล์ แสงอาทิตย์	2.1 เซลล์แตก / หัก		
	2.2 การเปลี่ยนสีของสารสะท้อนแสง		
3. ส่วนเชื่อมต่อเซลล์	3.1 การไหม้ และการเกิดออกซิเดชัน		
4. กรอบแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ หรือเฟรม	4.1 การงอ แตกหัก รอยขีดข่วน และ ไม่อยู่ในแนวเดิม		
5. ด้านหลังแผงเซลล์ แสงอาทิตย์	5.1 การดีลามิเนชัน		
	5.2 เกิดฟองอากาศ		
	5.3 เปลี่ยนเป็นสีเหลือง		
	5.4 รอยขีดข่วน		
	5.5 การไหม้		
6. กล่องต่อสาย (Junction box)	6.1 สายหลวม		
	6.2 การเกิดออกซิเดชัน และการกัดกร่อน (Corrosion)		
7. สายไฟฟ้าและสาย เชื่อมต่อต่างๆ	7.1 การหลุด / บิดงอ		
	7.2 มีแผลเปิดถึงส่วนที่นำไฟฟ้าได้		

2) การตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

- ตรวจสอบโดย
- ไม่มีการตรวจสอบ เนื่องจาก

3) การตรวจสอบทางกายภาพระดับเซลล์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ภาพถ่ายเรียงแสง

- ตรวจสอบโดย
- ไม่มีการตรวจสอบ เนื่องจาก



ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

www.ces.kmutt.ac.th