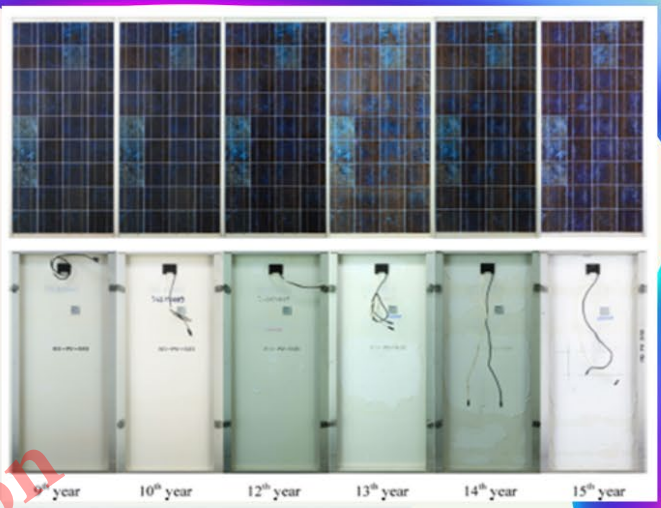
กลไกการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า

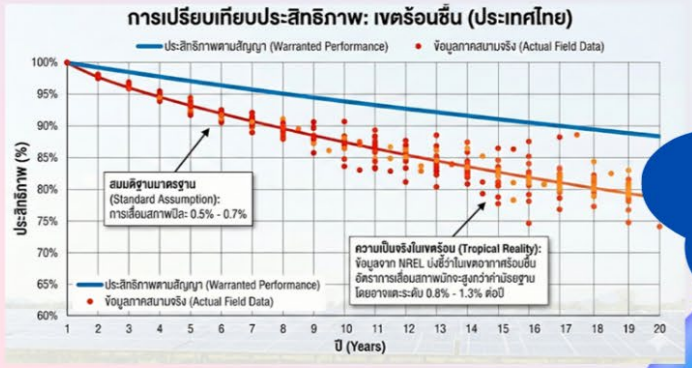
PV modules Degradation Mechanisms and PV Performance



วันพฤหัสบดีที่ 26 กุมภาพันธ์ 2569
zoom online เวลา 10:00–11:00 น.

วิทยากร
ดร.เยาวณี แสงพงศานนท์
ผู้จัดการฝ่ายวิจัยและพัฒนา CSSC

ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (CSSC)
สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบ (สรบ.)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.)



CSSC for Education

REGISTER NOW

Free Seminar

https://forms.gle/7Bwk7MbP4yj4XFUW8

CSSC
CES SOLAR CELLS TESTING CENTER

CES Solar Cells Testing Center (CSSC)

ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์

Testing laboratory according to ISO/IEC 17025:2017

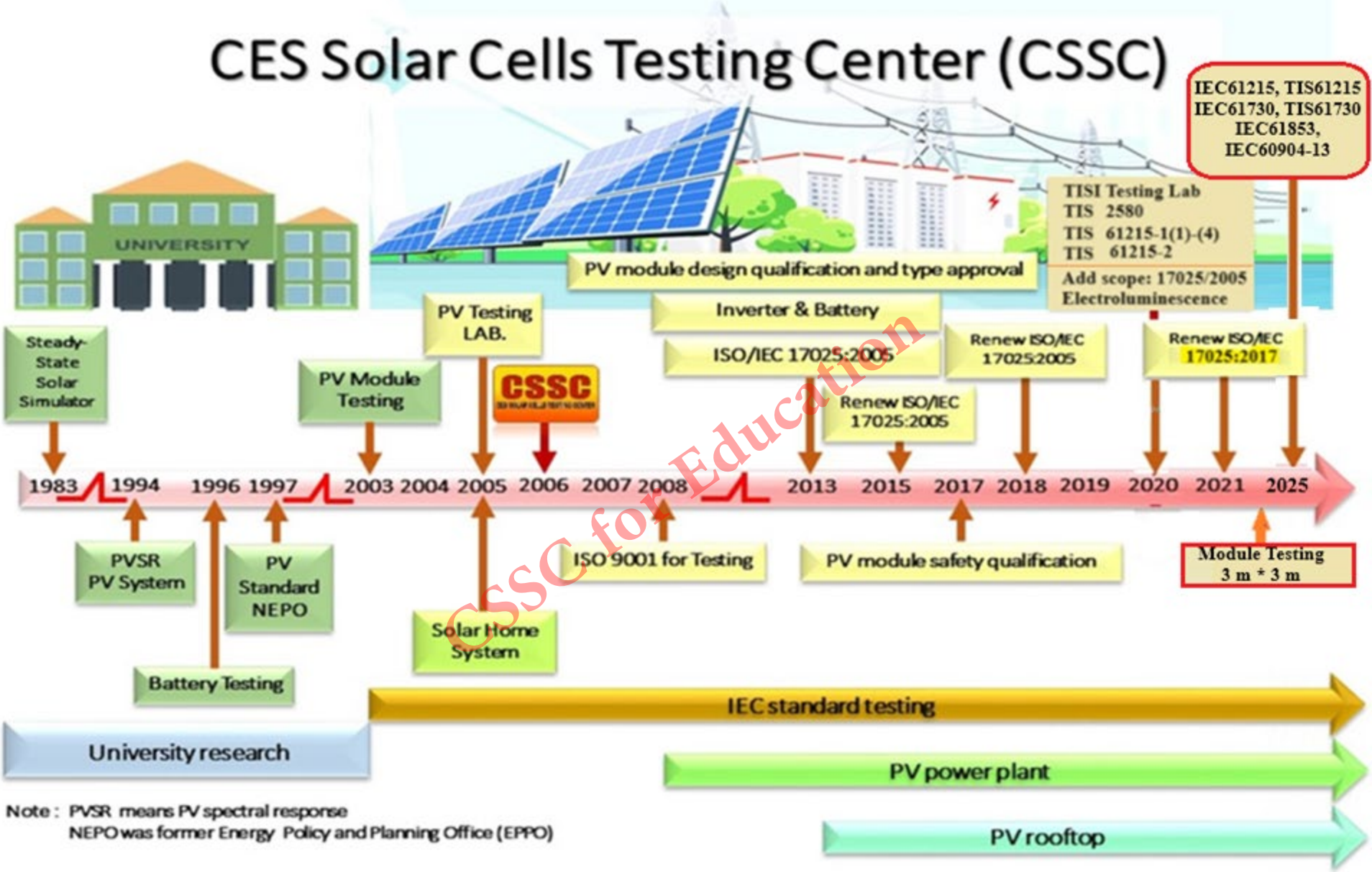
TLAS accredited testing laboratory,

Accreditation No. TESTING 1645

CSSC for Education

- CSSC had been funded by the Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE) – Ministry of Energy, and Energy Conservation Promotion Fund.
- CSSC was established and supported by the King Mongkut's University of Technology Thonburi (KMUTT).

CES Solar Cells Testing Center (CSSC)



Note : PVSR means PV spectral response
NEPO was former Energy Policy and Planning Office (EPPO)

CSSC for Education

CSSC – Activities in PV systems

- Standard testing for PV products
- Research and Development
- Training

CSSC for Education

CSSC
CES SOLAR CELLS TESTING CENTER
PILOT PLANT DEVELOPMENT AND TRAINING INSTITUTE
KING MONGKUT'S UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THONBURI

THAILAND
NSC-TISI-TIS 17025
TESTING 1645

globalgroup ISO 9001 UKAS MANAGEMENT SYSTEMS 5965
CERTIFICATE No.: 25019273

Provision of Testing and Training on

Photovoltaic system and Renewable Energy

http://www.globalgroup.net/certification/certification-check/

Solar Simulator for 3 m x 3 m

Class AAA Solar simulator according to IEC60904-9

Able to test many types of solar panels (Silicon, PERC, TOPCon, HIT, ABC, and Bifacial)

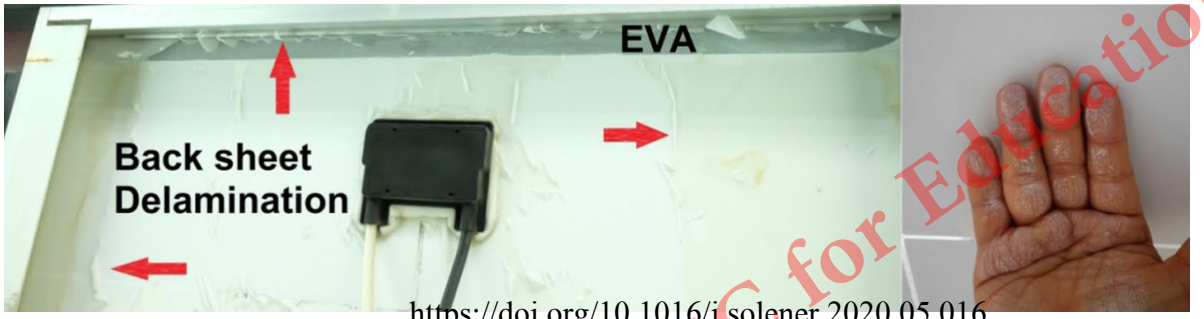
วัดสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะมาตรฐาน

Standard Testing Condition (STC)

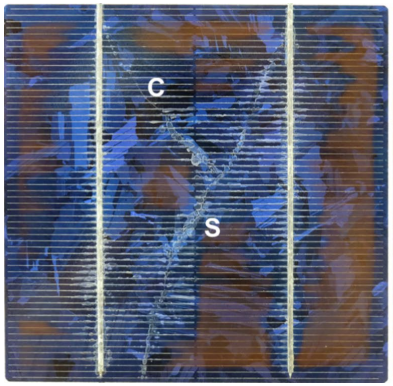
CSSC for Education

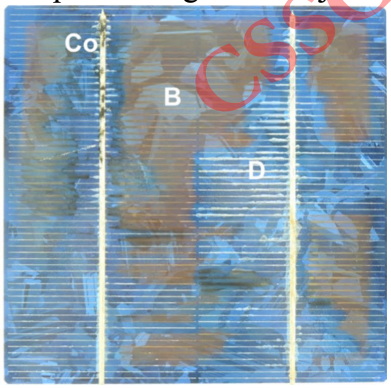
CSSC is the accreditation laboratory according to ISO17025 and ISO9001.

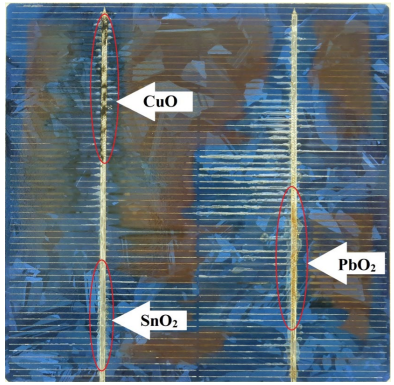
กลไกการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้า



https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.016



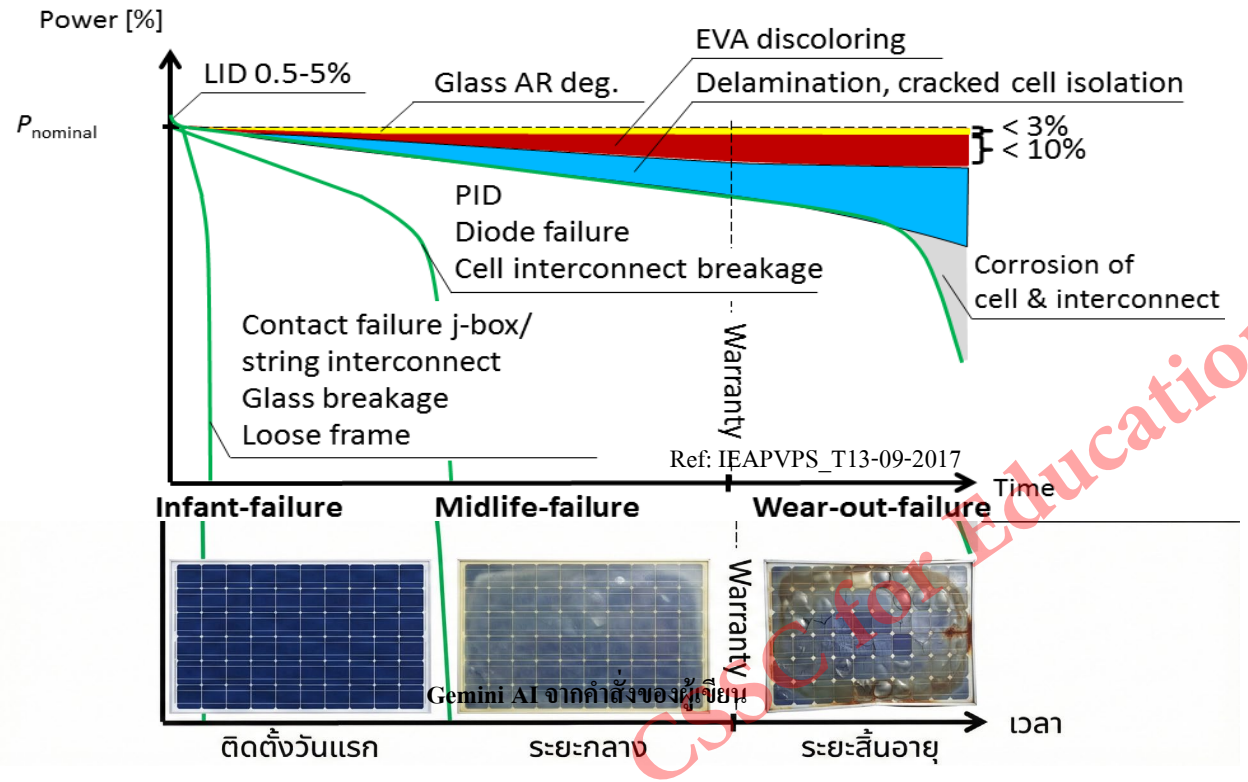




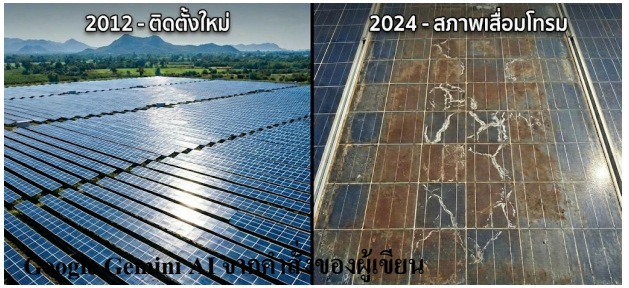
CSSC for Education

- PV modules
- Degradation
- Mechanisms and
- Power Generation
- Performance

การเดินทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



- ✓ การเสื่อมสภาพ ไม่ใช่แค่เรื่องทางเทคนิค
- ✓ แต่คือ “เรื่องชีวิต + เรื่องธุรกิจ”
- ✓ ที่สะสมผลกระทบทุกวัน โดยที่หลายคนไม่รู้ตัว



CSSC for Education

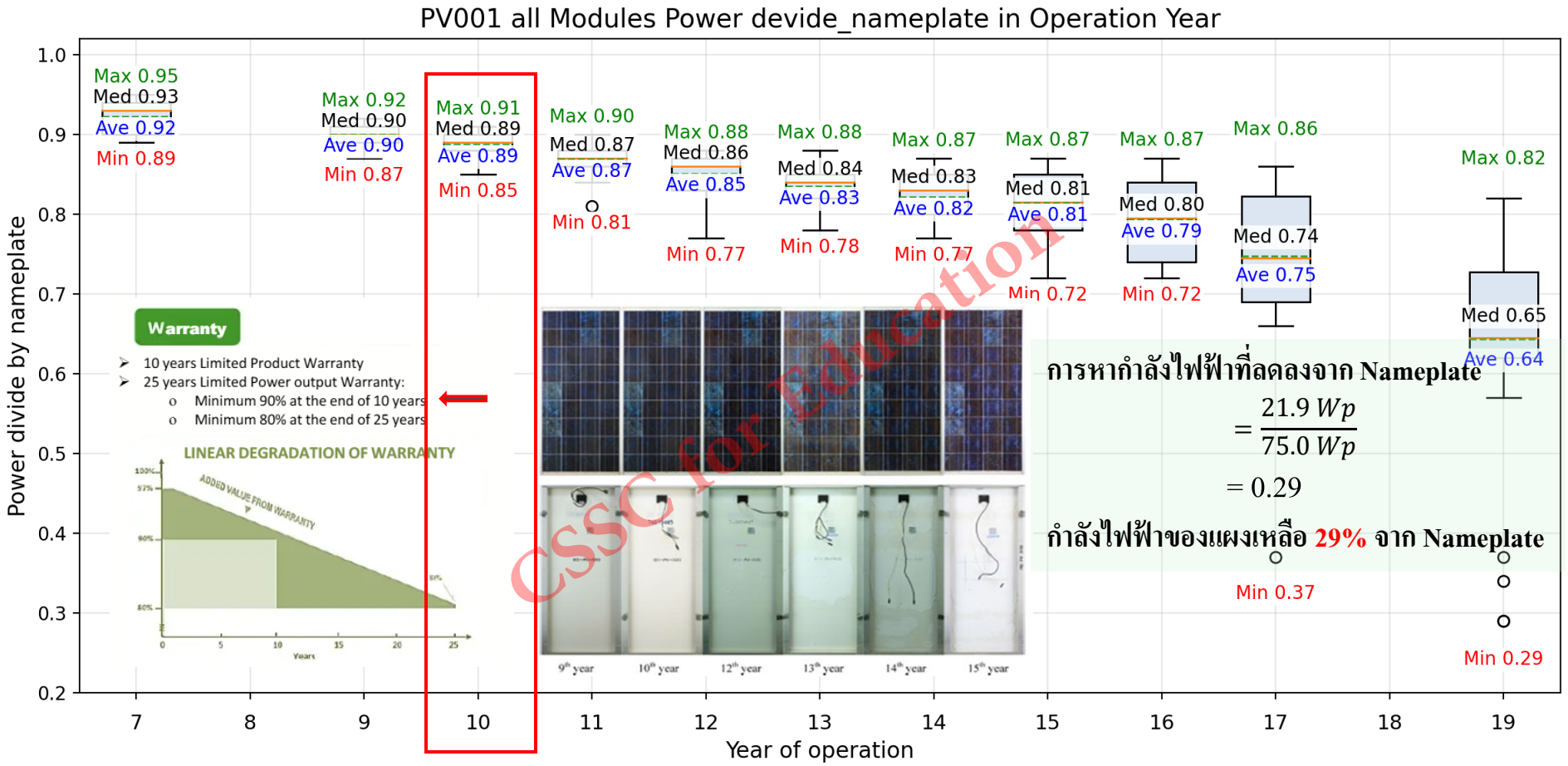
100%
วันแรกที่ติดตั้ง
Flash Test การันตีคุณภาพ

ความจริง
ไม่มีแผงไหนทำงาน 100% ตลอดไป

25+
ปีแห่งความเสี่ยง
ที่เงินของคุณอาจหายไปเงียบๆ

สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะยาว

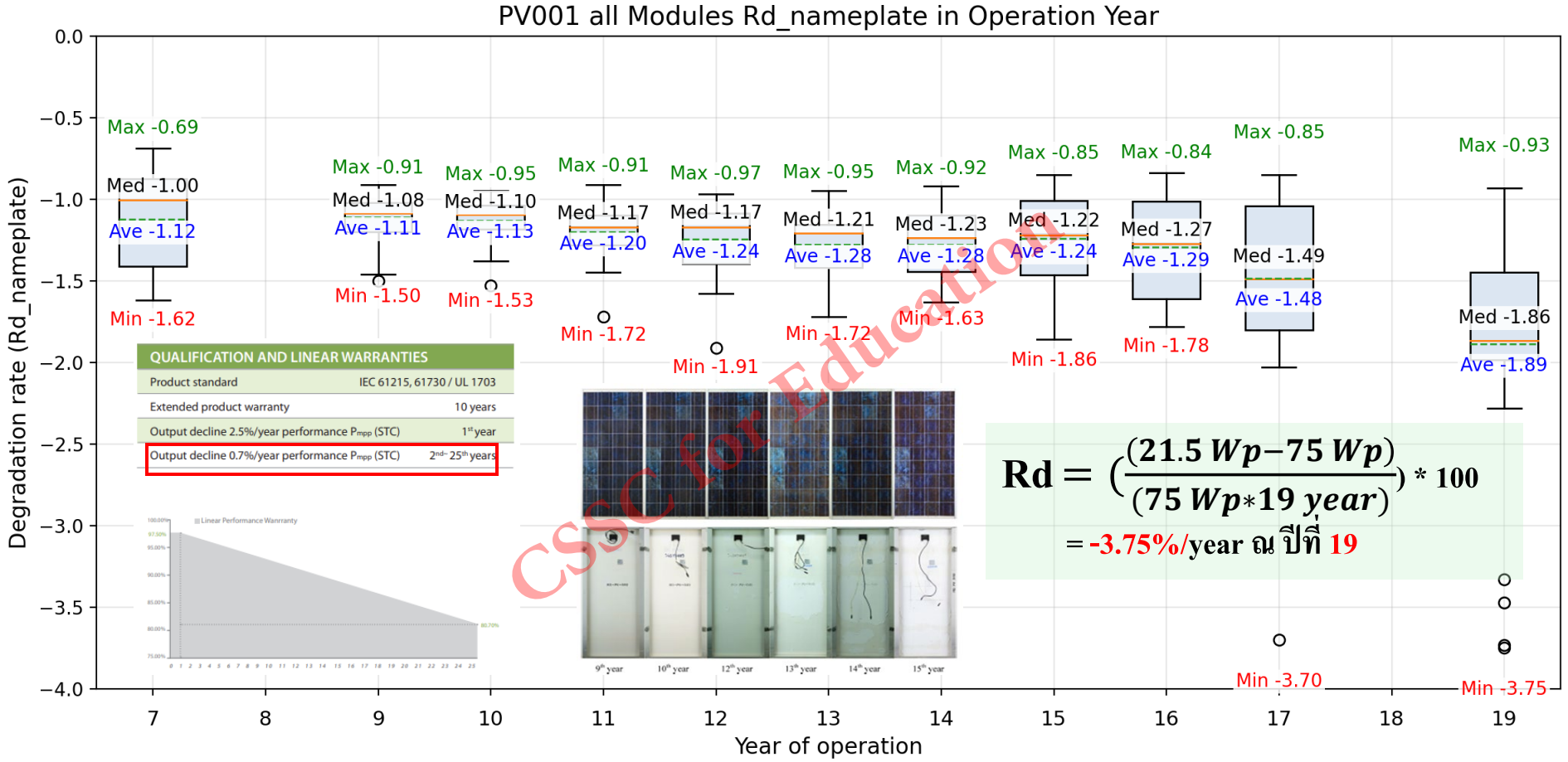
Long-term evaluation



การหากำลังไฟฟ้าที่ลดลงจาก Nameplate = ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัด STC / ค่ากำลังไฟฟ้าตาม $Nameplate$

สมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในระยะยาว

Long-term evaluation



$$\text{Degradation rate (Rd)/year} = \left(\frac{\left(\text{ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากการวัด } STC \text{ ณ ปีที่ติดตั้งใช้งานที่สนใจ} - \text{ค่ากำลังไฟฟ้า } Nameplate\right)}{\left(\text{ค่ากำลังไฟฟ้าตาม } Nameplate * \text{ ปีที่ติดตั้งใช้งานที่สนใจ}\right)}\right) * 100$$

ณ ปีที่ 19 ของการติดตั้งระบบบ

กำลังไฟฟ้าที่ลดลงจาก Nameplate

$$= \frac{68.4\ Wp}{120.0\ Wp}$$

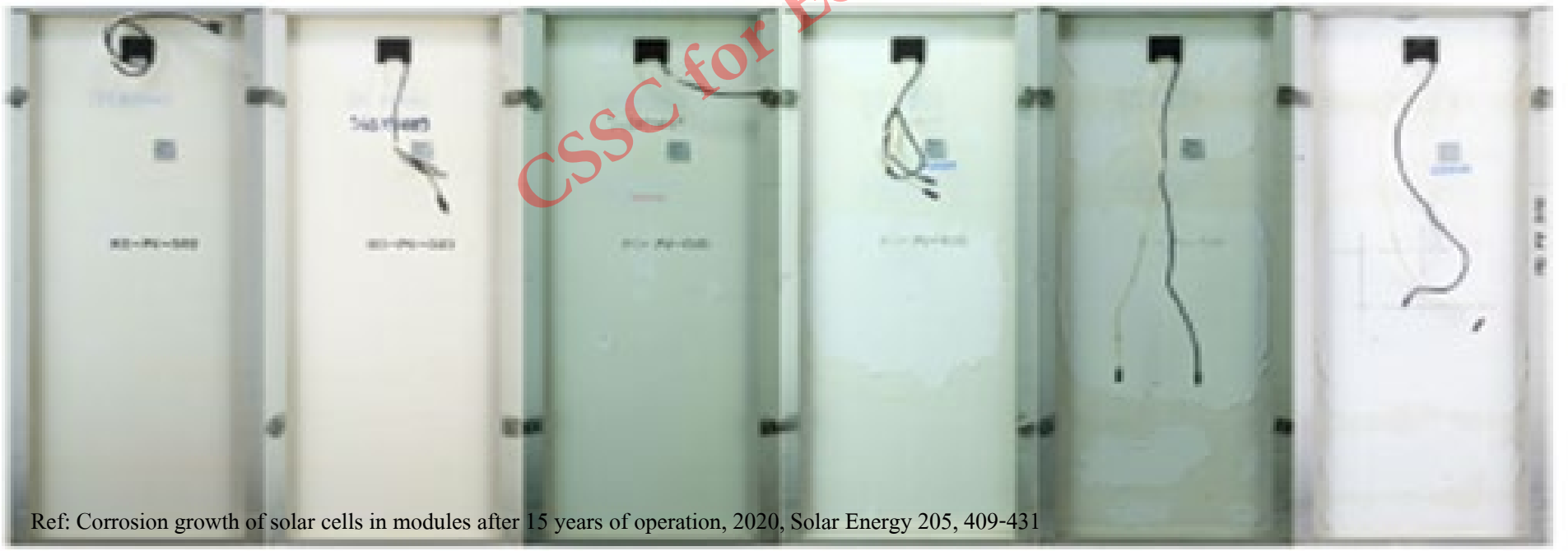
$$= 0.57$$

กำลังไฟฟ้าของแผงเหลือ 57% จาก Nameplate

$$\mathbf{Rd} = \left(\frac{(68.4\ Wp - 120\ Wp)}{(120\ Wp * 19\ year)}\right) * 100$$

= -2.26%/year ณ ปีที่ 19

CSSC for Education

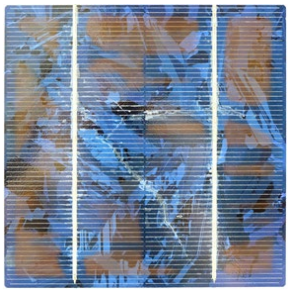
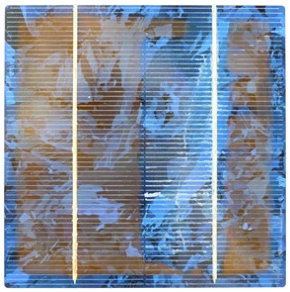
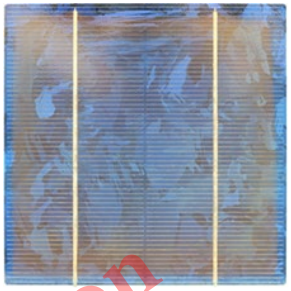


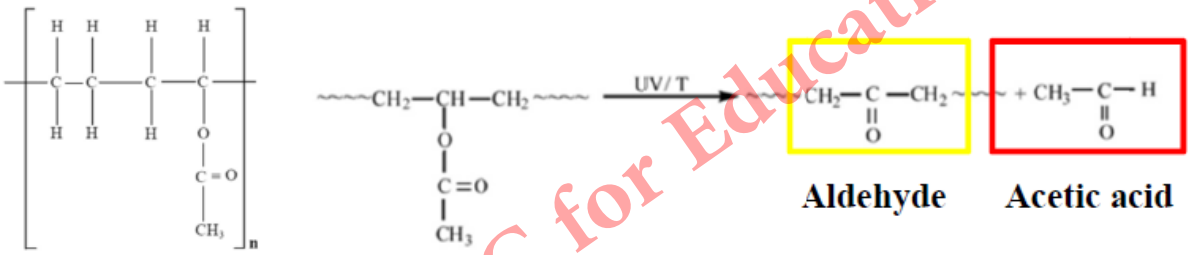
Ref: Corrosion growth of solar cells in modules after 15 years of operation, 2020, Solar Energy 205, 409-431

9th year 10th year 12th year 13th year 14th year 15th year

การเสื่อมสภาพของแผงชนิดผลึก Crystalline รูปแบบต่างๆ

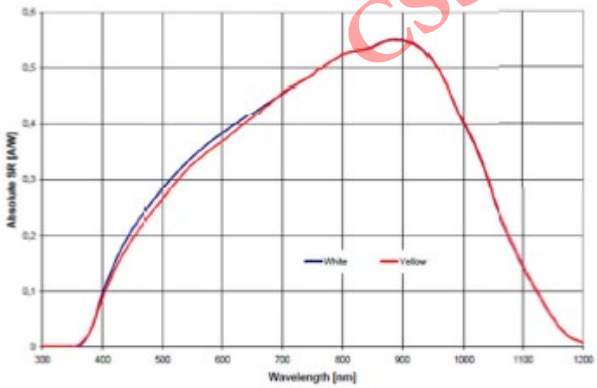
Browning/Yellowing/discolor

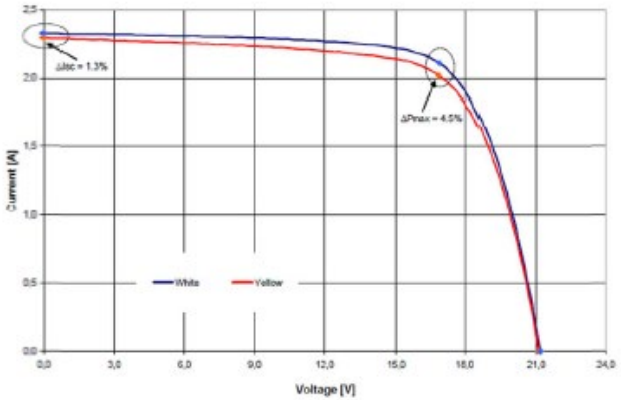






Chemical structure of EVA

CSSC for Education

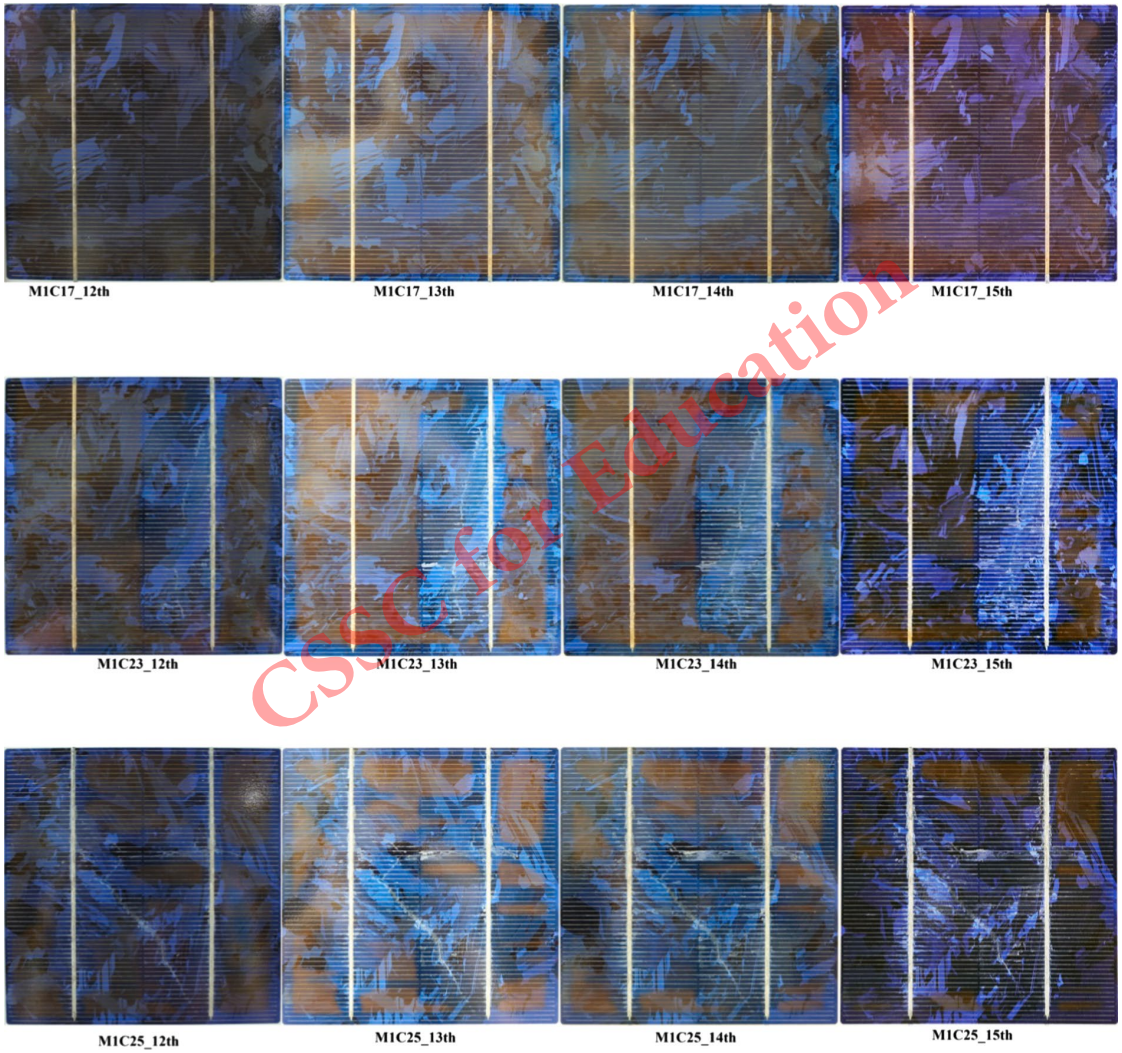




Corrosion growth of solar cells in modules after 15 years of operation, 2020, Solar Energy 205, 409-431

การเสื่อมสภาพของแผงชนิดผลึก Crystalline รูปแบบต่างๆ

Browning/Yellowing/discolor



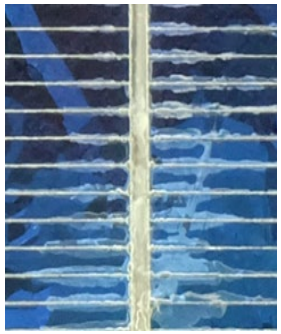
CSSC for Education

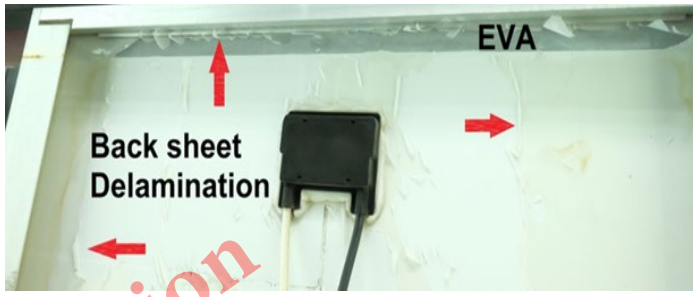
Corrosion growth of solar cells in modules after 15 years of operation, 2020, Solar Energy 205, 409-431

การเสื่อมสภาพของแผงชนิดผลึก Crystalline รูปแบบต่างๆ

Delamination

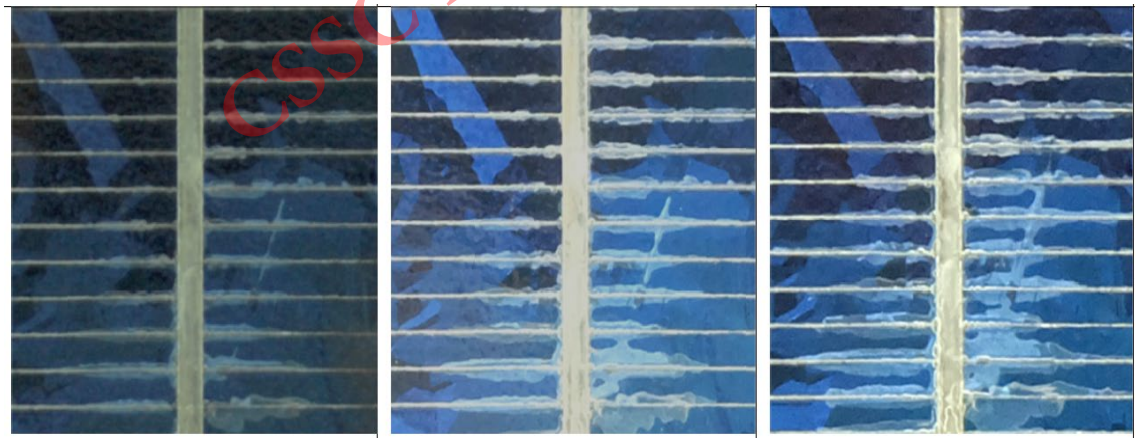
IEA-PVPS T13-01: 2014





Corrosion growth of solar cells in modules after 15 years of operation,2020, Solar Energy 205, 409-431

- แยกชั้นระหว่างกระจก-EVA, EVA-Cell
- สังเกตุเห็นสีขาวขุ่น
- มีการขยายอยู่ตลาดเวลา อัตราขึ้นอยู่กับปัจจัยแวดล้อม



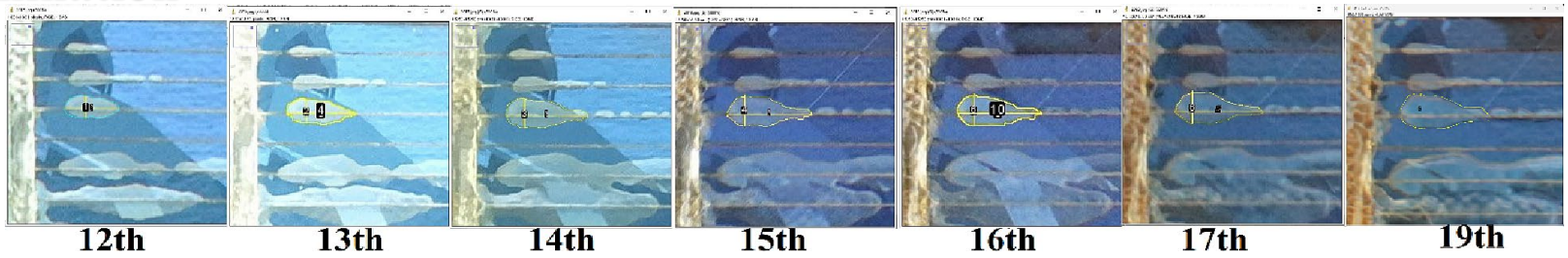
13th year | 14th year | 15th year

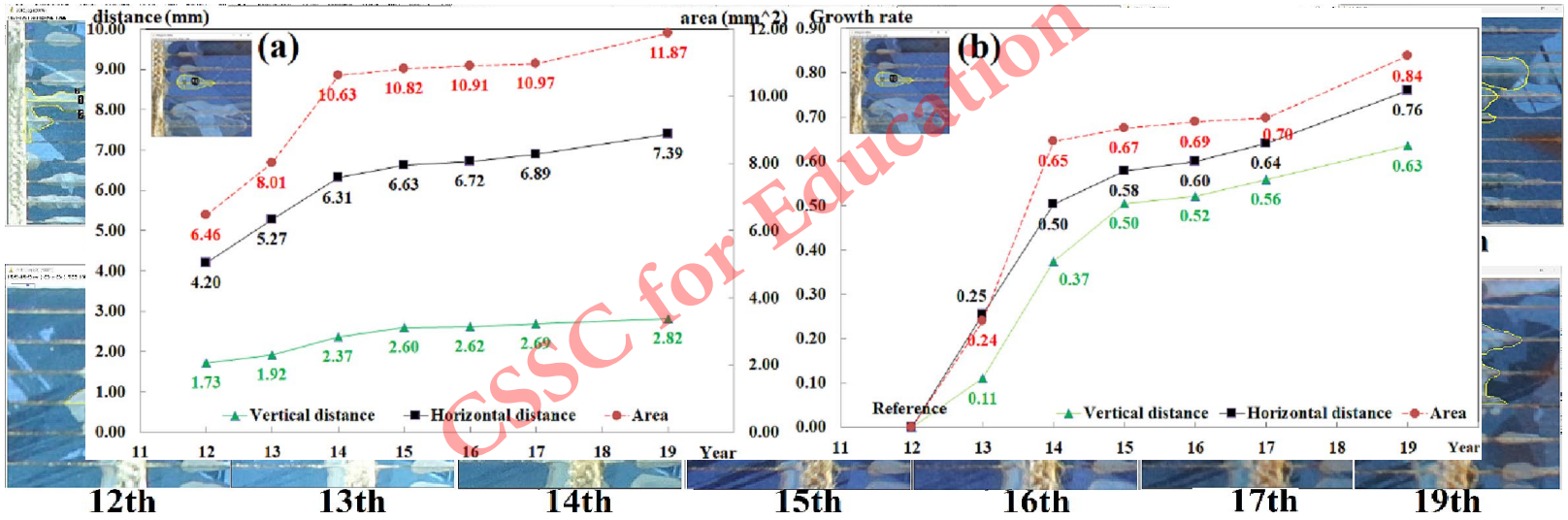
Annual expansion in delamination of front encapsulant in tropical climate Field-Operated PV modules, 2023, Solar Energy 262, 111850.

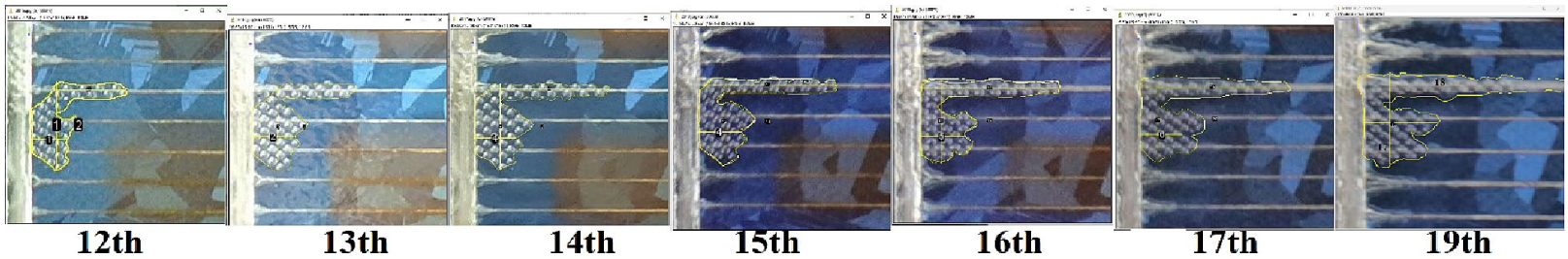
CSSC for Education

การเสื่อมสภาพของแผงชนิดผลึก Crystalline รูปแบบต่างๆ

Delamination





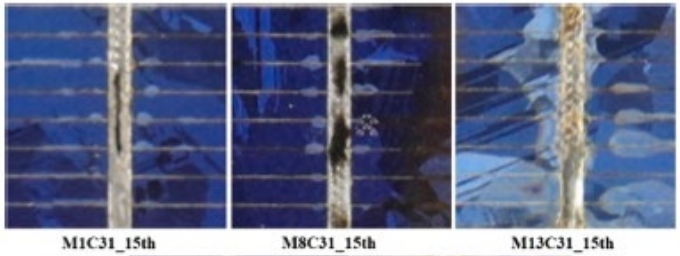


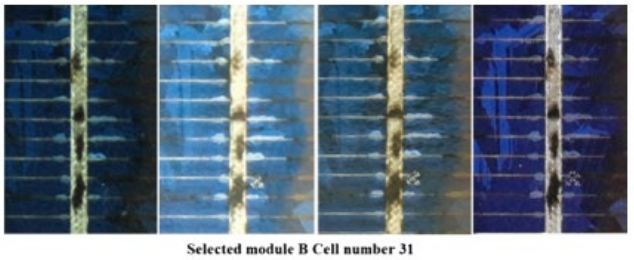
CSSC for Education

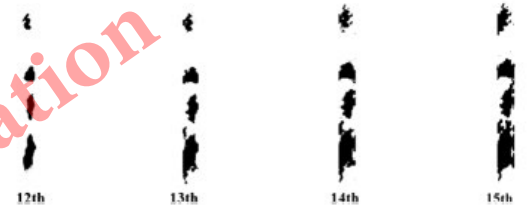
Annual expansion in delamination of front encapsulant in tropical climate Field-Operated PV modules, 2023, Solar Energy 262, 111850

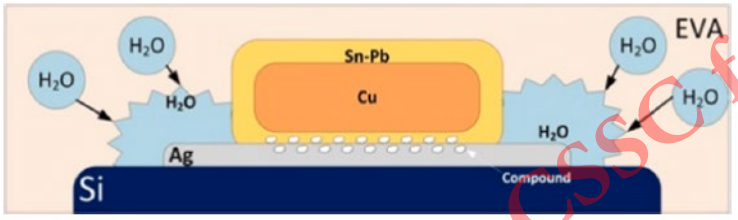
การเสื่อมสภาพของแผงชนิดผลึก Crystalline รูปแบบต่างๆ

Corrosion

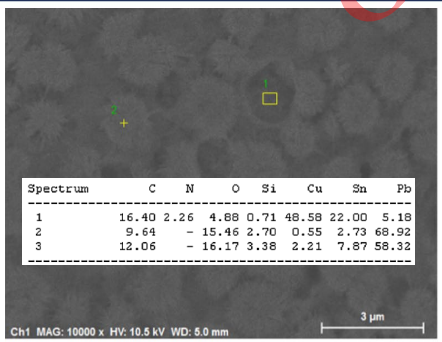


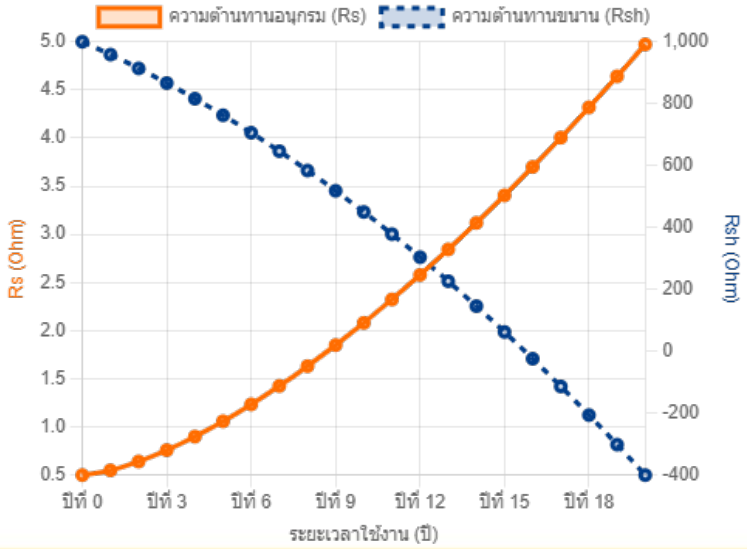






SEM image and EDS results of Sn and Pb corrosion product.



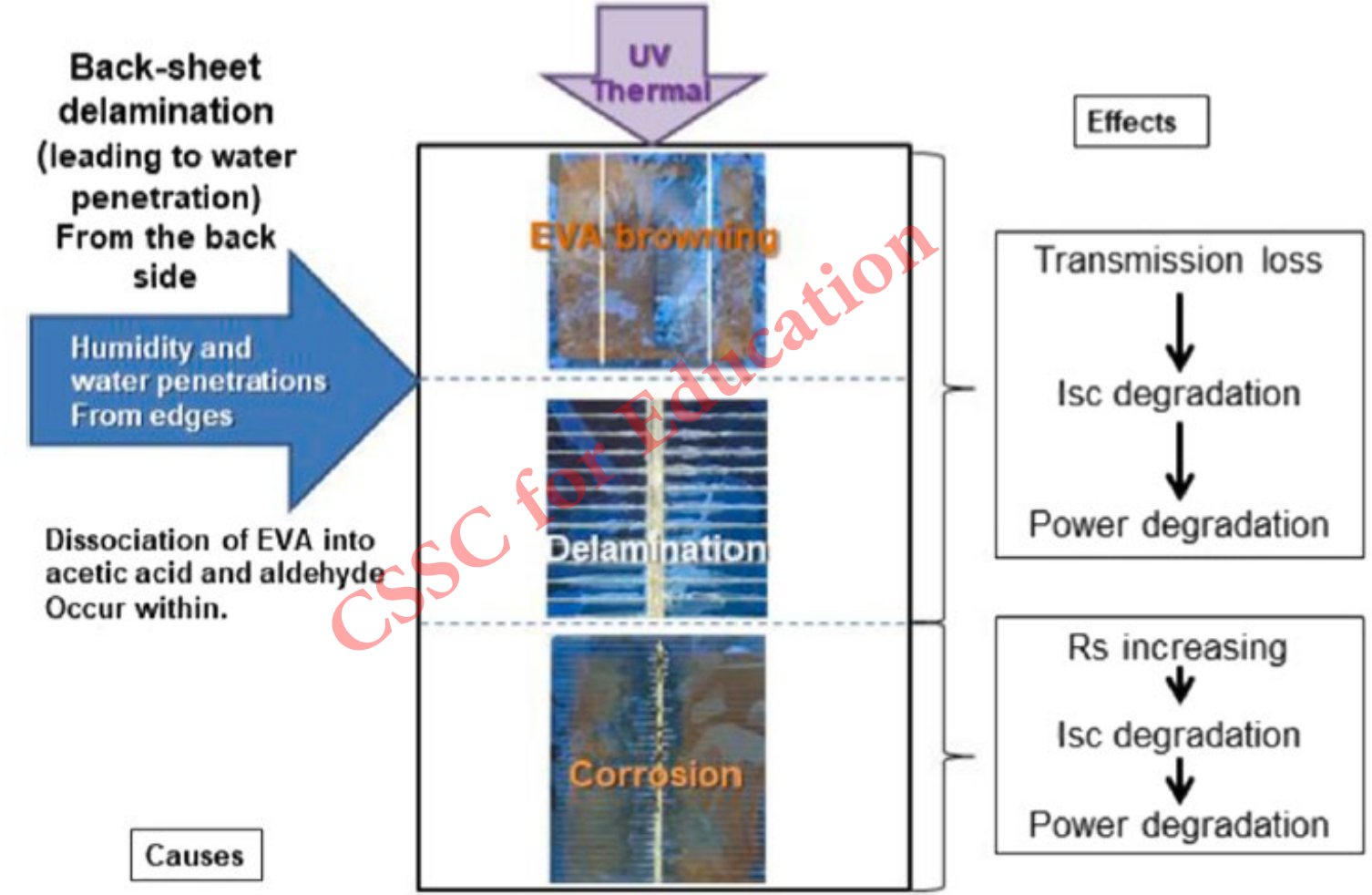


CSSC for Education

Corrosion growth of solar cells in modules after 15 years of operation, 2020, Solar Energy 205, 409-431

การเสื่อมสภาพของแผงชนิดผลึก Crystalline รูปแบบต่างๆ

Model สาเหตุและผลของการเสื่อมสภาพ



CSSC for Education

Corrosion growth of solar cells in modules after 15 years of operation, 2020, Solar Energy 205, 409-431

Major Visual Defect according to IEC61215

8 Major visual defects

The purpose of the visual inspection is to detect any visual defects that may cause a risk of reliability loss, including power output.

In some instances more testing may be required to finally decide if major visual defects exist or not.

For the purpose of design qualification and type approval the following observations are considered to be major visual defects:

a) Broken, cracked, or torn external surfaces.

b) Bent or misaligned external surfaces, including superstrates, substrates, frames and junction boxes to the extent that the operation of the PV module would be impaired.

c) Bubbles or delaminations forming a continuous path between electric circuit and the edge of the module.

d) If the mechanical integrity depends on lamination or other means of adhesion, the sum of the area of all bubbles shall not exceed 1 % of the total module area.

e) Evidence of any molten or burned encapsulant, backsheet, frontsheet, diode or active PV component.

f) Loss of mechanical integrity to the extent that the installation and operation of the module would be impaired.

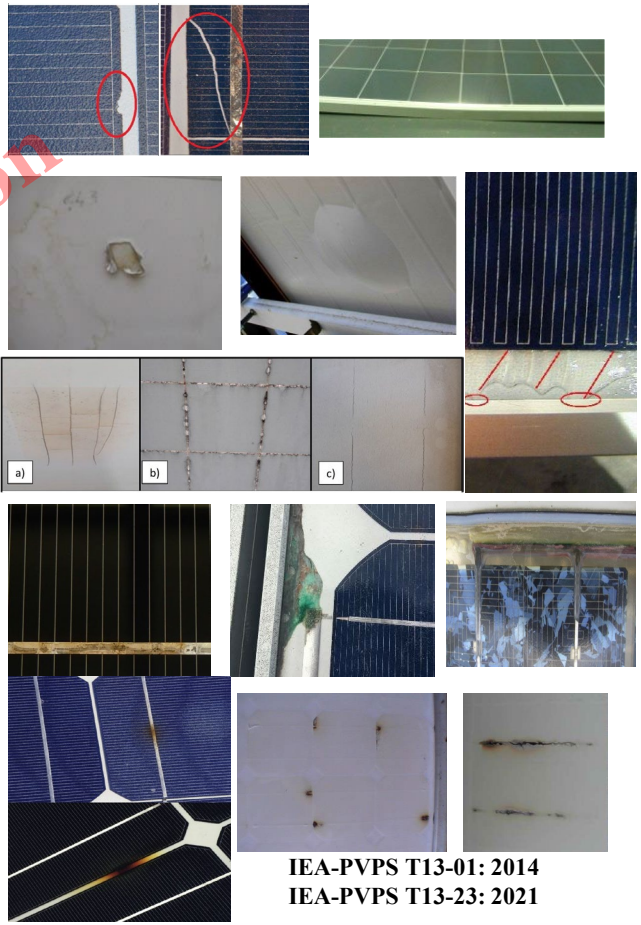
g) Cracked/broken cells which can remove more than 10 % of the cell's photovoltaic active area from the electrical circuit of the PV module.

h) Voids in, or visible corrosion of any of the layers of the active (live) circuitry of the module extending over more than 10 % of any cell.

i) Broken interconnections, joints or terminals.

j) Any short-circuited live parts or exposed live electrical parts.

k) Module markings (label) are no longer attached or the information is unreadable.

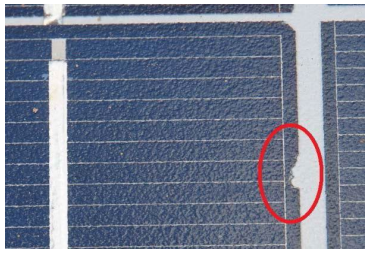
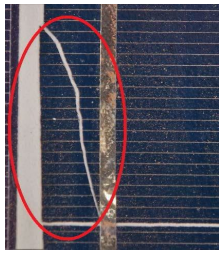


IEA-PVPS T13-01: 2014
IEA-PVPS T13-23: 2021

CSSC for Education

การเสื่อมสภาพของแผงชนิดผลึก Crystalline รูปแบบต่างๆ

Crack

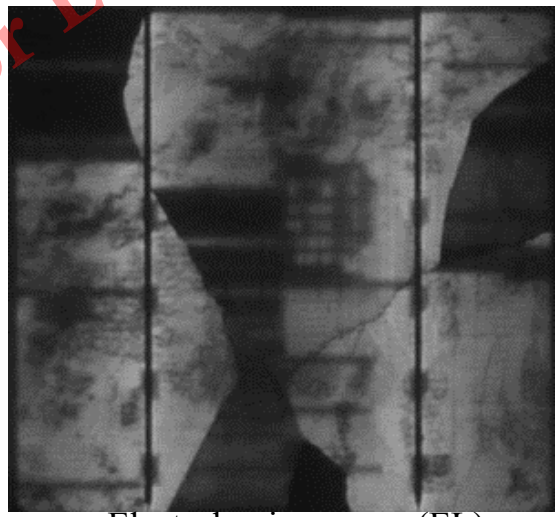



IEA PVPS T13-23: 2021

- เกิดขึ้นบริเวณชั้นของ silicon cell
- โดยปกติจะสังเกตุด้วยตาเปล่ายากต้องใช้ Electroluminescence, UV fluorescence
- มักจะพบ delamination อยู่บนรอย Crack (เรียก Snail track) หรือเกิด yellowing

CSSC for Education

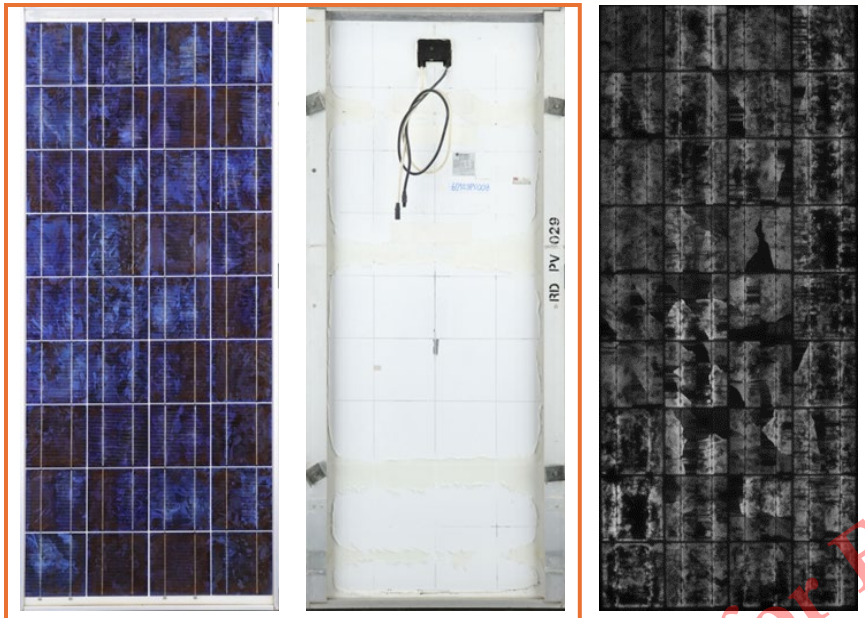
Visual inspection



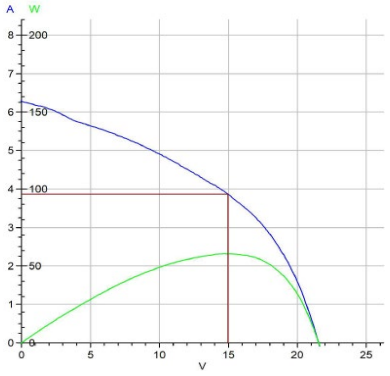
Electroluminescence (EL)

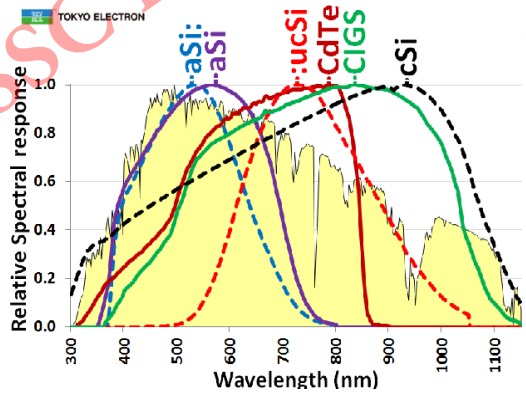
Corrosion growth of solar cells in modules after 15 years of operation, 2020, Solar Energy 205, 409-431

Electroluminescence (EL)

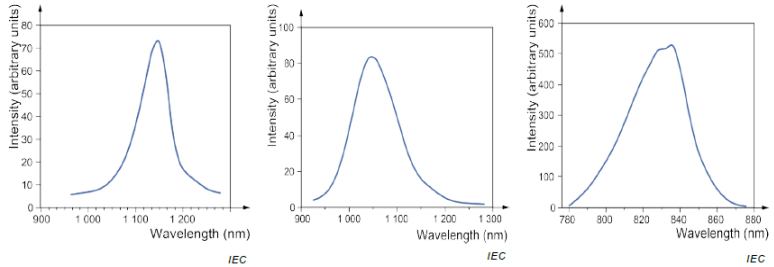


S. Yaowanee (2020), "STUDY ON PERFORMANCE AND DEGRADATION ANALYSIS FOR RELIABILITY OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS"(Doctoral thesis), JGSEE, KMUTT





Ransome, Steve. "Energy modelling and rating - (a personal overview)." 2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC) (2014): 2047-2052.



IEC 60904-13

Figure 2 – Electroluminescence emission spectra for (a) Si, (b) ZnO/CdS/Cu(In,Ga)Se$_2$ (CIGS) [2], and (c) CdS/CdTe [3]

Table 1 – Detectors and their applicable wavelengths

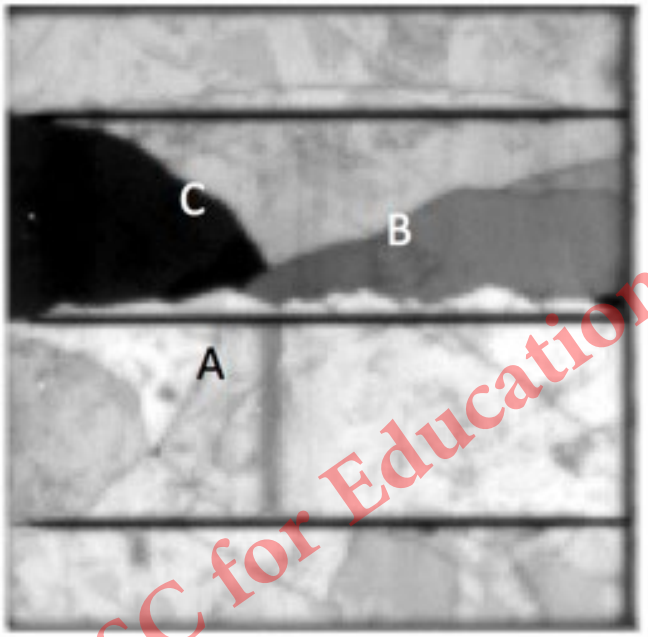
Detector	Sensitive wavelengths μm
Ge	0,8 to 1,7
InGaAs	0,7 to 2,6
Si	0,3 to 1,1
InAs	1,0 to 3,8

IEA PVPS T13-24: 2021

CSSC for Education

Type of cracks cells (IEC60904-13)

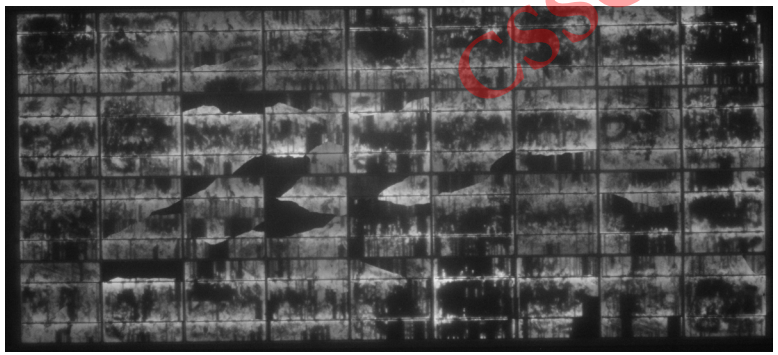
Mode C:
essential-cracks
(regions,
high contrast @ I_{sc}
and @ 0.1 I_{sc})



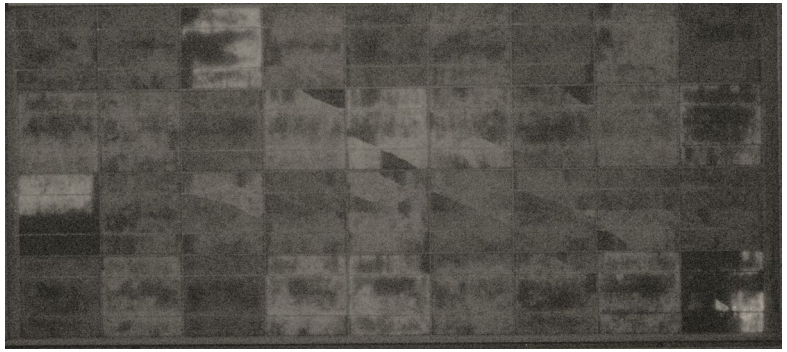
Mode B:
partially-cracks
(regions,
high contrast @ I_{sc}
low contrast @ 0.1 I_{sc})

Mode A:
micro-cracks
(line defects)

CSSC for Education

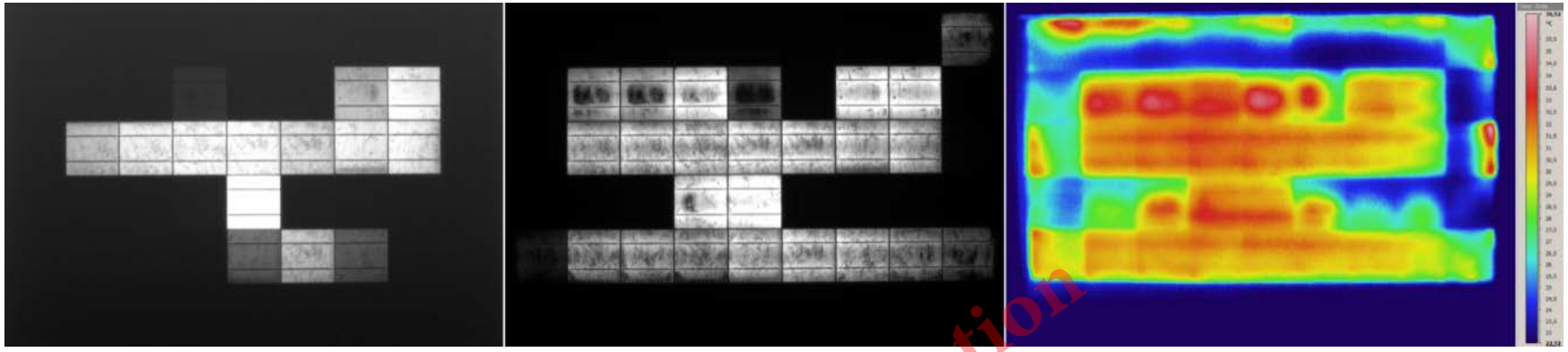


EL image with I_{sc}



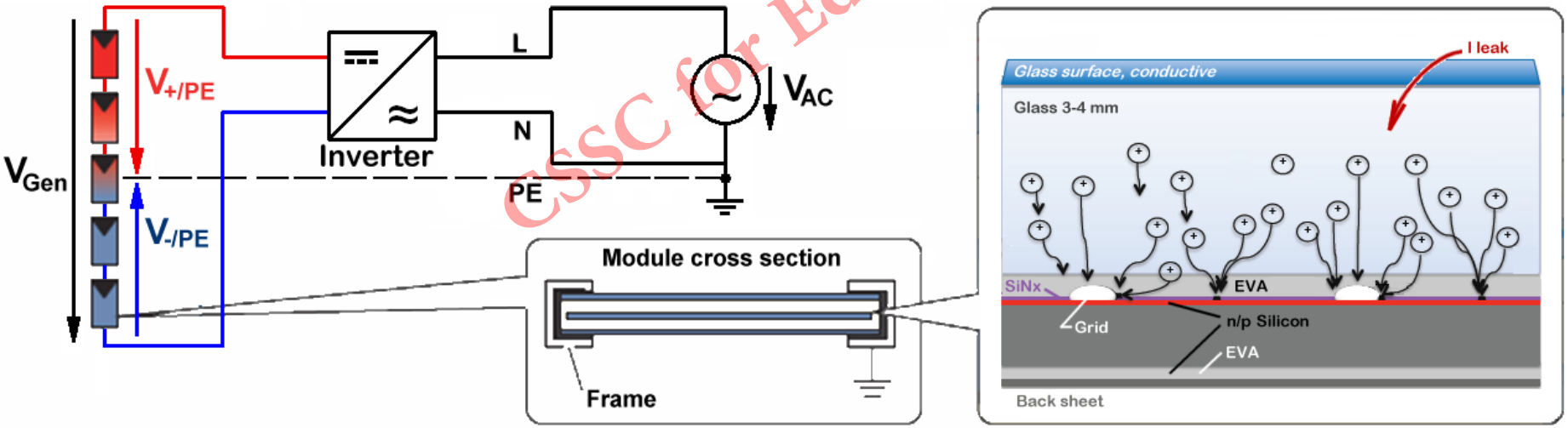
EL image with $0.1I_{sc}$

Potential induced degradation (PID)



https://www.kiwa.com/globalassets/usa/pi-berlin/resources/kiwa-pi-berlin--kiwa-pvel--the-race-to-pv-cell-quality--compliance.pdf

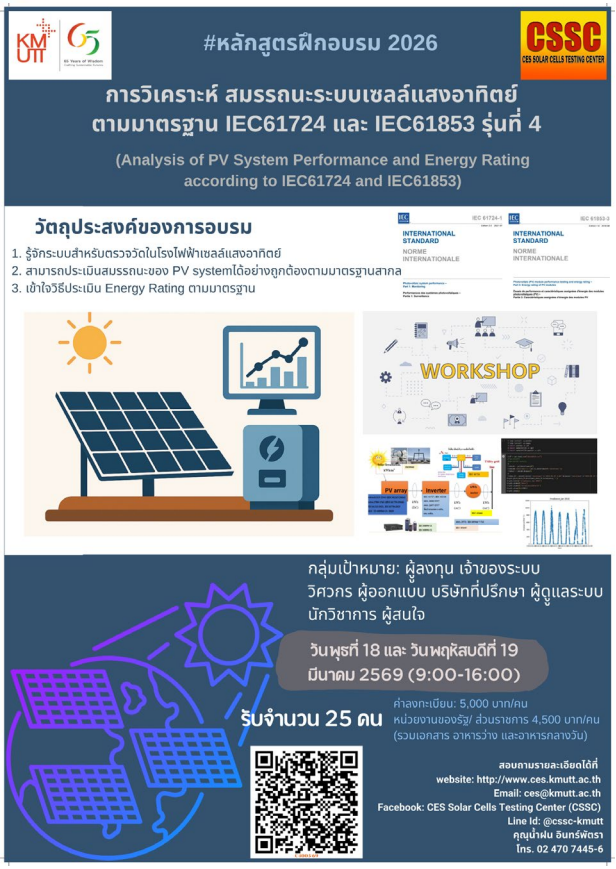
CSSC for Education



ประเด็นคำถามที่สนใจ

- **<u>การจัดการแผงที่เสื่อมสภาพ/หมดอายุการใช้งาน</u>**:
  วิธีการกำจัดเศษซาก/ขยะแผงโซลาร์เซลล์อย่างปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม/การรีไซเคิล/การทำลาย/การเก็บรักษาที่ถูกต้องตามกฎหมาย และการจัดการแผงที่เสื่อมสภาพ/เลิกใช้งานแล้ว
- **<u>การตรวจสอบ/การประเมินความเสื่อมสภาพ</u>**:
  วิธีการตรวจสอบและวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของแผง (เช่น การใช้เครื่องมือวัด การวิเคราะห์ IV curve) การหาเกณฑ์/พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินว่าควรเปลี่ยนแผงเมื่อใด/ผลกระทบของ micro crack และ module delamination
- **<u>แนวทางการชะลอการเสื่อมสภาพ/ยืดอายุการใช้งาน</u>**:
  วิธีการชะลอความเสื่อม วิธีป้องกันกลไกการเสื่อมสภาพ และแนวทางการดูแลรักษาแผงโซลาร์
- **<u>ปัจจัย/กลไกการเสื่อมสภาพและเปรียบเทียบเทคโนโลยี</u>**:
  กลไกและสาเหตุของการเสื่อมสภาพ รวมถึงการเปรียบเทียบการเสื่อมถอยระหว่างแผงชนิดต่างๆ (เช่น Monocrystalline, Polycrystalline, TopCon, PERC) และปัจจัยภายนอกที่ส่งผล (เช่น มลภาวะ, ความร้อน, เกลือทะเล, การติดตั้งที่ไม่เป็นไปตามมาตรฐาน)
- **<u>ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าและอายุการใช้งานจริง</u>**:
  ประสิทธิภาพจริงตลอดอายุการใช้งาน 25-30 ปี การลดลงของประสิทธิภาพเมื่อเวลาผ่านไป และจุดคุ้มทุนสำหรับการเปลี่ยนแผงใหม่

CSSC for Education



CSSC for Education

ขอบคุณทุกท่านที่เข้าร่วมสัมมนาในครั้งนี้
กรุณาทำแบบประเมินเพื่อการพัฒนาในครั้งต่อไป

https://forms.gle/BwxnuErLcpgXCs138

ศูนย์พัฒนามาตรฐานและทดสอบระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (CSSC)
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี (มจธ.)
49 ซอยเทียนทะเล 25,
ถนนบางขุนเทียน-ชายทะเล แขวงท่าข้าม
บางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร 10150
https://www.ces.kmutt.ac.th
อีเมล: ces@kmutt.ac.th
โทรศัพท์: +66 2 470 7445 – 49
line official: @cssc-kmutt
Facebook: CES Solar Cells Testing Center (CSSC)

CSSC for Education

สามารถสอบถามวิทยากรเพิ่มเติมได้ที่ yaowanee.san@kmutt.ac.th