

การพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจของการใช้โซลาร์เซลล์ มักอ้างอิงอายุการใช้งาน 20 ปี ถ้าอายุการใช้งานสั้นจะไม่คุ้มค่า หรือถ้าใช้โซลาร์เซลล์ในที่ทุรกันดาร เช่น ในสถานีทวนสัญญาณ โทรคมนาคมหรือใช้กับหมู่บ้านชนบท ถ้าเซลล์มีอายุการใช้งานสั้น นอกจากจะไม่คุ้มค่าแล้วยังมีผลกระทบต่อทางลบสูง เซลล์แสงอาทิตย์ใช้งานอย่างกว้างขวางในประเทศไทยมากกว่ายี่สิบปีแล้ว แผงเซลล์ส่วนใหญ่ประกอบจากเซลล์นำเข้าจากต่างประเทศและยังไม่ได้ห่อหุ้ม นอกจากนั้นไม่มีมาตรฐานการทดสอบ ทำให้ไม่สามารถระบุสมบัติทางไฟฟ้าและคุณภาพได้ชัดเจน แผงเซลล์เหล่านี้ทำงานภายใต้ภูมิอากาศที่ร้อนชื้น สังเกตเห็นว่า มีการเสื่อมสภาพเร็วเป็นจำนวนมาก แต่ยังไม่มีการศึกษาการเสื่อมสภาพอย่างเป็นระบบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสองส่วนคือ (1) การศึกษาการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 39 แผง (ขนาด 47 W จำนวน 35 แผง 53 W หนึ่งแผง และ 63 W จำนวน 3 แผง) แผงเหล่านี้ผ่านการใช้งานในภาพสนามมากกว่า 10 ปี ทั้งหมดเป็นแผงที่ประกอบในประเทศไทย และ (2) ศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและภาพถ่ายทางความร้อนของเซลล์ใหม่ 20 เซลล์ เพื่อหาแนวทางวินิจฉัยรวมทั้งปัจจัยบ่งชี้จุดอ่อนหรือจุดบกพร่องในพื้นที่ย่อยของเซลล์ ตั้งแต่เซลล์ยังไม่ได้ถูกห่อหุ้มและประกอบเป็นแผง จุดอ่อนหรือจุดบกพร่องนี้อาจชักนำให้เกิดการเสื่อมสภาพหรือความเสียหายเมื่อประกอบเป็นแผงและมีการใช้งานจริง หลักการที่ใช้คือการถ่ายภาพความร้อนของเซลล์ในสภาวะมืดและไปอัดกลับ และประเมินความต้านทานลัพธ์บนพื้นที่ส่วนย่อยของเซลล์จากอุณหภูมิเซลล์ ทั้งนี้ความต้านทานลัพธ์สามารถหาได้จากอุณหภูมิเซลล์ โดยใช้สมการสมดุลพลังงานไฟฟ้าและความร้อน

ในสภาวะดังกล่าวพื้นที่เซลล์ที่ความต้านทานสูงจะมีอุณหภูมิสูง และอาจทำให้เกิดจุดร้อน และควรเป็นสาเหตุหนึ่งของการเสื่อมสภาพ

การศึกษาและการวิเคราะห์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผ่านการใช้งานแล้ว ใช้การตรวจสอบทางกายภาพด้วยตาเปล่า การวัดสมบัติทางไฟฟ้าในสภาวะมาตรฐาน การทดสอบฉนวน การประเมินลักษณะการเสื่อมสภาพด้วยภาพถ่ายทางความร้อนในสภาวะกลางแจ้ง การตรวจสอบทางกายภาพด้วยตาเปล่า บริเวณกลางเซลล์และขอบเซลล์ ขั้วไฟฟ้า กรอบและโครงแผง พบการเสื่อมสภาพหลายลักษณะ ได้แก่ การลอกกร่อนของอีวีเอ การเปลี่ยนสีอีวีเอ การขาดและทะลุของแบคซิท พบว่า แผงส่วนใหญ่เสื่อมสภาพกลางเซลล์ บริเวณแถบตัวนำ ขอบรอบเซลล์ อีวีเอเปลี่ยนสีเป็นน้ำตาลแดง แผงที่เสื่อมสภาพกลางเซลล์ ส่วนใหญ่เกิดที่แถบตัวนำตามมา แผงบางส่วนแบคซิทหลุดร่อน มีการกัดกร่อนบ้างแต่ไม่สามารถสังเกตได้ พบว่า การเสื่อมสภาพเชื่อมโยงกับกำลังไฟฟ้าที่ลดลง

จากการวัดสมบัติทางไฟฟ้าในสภาวะมาตรฐานสามารถแบ่งแผงออกได้สามกลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่หนึ่ง วัดสมบัติทางไฟฟ้าไม่ได้เลยเพราะเกิดสภาพการเปิดวงจรภายในมีจำนวน 7 แผง กลุ่มที่สอง แผงมีสมบัติทางไฟฟ้าผิดปกติอย่างมากจำนวน 15 แผง จำนวนแผงสองกลุ่มแรกรวมกัน 22 แผง หรือเท่ากับ 56% เป็นสัดส่วนที่สูง และบ่งชี้ว่าแผงที่ประกอบในประเทศมีสมบัติทางไฟฟ้าต่ำ กลุ่มที่สาม แผงมีสมบัติทางไฟฟ้าปกติ จำนวน 17 แผง แต่พารามิเตอร์ไฟฟ้าเปลี่ยนไป ที่น่าสังเกตคือจากกำลังไฟฟ้านอมินัล (nominal wattage) 45 W มีแผงที่วัดกำลังไฟฟ้าได้น้อยกว่า 10 W 2 แผง ระหว่าง 10-20 W มี 3 แผง ระหว่าง 20-30 W มี 4 แผง และกำลังไฟฟ้าสูงกว่า 30 W มี 4 แผง ความแตกต่างอย่างมากระหว่างกำลังไฟฟ้านอมินัลและกำลังไฟฟ้าที่วัดได้อาจมาจากแผงมีกำลังต่ำมาตั้งแต่ต้นก่อนการใช้งาน (แต่ไม่สามารถบอกได้เพราะขาดการทดสอบก่อนใช้งาน) หรือจากการเสื่อมสภาพจากการใช้งาน ซึ่งแสดงถึงคุณภาพแผงต่ำอีกเช่นกัน ส่วนการทดสอบฉนวนไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEC 61215 ทุกแผงไม่ว่าเสื่อมสภาพแบบใด มีค่าฉนวนไฟฟ้าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นการเสื่อมสภาพทางกายภาพภายนอก ไม่มีความสัมพันธ์กับความต้านทานฉนวน จากการประเมินโดยใช้ภาพถ่ายทางความร้อนพบว่า การถ่ายภาพแผงในสภาพมืดและไบอัสกลับ แสดงจุดร้อนบนเซลล์ จึงใช้เป็นแนวทางการทดลองส่วนที่สอง ที่จะศึกษาบริเวณที่มีสภาพผิดปกติ หรือจุดอ่อนบนเซลล์ที่ยังไม่ใช้งาน เพื่อหาตัวบ่งชี้การชักนำการเสื่อมสภาพ

ในการศึกษาเซลล์เดี่ยวที่ไม่ผ่านการใช้งานจำนวน 20 เซลล์ ขนาด 10×10 cm ได้ทดลองและวิเคราะห์การวัดสมบัติไฟฟ้าของเซลล์ในสภาวะมาตรฐาน ความต้านทานขนาน การทดสอบเซลล์ในสภาวะมืดและไบอัสกลับ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเซลล์ ภาพถ่ายทางความร้อนของเซลล์ การประเมินค่าความต้านทานขนานจากอุณหภูมิประสิทธิผลของเซลล์ด้วยภาพถ่ายทางความร้อน

และการหาความต้านทานขนานทางไดนามิกพารามิเตอร์ของเซลล์จากสองเทคนิคด้านเทคนิค อิมพีแดนซ์สเปคโตรสโคปี

โดยภาพรวม ค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้าที่ได้จากการวัด IV Curve ให้ค่าความต้านทานขนาน R_{sh} ต่ำกว่าปรกติ และค่าฟิลแฟกเตอร์ประมาณ 60-70% ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ภายใต้สภาวะทดสอบที่เซลล์อยู่ในสภาพมืดและไบอัสกลับ ความต้านทานขนานที่จุดใกล้ origin และที่กระแสไบอัสกลับ 100 mA ให้ค่าความต้านทานที่สูงกว่าความต้านทานขนาน R_{sh} ที่สภาวะ STC แสดงว่ามีการรั่วไหลของไดโอดในสภาวะไบอัสกลับสูง ทั้งนี้ได้ตั้งสมมุติฐานว่า ความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนานที่สภาวะนอก STC ควรประกอบด้วยความต้านทานค่าคงที่และความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มแสงและอุณหภูมิ ภาพถ่ายความร้อนแสดงความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิและของความต้านทาน บนพื้นผิวย่อย และบ่งชี้ตำแหน่งที่อาจเป็นจุดอ่อนหรือจุดร้อนได้ จากภาพถ่ายความร้อนทำให้สามารถเห็นสภาพความต้านทานบนพื้นที่ย่อยของเซลล์ เป็นการแสดงภาพหนึ่งเซลล์รวม (whole cell) ว่า ประกอบด้วยเซลล์ย่อย (distributed cell) จำนวนมากที่อาจมีคุณสมบัติต่างกัน ทั้งนี้การหาความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนานตามปรกติที่วัดที่ STC จะไม่สามารถให้ข้อมูลนี้เพราะเป็นการหาความต้านทานผลลัพธ์หรือภาพรวมทั้งเซลล์

งานวิจัยนี้มีความริเริ่มและความใหม่สองเรื่อง เรื่องแรกเป็นการศึกษาการเสื่อมสภาพของแผงเซลล์อย่างเป็นระบบครั้งแรกในประเทศไทย ซึ่งแสดงว่าการขาดการมาตรฐานการทดสอบและระบบทดสอบในอดีต ทำให้เกิดการสูญเสียการใช้ทรัพยากรในการส่งเสริมระบบโซลาร์เซลล์เพราะแผงเสื่อมสภาพเร็วเป็นจำนวนมาก เรื่องที่สองเป็นการใช้ภาพถ่ายความร้อนของเซลล์ที่ยังไม่ใช้งานสามารถให้ข้อมูลพื้นที่ย่อยบนเซลล์ และอาจใช้เป็นเครื่องวินิจฉัยหรือแนวทางหาตัวบ่งชี้โอกาสที่เซลล์จะเกิดการเสื่อมสภาพ ก่อนนำเซลล์ไปประกอบและใช้งานจริง

Solar cell life is generally taken to be about 20 years in economic analysis and 20 years are quoted as a minimum life time. If the cell life is short, advantages of using solar cells, in terms of economic consideration, are reduced. Moreover, if solar cells are used in remote and rural areas such as telecommunication repeating stations or rural applications in providing lighting or water pumping, short life entails negative social impacts as well as solar cells being not cost effective. Widespread applications of solar cells in Thailand occurred over twenty years ago. Most modules are locally assembled from imported cells. As there exists no test standards on modules and balance-of-system (BOS), therefore, requisite electrical characteristics and product life time of modules and BOS cannot be assured. Modules employed in Thailand operate in hot and humid climate. Excessive and fast modules deterioration is visually observed. But there has so far been no systematic study on this.

The research consists of two parts. The first is a study on physical deteriorations of 39 modules (35 modules of 47W, 1 module of 53W and 3 modules of 63W). All modules are locally assembled and field-used for over ten years. The second part involves electrical characterization and thermal imaging of 20 unused and bare cells. This is conducted in view of identifying possible diagnostic tools and factors that could indicate weak or defect regions within cells, before encapsulation, module assembly and utilizations. The principle is based on infrared thermographs of dark bare cells under reverse bias. Estimation of resultant resistance of constituent areas of cells, the resistance can

be determined from the temperature of constituent areas employing the energy balance equation, electrical power from bias voltage as input, and thermal power (radiation and convection heat losses) as outputs. Under equilibrium, constituent areas having high resistance would exhibit high temperature, leading to localized hot spots and possibly accelerating deteriorations.

Testing of 39 used modules is done through numbers of experiments. They are visual observation, electrical characterization of modules at STC, thermal imaging of modules under outdoor conditions. Visual observation of modules focus at centers and edges of cells, cell electrodes and module frames. Observed physical deteriorations are de-lamination and browning of EVA, damages and tears of module edge sealants and tedlar back-sheets. All these are linked to downgraded electrical parameters, mostly decreased wattage. Three groups of modules can be discerned after determination of their electrical parameters at STC. Modules categorized as the first group, 7 modules, have their internal circuits opened, and their IV curves cannot be traced. The second group, 15 modules, exhibit abnormal IV curves. The first two groups have 22 modules, representing a sizable portion of 56% of total 39 modules investigated. This may indicate that locally assembled modules are substandard. The third group, 17 modules, have normal IV curves but with downgraded electrical parameters. It is worth noted that given a module nominal wattage of 45 W, all measured wattage values are much less. We note measured wattage of less than 10 W for 2 modules, between 10-20 W for 3 modules, between 20-30 W for 4 modules and larger than 30 W for 4 modules. Large differences between the nominal and measured wattages may be due to modules having intrinsically low wattage from beginning, but not initially identified as no testing is carried before use, or modules have deteriorated during uses. Both aspects reflect low quality modules. On electrical insulation testing according to the IEC 61215 Standards, regardless of deterioration all modules meet electrical insulation standards. Therefore, we can conclude that all visual deteriorations observed within all 39 modules are not related to electrical insulation properties. Outdoor thermal pictures of modules under reverse bias show hot spots on cells. It, therefore, leads us to the next step of study of constituent areas on cells, and identifying defects or weak spots on bare cells before uses, indicating possible future deterioration sites.

Subsequently, we undertake electrical characterization of 20 unused cells (10x10 cm) at STC to determine cell electrical parameters. We also test dark cells under reverse bias, monitor their

temperature, take corresponding infrared pictures. Cell parallel resistance, of solar cell dynamic model, are derived from two different methods on impedance spectroscopy.

In general, all 20 cells exhibiting lower-than-normal parallel resistance and fill factor of 60-70%. Under dark and reverse bias, parallel resistance determined from operating points close to the origin and with reverse current of 100 mA is higher than R_{sh} at STC. This indicates that cell-diodes have large leakage under reverse bias. We posit that series and parallel resistance at non STC consist of series and parallel resistance at STC, whose values are fixed, and intensity and temperature dependent terms. Thermal pictures show non-uniform temperature, across cell surface, and resultant resistance that may indicate local hot spots. From thermal pictures we can also derive resistivity on small constituent areas of cells. Determination of series and parallel resistance at STC do not provide this detailed picture as they are global or average value of the whole cell. Hence, our technique presents a cell as consisting of numbers of distributed smaller cells.

We can claim two original works in this research. One is the first systematic study on deterioration of field-used modules. It indicates that absence of standards and cell testing facilities in the past result in non-optimum uses of resources in promoting solar cell applications. Modules deteriorate greatly and quickly. The second deals with thermal pictures of unused cells. This provides information on constituent areas of cells and could be used as diagnostic tools for identifying probable sites of weak or hot spots of cells prior to cell being encapsulated and module uses. Such sites could lead to cell/module deterioration.