

## Micro-cracks에 의한 PV 모듈의 전기적 특성 분석

송영훈<sup>a1</sup>, 지양근<sup>a1</sup>, 강기환<sup>a</sup>, 유권종<sup>a</sup>, 안형근<sup>1</sup>, 한득영<sup>1</sup>

건국대학교<sup>1</sup>(derick@kier.re.kr), 한국에너지기술연구원<sup>a</sup>(kskim@kier.re.kr)

### The analysis of electrical characteristics with Micro-crack in PV module

Song, Young-Hun<sup>a1</sup>, Ji, Yand-Geun<sup>a1</sup>, Kim, Kyung-Soo<sup>a</sup>, Kang, Gi-Hwan<sup>a</sup>, Yu, Gwon-Jong<sup>a</sup>,  
Ahn, Hyung-Gun<sup>1</sup>, Han, Deuk-Young<sup>1</sup>

KonKuk University<sup>1</sup>(derick@kier.re.kr)  
Korea Institute of Energy Research<sup>a</sup>(kskim@kier.re.kr)

#### Abstract

---

In this paper, we analyzed the electrical characteristics with Micro-cracks in Photovoltaic module. Micro cracks are increasing the breakage risk over the whole value chine from the wafer to the finished module, because the wafer or cell is exposed to mechanical stress. And The solar cells have to withstand the stress under outdoor operation in the finished module. Here the mechanical stress is induced by temperature changes and mechanical loads from wind and snow.

So, we experimentally analyze the direct impact of micro-cracks on the module power and the consequences after artificial aging. The first step, we made micro-cracks in PV module by mechanical load test according to IEC 61215. Next, PV modules applied the thermal cycling test, because micro-cracks accelerated aging by thermal cycling test. according to IEC61215. Before every test, we checked output and EL image of PV module.

As the result of first step, we detected little power loss(0.9%). But after thermal cycling test increased power loss about 3.2%.

Keywords : 미세 균열(Micro crack), 기계하중시험(Mechanical Load Test), 온도 사이클 시험(thermal cycling test)

---

## 기 호 설 명

$M$	: 모멘트
$I_x$	: 단면 2차 모멘트
$y$	: 단면의 중립축으로부터 응력을 구하고자 하는 위치까지의 거리

## 1. 서 론

태양광 발전의 핵심 소자는 광전효과(Photovoltaic effect)를 이용하여 태양에너지를 바로 전기 에너지로 변환하는 태양전지(Solar Cell)이며, 이러한 태양전지는 소재와 제작 방식에 따라 여러 종류가 있다. 하지만 아직도 전체 태양광 발전의 90%이상은 결정질 태양전지가 차지하고 있다. 현재 양산되는 결정질 태양전지의 두께는 200 $\mu$ m 내외로 아주 얇고 작은 충격에도 파손이 쉬운 단점을 가지고 있어 모듈 공정이 적용되고 있다.

실리콘계 결정질 태양전지 모듈은 태양의 광 에너지를 전기 에너지로 변환시키는 태양전지와 전지의 전면을 보호하기 위한 투명 저 철분 강화 유리, 모듈 후면의 Back-sheet, 그리고 이 소재들을 상호 결합, 내구성을 높이기 위한 EVA-sheet 등으로 구성 되어있다. 즉, Glass/EVA/Solar Cell/EVA/Back-sheet의 형태로 적층된 모듈은 진공상태에서 열 압축 봉합(Lamination process)하여 제작된다. 여기에 알루미늄 프레임과 정션 박스, 케이블이 적용되어 단일 모듈로써 제작되게 된다.

외부에 설치된 PV 모듈은 눈, 우박, 바람과 같은 요인에 의한 기계적 스트레스에 노출되게 되며, 계절에 따라 온도 편차에 의한 스트레스를 직접적으로 받게 된다.

눈과 바람에 의한 기계적 스트레스는 다음 표.1과 표.2에 의해 그 정도가 매우 클 것으로 예상 할 수 있다.

표 1. 적설량에 따른 적설하중

적설량(cm)	적설 하중(kg/m <sup>2</sup> )
50 cm	50 kg/m <sup>2</sup>
100 cm	150 kg/m <sup>2</sup>
150 cm	300 kg/m <sup>2</sup>

\* 수직평면에서의 적설하중계수 1.0 적용.

표 2. 풍속에 따른 풍압하중

풍속(m/s)	풍압 하중(kg/m <sup>2</sup> )
10 m/s	12.5 kg/m <sup>2</sup>
20 m/s	50 kg/m <sup>2</sup>
40 m/s	200 kg/m <sup>2</sup>

\* 풍속 V를 m/s단위로 표시하면 풍압하중 kg = 0.125V<sup>2</sup>으로 구한다.

이와 같은 스트레스에 의해 발생 된 Micro-crack은 외부의 온도 편차에 의해 그 영향이 더욱 커질 것으로 예상되며, PV모듈의 출력에도 영향을 미칠 것으로 예상된다.

따라서 본 논문에서는 Micro-crack이 노출 환경에 의해 태양전지 모듈의 노화에 미치는 영향을 전기적 특성과 EL 측정을 통해 분석하고자 하였다.

## 2. 연구 배경 및 목적

태양전지는 잉곳을 얇은 웨이퍼로 가공하는 Wire Sawing공정에서부터 태양전지 제조 공정, 모듈 제조 공정에서 Micro-crack에 대한 위험을 안고 있다. 더욱이 이렇게 제작되어진 태양전지 모듈은 외부 환경에 설치되어 Micro-crack의 위험이 더욱 가중되어지고 있다.

이렇게 Micro-crack을 내포하고 있는 모듈은 출력 부정합(mismatch)으로 인해 단일 모듈은 물론 시스템 전체적으로 출력 저하를 가져온다. 또한 Micro-crack이 있는 태양전지는 열화 현상으로 모듈 노화 현상이 가속되어 모듈 수명을 단축시키는 원인이 될 수도 있다.

본 실험에서는 정상 모듈에 기계적 하중을 인가하여 Micro-crack을 생성 후, EL image를 통해 Micro-crack을 관찰하고자 하였다. 또한 이렇게 Micro-crack이 발생된 모듈에서의 전기적 출력 변화를 알아보고 더욱이 노화 가속 시험을 통해 Micro-crack에 어떤 영향을 끼치는지에 대해 실험하고자 하였다.

아래 그림 1. 은 시험 진행 개략도를 나타낸 것이다.

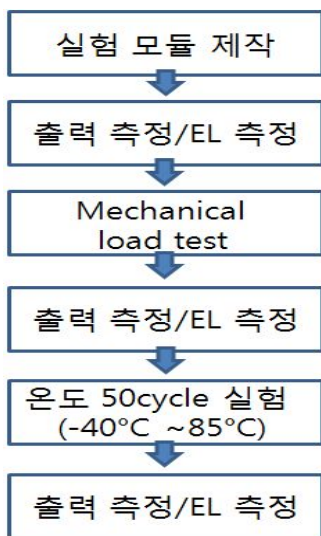


그림 1. 시험 진행 개략도

### 3. 본 론

태양 전지 모듈에 발생된 Micro-crack의 영향을 평가하기 위하여 사용된 시험 시료의 사양 및 실험 방법, 이론적 배경은 아래와 같다.

#### 3.1 실험 시료의 제작 및 사양

아래 그림 2와 같이 실험에 사용된 모듈은 표 2와과 같은 사양의 6 inch 다결정 태양전지를 6×4배열로 interconnection 하여 제작된 95 W급 모듈이다.(size: 713×1041)



그림 2. 시험 적용 시료

표 3. 시료 제작에 사용된 태양전지 사양

Size	6 inch
Type	Multi solar cell
Eff.	16.4 %
WP	3.992 W
Uniformity	2 %

#### 3.2 실험 방법 및 이론적 고찰

실험을 위해 제작된 모듈은 ISC 61215 결정질 태양전지 모듈의 시험 기준에 의거하여 진행 되었으며, 단 아래에서 설명될 기계적 하중 시험은 시료에 더 많은 Micro-crack을 발생하고자 기계적 하중 시험의 기준 응력 2400Pa 보다 700Pa 많은 3000Pa로 진행 하였다.

기계적 하중 시험의 목적은 태양 전지 모듈에 바람, 눈, 정지 하중 또는 얼음 하중에 대한 내구성을 평가하는데 목적이 있는데, 모듈을 설치하여 고정할 수 있는 지지대와 적당한 무게 및 압력을 가할 수 있는 장치를 사용하였다.

태양전지 모듈 전면과 후면에 아래 그림 3과 같이 하중을 가하게 되면 휨 현상이 발생하게 되는데 휨은 응용역학에서 구조 재료가 재축에 수직한 방향으로 외부의 하중을 받아 휘는 현상을 말한다.

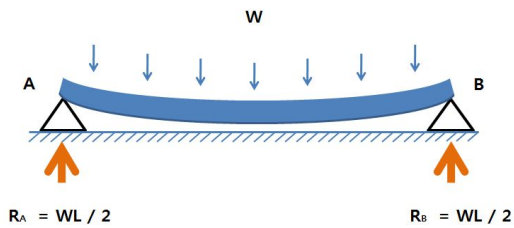


그림 3. 하중에 의한 응력 발생 모식도

이렇게 태양 전지에 발생된 Micro-crack은 가혹한 환경변화에서의 crack 변화와 전기적 출력 변화를 관찰하고자 온도 사이클 실험을 진행하였다.

온도 사이클 시험의 목적은 온도 변화의 반복에 따라 일어나는 열적 부정합, 피로, 기타 스트레스에 의한 모듈의 내구성을 평가하는데 있다.

가혹한 환경변화에서의 crack 변화와 전기적 출력 변화를 관찰하기 위해 정상 모듈과 기계적 하중이 가해져 Micro-crack이 발생된 모듈을 시험 챔버에 넣고 50 사이클을 진행 하였다.

그림 4.는 온도 사이클 시험의 시퀀스를 나타낸 프로파일 이다.

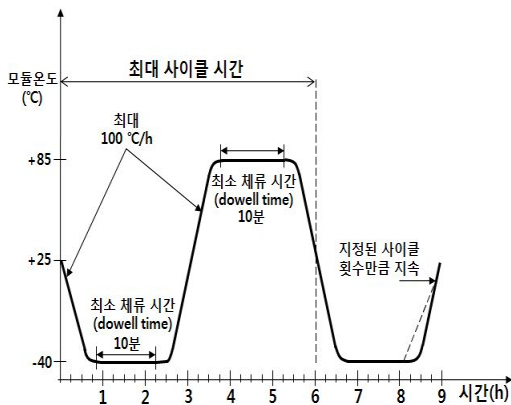


그림 4. 온도 사이클 시험 프로파일

기계적 하중 실험과 온도 사이클 시험 전·후로는 전기적 출력 변화를 분석하기 위해 태양광 시뮬레이터를 사용하여 각 시료들을 동일하게 STC(AM 1.5, 25°C, 1kW/m<sup>2</sup>) 조건하

에서 전기적 출력을 측정하였다. 또한 태양전지에 Micro-crack 발생 유무를 육안으로 확인하기 위하여 EL Image를 측정하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

본 논문에서는 태양전지 모듈 전·후면에 가해지는 하중에 의해 발생된 micro-cracks으로 인한 전기적 출력 변화를 분석 하고, 옥외 노출 시 극한 환경에서의 micro-cracks의 변화를 관찰하고자 하였다.

##### 4.1 전기적 출력 특성 분석

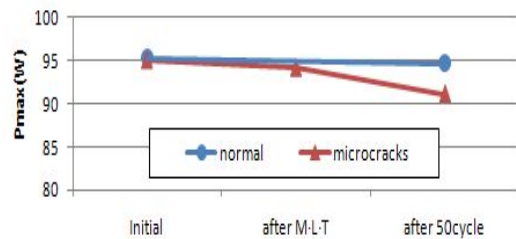


그림 5. 정상 모듈과 정상 모듈과 micro-cracks이 적용된 모듈의 전기적 출력 특성 결과

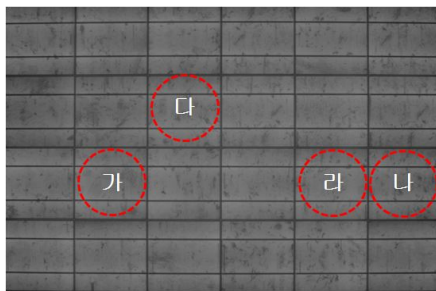
그림 5.는 두 개의 95W급 태양전지 모듈 시료에 하나의 모듈에는 micro-cracks를 적용하고 나머지 모듈은 정상 상태로 각각 50 사이클 시험을 진행한 후 시험 전·후의 출력을 비교한 그래프이다.

정상 모듈은 온도 50 사이클 시험 후 약간의 출력 저하(0.6%)를 보이는 반면, micro-cracks를 인가한 모듈에서는 micro-cracks이 발생했을 직후(0.9%) 보다 50 사이클 실험 후(3.2%) 큰 폭의 출력 저하가 관찰되었다.

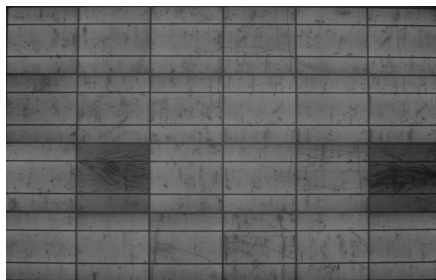
micro-cracks 발생 직후 보다 온도 50사이클 후에 출력 저하가 더 크게 나타난 것은 표 4에서와 같이 전류 감소에 의한 것으로 보인다. 이것은 전지에 발생된 micro-cracks이 캐리어의 흐름을 방해하기 때문인 것으로 사료된다.

표 4. 원 자료의 변환 및 처리

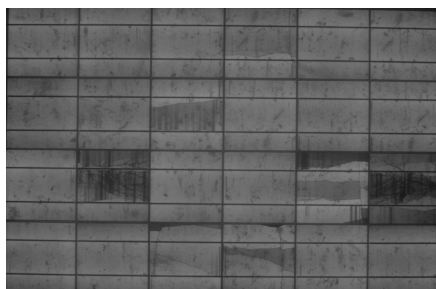
	A(normal)		B(micro-cracks)		
	Initial	After 50cycle	Initial	After mechanical load	After 50cycle
Pmax (W)	95.3	94.7	95.0	94.1	91.1
Voc (V)	14.9	14.9	14.9	15.0	14.9
Isc (A)	8.64	8.56	8.50	8.50	8.42



(a)



(b)



(c)

그림 6. 시료 B(micro-cracks)의 시험 진행 과정에서의 EL측정 Image (a)Initial, (b)After mechanical load test (c)After thermal 50 cycling test

기계하중 실험 전의 정상상태 모듈 그림. 6(a)는 micro-cracks이 관찰되지 않는 깨끗한 이미지를 갖지만, 실험 후의 모듈 이미지 (b)에서는 ‘가’, ‘나’와 같이 셀에 영향을 미치는 micro-crack과 ‘다’, ‘라’와 같이 셀에는 큰 영향을 미치지 않는 실선 형태의 micro-crack이 관찰되었다. 온도 사이클 시험 후의 이미지(c)에서는 셀에 큰 영향을 미치지 않던 셀 ‘다’, ‘라’의 micro-crack이 영향을 미치는 형태로 진행된 것을 확인 할 수 있었다. 이것은 온도 사이클로 인해 micro-crack의 영역이 확장된 결과로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 결정질 실리콘 태양전지 모듈의 전·후면에서 발생하는 기계적 하중에 의한 휨 현상에 대해 연구 하고, 기계적 하중에 의해 발생할 수 있는 micro-cracks이 모듈의 전기적 출력에 미치는 영향과 가혹한 환경에서의 micro-cracks의 변화를 EL image로 관찰해 보고자 하였다.

본 실험에서 기계적 하중에 의한 micro-cracks은 EL Image를 통해 선명히 관찰되었으며, 온도 사이클 실험에 의해 micro-cracks의 영역이 확장되는 것으로 관찰되었다.

PV 모듈의 전기적 특성 역시 온도 사이클 실험 전에는 소폭감소 하였던 것에 비해 후에는 영향이 증대 되어 출력 저하에 큰 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

향후 연구에서는 실제로 옥외시험을 통해 micro-cracks의 변화와 초기 출력 저하와의 상관성에 대한 연구를 진행할 예정이다.

#### 참 고 문 헌

1. Ji-Hyun Kong, Yang-Geun Ji, Gi-Hwan Kang, Tae-Hee, Jung, "The Effect Of Electrical Output Of PV Module According To Mechanical Stress"

2. K.S.Kim, G.H.Kang, G.J.YU, "The Analysis of Electrical Characteristics of PV Module according to Mechanical Load Test", Proceedings of the Korean Solar Energy Society Spring Annual Conference, pp. 247 ~ 251 (5pages), 2008
3. S. R. Wenham, M. A. Green, M. E. Watt and R. Corkish, "applied PHOTOVOLTAICS", EARTHSCAN, 2007
4. Atmaram. G.H, Ventre, G.G, Maytrott. C.W, Dunlop. J.P, Swamy. R, "Long-term performance and reliability of crystalline silicon photovoltaic modules", Conference Record of the Twenty Fifth IEEE, 13-17 May 1996 Page(s):1279 -1282,
5. G.H.Kang, K.S.Kim, C.H.Park, G.J.Yu, H.K.Ahn, D.Y.Han, "Analysis of aximum Output Power Characteristics of Crystalline Silicon Photovoltaic Module by Change of Environmental Effects", Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.27, No 3. 2007