

# Re-work 공정을 통한 씹글드 스트링의 출력 개선

송진호<sup>1,2)</sup> · 지홍섭<sup>1)</sup> · 문대한<sup>1,3)</sup> · 김도형<sup>3)</sup> · 양오봉<sup>2)\*</sup> · 정채환<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>광에너지융합그룹, 한국생산기술연구원, 광주, 61012

<sup>2)</sup>반도체화학공학부, 전북대학교, 전주, 54896

<sup>3)</sup>화학공학과, 전남대학교, 광주, 61186

## Improvement in Power of Shingled Strings by Re-work Process

Jinho Song<sup>1,2)</sup> · Hongsub Jee<sup>1)</sup> · Daehan Moon<sup>1,3)</sup> · Do-Heyong Kim<sup>3)</sup> · O-Bong Yang<sup>2)\*</sup> · Chaehwan Jeong<sup>1)\*</sup>

<sup>1)</sup>Applied Optics and Energy Research Group, Korea Institute of Industrial Technology, Gwangju 61012, Korea

<sup>2)</sup>Department of Semiconductor and Chemical Engineering, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Korea

<sup>3)</sup>School of Chemical Engineering, Chonnam National University, Gwangju, 61186, Korea

Received May 31, 2019; Revised June 14, 2019; Accepted June 17, 2019

**ABSTRACT:** The high density module (HDM) has advantages for its larger active area and smaller current density. This new way of making a photovoltaic (PV) module method has benefit for increasing module power with the same installed area. Because HDM consisted with serially connected PV strings, loss of strings during the fabrication process can increase the overall production cost. 1-2 This study investigates the rework conditions of the shingled strings with electrically conductive adhesives (ECA). By heating the electrically connected area of a fabricated string, cured area become soft and a string can be detached for the rework process. After rework process, a refabricated string showed 5~10% increased output power compared to before rework process and reached to the 90~95% output power compare to the undamaged strings.

**Key words:** Rework, Shingled, String, PV, High performance, Power

### Subscript

ECA : electrical conductive adhesives

PV : photovoltaic

Voc : open-circuit voltage

CTM : cell-to-module

Pmax : maximum output power

### 1. 서론

석유 및 석탄 같은 화석연료를 주된 에너지원으로 사용함에 따라 이산화탄소 및 산성오염 물질의 증가로 인해 최근 심각한 대기 환경오염으로 친환경적이며 반영구적인 신재생에너지가 각광받고 있다. 신재생에너지 중에 실리콘 태양전지를 사용한 태양광 모듈의 제작은 많은 연구가 진행되고 있으며<sup>1,2)</sup> 이는 기존의 발전소와 달리 고가의 건설비용 및 유지 보수비용이 필요

로 하지 않고 임야 혹은 도심의 건물 외벽과 옥상 등의 한정된 적은 면적에서도 설치가 가능한 장점이 있다. 기존의 6인치 면적의 태양전지를 이용한 태양광 모듈의 방식과 달리 Fig. 1과 같은 씹글드 구조를 사용하여 제작된 스트링을 이용하여 제작된 태양광 모듈은 설치면적 대비 셀의 수량 및 active area를 증가시켜 더 큰 출력을 갖게 된다.<sup>3,4)</sup>

Fig. 1과 같이 레이저를 이용하여 6인치 셀을 분할한 뒤에, 각각의 전극 면에 전도성 접착제인 electrical conductive adhesives (ECA)를 사용하여 접합시켜 스트링을 제작하였다. 씹글드 구조의 스트링은 동일 면적대비 더 많은 셀을 넣을 수 있고, 분할 셀을 직렬로 연결하는 구조이기에 스트링 중간에 데미지가 있는 셀이 포함되었을 때 스트링 전체의 출력 저하를 일으키는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 출력 저하 요인을 분석하고, rework 공정을 통해 결함이 있는 셀을 포함한 씹글드 스트링을 부분적으로 분리하여 문제의 셀을 제거/교체하여 스트링이 고 출력을 유지할 수 있도록 하였다.

\*Corresponding author: chjeong@kitech.re.kr; obyong@jbnu.ac.kr

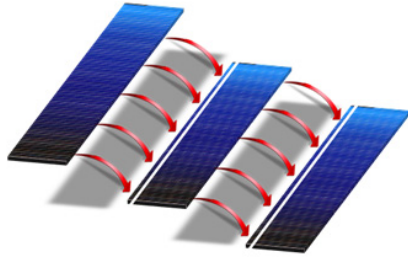


Fig. 1. Manufacturing shingled string

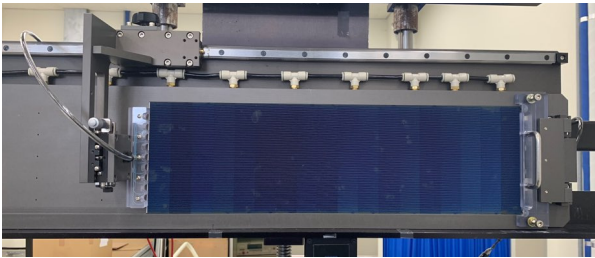


Fig. 2. Measurement jig for electrical properties of string

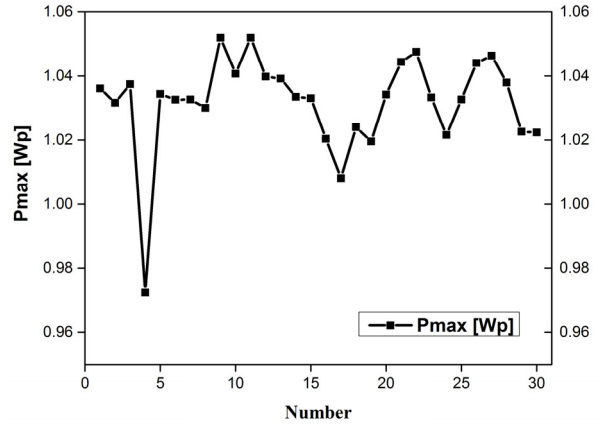
## 2. 실험

싱글드 구조의 태양전지 스트링을 만들기 위해 먼저, 6인치 태양전지 셀의 분할을 위해 나노 세컨드 레이저(632 nm, 20 ns, 30-100 KHz form Coherent)가 사용 되었다. 평균 파워는 10 W 로 고정하고 레이저의 주파수는 50 KHz, 스캔속도는 1300 mm/s 및 절단횟수 30회로 하여 셀을 분할하였다. 분할된 각각의 셀은 전기적 특성 분석을 위하여 솔라시뮬레이터(WXS-155S-L2, AM1.5GM from WACOM)를 이용하여 측정하였다. 스트링 제작을 위해 스트링거(Stringer system G2099 from GENE-SEM)를 사용하여 약 35,000 mPa·s 의 점도와 0.0025 Ω·cm의 전기 저항 값을 갖는 ECA (CA-3556HF from Henkel)를 분할 셀 전면 전극에 도포하였으며 각각의 셀의 overlap되는 폭은 1.7 mm로 140°C의 온도에서 10초간의 경화 시간을 두고 접합 하였다.<sup>5,6)</sup>

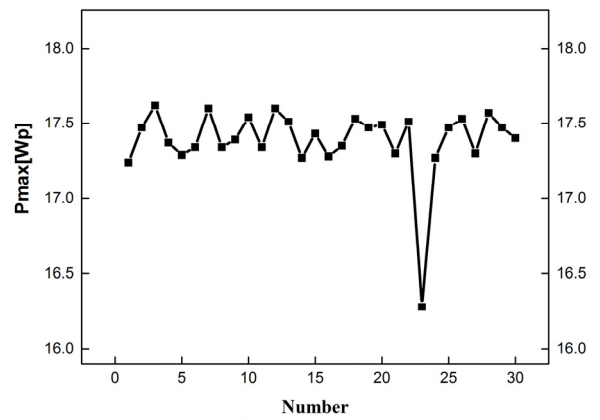
접합된 스트링의 특성분석을 위해 Fig. 2와 같이 제작한 지그를 박막모듈용 솔라시뮬레이터(WPSS-1.5x1.2-50x4 from WACOM)를 사용하여 전기적 특성분석을 하였으며, 광학적 특성분석을 위해 Electro Luminescence (EL, PEL-400B Portable EL tester from TNEtech)를 이용하여 스트링의 손상된 부분을 확인하였다. 손상된 셀을 분리/제거하기 위해 히팅건(HL 2020E from STEINEL)을 사용하여 셀의 표면의 온도를 390°C로 하여 5분간 열에 노출시켰을 때 스트링이 분리되었다. 손상된 셀을 제거 및 교체하여 전기적, 광학적 특성평가를 진행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 3(a)는 30개의 분할된 셀의 출력 값을 보여준다. 셀의 평



(a) Maximum power of cells



(b) Maximum power of shingled strings

Fig. 3. Maximum power of cells (a) and shingled strings (b)

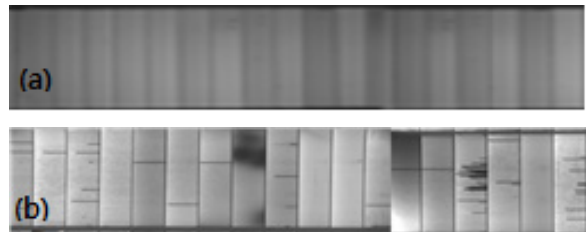


Fig. 4. EL images of shingled strings : (a) undamaged, (b) damaged

균 출력 값은 1.02 Wp으로 이는 18개의 셀을 접합하여 스트링 제작 후에 손상된 스트링의 비교 분석을 위해 측정한 것이며 1 Wp 이하의 셀은 사용하지 않고 따로 분류를 하였다. (b)는 분류한 셀들을 이용하여 18개의 분할 셀을 접합한 스트링의 출력 값을 보여주는 그래프로써 다른 스트링에 비해 낮은 출력을 보여주었던 스트링(16.3 Wp)의 EL과 LIV를 분석 하였다.

Fig. 4는 EL을 측정한 것으로서 손상되지 않은 (a)와 비교하여 (b)는 8번째의 셀에는 black spot, 15번째의 셀에는 micro-crack이 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

이는 Fig. 5(b)에서 손상된 스트링은 현저히 낮은 전기적 특성 값을 나타낸다. 평균 값에 근사한 (a)의 17.84 Wp와 비교하여 출력에서 확인할 수 있듯이 손상된 셀을 포함한 스트링은 1.6 Wp

(a)	Result	Unit	(b)	Result	Unit
Isc	1.965	[A]	Isc	1.823	[A]
Voc	12.16	[V]	Voc	11.94	[V]
Pm	17.84	[W]	Pm	16.24	[W]
Ipm	1.859	[A]	Ipm	1.711	[A]
Vrpm	9.597	[V]	Vrpm	9.490	[V]
FF	74.71	[%]	FF	74.62	[%]
Eff	89.22	[%]	Eff	81.21	[%]
Sc	0.5000	[A]	Sc	0.5000	[A]
Vi	11.79	[V]	Vi	11.50	[V]
Sv	0.5000	[V]	Sv	0.5000	[V]
Iv	1.963	[A]	Iv	1.823	[A]
Jsc	9.824	[mA/cm2]	Jsc	9.113	[mA/cm2]
Vsc	12.16	[V]	Vsc	11.94	[V]
Rsh	440.9	[ohm]	Rsh	0	[ohm]
Rs	0.9317	[ohm]	Rs	0.9075	[ohm]
LTI	2.582	[%]	LTI	2.907	[%]
STI	0.4819	[%]	STI	0.5928	[%]
Sv(d)	0.5000	[V]	Sv(d)	0.5000	[V]

Fig. 5. Electric characterization of shingled strings (a) undamaged, (b) damaged



Fig. 6. Pictures for re-work process of shingled string's removal and re-bonding

(a)	Result	Unit	(b)	Result	Unit
Isc	1.823	[A]	Isc	1.915	[A]
Voc	11.94	[V]	Voc	12.02	[V]
Pm	16.24	[W]	Pm	17.29	[W]
Ipm	1.711	[A]	Ipm	1.810	[A]
Vrpm	9.490	[V]	Vrpm	9.553	[V]
FF	74.62	[%]	FF	75.08	[%]
Eff	81.21	[%]	Eff	86.43	[%]
Sc	0.5000	[A]	Sc	0.5000	[A]
Vi	11.50	[V]	Vi	11.59	[V]
Sv	0.5000	[V]	Sv	0.5000	[V]
Iv	1.823	[A]	Iv	1.917	[A]
Jsc	9.113	[mA/cm2]	Jsc	9.574	[mA/cm2]
Vsc	11.94	[V]	Vsc	12.02	[V]
Rsh	0	[ohm]	Rsh	0	[ohm]
Rs	0.9075	[ohm]	Rs	0.9013	[ohm]
LTI	2.907	[%]	LTI	2.976	[%]
STI	0.5928	[%]	STI	0.5035	[%]
Sv(d)	0.5000	[V]	Sv(d)	0.5000	[V]

Fig. 7. Electric characterization of string (a) damaged, (b) after rework

의 차이가 있는데 이는 60셀 기준의 모듈로 환산하였을 때, 32 Wp의 출력 차이를 나타낸다.

Fig. 6는 rework공정을 위해 스트링의 손상된 셀을 교체하여 전기적 특성을 향상시키기 위한 과정으로 히팅건을 사용하여 셀 표면의 온도를 390°C로 5분간 노출시켜 분리시킨 것이다. Fig. 7은 rework공정을 통해 손상된 셀이 분리/교체된 스트링의 전기적 특성을 재측정 결과 값이다. 셀의 분리/교체된 스트링은 기존의 출력 값인 16.24 Wp보다 높은 17.29 Wp으로 1.05 Wp를 향상시킬 수 있었다. 이는 평균값인 17.84 Wp에 비하여

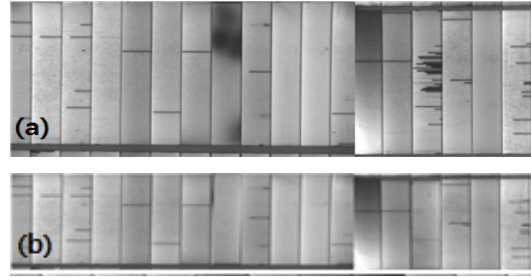


Fig. 8. EL images of shingled strings : (a) damaged, (b) After rework

0.5 Wp 낮지만 이는 분리되는 셀 표면의 전극에 경화되었던 잔여 ECA와 교체되는 ECA와의 접합으로 인한 저항 값으로 인해 평균값보다 낮은 것으로 사료된다. Fig. 8은 rework 공정을 통해 개선된 스트링의 EL 데이터로서 손상되었던 (a)와 비교하여 8번의 black spot 및 15번의 microcrack 부분이 사라져 출력의 저하 요인을 개선하여 출력이 상승된 것으로 확인하였다.

#### 4. 결론

싱글드 스트링 방식을 이용한 태양광 모듈은 기존의 방식과 비교하여 동일면적에 더 많은 셀을 설치할 수 있어 상대적으로 넓은 active area를 확보할 수 있으며 결과적으로 높은 출력 값을 가질 수 있다. 모듈에 사용되는 스트링을 제작하기 위해서는 6인치 태양전지 셀을 5분할하고 ECA를 분할 셀의 전면 전극에 도포하여 이웃한 셀의 전면 전극과 후면 전극을 접합하여 스트링을 제작한다. 문제는 스트링 중간에 위치한 분할셀에 microcrack, black spot 등의 결함이 생기게 될 경우 모듈의 전체적인 출력저하를 일으키게 된다. 이를 해결하기 위해 스트링을 사용한 모듈을 제작하기 전에 전기적·광학적 특성분석을 하여 스트링의 손상된 부분을 찾고 rework 공정을 통해 결함이 있는 분할셀을 분리/교체하여 스트링의 출력저하 요인을 사전에 방지할 수 있다. 이와 같은 방법으로 손상된 셀 부분을 분리/교체하여 16.24 Wp의 스트링을 17.29 Wp로 1.05 Wp 상승시켜 출력을 개선하였다.

#### 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20163 030014070).

#### References

1. Chu, Y, Meisen, P., Review and Comparison of Different Solar Energy Technologies. Report of Global Energy Network

- Institute (GENI), Diego, 2011.
2. Choubey, P.C., Oudhia, A., Dewangan, R., "A Review: Solar Cell Current Scenario and Future Trends," *Recent Research in Science and Technology*, Vol. 4, pp. 99-101, 2012.
  3. McEvoy, A., Castaner, L., Markvart, T. *Solar Cells: Materials, Manufacture and Operation*. 2nd Edition, Elsevier Ltd., Oxford, 3-25, 2012.
  4. Fahrenbruch, A.L., Bube, R.H., *Fundamentals of Solar Cells*. Academic Press Inc., New York, 1983.
  5. H. Jee, W. Choi, J. Lee, C. Jeong, "Characterization of Electrically Conductive Adhesives for Shingled Array Photovoltaic Cells," *Current photovoltaic research*, Vol. 5, No. 3, pp. 95-99, 2017.
  6. Jee, H., Moon, D., Song, J., Jeong, C., "Shingled String for the High Performance Photovoltaic Module," *Current Photovoltaic Research*, Vol. 6, No. 4, pp. 119-123, 2018.