Current Photovoltaic Research 8(4) 129-133 (2020)
DOI:https://doi.org/10.21218/CPR.2020.8.4.129
pISSN 2288-3274
eISSN 2508-125X

Backsheet 반사율에 따른 Shingled Mini Module 출력변화에 대한 연구

조성현 · 문지연 · 손형진 · 전다영 · 김성현*
신재생에너지연구센터, 전자부품연구원, 성남, 13509

A Study on the Output Power of Shingled Mini Module Depending on Reflectance of Backsheets

Seong Hyeon Cho · Ji Yeon Moon · Hyoung Jin Son · Da Yeong Jun · Sung Hyun Kim*
New & Renewable Energy Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Seongnam 13509, Korea

Received October 28, 2020; Revised December 3, 2020; Accepted December 8, 2020

ABSTRACT: It is very important to optimize the reflectance of incident light in solar modules for improving output power and reducing loss of cell-to-module (CTM). It is assumed that a higher reflectance backsheet may improve optical efficiency. However how much output power is related to optical properties by reflectance property of backsheets have not been revealed clearly yet. A total of 3 types of industrial backsheets with 3 type of industrial encapsulants (EVA or POE) were analyzed as fabricated mini modules used shingled cells. According to the type of backsheets, the difference between the highest and lowest average reflectance in the range of 400 nm to 1200 nm was found to be 13.08% by UV-visible spectroscopy. Also, when using the same encapsulant, the maximum gap value of the output power increase was measured by about 3.755 mW% (166.02 mW). The correlation between reflectance and output power was experimentally found by measuring the output property of the fabricated shingled mini modules.

Key words: EVA, Backsheet, Reflectance, Laminating, Shingled cell string, Encapsulation, Module, Short-circuit current, Open-circuit voltage, Output power, Efficiency

Subscript

Isc : short circuit current
Jsc : current density
Voc : open circuit voltage
FF : fill factor
EVA : ethylene vinyl acetate sheet
POE : polyolefin sheet

1. 서 론

현재 실리콘 결정질 태양전지의 최고 효율은 Kaneka의 n-type HBC (Heterojunction interdigitated back contact) cell이 26.7%, ISFH의 p-type POLO-IBC (polycrystalline on oxide-interdigitate back contact) cell이 26.1%를 달성하였다[1]. 그러나 이러한 실리콘 결정질 태양전지는 복잡한 구조에 따른 비용적인 문제로 인해[2], 보통 국내 태양광 산업에서는 22~24% 효율의 PERC (passivated emitter rear contact) cell이 사용되고 있다. 이마저도 전기적 손실과 광학적 손실로 인해 모듈변환 시 20~21% 효율로 낮아지는 현상을 볼 수 있다[3,4]. 이러한 현상을 CTM (cell to module) loss라 하며 loss율을 점차 줄여 최대한의 출력을 낼 수 있도록 하는 것이 태양광 업계에서 큰 화두가 되고 있다.

CTM loss율의 출력저하는 광학적 요소가 큰 비중을 차지하는데, 이는 태양에너지가 태양전지까지 도달하지 못하여 광전에너지변환을 방해하는 glass 표면 및 내부에서의 빛의 반사, glass와 encapsulant의 빛의 투과율, 태양전지와 backsheet 표면에서의 빛의 산란 등이 보고되고 있다. 이를 개선시키기 위해서 많은 연구가 이루어져 왔으며, 대표적으로 2012년도에 glass의 AR-coating (Anti-reflective coating)을 적용하면서 glass 표면에서 빛의 반사율을 줄이고 투과율을 증가시킴으로써 많은 개선이 이루어졌다[4]. 이 외에도 glass의 texturing, encapsulation의 빛에 대한 투과율 증가 또는 backsheet 표면의 빛의 반사율 증가 등이 있다. 이는 다수의 photon으로 더 많은 carrier를 생성하여 태양전지가 받는 광학적 특성을 증가시키므로, 결국 CTM

*Corresponding author: shkim@keti.re.kr

ⓒ 2020 by Korea Photovoltaic Society
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0)
which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

loss율을 줄이는데 도움을 주고 있다[5].

Shingled cell string은 여러 장의 분할된 cell을 사용하여 cell과 cell사이의 간격이 overlap되어 빈 공간이 없이 태양에너지를 받는 것이 특징이다. 그러나 cell을 분할하기 위해서 laser scribing 공정이 진행되는데, 이는 태양전지에 열에 의한 손상을 주고 특성을 저하시킨다. 따라서 shingled cell은 다른 구조의 태양전지보다 비교적 직렬저항이 높고 FF가 낮아 CTM loss의 요인이 된다[6]. 또한 cell과 cell사이의 공간이 없기 때문에 backsheet에 의한 빛의 반사는 주로 shingled cell string의 바깥부분에서 이루어진다. 이러한 이유로 shingled string에서 backsheet의 반사율 변화에 대한 유효성과 출력량에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서 S사의 서로 다른 3종의 backsheet를 종류별로 반사율을 측정하였다. 이후 반사율이 측정된 3종의 backsheet를 사용하여 One-cell규격의 shingled cell module 제작 후 laminating 전후의 출력 비교를 진행하여 CTM loss율을 줄일 수 있는 방안에 대해서 분석하였다.

2. 실험 방법

2.1 Backsheet 종류에 따른 반사율 측정

3종의 Backsheet (A: TPE-36, B: SPE-35E, C: SPE-35S, SFC)를 Fig. 1과 같이 glass와 backsheet를 겹친 상태로, 결정질 실리콘 태양전지에서 태양에너지가 광전에너지로 변환되는 400~1200 nm에서 UV-visible (UV/visible Spectrophotometer, Jasco V670)을 사용하여 반사율을 측정하였다[7].

2.2 Backsheet 종류에 따른 동일 shingled cell string 출력 측정

반사율의 고저(高低)에 따른 태양전지의 뚜렷한 Isc 및 출력변화를 분석하기 위해 3종의 backsheet A, B, C 모델을 Fig. 2 와 같이 같은 규격 20 cm*20 cm로 준비하여, 라미네이팅 전의 M2 사이즈 shingled cell string (156.75 mm*150.35 mm) 아래에 두고 솔라 시뮬레이터(Solar Simulator, Mac science K202-Lab200)로 측정하여 데이터를 비교하였다.

2.3 EVA, Backsheet 종류에 따른 태양전지 One-cell 규격의 shingled mini module의 라미네이팅 전후 Isc 및 출력 측정

Fig. 3와 같이 라미네이팅 전후 차이의 비교를 위하여 scribing된 M2 사이즈 shingled cell을 ECA (electrically conductive adhesives, i.e., ECA, ICP-8311, Henkel)로 접합 후 170°C, 60초 공정조건에서 curing한, 총 9종의 shingled cell string을 제작하여 솔라 시뮬레이터로 Isc 및 출력을 측정하였다.

이후 표면이 mist-type으로 texturing된 glass (3.2T, 20 cm*

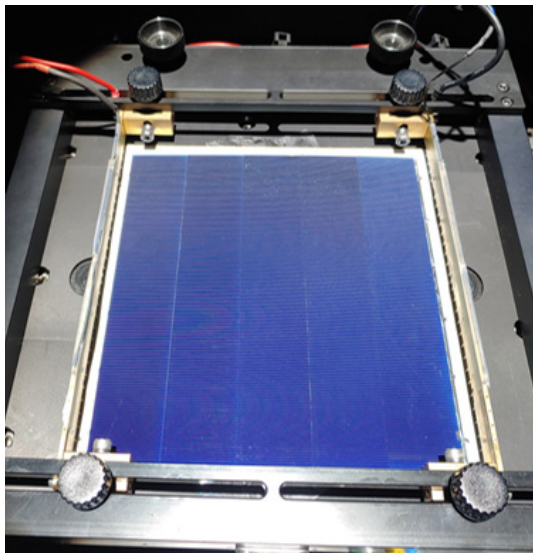

Fig. 2. Shingled cell string output power measurement image

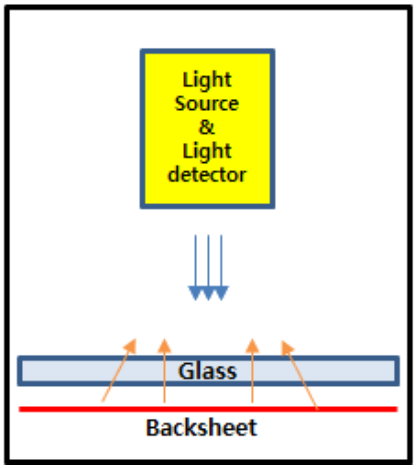

Fig. 1. A schematic image of measuring reflectance of backsheets

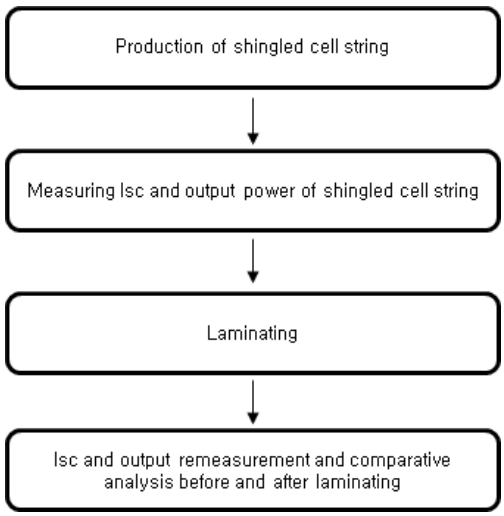

Fig. 3. A schematic image of the processing about comparison output power before and after laminating

20 cm, co. Nuri), shingled cell string (156.75 mm*150.35 mm)과 2종의 EVA A (EF2N, 450 μm, SKC), B (HEP-02, 450 μm, Hanwha)와 1종의 POE (HPO-02, 450 μm, Hanwha)를 3종의 backsheet A, B, C와 조합하여 총 9종의 샘플을 라미네이팅(온도 160°C, 23 min, 압력 0.1 Mpa, Zeus)을 진행한 후 솔라 시뮬레이터로 재 측정하여 이전에 측정한 데이터와 비교분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Backsheet 종류에 따른 반사율

Fig. 4는 400~1200 nm 파장에서 Fig. 1와 같이 glass/backsheet의 반사율을 측정한 결과 그래프이다. 평균 반사율의 데이터는 Backsheet_C, Backsheet_B, Backsheet_A 순으로 각각 79.28%, 77.43%, 66.20%로 측정되었다.

태양전지의 광전에너지 변환에 있어서 많은 양의 태양에너지를 backsheet에서 반사시켜 재사용하는 것이 중요한 요소이며 Isc증가에 더 도움이 될 것이라 예상가능하다.

3.2 반사율에 따른 Isc 및 출력 변화

Fig. 5(a), (b), (c)는 Fig. 2의 실험과 같이, 동일한 shingled 태양전지를 반사율이 다른 backsheet만 변경하여 솔라 시뮬레이터로 측정한 값에 대한 그래프다. Isc와 Pmax 값은 Backsheet_A에서 1759.11 mA, 4269.99 mW, Backsheet_B에서 1789.777 mA, 4298.208 mW, Backsheet_C에서 1801.73 mA, 4317.132 mW로 측정되었다.

Fig. 4 실험결과에서의 예상과 같이 높은 반사율을 갖는 backsheet를 사용할수록 Isc 및 출력이 증가하였다. 이는 높은 반사율을 갖는 backsheet를 사용하게 되면 태양전지 바깥의 영역(edge of backsheet)에서 반사된 태양에너지가 재사용 되어, shingled cell의 내부에서 다수의 carrier를 생성하여 광학적 특성을 증가시켰다고 볼 수 있다.

3.3 EVA, Backsheet 종류에 따른 shingled mini module의 라미네이팅 전후 Isc 및 출력 비교

Fig. 6(a), (b)와 Table 1은 총 9종의 shingled cell string을 라미네이팅 전과 후의 Isc 및 Pmax를 각각 측정하여 변화율을 식 (1), 식 (2)로 계산하여 그래프와 표로 나타내었다.

$$Isc = \left(\frac{Isc\,After\,laminating}{Isc\,Before\,laminating} - 1\right) \times 100 \quad [\text{mA\%}] \tag{1}$$

$$Pmax = \left(\frac{Pmax\,After\,laminating}{Pmax\,Before\,laminating} - 1\right) \times 100 \quad [\text{mW\%}] \tag{2}$$

Fig. 6(a), (b)는 Isc 및 Pmax의 변화율은 Fig. 5 실험 결과와 비슷한 추세를 보였다. 반사율이 가장 낮게 측정 되었던 Backsheet_A에서 가장 낮은 Isc 및 Pmax 변화율 값이 측정되었다. 또한 반사율이 가장 높았던 Backsheet_C에서는 가장 높은 Isc 및 Pmax 변화율 값이 측정되었다. Table 1은 반사율이 높은 backsheet를 사용할수록 CTM loss율이 높게 개선된다는 것을 보여주었다. 동일한 encapsulant 내에서 backsheet에 따라 Isc는 최대 1.1739 mA% (22.66 mA) 만큼 차이가 있었고, Pmax는 최대 3.755 mW% (166.02 mW) 만큼 차이가 있었다.

Fig. 7은 encapsulant별 400~1200 nm의 파장에서 빛의 투과율 그래프이다. POE, EVA_A, EVA_B는 평균 90.18532%, 90.19132%, 90.14699%로 측정되었다. Encapsulant의 종류에

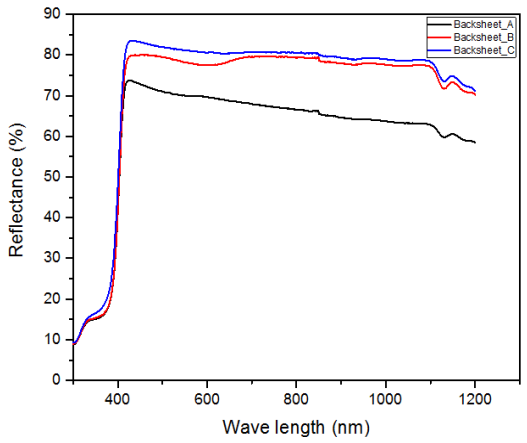

Fig. 4. Measured reflectance of backsheets

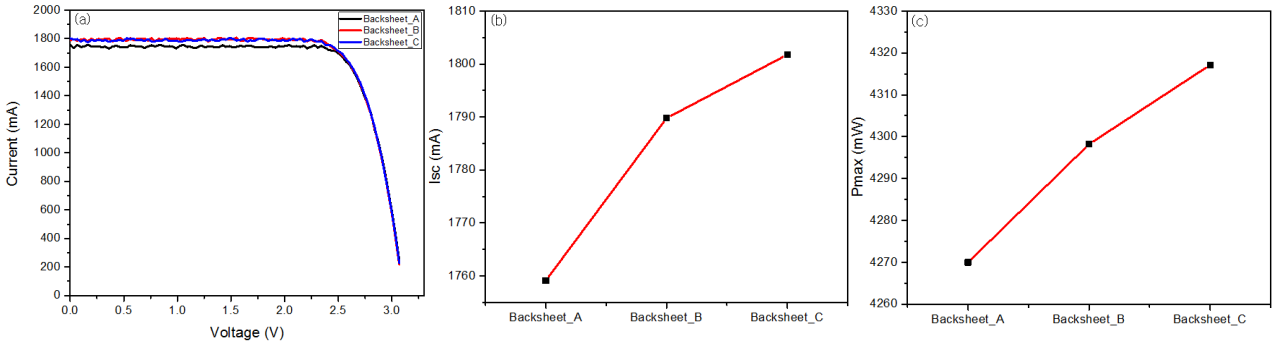

Fig. 5. By backsheets shingled cell string (a) I-V Curve (b) Isc (c) Pmax

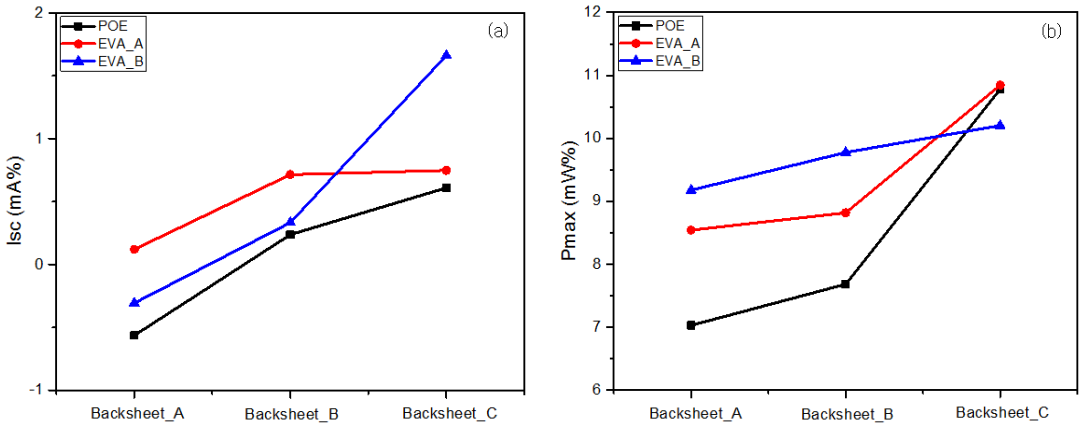

Fig. 6. Comparison graph before and after laminating (a) Isc (b) Pmax

Table 1. Isc and Pmax ratio of before and after laminating by encapsulants and backsheets

Encapsulant	POE			EVA_A			EVA_B		
Backsheet	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Isc (mA%)	-0.56407	0.237497	0.609117	0.120263	0.714355	0.748546	-0.30614	0.333384	1.662114
Pmax (mW%)	7.025312	7.680974	10.78064	8.540112	8.815783	10.84324	9.17539	9.774187	10.20208

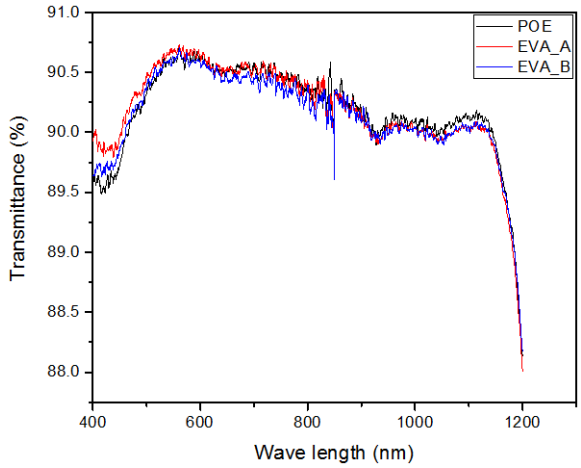

Fig. 7. A graph of transmittance by encapsulants

따른 빛의 투과율이 미미하므로, Isc와 출력은 backsheet의 반사율에 영향을 받는다는 경향을 볼 수 있다.

또한 라미네이팅 이후 오히려 Isc값이 낮아져서 Fig. 6(a) 그래프와 같이 음수를 나타내는 샘플들을 볼 수 있다. 그러나 모든 샘플의 Voc가 라미네이팅 이후 약 7%, FF 값은 약 1.7% 정도로 상승하여 backsheet의 종류에 관계없이 Fig. 6(b) 그래프와 같이 모든 출력 값은 더 개선되었다. 이를 cell에 대한 CTM gain이라 보기는 어렵지만, 다수의 레이저 스크라이빙 공정과 리본 접합 공정에서 생긴 shingled cell에 대한 저항성분과 ECA의 접합 특성들이 라미네이팅 이후 개선이 되었다고 추측할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 backsheet의 반사율에 따른 shingled cell string의 Isc 및 출력의 변화추이에 대해 실험하였다. 실험을 통해 backsheet의 반사율이 높을수록 Isc 및 출력 값이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이는 반사율이 높은 backsheet를 사용할수록, shingled cell module의 광학적 특성이 증가하는 것을 볼 수 있다.

실험결과 backsheet에 따른 라미네이팅 전후 출력 변화율은 최대 3.755 mW% (166.02 mW)가 측정되었으며, 이는 72 cell module 제작 시 최대 14.342 W 만큼의 출력 증가를 기대할 수 있다. 이 결과는 단순 backsheet의 변화만으로 CTM loss율을 개선하는데 큰 영향을 미칠 수 있는 요소라 확인되었다.

그러므로 최적의 solar cell, 라미네이팅 공정 조건 및 encapsulant를 사용한다면 더 큰 출력 증가를 기대할 수 있고 CTM loss를 더욱 개선시킬 수 있다고 판단된다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부의 신재생에너지기술개발사업(20183010014270, 20203030010300)의 일환으로 수행되었습니다.

References

1. Green, M. A., Dunlop, E. D., HohlEbinger, J., Yoshita, M., Kopidakis, N., Hao, X., "Solar Cell Efficiency Tables," Progress in Photovoltaics, Vol. 56, pp. 629-638, 2020.
2. Park, C. M., Cho, J. H., Lee, Y. S., Park, J. J., Ju, M. K., Lee,

Y. J., Yi, J. S., "Technology Trends and Prospects of Silicon Solar Cells," Current Photovoltaic Research, Vol. 1, No. 1, pp. 11-16, 2013.

3. Renewable Energy Division, Ministry of Trade, Industry & Energy, Solar R&D Innovation Strategy for Early Securing of Next-Generation Leading Technology, pp. 2-3, Sep. 2020.
4. Tummalieh, A., Pfreundt, A., Mittag, M., "Trend Tracking of Efficiency and CTM Ratio of PV Modules," Presented at the 37th European PV Solar Energy Conference and Exhibition, 2020.
5. Lee, S. H., Song, H. E., Kang, G. H., Ahn, H. K., Han, D. Y., "A Simulation of Photocurrent Loss by Reflectance of the Front Glass and EVA in the Photovoltaic Module," The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 62, No. 1, pp. 76-82, 2013.
6. Park, J. S., Oh, W. J., Lee, S. H., Lee, J. H., "Separation and Characterization of Crystalline Silicon Solar Cell by Laser Scribing," J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng., Vol. 32, No. 3, pp. 187-191 2019.
7. Yamashita, T., Sawaki, T., Okaniwa K., "Wavelength Conversion Film (WCF) for Crystalline Silicon PV Modules," 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, pp. 951-953, 2011.