

## 경량화 태양광 모듈의 내구성 보완에 관한 연구

정태웅<sup>1</sup>, 박민준<sup>1</sup>, 김한준<sup>1</sup>, 송진호<sup>1</sup>, 문대한<sup>1</sup>, 홍근기<sup>2</sup>, 정채환<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> 한국생산기술연구원 스마트에너지나노융합연구그룹

<sup>2</sup> (주) 신성이엔지 R&D 센터

### A Study on the Durability Complement of Lightweight Photovoltaic Module

Taewung Jeong<sup>1</sup>, Min-Joon Park<sup>1</sup>, Hanjun Kim<sup>1</sup>, Jinho Song<sup>1</sup>, Daehan Moon<sup>1</sup>,  
 Kuen Kee Hong<sup>2</sup>, and Chaehwan Jeong<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Smart Energy & Nano R&D Group, Korea Institute of Industrial Technology, Gwangju 61012, Korea

<sup>2</sup> R&D Center, Shinsung E&G Co., Ltd., Seongnam 13543, Korea

(Received December 23, 2020; Revised February 2, 2021; Accepted February 4, 2021)

**Abstract:** In this study, we fabricated light-weight solar module for various applications such as building integrated photovoltaics (BIPV), vehicles, trains, etc. Ethylene tetra fluoro ethylene (ETFE) film was applied as a material to replace the cover glass, which occupies more than 65% of the weight of the PV module. Glass fiber reinforced plastic (GRP) was applied to the ones with a low durability by replacing the cover glass to ETFE. Moreover, to achieve a high solar power conversion in this study, we applied a shingled design to weight reduced solar modules. The shingled module with GRP shows 183.7 W of solar-to-power conversion, and the output reduction rate after weight load test was 1.14%.

**Keywords:** Photovoltaic, Light-weight solar module, ETFE, Shingled, GRP

### 1. 서론

최근 지구환경을 훼손시키지 않고 에너지 자원 고갈의 염려가 없는 신재생 에너지의 기술 개발과 발전에 국가적 차원으로 이목이 집중되고 있다. 에너지자원이 충분하지 않아 자원 수입에 큰 비중을 두고 있는 우리나라는 태양광 에너지 기술 개발에 전폭적인 지원을 아끼지 않고 있다 [1]. 특히 태양광 발전의 비중을 높이기 위하여 수상형, 영농형, 건물 일체형 태양광 및 차량 등 다양한 형태의 보급이 확대되고 있다 [1,2].

하지만 기존 태양광 모듈의 경우 전면 혹은 전후면에 glass를 사용하므로 무게적인 측면에서 단점을 가지고 있다. 이로 인하여 노후화된 건물 및 차량 등의 이동수단에 적용하기에는 무리가 있다. 이를 극복하기 위하여 투명필름을 이용한 경량화된 태양광 모듈에 대한 연구들이 진행되고 있으나 단순히 glass를 투명필름으로 대체한 경우가 대부분이어서 물리적 내구성에 한계를 보이고 있다.

본 연구에서는 기존 실리콘 태양광 모듈의 적용범위를 넓히기 위하여 물리적 내구성이 보완된 경량화 실리콘 태양광 모듈을 제작하였다. 우선 모듈 전체 무게의 65% 이상을 차지하는 전면 cover glass를 대체하기 위하여 ETFE (ethylene tetra fluoro ethylene)을 적용하였다. ETFE은 실리콘 태양광 모듈의 경량화를 위하여 적용되었던 물질이다 [2,3]. 하지만 전면 cover

✉ Chaehwan Jeong; [chjeong@kitech.re.kr](mailto:chjeong@kitech.re.kr)

Copyright ©2021 KIEEME. All rights reserved.  
 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.

glass에 비하여 물리적 강도가 매우 낮아 내구성 보완에 대한 숙제를 갖고 있다. ETFE를 적용한 실리콘 태양광 모듈의 내구성 향상을 위해, 본 연구에서는 GRP (glass fiber reinforced plastic)를 모듈 후면에 접목하여 물리적 강성을 증가시켰다. GRP는 재료 특유의 가벼운 무게와 높은 강성으로 항공, 건축, 토목 등의 다양한 분야에 적용되고 있다 [4]. 마지막으로 우리는 고출력의 태양광 모듈 제작을 위해 싱글드 구조를 접목시켰다. 싱글드 구조는 기존 태양광 소자를 분할 및 접합하여 모듈을 제작하는 방법으로, 기존 태양광 모듈보다 단위면적당 태양광 소자의 고집적화가 가능하여 최근 고출력 태양광 모듈 제작 기술로 각광받고 있다 [5-7]. 이러한 모듈 제작 디자인을 이용하면 설치면적 대비 집적 가능한 셀 수량과 모듈의 active area의 증가로 더 큰 출력을 얻을 수 있는 장점을 갖게 된다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 싱글드 셀 스트링 제작 공정

그림 1은 싱글드 태양전지의 분할공정과 접합공정을 이용하여 스트링을 제작하는 과정이다. 분할공정에서는 레이저 스크라이버 장비를 이용하여 6 inch 5 버스바 PERC 태양전지(주)신성이엔지, 평균 효율: 약 20.5%의 전후면 버스바에 손상이 가지 않도록 5 분할하였으며 532 nm, 50 kHz, 20 ns, 10 W, coherent의 레이저 소스를 이용하여 1,400 mm/s의 스캔속도로 30회 scribing했다. 그 후, scribing 부분을 물리적으로 절단하였다. 접합공정에서는 레이저 스크라이버로

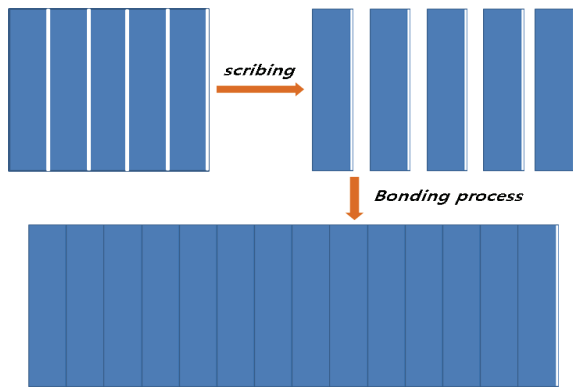


Fig. 1. Schematic of shingled design string manufacturing process.

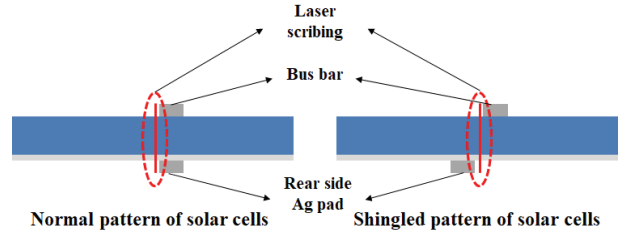


Fig. 2. The difference between a normal pattern of solar cells and a shingled pattern of solar cells.

분할된 1/5 분할셀을 전도성 접착제(ECA)를 사용하여 150°C hot plate 위에서 접합을 진행하였다. 이 연구에는 싱글드 디자인의 전극 패턴을 갖는 6 inch 태양전지를 사용하였다(그림 2).

### 2.2 ETFE를 적용한 태양광 모듈 제작

그림 3은 ETFE를 적용한 태양광 모듈의 모식도이다. 모듈 경량화를 위해 전면 cover glass 대체재로 ETFE를 사용하였다. BIPV 시스템에 주로 사용되는 glass to glass, glass to backsheet 방식과 달리 cover glass 부재로 인하여 저하된 내구성 보완을 위하여 후면에 GRP를 적용한 모듈을 동일 면적의 크기로 제작하고 무게를 측정하여 전면 cover glass를 ETFE로 대체한 모듈과의 무게를 표 1에 비교하였다. 모듈 무게의 65% 이상 차지하는 glass 대체재로 ETFE와 GRP를 사용하여 약 1 m<sup>2</sup> 면적에서 glass to glass 대비 70% 중량 감소, glass to backsheet 대비 10.6 kg에서 5.66 kg으로 46% 중량 감소를 확인하였다.

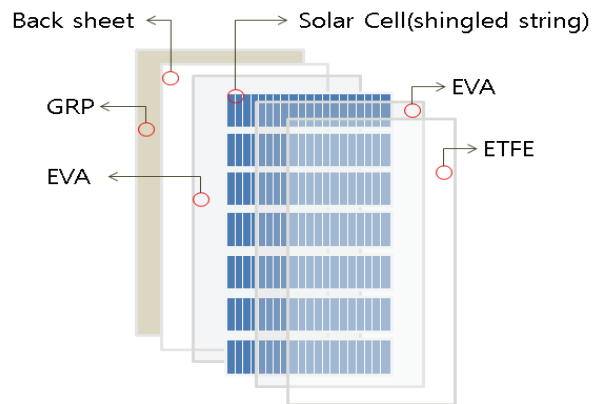


Fig. 3. Schematic of lightweight PV module.

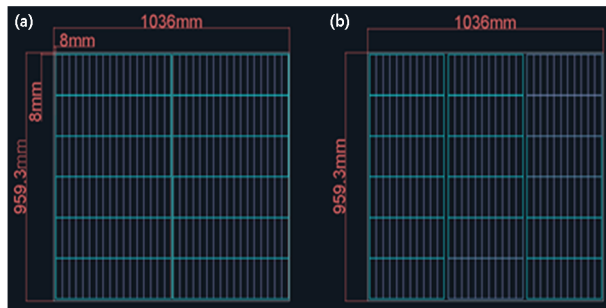
**Table 1.** Weight comparison by module cover material (1 m<sup>2</sup>).

Classification	Front cover thickness (mm)	Rear cover thickness (mm)	Weight (Kg)
Glass to glass	3.2	3.2	18.94
Glass to backsheet	3.2	0.4	10.6
ETFE to backsheet	0.4	0.4	2.46
ETFE to GRP	0.4	2.3	5.66

### 2.3 Shingled 스트링 배열에 따른 모듈의 출력 특성

Shingled 방식을 활용하여 태양광 모듈을 제작하면 일반 모듈과 비교했을 때 동일 면적에서 보다 많은 양의 태양전지를 모듈에 투입 가능하여 높은 출력의 모듈 제작에 유리하다. 우리는 고효율 모듈 제작을 위하여 싱글드 스트링을 사용하였으며, 동일 면적에서 가능한 많은 1/5 분할 셀 투입과 그에 따른 출력 향상을 비교하기 위해 10~20접합의 스트링 배열 디자인을 시뮬레이션 하였고, 그중 분할셀 투입량이 가장 높았던 두 가지 배열 방식을 분석하였다.

그림 4는 스트링 어레이에 따른 태양광 모듈의 모식도이다. 동일 면적(1 m<sup>2</sup>)에서 왼쪽의 모식도는 17개의 1/5 분할셀을 사용하여 제작한 17접합 스트링 12장 투입이 가능하다. 오른쪽의 모식도에서는 11개의 1/5 분할셀을 사용하여 제작한 11접합 스트링 18장 투입이 가능하다. 모듈에 투입되는 1/5 분할셀의 총 개수로 보면 17접합 스트링을 사용한 모듈에 분할셀 6개를 더 집적할 수 있다는 것을 알 수 있다.

**Fig. 4.** Schematic of (a) 17 cells string × 12 and (b) 11 cells string × 18.

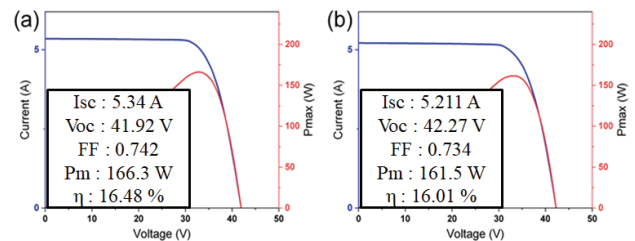
### 2.4 GRP 적용 여부에 따른 내구성 분석

ETFE film을 사용하면서 전면 cover glass의 부재로 인한 모듈의 내구성 저하 문제를 해결하기 위하여 모듈의 후면에 GRP를 적용하였다. GRP는 강도 높은 복합소재로 기계강도가 우수하며 충전성, 유동성이 높아 glass-free 태양광 모듈의 내구성을 향상시켜 줄 수 있는 기대를 할 수 있다. 본 연구에서 두께는 2 mm, 크기는 약 1 m<sup>2</sup> (1,040 mm × 970 mm)의 GRP를 사용하여 위의 shingled 스트링 배열이 적용 가능하게 하였다. 후면 GRP 적용에 따른 모듈의 내구성 분석을 위하여 GRP를 적용한 태양광 모듈과 GRP를 적용하지 않은 모듈 중심부에 500 g 단위로 일정 하중을 늘려가며 바닥과 모듈의 중심부와의 높이를 측정하며 모듈의 굽힘 정도를 시험하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 5는 shingled 스트링의 배열에 따른 태양광 모듈의 출력 특성 결과 그래프이다. 그림 5(a)는 17접합 스트링을 3장씩 병렬연결 하여 semi module을 형성하고 각 semi module을 직렬연결 하여 총 12장의 스트링이 모듈 제작에 사용되었고, (b)는 11접합 스트링 3장씩 병렬로 연결한 semi module 6장을 직렬연결하여 11접합 스트링 18장이 모듈 제작에 사용되었다. (a) 모듈은 (b) 모듈에 비해 1/5 분할셀 6장을 더 사용 가능하였고, 더 많은 분할셀을 사용한 (a) 모듈의 출력값이 (b) 모듈의 출력값보다 높은 것을 확인할 수 있다.

그림 6은 ETFE를 적용하여 제작한 모듈의 후면 GRP 유무에 따른 굽힘 정도 시험 결과 그래프이다. 각 모듈은 바닥부터 17.5 cm 높이의 시험대 위에 설치하였고, 설치된 모듈의 중심부에 500 g 중량의 시험

**Fig. 5.** I-V curves of (a) 17 cells string × 12 and (b) 11 cells string × 18.

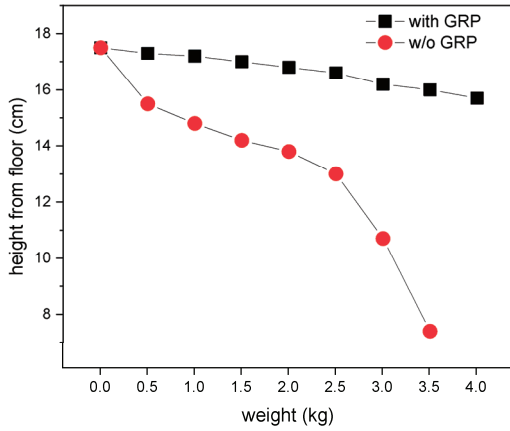


Fig. 6. Bending degree with and without GRP.

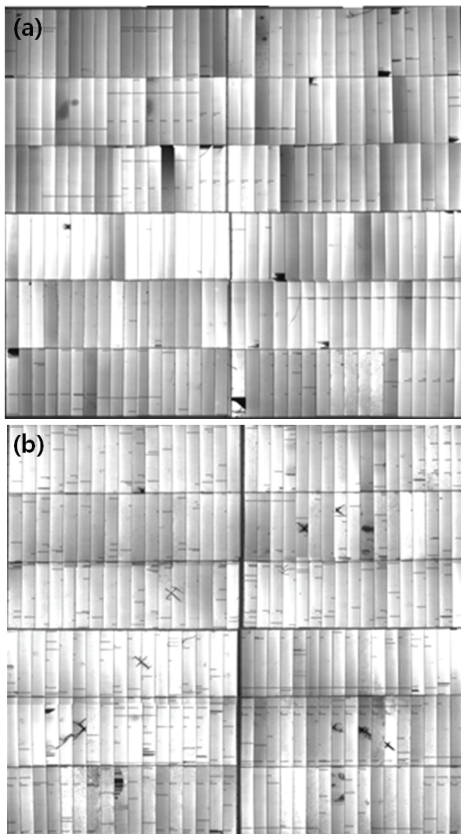


Fig. 7. EL image of module (a) with GRP and (b) without GRP.

편의 개수를 하나씩 늘려가며 바닥과 중심부와의 높이를 측정하였다. 후면에 GRP를 적용하여 제작한 모듈에 500 g씩 총 4 kg의 하중을 가하는 동안 설치된 높이

Table 2. Output power reduction rate with or without GRP after load test.

Classification	Before test	After test	Pmax loss
With GRP	183.7 w	181.6 w	1.14%
Without GRP	187.8 w	174.5 w	7.08%

로부터 1.8 cm 내려앉은 것을 확인할 수 있다. 이에 비해 후면에 GRP를 적용하지 않은 모듈은 3.5 kg의 하중을 가해 주었을 때 10.1 cm 내려앉았고 4 kg의 하중을 가해 주었을 때 모듈의 중심부가 바닥과 맞닿은 것을 확인하였다.

그림 7은 GRP 적용 여부에 따른 모듈의 내구성을 파악하기 위하여 모듈 후면에 GRP를 적용한 모듈과 GRP를 적용하지 않은 모듈의 중심부에 500 g 단위로 총 4 kg의 하중을 가한 후 EL (electroluminescent) 측정 image이다. GRP를 적용하지 않은 모듈에서 육안으로 보기에 crack이 많이 발생한 것을 확인할 수 있다. 대부분의 crack이 스트링을 이루고 있는 분할셀의 접합부에서 발생한 것을 확인할 수 있는데, 이는 모듈에 가해진 하중으로 모듈이 굽혀질 때 셀의 접합부에서 crack이 발생한 것으로 보이며 이에 따라 모듈의 출력이 7.08% 감소한 것을 확인할 수 있다. 반면에 GRP를 적용한 모듈에서는 가해진 하중을 후면 GRP 층에서 지탱하여 굽힘 정도가 낮아 crack 발생이 상대적으로 적고 출력 감소율은 1.14%로 현저히 낮은 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 건물 적용이 용이한 태양광 모듈 제작을 위한 모듈 경량화에 관한 연구를 진행하였으며, 경량화에 따른 cover glass 부재로 인한 모듈의 내구성 보전에 관한 연구도 동시에 진행하였다. Cover glass 대체재로 ETFE를 적용하고 cover glass 부재로 인한 모듈의 내구성 보전을 위해 모듈 후면에 GRP를 적용한 모듈을 제작함으로써 동일 면적의 glass to backsheet 방식의 모듈 대비 약 46%의 중량을 감소하였다. 모듈의 내구성 보전을 위한 후면 GRP 적용의 영향으로 load test에 따른 출력 감소율이 GRP 적용 여부에 따라 7.08%에서 1.14%로 크게 개선되는 것을 확인하였다.

**ORCID**

Chaehwan Jeong

<https://orcid.org/0000-0002-8577-1853>**감사의 글**

본 연구는 2020년도 산업통산자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원 과제인 ‘건물 적용 가능한 강판일체형 태양광 모듈 개발’(No.20203030010200)을 통해 수행한 과제입니다.

**REFERENCES**

- [1] S. M. Lee and J. H. Huh, *J. Korean Sol. Energy Soc.*, **36**, 53 (2016). [DOI: <https://doi.org/10.7836/kses.2016.36.2.053>]  
 [2] W. Shin, J. Lim, S. Ko, G. Kang, Y. Ju, and H. Hwang,

- J. Korean Sol. Energy Soc.*, **40**, 13 (2020). [DOI: <https://doi.org/10.7836/kses.2020.40.4.013>]  
 [3] A. C. Martins, V. Chapuis, A. Virtuani, H. Y. Li, L. E. Perret-Aebi, and C. Ballif, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **187**, 82 (2018). [DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2018.07.015>]  
 [4] H. S. Ji, *J. Korean Soc. Steel Constr.*, **24**, 349 (2012). [DOI: <https://doi.org/10.7781/kjoss.2012.24.3.349>]  
 [5] H. Jee, D. Moon, J. Song, and C. Jeong, *Curr. Photovoltaic Res.*, **6**, 119 (2018). [DOI: <https://doi.org/10.21218/CPR.2018.6.4.119>]  
 [6] J. Song, H. Jee, D. Moon, D. H. Kim, O. B. Yang, and C. Jeong, *Curr. Photovoltaic Res.*, **7**, 51 (2019). [DOI: <https://doi.org/10.21218/CPR.2019.7.2.051>]  
 [7] W. J. Oh, J. S. Park, S. H. Hwang, S. H. Lee, C. H. Jeong, and J. H. Lee, *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, **31**, 290 (2018). [DOI: <https://doi.org/10.4313/JKEM.2018.31.5.290>]