

투광형 실리콘 싱글드 태양광 모듈을 위한 타공형 스트링 제작

김한준 · 박민준 · 송진호 · 정태웅 · 문대한 · 정채환*
한국생산기술연구원 스마트에너지나노융합연구그룹, 광주광역시, 61012

Fabrication of Perforated Strings for Transparent Silicon Shingled Photovoltaic Modules

Han Jun Kim · Min-Joon Park · Jinho Song · Taewung Jeong · Daehan Moon · Chaehwan Jeong*

Smart Energy & Nano R&D Group, Korea Institute of industrial Technology, Gwangju 61012, Korea

Received October 5, 2020; Revised November 4, 2020; Accepted November 24, 2020

ABSTRACT: Transparent photovoltaics (PV) are used in various applications such as building-integrated photovoltaics (BIPV). However, crystalline silicon (c-Si) is not used for developing transparent PV due to its opaque nature. Here, we fabricate the three holes in 6-inch c-Si solar cells using laser scribing process with an opening area ratio of about 6.8% for transparent c-Si solar modules. Moreover, we make the shingled strings using the perforated cells. Our 7 interconnected shingled string PV cells with 21 holes show a solar to power conversion of 5.721 W. In next work, we will fabricate a transparent c-Si PV module with perforated strings.

Key words: Shingled, Photovoltaic, Laser scribing, Perforated strings, Transparent solar module

1. 서론

최근 국내외 태양광 시장에서 크게 성장하고 있는 건물 일체형 태양광 시스템 (BIPV)의 경우, 건축물 내·외부의 심미적 요소를 위해 태양광원을 활용할 수 있는 투광형 태양광 모듈을 이용해 기능성과 심미성을 개선하는 연구가 활발하게 진행 중이다^{1,2)}. 국외뿐만 아니라 국내 신재생에너지 정책으로 공공기관 신재생에너지 이용 의무화를 진행하고 있으며, 이에 건축물의 심미성과 제로에너지를 모두 충족하는 창호, 벽면, 발코니 등 건물 외관에 태양광 발전 장치를 적용하는 연구가 진행 중이다³⁾.

하지만 전 세계 태양광 발전 시장의 90%를 점유하고 있는 결정질 실리콘 태양광은 고출력 및 원가절감으로 인한 가격경쟁력 강화에 대한 연구가 대부분이며, 활용영역을 확장할 수 있는 심미성 및 기능성에 대한 연구는 크게 이루어지지 못했다^{4,5)}. 투광형 태양광 모듈을 만들기 위해 결정질 실리콘을 이용한 모듈은 단순히 셀의 간격을 넓혀 개구영역을 확보하는 경우가 일반적이다. 하지만 단순히 셀과 셀 사이의 간격을 확보해서 개구율을 확보할 경우 심미성 및 기능성 면에서 크게 떨어지는 경향

이 나타난다. 이에 투광형 태양광의 경우, 건물에 적용 시 투광에 대한 심미성 및 기능성이 우수한 박막형 유·무기 태양광 소자 적용에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^{2,3)}. 하지만 이러한 박막형 유·무기 태양광 소자는 결정질 실리콘 태양광 소자에 비해 낮은 생산전력과 높은 생산단가에 대한 한계를 가지고 있다.

본 연구에서는 레이저 scribing을 통한 타공공정을 이용하여 모듈의 개구영역을 확보하였고, 고출력 태양광 모듈 제작 기술로 각광받고 있는 싱글드 구조를 이용한 투광형 태양광 모듈 제작 기술을 이용하여 타공형 스트링을 제작하였다. 싱글드 구조의 경우, 태양전지를 레이저로 절단 후 전도성 접착체로 직렬 연결하는 싱글드 구조이다^{6,7)}. 이 경우 전면 busbarless 구조로 기존 모듈에 비해 설치면적 대비 active area가 증가하여 고출력을 기대할 수 있다. 또한 busbarless 방식으로 기존 실리콘 태양광 모듈에 비해 심미성이 우수하다. 이러한 싱글드 구조 태양광 모듈 기술에 레이저 scribing을 통한 타공 공정을 적용하여 기존의 투광형 실리콘 태양광 모듈과 비교하여 투광에 대한 기능성을 향상할 수 있는 스트링을 제작하였다.

*Corresponding author: chjeong@kitech.re.kr

2. 실험

2.1 분할셀 제작 공정

Fig. 1은 레이저 scribing을 이용한 분할셀 제작 모식도이다. 우리는 nanosecond 레이저소스(532 nm, 50 kHz, 20 ns, 10 W, Coherent)를 이용하여 1300 mm/s의 스캔속도로 40회 scribing 했다. 그 후, scribing 부분을 손으로 절단하였다.

2.2 타공형 스트링 제작공정

Fig. 2는 레이저 scribing을 이용한 타공형 스트링 제작 모식도이다. 제작 과정은 폴셀 분할, 타공, 접합의 순서이며, 해당 타공형 싱글드 구조의 태양전지 스트링 제작시, 우선 6인치 태양전지 셀을 분할하기 위해 레이저를 사용하여 1300 mm/s의 스캔속도로 40회 scribing을 진행하였고, 이후 1300 mm/s의 스캔속도로 레이저 scribing을 진행하여 분할셀 내부에 12 mm 직경의 원 모양으로 1000회 scribing을 진행하였다. 그 후, scribing 부분을 손으로 절단하여 타공형 분할셀을 제작하였다. 타공된 면적은 일반 분할셀의 전체면적의 약 6.8%에 해당된다. 제작된 타공형 분할셀은 전도성 접착제(CA3556HF, Henkel)를 이용하여 접합하여 타공형 스트링을 제작하였다. 전도성 접착제의 경화온도는 140°C이며, 30초동안 경화를 진행하였다⁸⁾.

2.3 특성분석

제작된 타공형 분할셀과 스트링은 전기적 특성 분석을 위하여 각각 solar simulator (WXS-155S-L2, WACOM) 와 PV I-V

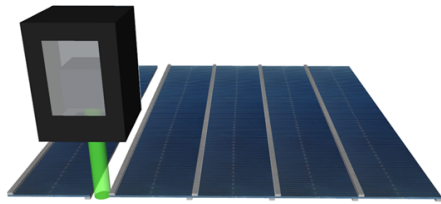


Fig. 1. schematic of the separating cells process

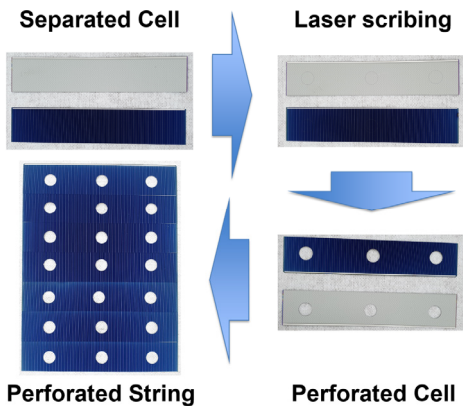


Fig. 2. Schematic of the perforating strings process

analyzer (DKSCT-3T, DENKEN)를 이용하여 AM-1.5-G (100 mW/cm²) 환경에서 전기적 특성 분석을 진행하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 타공되지 않은 일반 분할셀(a)과 타공된 분할셀(b)의 최고 출력(Maximum output power, P_m)을 측정한 그래프이다. 측정의 신뢰도를 높이기 위하여 총 10개의 일반 분할셀을 제작한 후 P_m값을 측정하였으며, 같은 샘플을 타공하여 다시 P_m값을 측정하였다. 일반 분할셀의 경우 평균 최고 출력이 0.98±0.04 W로 나타났으며, 타공된 분할셀의 경우 0.86±0.03 W로 나타났다. 타공으로 인한 P_m는 0.12 W 감소하였으며 약 13% 감소를 나타냈다. 타공 전 분할셀과 타공 후 분할셀의 면적은 각각 49.14 cm²와 45.75 cm²이다. 타공된 면적에 비해 출력감소율이 약 2배 높은 이유에 대해 분석하기 위하여 일반 분할셀과 타공된 분할셀의 I-V 그래프를 확인하였다.

Fig. 4는 타공 되지 않은 일반 분할셀(a)과 타공된 분할셀(b)의 최고 출력 I-V 특성을 측정한 그래프이다. 두 종류 셀의 I-V 특성을 비교하면 I_{sc}와 FF값이 급격히 감소한 것을 확인할 수 있다. 실제로 분할셀에 3개의 구멍을 타공했을 경우, 분할셀의 Series resistance (R_s)와 Shunt resistance (R_{sh})값이 변화하는 것을 확인하였다. R_s값의 경우 33.2±6.0 Ω에서 36.3±8.2 Ω으로 증가하

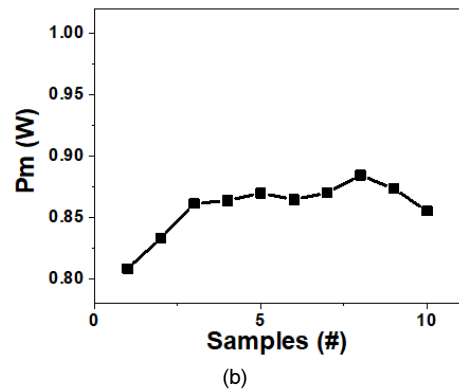
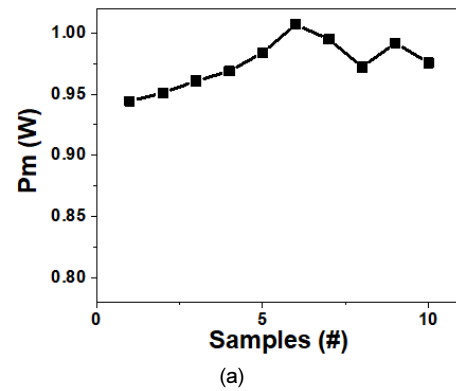


Fig. 3. Maximum output power of (a) separated cells and (b) perforated cells

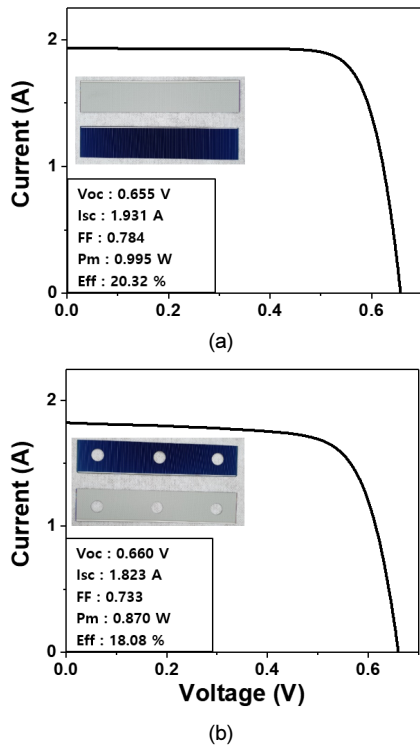


Fig. 4. I-V curves of (a) separated cell and (b) perforated cell

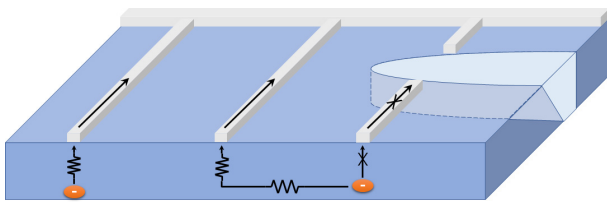


Fig. 5. Schematic of the carrier collection mechanism in perforated solar strings

였고, Rsh값의 경우 $3287 \pm 1372 \Omega$ 에서 $18.3 \pm 3.7 \Omega$ 으로 크게 감소하였다.

이렇게 타공된 분할셀의 전기적 특성이 타공 면적 대비 크게 떨어지는 현상은 다음에서 제시 될 두 가지 영향으로 인해 예측된다. 첫째는 타공 공정의 Laser scribing 및 분할 공정에서 생성된 절단면에서의 누설전류 발생이다. 타공 공정으로 인하여 절단면에 생긴 표면 결함들과 Damage 요인들로 인하여 출력이 감소했을 것으로 판단된다. 이러한 전기적 특성저하를 보완하기 위하여 절단면의 passivation 방안 등을 추후에 연구할 계획이다.

둘째는 타공 공정으로 인해 발생한 Finger bar의 절단으로 인한 소자의 자체저항 증가이다. Fig. 5는 타공 공정으로 인한 Finger bar의 절단으로 캐리어 수집이 어려워지는 이유를 보여주는 계약도이다. 일반적으로 생성된 캐리어는 가장 가까운 전극까지 이동하여 수집되는 반면, 타공된 셀은 Finger bar의 절단으로 인하여 단전되지 않은 Finger bar까지 이동하여 수집되어야 하는 현상이 발생한다. 이로 인하여 태양광에 의해 생성된 캐리어의 수집률이 현격히 저하되는 현상이 발생 될 것으로 예상

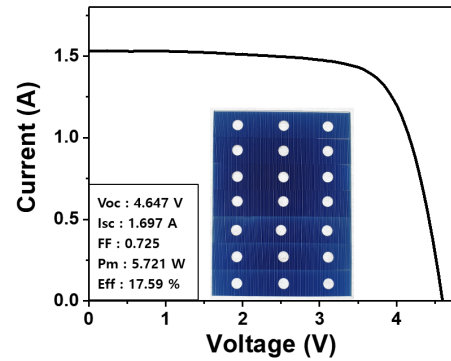


Fig. 6. I-V curve of Perforated string

된다. 이를 해결하기 위하여 캐리어 수집률을 증가 시킬 수 있는 Finger bar의 패턴 최적화 등에 대하여 추후 연구 할 예정이다.

Fig. 6는 타공된 분할셀을 이용하여 스트링을 제작한 후 I-V 특성을 분석한 그래프이다. 총 7개의 타공된 분할셀을 싱글드 구조로 접합했다. 7접합 타공형 스트링은 5.721 W의 출력을 보였으며, 이는 타공되지 않은 분할셀의 7접합 스트링의 이론값 6.86 W 대비 약 17%, 타공된 분할셀의 7접합 스트링의 이론값인 6.02 W 대비 약 5%의 출력 감소율을 보였다. 이를 통해 타공으로 인하여 발생할 출력 저하율이 분할셀 접합 공정에서의 출력 저하율보다 높다는 것을 확인 할 수 있었다. 추후 타공된 스트링을 이용한 투광형 실리콘 태양광 모듈 제작을 위하여 타공으로 인해 발생하는 출력 저하율을 줄일 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 투광형 실리콘 싱글드 태양광 모듈 제작을 위한 요소공정 기술 개발로 실리콘 태양광 셀에 레이저 scribing 방법을 이용하여 타공된 싱글드 스트링 제작에 대한 연구를 진행하였다. 타공으로 인해 감소된 셀 수광부의 면적은 전체 셀 면적 대비 약 6.8%였으며, 타공으로 인해 발생한 셀의 출력 저하율은 약 13%로 확인되었다. 이렇게 수광면적 대비 출력 감소율이 높은 이유는 첫째 타공 공정의 Laser scribing 및 분할 공정에서 생성된 절단면에서의 누설전류 발생과 타공 공정으로 인한 Finger bar의 절단으로 캐리어 수집이 어려워지는 현상에 의한 것으로 판단되며 이를 개선하기 위해 후속연구를 진행 할 예정이다. 마지막으로 타공된 분할셀을 이용하여 스트링을 제작한 후 I-V 특성을 분석했으며, 7접합 타공형 실리콘 스트링에서 5.721 W의 출력을 확보하였다.

후 기

본 연구는 2020년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행한 연구입니다(No.2017301

0013740).

References

1. Cannavale, A., Martellotta, F., Fiorito, F., Ayr, U., "The challenge for building integration of highly transparent photovoltaics and photoelectrochromic devices," *Energies*, Vol. 13, pp. 1929, 2020.
2. Park, J., Lee, K., Park, J., "Research of efficient power operation technology linked by construction material type BIPV module and ESS," *Journal of KIIT*, Vol. 18, pp. 79-86, 2020.
3. Lee, K. S., Lim, J. W., Kang, M. K., Kim, K. H., Ryu, H. J., "Self-powered smart window technologies using photovoltaics," *Electronics and Telecommunications Trends*, Vol. 34, pp. 36-47, 2019.
4. Zahid, M. A., Chowdhury, S., Mallem, K., Cho, E., Yi, J., "Review on the progress in building integrated photovoltaic materials and module technology," *New & Renewable Energy*, Vol. 15, pp. 117-154, 2019.
5. Rosa, F., "Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in historical buildings: Opportunities and constraints," *Energies*, Vol. 13, pp. 3628, 2020.
6. 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.
7. 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.
8. Park, M., Song, J., Jee, H., Moon, D., Jeong, C., "Improvement in power of shingled-type photovoltaic module by control of overlapped width," *Journal of the Korean Physical Society*, in press.