

# 고출력 싱글드 태양광 모듈 컬러 적용에 따른 출력 특성 분석

김주희 · 이재형\*

전자전기컴퓨터공학과, 성균관대학교, 수원, 16419

## Analysis of Power Characteristics of High-Power Shingled Photovoltaic Module with Color Application

Juhwi Kim · Jaehyeong Lee\*

Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, 16419, Korea

Received August 11, 2022; Revised September 6, 2022; Accepted September 6, 2022

**ABSTRACT:** BIPV (Building Integrated Photovoltaic) supplemented the minimum area problem required when installing existing solar modules. However, in order to apply it to buildings, research was needed to increase the aesthetics of solar modules and use them as a design. Accordingly, modules with color applied to the entire surface of the photovoltaic module were being developed, but there was a disadvantage of low power. Therefore, by dividing and bonding the cell strips, it was possible to improve the output power by applying a shingled technology in which other divided cells overlap in a busbar region where light couldn't be received. Shingled technology was advantageous for color modules because the front busbar part that degrades aesthetics was removed. In this research, four color shingled solar modules (Green, Yellow, Blue, Gray) were manufactured and power degradation was analyzed by measuring transmittance and reflectance. Gray color had 80.83% transmittance, which was 31.31% higher than Yellow, resulting in a power difference of 4.45 W.

**Key words:** BIPV, Shingled Module, Color PV, Color Transmittance

### Nomenclature

Active area : 실제 면적,  $\text{cm}^2$

$P_m$  : 출력, W

$I_{sc}$  : 단락 전류, A

$V_{oc}$  : 개방 전압, V

$V_{pm}$  : 최대출력전압, V

$I_{pm}$  : 최대출력전류, A

FF : Fill Factor, %

Eff : 효율, %

$\Delta P_m$  : 출력 차이, W

### Subscript

BIPV : Building Integrated Photovoltaic Module

PV : Photovoltaic

### 1. 서론

태양광 발전은 태양광 모듈을 설치하기 위한 최소 면적이 필요하기 때문에 주로 도시 외곽 지역에 대규모로 설치된다. 하지만 2020년부터 공공기관을 바탕으로 제로에너지빌딩(ZEB)이 의무화됨에 따라 태양광 모듈을 건물에 설치하여 발전하는 건물일체형 태양광 모듈(BIPV, Building Integrated Photovoltaic Module)에 대한 관심이 증가하고 있다.<sup>1,2)</sup> BIPV는 기존 태양광 모듈 설치 시, 최소 면적이 필요하다는 단점을 보완하며 태양광 모듈의 심미성을 높여 하나의 디자인으로 사용하기 위한 연구가 필요하다. 태양광 모듈의 미적 요소를 높이기 위해서는 전면에 커버 글라스에 컬러를 적용한다. 하지만 컬러를 전면에 적용할 경우 심미성은 높아지지만 발전 효율이 낮아지는 단점이 발생한다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 고출력 및 고효율이 가능한 싱글드 태양광 기술의 적용이 필요하다.<sup>3-5)</sup> 싱글드 태양광 기술의 경우 태양전지를 레이저를 사용하여 분할한 이후, 분할 셀들을 전기전도성접착제(ECA, Electrically Conductivity Adhesives)를 사용하여 접합하는 기술이다.<sup>6-8)</sup> 전면에서 빛을 수광하지 못하고 심미성을 저하시키는 버스바 영역에 다른 분

\*Corresponding author: jaehyeong@skku.edu

할 셀이 오버랩 되기 때문에 컬러 적용 시 내부 태양전지가 보이지 않고 모듈의 출력을 높일 수 있다. 또한, 동일 면적 대비하여 더 많은 태양전지 적용이 가능하며 모듈의 크기 변경이 쉽기 때문에 BIPV에 가장 알맞은 기술이다.

본 연구에서는 모듈의 심미성을 높이기 위하여 컬러를 적용한 싱글드 태양광 모듈을 제작하였으며 컬러 종류에 따른 태양광 모듈의 출력 특성을 비교, 분석하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 싱글드 스트링 제작 방법

본 논문에서는 컬러 적용에 따른 싱글드 태양광 모듈의 특성을 비교하기 위하여 p-type 단결정 PERC 실리콘 태양전지 (22.2%, 15.675 × 15.675 cm<sup>2</sup>)를 사용하였다. 싱글드 스트링을 제작하기 위하여 단결정 태양전지를 나노초 펄스 그린레이저 (AVIA NX 532-65, COHERENT, USA) 장비를 사용하여 Scan speed 1,600 mm/s, 반복 횟수 34회, Frequency 50 kHz, Current 80%의 조건으로 분할하였다. 분할된 각 태양전지들은 전기전도성접착제 ECA (Loctite ICP-8311, Henkel, USA)를 분사량 100 rpm, 오버랩 1.4 mm 조건으로 접합하여 17접합 싱글드 스트링을 제작하였다.

### 2.2 컬러 싱글드 태양광 모듈 제작 방법

Nb2O5 무기물 다층막 코팅처리 및 플라즈마 박막 증착<sup>9)</sup>을 통해 색감을 구현한 컬러 글라스(OKTOKI, (주) 옥토끼 이미징)를 사용하여 Green, Yellow, Blue, Gray 4가지 종류의 컬러 싱글드 태양광 모듈을 제작하였다. Fig. 1과 같이 컬러에 따른 출력을 비교하기 위해 투과율 및 반사율을 UV-Vis-NIR Spectrophotometer (Cary5000, Agilent, USA) 적분구 측정장비를 사용하여 5 × 5 cm<sup>2</sup> 사이즈의 컬러글라스를 측정하였다.

컬러 태양광 모듈의 적층 구조는 기존의 태양광 모듈과 동일하지만 컬러의 균일도를 높이기 위하여 단결정 태양전지의 색

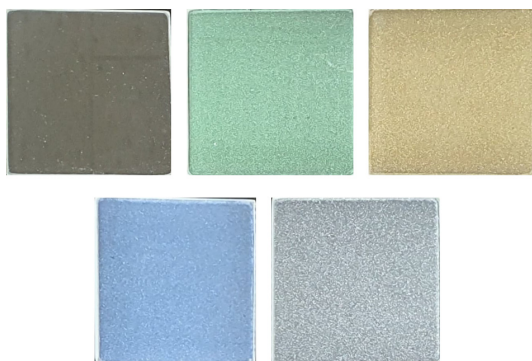


Fig. 1. 5 × 5 cm<sup>2</sup> color glass sample - Non-color, Green, Yellow, Blue, Gray

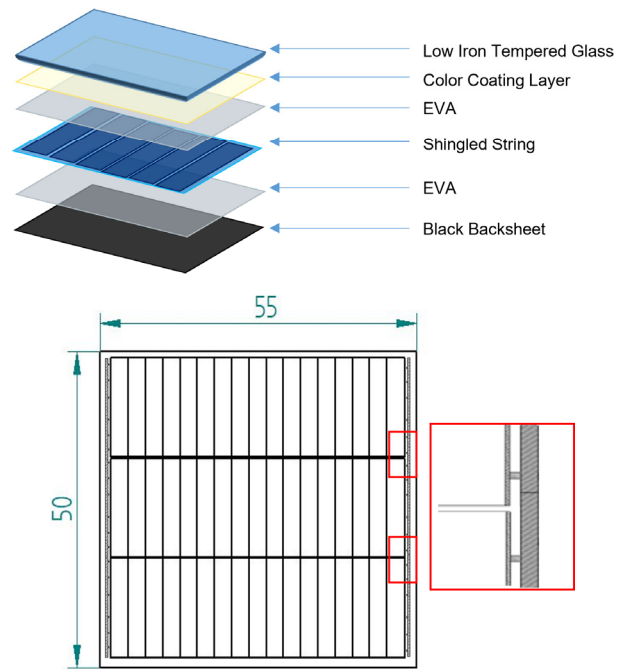


Fig. 2. Lay-out and structure of color shingled photovoltaic module

과 유사한 검정 백시트를 적용하였다. 커버 글라스의 사이즈는 50 × 55 cm<sup>2</sup>으로 컬러층을 안쪽방향으로 하여 보호하고 Mist 타입의 커버 글라스의 요철이 외부로 나타나도록 위치해 빛이 반사되어 비치는 현상을 줄였다. 모듈의 구성요소는 컬러 커버글라스-EVA-Shingled String-EVA-Black backsheet로 구성되었고 150°C의 온도에서 라미네이션 공정을 거쳐 하나의 태양광 모듈로 제작하였다. Fig. 2는 컬러 싱글드 태양광 모듈의 적층 구조 및 싱글드 스트링 3개를 병렬 연결한 모듈 구조를 나타내었다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 제작한 컬러 싱글드 태양광 모듈을 나타낸 것으로 Non-color, Green, Yellow, Blue, Gray 종류의 컬러 싱글드 모듈이다. 기존 모듈인 Non-color와 비교하였을 때, 컬러 모듈의 경

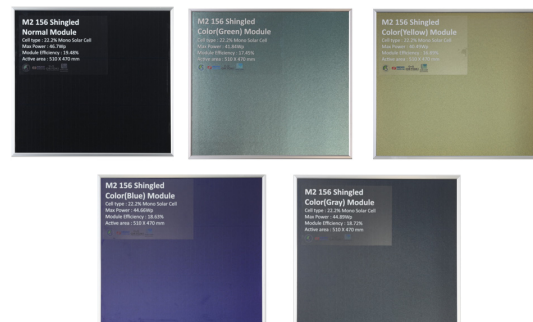


Fig. 3. Color shingled PV - Non-color, Green, Yellow, Blue, Gray

우 내부의 스트링이 눈에 띄지 않으며 컬러에 따라 심미성이 높아졌다.

Table 1은 제작된 컬러 싱글드 태양광 모듈의 특성을 나타내었다. 컬러 종류에 따른 출력 특성을 비교하기 위해 STC조건 (AM 1.5G, 온도 25°C, 광량 1,000 W/m<sup>2</sup>)을 만족하는 솔라 시뮬레이터(DKSMT-1520SUL, DENKEN, Japan)를 사용하여 측정하였다. 효율의 경우 사용된 싱글드 스트링의 면적(Active area)으로 계산하였다.

Non-color 싱글드 모듈의 출력 46.69 W에 비해 Green 컬러 모듈은 4.87 W이 감소된 41.82 W, Yellow 컬러 모듈은 6.25 W가 감소된 40.44 W로 가장 낮았다. Blue와 Gray 모듈에서는 다른 컬러에 비해 출력 값의 변화가 2.04 W 및 1.8 W로 상대적으로 적었다. Fig. 4는 컬러 종류에 따른 여러 파라미터들의 차이를 그래프로 표현하였으며 파라미터들 중 단락 전류(Isc)가 출력 저하의 주요 원인으로 나타났다.

태양광 모듈의 컬러 종류에 따라 발생하는 Isc 값의 차이를 분석하기 위하여 컬러 글라스의 투과율 및 반사율을 측정하여 비교하였다. Fig. 5는 300 ~ 1,100 nm 파장대에서 컬러의 투과율 및 반사율을 나타내었으며 Table 2는 해당 영역에서의 평균 값이다.

실리콘 태양전지의 주요 동작 범위인 300 ~ 1,100 nm 파장

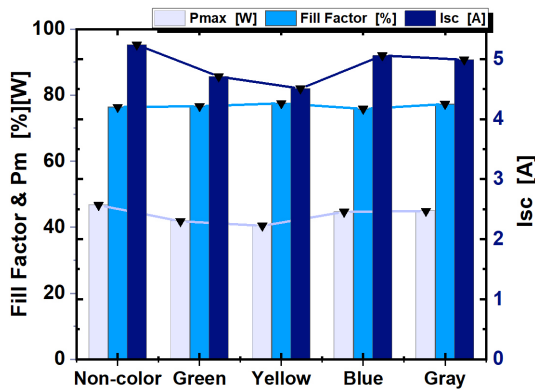


Fig. 4. Deviation of output according to Fill Factor and Isc

Table 1. Characteristics of color shingled PV

Parameter (Measurement)	Non-color	Green	Yellow	Blue	Gray
Active area [cm <sup>2</sup> ]	2,400.86	2,400.86	2,400.86	2,400.86	2,400.86
Pm [W]	46.69	41.82	40.44	44.65	44.89
Isc [A]	5.24	4.71	4.51	5.06	4.99
Voc [V]	11.66	11.59	11.58	11.63	11.65
Vpm [V]	9.34	9.51	9.45	9.43	9.63
lpm [A]	5.00	4.40	4.28	4.73	4.66
FF [%]	76.39	76.66	77.51	75.82	77.29
Eff [%]	19.45	17.42	16.85	18.60	18.70
ΔPm [W]	-	-4.87	-6.25	-2.04	-1.8

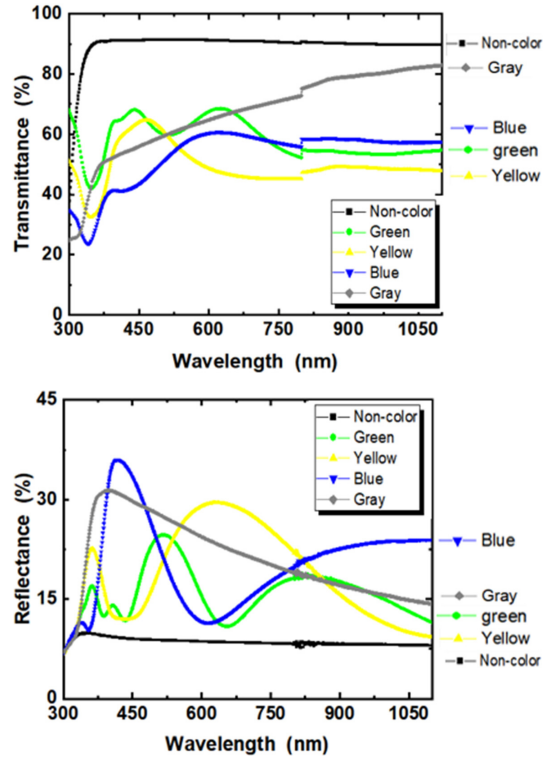


Fig. 5. Transmittance and reflectance according to color - Transmittance & Reflectance

Table 2. Average value (300~1100 nm) of transmittance and reflectance

Type	Unit	Transmittance	Reflectance
Non-color	[%]	85.74	8.12
Green	[%]	58.61	13.81
Yellow	[%]	49.52	14.47
Blue	[%]	61.15	20.15
Gray	[%]	80.83	14.40

대<sup>10,11)</sup>에서의 투과율 및 반사율을 비교한 결과, Gray 컬러의 투과율이 80.83%로 최저인 Yellow 컬러의 47.23%보다 26.7% 더 높았다. 반사율의 경우 해당 컬러의 영역대에서 반사율이 최고치를 기록하여 해당 컬러가 구현되었으며 Yellow 모듈이 19.35%로 18.45%인 Gray 모듈과 0.89% 차이가 발생하였다. 이는 동일한 광이 조사되었을 때, 태양전지까지 도달하는 빛의 양이 Gray 컬러가 다른 컬러들보다 많아 발전효율이 좋기 때문에 non-color 모듈과 비교 시 출력 저하가 가장 적음을 의미한다. Blue 컬러 모듈의 경우 빛의 파장대가 짧고 높은 에너지 밀도를 지니기 때문에<sup>12)</sup> Gray 컬러보다 낮은 투과율을 지님에도 출력 손실이 적게 발생한다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 건물에 적용하기 위하여 심미성을 높인 싱글

드 태양광 모듈의 컬러에 따른 출력을 비교하였다. 컬러 색감을 높이기 위하여 표면이 더 어두운 Mono PERC 태양전지를 사용하여 스트링을 제작하였으며 전면에 컬러 커버글라스를 적용하여 Green, Yellow, Blue, Gray 총 4가지 종류의 컬러 싱글드 태양광 모듈의 특성을 비교하였다. 모듈 출력의 경우 Non color 모듈 - 46.69 W, Green - 41.82 W, Yellow - 40.44 W, Blue - 44.65 W, Gray - 44.89 W로 Gray 컬러에서의 출력 저하가 가장 적었다. 컬러 적용에 따라 가장 크게 바뀐 파라미터가 단락 전류임을 확인하였으며 이를 분석하기 위해 컬러 글라스의 투과율 및 반사율을 측정하였다. 출력 특성이 가장 높았던 Gray 컬러의 투과율이 80.83%로 4.91% 저하가 발생하였으며 Yellow 컬러의 투과율은 49.52%로 36.22% 감소되어 6.25 W의 출력 저하가 발생하였다. 이는 컬러 싱글드 모듈을 건물에 적용할 경우 Gray 컬러 모듈의 발전효율이 뛰어나고 출력 저하가 적음을 의미한다. 이후 연구에서는 컬러 파장대를 넓혀 컬러의 종류에 따라 발생하는 온도 특성을 비교하여 실제 건물에 적용하였을 때의 출력 비교에 관한 연구가 필요하다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술 평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No.20203030010200).

## References

1. Feldman, David, Dummit, Krysta, Zuboy, Jarett, Heeter, Jenny, Xu, Kaifeng, and Margolis, Robert, Winter 2021/2022 Solar Industry Update. United States: N. p., 2022. Web.
2. Mehrdash, Mahdi, et al., "An enhanced optimal PV and battery sizing model for zero energy buildings considering environmental impacts," *IEEE Transactions on Industry Applications* 56.6: 6846-6856 (2020).
3. Linus Idoko, Olimpo Anaya-Lara, Alasdair McDonald, Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique, *Energy Reports*, Vol. 4, pp. 357-369 (2018).
4. H. Lim, S.H. Cho, J. Moon, D.Y. Jun, S.H. Kim, Effects of Reflectance of Backsheets and Spacing between Cells on Photovoltaic Modules. *Appl. Sci.*, 12, 443 (2022).
5. Park, Ji-Su, et al., "Design of high-power and high-density photovoltaic modules based on a shingled cell string," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 20.11: 6996-7001 (2020).
6. H. Jee, S. Lee, C. Jeong, J. Lee, "Electrically conductive adhesives and the shingled array cell for high density modules," *J. Nanosci. Nanotechnol.* Vol. 19, pp. 1360-1363, Mar. 2019.
7. S. E. Lee, J. S. Park, W. J. Oh, J. H. Lee, "Effect of laser scribing in high efficiency crystal photovoltaic cells to produce shingled photovoltaic module," *J. Korean Inst. Electr. Electron. Mater. Eng.*, Vol. 33, pp. 291-296. Jul. 2020.
8. D. Tonini, G. Cellere, M. Bertazzo, A. Fecchio, L. Cerasti, M. Galiasso, "Shingling Technology For Cell Interconnection: Technological Aspects And Process Integration," *Energy Procedia*, Vol. 150, pp. 36-43, Sep. 2018.
9. Yu, Chao, et al., "Solvothermal growth of Nb2O5 films on FTO coated glasses and their electrochromic properties," *Ceramics International* 47.7: 9651-9658 (2021).
10. Jo, So-Hye, and Il-Gi Han, "태양전지 효율향상을 위한 태양광 스펙트럼 변환기술," *Information Display* 15.1: 32-40 (2014).
11. W.G.J.H.M. van Sark, A. Meijerink and R.E.I. Schropp, Solar Spectrum Conversion for Photovoltaics Using Nanoparticles, Third Generation Photovoltaics, Ed. by Dr. Vasilis Fthenakis (2012).
12. 김대성, et al., "Dot 패턴 기반 컬러 태양광 모듈의 심미성 향상 및 고효율화 연구," 한국태양에너지학회 논문집 41.4: 39-47 (2021).