

# BIPV 적용을 위한 컬러 필름 기반의 출력 특성 연구

남혜령 · 문지연 · 전다영 · 박고등 · 오토곤게렐 줄만다크 · 권오련 · 임현수 · 김성현\*  
신재생에너지연구센터, 한국전자기술연구원, 성남, 13509

## A Study on Color Film-based Output Characteristics for BIPV Application

Hyeryeong Nam · Jiyeon Moon · Da Yeong Jun · Godeung Park · Zulmandakh Otgongerel · Oryeon Kwon · Hyunsoo Lim · Sung Hyun Kim\*

New & Renewable Energy Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Seongnam, 13509, Korea

Received April 17, 2023; Revised May 23, 2023; Accepted May 23, 2023

**ABSTRACT:** Expanding the supply of BIPV is crucial to strengthening the competitiveness of the photovoltaic industry and achieving Nationally Determined Contributions through the zero-energy building mandatory policy. BIPV is a technology that integrates into the building envelope to generate electricity and provide functions as a building material. It is suitable for domestic environments with many high-rise buildings due to the narrow land area and urbanization. To expand the supply of BIPV, economics, safety, and aesthetics must be ensured. In this study, a color BIPV module with a color PET film applied as a front material was manufactured for aesthetic and economic feasibility. The relationship between power output and transmittance according to color was analyzed. By analyzing the power output of the module and the transmittance of the film, the wavelength band (transmittance reduction band) that has the greatest effect on efficiency was analyzed regarding the color of the film. The red film showed the narrowest transmittance reduction band and the lowest degree of decrease in transmittance, making it ideal for minimizing the efficiency decrease rate compared to existing ones.

**Key words:** Color BIPV, Film-based PV, Color film, Transmittance

### Nomenclature

T : transmittance, %  
T<sub>AREA</sub> : transmittance area  
P<sub>MAX</sub> : max power, W  
V<sub>OC</sub> : open circuit voltage, V  
I<sub>SC</sub> : short circuit current, A  
FF : fill factor  
Eff : efficiency, %

### 1. 서론

국가온실가스감축목표(NDC) 달성을 위한 제로에너지건축물 의무화 추진과 태양광 산업생태계 경쟁력 강화를 위해서는 건물일체형 태양광(Building Integrated Photovoltaics, BIPV)

의 보급이 매우 중요하다고 할 수 있다. BIPV는 별도의 부지를 필요로 하지 않고 태양전지를 외벽, 지붕, 창호와 같이 건물 외피에 통합하여 태양광 발전과 건축 기능을 모두 제공하는 기술로 좁은 국토면적과 높은 인구밀도를 가진 국내 보급환경에 적합한 장점이 있다. '22년 기준 국내 BIPV 설치량은 전체 태양광의 32% 수준(7.0 GW)이지만 '25년 제로에너지건축물 의무화가 민간건축물로 확대 시행되면 보급이 크게 확대될 것으로 기대되고 있다<sup>1)</sup>.

일반적으로 사용되는 PV 모듈은 발전효율을 최대화하는 것을 목적으로 검은색 또는 청색 계열로 제작되어 건물에 적용할 경우 디자인적 한계가 있다. 이에 비해 색상을 구현한 컬러 BIPV는 전력 생산을 위한 태양광 시스템으로서의 성능을 확보하면서 다른 건자재와 융합 및 심미성을 높여 건물의 가치를 향상시킬 수 있어 수요가 증가하고 있다.

PV 모듈에 색상을 구현할 경우 고유의 광학 특성과 발전 성능에 변화가 발생하는데 이에 대해 재료, 디자인, 성능 등 다양한 측면에 초점을 맞춘 컬러 BIPV에 대해 연구가 진행되어 왔다<sup>2-9)</sup>. 특히, 심미성을 강조하기 위한 컬러 구현 방식 등에 대한 연구가

\*Corresponding author: shkim@keti.re.kr

활발히 이루어져 왔다.

최근의 연구에서 태양광 모듈의 색상을 구현하는 방법으로 내외부 표면의 착색 코팅, 컬러 충전재(Encapsulants) 사용, 컬러 태양전지 사용, 모듈의 중간층에 추가재료 내장, 전후면 커버의 컬러 소재 사용 등의 방식이 주로 차용되고 있다<sup>10)</sup>.

이 중 전후면 커버의 컬러 소재를 사용하는 방식은 컬러 폴리머 소재, 컬러 유리 등의 재료가 사용되며 일반적으로 단색의 표현이 가능하고, 이로 인해 가시광선 스펙트럼의 선택적 반사로 효율손실을 적당한 수준으로 제한할 수 있다<sup>11)</sup>.

기존의 연구 사례에서 컬러 폴리머 소재를 사용한 BIPV 모듈에 대한 연구는 부족한 상황이며, 컬러 BIPV의 색상에 따른 투과율과 출력 특성에 대한 잠재적인 영향을 완전히 이해하기에는 불충분했다.

본 연구에서는 심미성과 경제성(효율저하 최소화) 확보 측면에서 안료를 이용한 Color PET (Poly -ethylene terephthalate) film을 전면 소재로 적용한 모듈을 제작하고 색상에 따른 출력과 투과율의 관계에 대해 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

모듈에 사용된 컬러 필름은 베이스 필름 사이에 컬러 점착용액을 도포하는 형태로 제작되었다. 컬러 점착용액은 점착제 대비 안료를 1~5% 내지로 함유하여 3가지 색상(Red, Green, Blue)으로 제조하였다. 제조한 점착용액은 PET film 상단에 도포 후 bar를 사용하여 10 μm 코팅을 진행하였다. 이후 120°C에서 2분 동안 건조한 후 동일한 두께의 PET film으로 합지하였다.

기준 모듈에 사용된 투명 불소 필름은 베이스 필름(PET film)에 전면 FAS (불소 코팅 소재), 후면 배리어 코팅된 형태로 제작되었다. Fig. 1은 제작한 컬러필름과 투명 불소 필름의 구조를 나타내었다.

제작된 컬러 필름의 색상품질 검토를 위해 색좌표 측정 장치(Konika Minolta, CS2000)를 사용하여 색좌표(CIE1931 기준)를 측정하였으며 광학적 특성을 확인하기 위해 UV-Vis/NIR Spectro -photometer (Jasco, V-670)를 사용하여 300~1200 nm

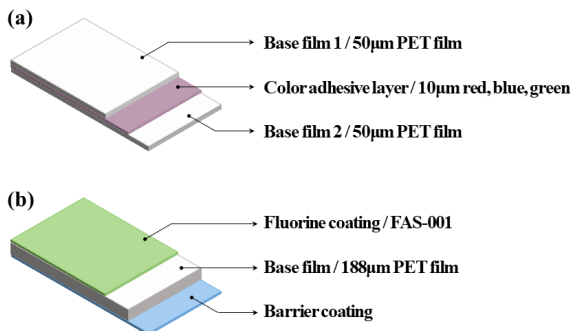


Fig. 1. Structure of color film (a) and Transparent fluorine film (b)

파장에서 필름의 투과율을 측정하였다.

모듈을 제작하기 위해 M6 (166 mm\*166 mm) 사이즈의 Jollywood社 양면형 n-TOPCon(9BB) cell을 이용하여 IR laser (SJ INNOTECH, SMLS-16S)로 절단한 half cell을 이용하였다. Cell과 cell 간격을 2 mm 고정하여 12개의 half cell을 multi-busbar interconnection을 통해 스트링(string)을 제작하였고, 5개의 스트링을 직렬 연결하여 모듈회로를 구성하였다. 모듈의 충전재로 EVA를 사용하였고 전면부에 필름, 후면부에 유리를 이용한 구조로 Fig. 2와 같이 모듈을 제작하였다.

상기 언급한 컬러 필름을 사용한 모듈 및 투명 불소 필름을 사용한 모듈을 모두 같은 방법으로 제작하였다. 총 4개의 태양광 모듈에 대해 1 Sun (1000 W/m<sup>2</sup>) 조건에서 솔라 시뮬레이터로 전기적 특성을 측정하여 투과율과 상관관계를 분석하였다.

## 3. 결과 및 논의

### 3.1 필름의 광학적 특성 측정 결과

컬러 필름은 Fig. 3과 같이 제작되었으며 Red, Blue, Green 필름의 색좌표는 각각 CIE (0.3458, 0.3280), CIE (0.2994, 0.3328), CIE (0.2757, 0.3475)로 측정되었다.

대조군인 투명 불소 필름(Transparent-F (Ref))과 컬러 필름(Red-F, Blue-F, Green-F)에 대한 투과율 분석 결과를 Table 1과 Fig. 4에 나타내었다.

컬러 필름의 평균 투과율(T)은 Red-F 79.56%, Blue-F 77.75%, Green-F 73.66%로 측정되었으며, 색상에 따라 최대 5.9%까지

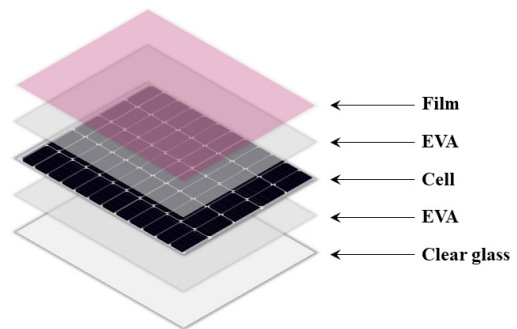


Fig. 2. Module stack structure

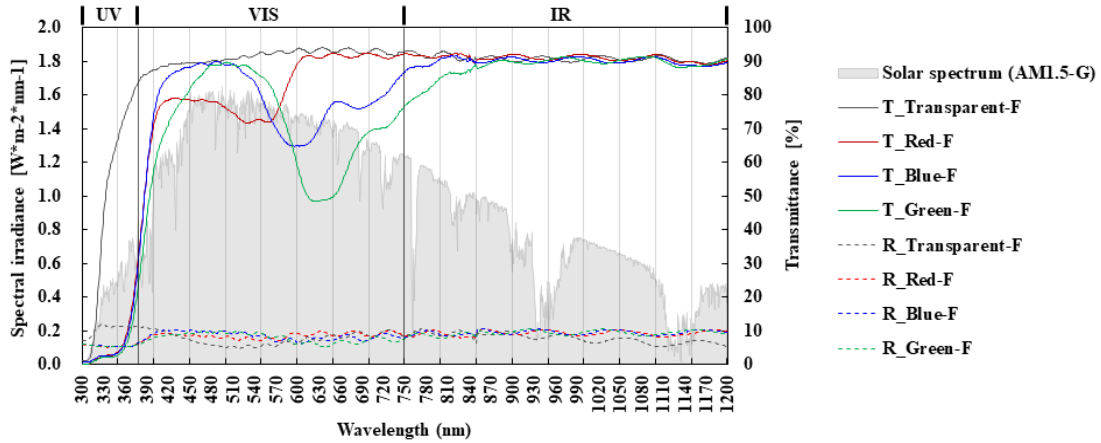


Fig. 3. Color film sample (a) and cell covered with color film (b)

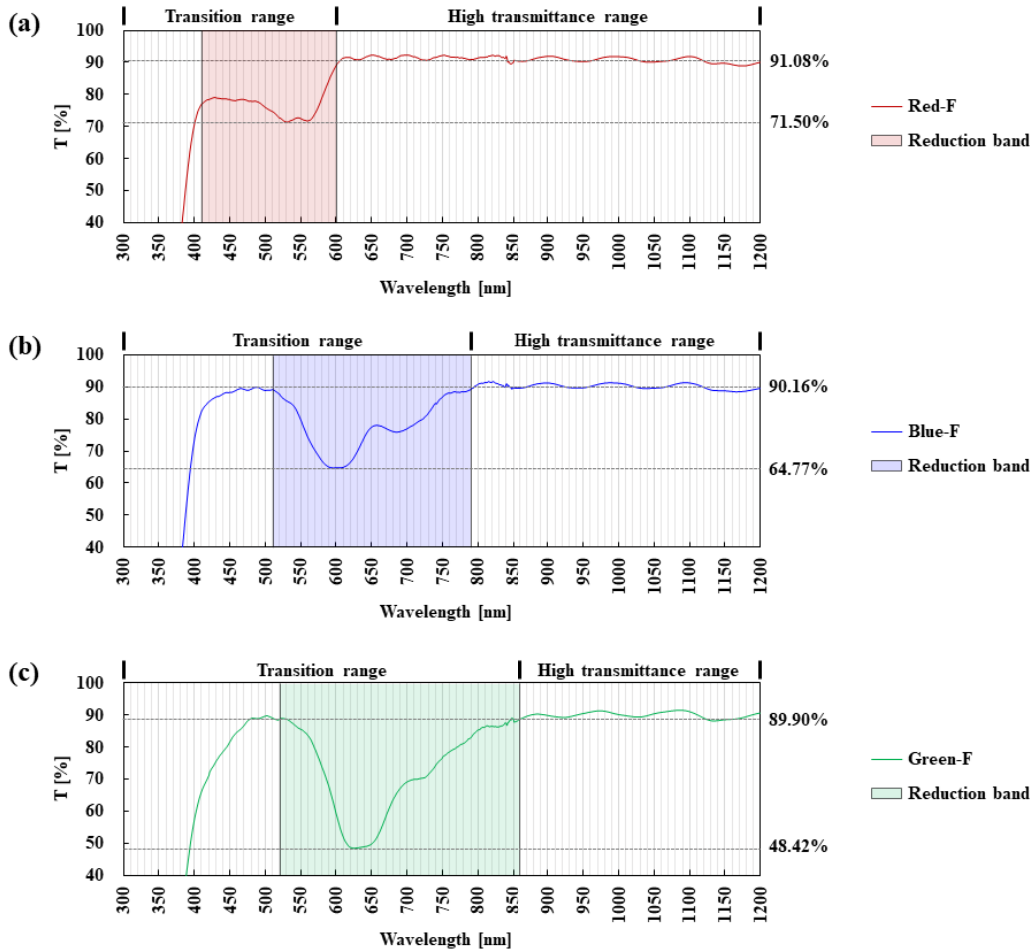
**Table 1.** Optical properties of the films

	Transparent-F (Ref)	Red-F	Blue-F	Green-F	Change rate [%]		
					Red-F	Blue-F	Green-F
T [%]	87.22	79.56	77.75	73.66	-8.79	-10.87	-15.55
T <sub>AREA</sub>	78,544	71,638	70,006	66,324	-8.79	-10.87	-15.56

\*Wavelength: 300~1200 nm



**Fig. 4.** Graph of transmittance and spectral irradiation intensity of films



**Fig. 5.** Graph of transmittance (a) Red-F, (b) Blue-F, (c) Green-F

차이가 나고 Ref와 비교했을 때 13.56%까지 차이가 났다. Ref 대비 변화율(Change rate)로는 Green-F -15.55%, Blue-F -10.87%로 나타났으며 Red-F에서 -8.79%로 투과율 저하가 가장 낮게 나타났다.

투과면적( $T_{AREA}$ )은 Fig. 4의 파장에 따른 필름의 투과율 그래프의 면적에 해당하는 값으로 파장에 따라 투과되는 입자량을 의미하며 평균 투과율의 Ref 대비 저하율과 거의 동일하게 감소됨을 확인할 수 있어 평균 투과율을 증점적으로 분석하였다.

Fig. 4에서 Transparent-F의 투과율은 300 nm 파장부터 빠르게 상승해 380 nm 이후에는 평균 투과율 91.07%로 나타나고 있다. 반면에 Red-F, Blue-F, Green-F의 경우 가시광선 파장(VIS)에서 색상에 따라 다른 형태의 투과율 감소 peak가 발생해 적외선 일부영역까지 이어지고 있다. 효율에 영향을 미치는 파장대를 더욱 명확히 분석하기 위해서 이 구간을 투과율 감소 대역(Transmittance reduction band, RB)으로 설정하고 peak의 모양으로 상대적인 투과율 감소 정도를 비교 분석하였다.

RB는 초반 투과율 상승 이후 하락추세로 변동하는 지점부터 상대적으로 높은 투과율로 유지되는 고투과율 대역(HT)에 도달하기 전까지로 설정하였으며 Fig. 5와 같이 나타난다.

각 필름의 RB는 Red-F 410~600 nm, Blue-F 510~790 nm, Green-F 520~860 nm로 Red-F가 가장 좁고, Blue-F, Green-F 순으로 넓게 나타났으며 투과율 감소폭에 해당하는 peak의 깊이도 Red-F가 가장 얇고, Blue-F, Green-F 순으로 깊게 나타났다. 투과율 감소폭은 HT의 평균 투과율과 RB에서의 최저 투과율의 차이로 산출하였으며 Red-F 19.58%p, Blue-F 25.39%p, Green-F 41.48%p의 투과율 감소가 발생하는 것으로 분석된다.

필름을 적용하여 제작된 모듈에 대해 Fig. 6에 나타냈고 제작된 모듈의 특성을 비교하기 위해 솔라 시뮬레이터로 측정된 결과를 Table 2에서 보여주는 바와 같이 최대출력( $P_{MAX}$ ), 개방전

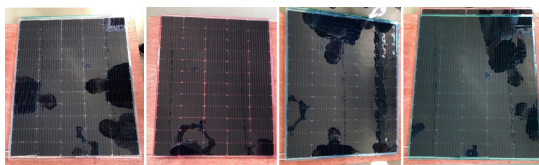


Fig. 6. Color BIPV module sample (Transparent, Red, Blue, Green)

Table 2. Electrical properties of the modules

	Transparent-PV (Ref)	Red-PV	Blue-PV	Green-PV	Change rate [%]		
					Red-PV	Blue-PV	Green-PV
$P_{MAX}$ [W]	180.46	168.13	162.71	148.73	-6.84	-9.84	-17.59
$V_{OC}$ [V]	41.71	41.52	41.46	41.34	-0.47	-0.61	-0.89
$I_{SC}$ [A]	5.36	5.01	4.81	4.46	-6.48	-10.15	-16.69
FF [-]	0.808	0.808	0.816	0.806	0.092	0.962	-0.182
Eff [%]	19.98	18.62	18.02	16.47	-6.84	-9.84	-17.59

\*Module area [ $m^2$ ]: 0.903

압( $V_{OC}$ ), 단락전류( $I_{SC}$ ), 충전율(FF), 효율(Eff)로 정리하였다.

컬러 필름을 적용한 모듈의 효율은 Red-PV, Blue-PV, Green-PV 순으로 높게 나타났다.

Ref 대비 효율은 Red-PV, Blue-PV, Green-PV 순으로 각각 1.37, 1.97, 3.51%p 낮아졌으며, 출력은 각각 12.34, 17.75, 31.73 W 낮게 나타났다.

출력과 효율의 Ref 대비 변화율은 Green-PV -17.59%, Blue-PV -9.84%로 나타났으며 Red-PV에서는 -6.84%로 가장 낮은 출력 저하가 발생했다.

전압에서는 Ref 대비 변화율이  $\pm 1\%$  미만으로 유의미한 변화는 나타나지 않았으나 전류에서 저하된 값은 약 0.3~0.9A로 Ref 대비 저하율이 6.35~17.43%로 높게 나타났다. Fig. 7의 I-V 곡선에서도 모듈별 전류의 저하가 출력에 주요하게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다.

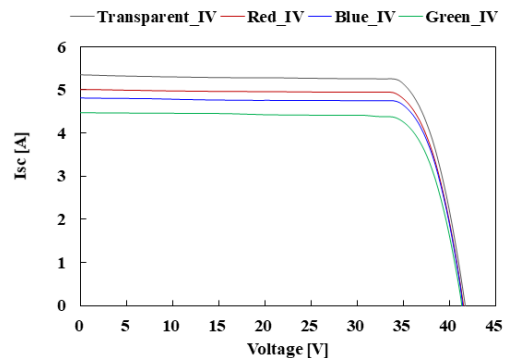


Fig. 7. I-V curve of module

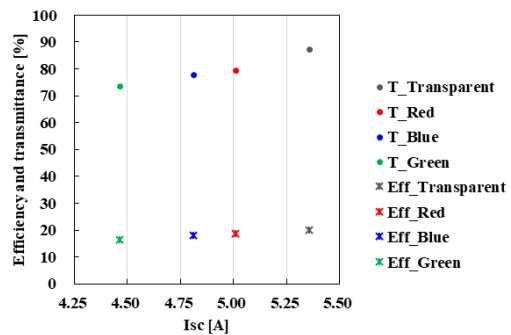


Fig. 8. Efficiency and transmittance change according to  $I_{SC}$

Fig. 8은 전류의 변화에 따른 컬러 모듈의 효율과 필름의 투과율 변화를 나타낸 분산그래프로 전류, 효율, 투과율이 선형적 관계가 있음을 확인할 수 있다.

전면 커버로 컬러 필름을 사용할 경우, 빛을 투과시킴과 동시에 표현하고자 하는 색상에 대한 파장대의 가시광선을 반사시켜야하므로 태양전지로 전달되는 빛의 양이 감소하게 되고 이로 인해 생성되는 전류의 양도 감소하게 된다. 즉, 효율에 영향을 미치는 색상고유의 투과율 감소 대역이 발생함을 시사하고 있으며 각 필름의 투과율 감소대역(RB) 분석 결과, Red-F 410~600 nm, Blue-F 510~790 nm, Green-F 520~860 nm 대역이 해당 필름을 사용할 때 효율에 가장 크게 영향을 미치는 파장범위로 분석된다.

또한 평균 투과율의 Ref 대비 변화율이  $I_{sc}$ 의 Ref 대비 변화율과 가장 매칭이 되고 있어 컬러필름 기반 모듈의 발전 성능을 분석할 때 평균 투과율로 분석하는게 유용할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

안료를 이용해 색상을 구현한 컬러 필름과 출력과의 상관관계를 파악하기 위해 컬러 필름 기반의 PV 모듈을 제작하고 색상에 따른 출력과 투과율의 관계에 대해 분석하였다.

대조군을 포함한 총 4개의 모듈을 제작하였으며, 컬러 필름은 PET 필름 사이에 색상을 코팅하여 제작하였다(투과율 약 73~80%).

출력 측정 결과, 컬러 필름 기반의 태양광 모듈에서 색상에 따라 출력차이가 발생하였으며, 컬러 모듈 중 Red 필름을 적용한 모듈에서 기준 효율의 93.16%(기준 대비 출력 저하율 6.84%)까지 구현이 가능하였다.

컬러 필름 적용으로 인한 투과율 변화가 전류와 효율 저하의 주요인임을 확인하였으며 가시광선 파장에서 발생하는 색상고유의 투과율 감소 대역에 대해 분석하였다. 투과율 감소 대역은 컬러 필름에서 효율에 가장 크게 영향을 미치는 파장 대역으로 Red 필름 410~599 nm, Blue 필름 510~789 nm, Green 필름 520~859 nm로 나타났다.

Red 필름에서 투과율 감소 대역이 가장 좁고 투과율의 저하 정도가 가장 낮게 나타나 Red 필름을 적용한 모듈이 기준 대비 효율 저하율을 최소화할 수 있는 것으로 분석된다.

컬러필름 기반의 PV 모듈에서 색상에 따라 투과율 감소 대역 및 폭 축소로 투과율 손실을 최소화한다면 효율이 개선될 것으로 기대된다.

#### 후 기

본 연구는 산업통상자원부의 신재생에너지기술개발사업(20213030010290, 20223030010200)의 일환으로 수행되었습니다.

#### References

1. Ministry of Trade, Industry and Energy, Building integrated photovoltaics (BIPV) industrial ecosystem revitalization plan, KR, October 2022.
2. Lee, H. M., Lee, R. D., Kim, D. S., Yoon, J. H., Kim, H. I., Lee, G. H., "Performance evaluation of sputter-coating based color BIPV modules under the outdoor operational condition: A comparative analysis with a non-color BIPV module," Energy Reports, 8, 5580-5590 (2022).
3. Ahn, H. S., Gasonoo, A., Lim, S. M., Lee, J. H., Choi, Y. S., "Fabrication of Color Glass with High Light Transmittance by Pearlescent Pigments and Optical Adhesive," Materials, 15(7), 2627 (2022).
4. Kim, D. S., Yang, Y. W., Ryu, B. Y., Kim, M. G., Ju, J., Cho, S. B., "Analysis of the Aesthetic Improvement and High Efficiency of Color PV Module Based on Dot Pattern," Korean Solar Energy Society, 41(4), 39-47 (2021).
5. Li, M., Liu, W., Zhang, F., Zhang, X., Omer, A. A. A., Zhang, Z., Liu, Y., Zhao, S., "Polymer multilayer film with excellent UV-resistance & high transmittance and its application for glass-free photovoltaic modules," Solar Energy Materials and Solar Cells, 229, 111103 (2021).
6. Devi, G., Magesh, T., Lakshmanan, T., Surekha, R., "Performance of solar panels covered with colour glass sheets when subjected to different irradiance values of electromagnetic spectrum," Optical Materials, 133, 112906 (2022).
7. Saw, M. H., Singh, J. P., Wang, Y., Birgersson, K. E., Khoo, Y. S., "Electrical Performance Study of Colored c-Si Building-Integrated PV Modules," IEEE Journal of Photovoltaics, 10(4), 1027-1034 (2020).
8. Ramkiran, B., Sundarabalan, C. K., Sudhakar, K., "Performance evaluation of solar PV module with filters in an outdoor environment," Case Studies in Thermal Engineering, 21, 100700 (2020).
9. Ji, C., Zhang, Z., Masuda, T., Kudo, Y., Guo, L. J., "Vivid-colored silicon solar panels with high efficiency and non-iridescent appearance, Nanoscale Horizons," 4, 874-880 (2019).
10. Kuhn, T. E., Erban, C., Heinrich, M., Eisenlohr, J., Ensslen, F., Neuhaus, D. H., "Review of technological design options for building integrated photovoltaics (BIPV)," Energy and Buildings, 231, 110381 (2021).
11. Erban, C., Licht und Schatten - Photovoltaik zur Gebäudeintegration, VDI-GET Bautechnik Tagung Baden-Baden, Baden-Baden, DE, March 2000.