Dot 패턴 기반 컬러 태양광 모듈의 심미성 향상 및 고효율화 연구

김대성^{1†} · 양연원² · 유보연¹ · 김민규¹ · 주진¹ · 조성배³

¹(주)에스케이솔라에너지, 과장

²(주)에스케이솔라에너지, 차장

³(주)에스케이솔라에너지, 부장

Analysis of the Aesthetic Improvement and High Efficiency of Color PV Module Based on Dot Pattern

Kim Daesung^{1†} · Yang Yeonwon² · Ryu Boyeon¹ · Kim Mingyu¹ · Ju Jin¹ · Cho Sungbae³

¹Manager, SK Solar Energy Corporation

²Deputy General Manager, SK Solar Energy Corporation

³Department Manager, SK Solar Energy Corporation

[†]Corresponding author: ds@skse1.com

Abstract

The solar energy market in South Korea has shown a high growth rate, with an expectation of reaching 4 GW in 2022. Plans to expand BIPV (Building Integrated Photo Voltaic) when new buildings are created have recently been increasing in preparation for a mandatory zero energy policy. Currently, zero-energy construction is mandatory for public buildings of over 1,000 m². By gradually expanding the scope of the target, the mandatory designation of all buildings of over 500 m² as zero-energy buildings is expected to occur by 2030. In this paper, we describe an efficiency optimization study based on the width ratio, coverage rate, and color of the patterns for an aesthetic improvement and high efficiency of the product. We aim to develop 50 W dot-pattern-based color solar modules that can improve the artistry and value of buildings when BIPVs are installed. A commercialization model is needed to expand the BIPV product line, which can add design and functional elements in the domestic solar power market, which is expected to grow at rates of tens of gigawatts in the future.

Keywords: 건물일체형 태양광(Building Integrated PhotoVoltaic, BIPV), 색상 모듈(Color module), 점 패턴(Dot pattern), 패턴 BIPV(Pattern BIPV), 패턴 커버리지(Pattern coverage), 심미성 향상(Aesthetic improvement)

1. 서론

건물일체형 태양광 BIPV (Building Integrated Photovoltaic) 모듈은 태양광 에너지로 전기를 생산하는 것 외에 그 자체가 건축물의 외장재로 사용하는 건축자재화 하여 건축물에 적용함으로써 전기에너지 생산과 동시에 건물 외피 재료로서 새로운 기능을 추가함으로써 여러 가지 부대효과를 얻을 수 있는 계통연계형 태양광 시스템을 의미하며 기존 일반형 태양

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.41, No.4, pp.39-47, August 2021
<https://doi.org/10.7836/kjes.2021.41.4.039>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 7 April 2021

Revised: 3 May 2021

Accepted: 6 May 2021

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

광 발전시스템과 달리 별도의 부지 확보 및 시스템 지지를 위한 구조물의 건립비용이 발생하지 않는다는 장점이 있다.

건축에 일체화하여 적용할 수 있는 건물구조는 커튼월, 천장, 차양, 지붕, 창호 등 매우 다양하며, 그 특성에 따라 건물의 전체적인 에너지효율과 쾌적성을 향상 시킬 수 있다. 이러한 여러 가지 장점들로 인하여 일반 결정질 태양광모듈 대비 고비용에도 불구하고 유럽을 비롯한 선진국에서는 이미 보편화가 되었으며 국내에서도 서서히 시장이 급속히 성장하고 있다. 또한 Fig. 1처럼 기존의 전력생산 기능의 태양광 발전시스템에서 건축물의 심미성을 높이는 컬러모듈 개발을 통해 건축물의 가치를 상승시키는 효과에 대한 고객의 니즈가 증가하고 있는 상황이다.^{1,2)} 현 BIPV 성장 시점에서 심미성 향상뿐 아니라 컬러유리의 투과율 감소에 따른 출력 저하를 최소화하여 경제성 있는 컬러 BIPV모듈 개발을 통해 안정적인 전력 공급이 필요한 상황이다.

Fig. 1 Color BIPV Installation Examples_(a) Doma solartechnik office, (b) Coal silo redevelopment

기존 컬러모듈의 경우 컬러태양전지를 이용하여 태양전지와 후면 재료와의 색상차이에 의한 심미적 효과 감소 및 컬러 구현, 건축 디자인과의 조화를 이루는데 한계가 있다. 또한 현존하는 컬러유리 중 두바이에서 생산되고 있는 Fig. 2의 Kromatix 유리의 경우 출력 저감율은 기존 모듈에 비해 10%로 적용이 가능하며, 심미적인 효과도 상당히 우수한 제품이나 높은 단가 및 수급이 불안정하다는 단점을 갖는다.

Fig. 2 Color BIPV concept based on DOT pattern_Kromatix by Swiss INSO Technology

본 논문에서는 컬러유리의 국산화, 심미적 효과 및 경제성, 수급의 안정성을 포함한 Dot 패턴 기반의 컬러 BIPV 모듈을 개발하고 패턴사이즈, 커버리지, 컬러에 따른 심미성 기반 효율 최적화 실험을 진행 하였다.

2. 실험

실험 전 Dot 패턴기반의 컬러 BIPV 모듈의 기본 재료인 유리의 표면에 효율 향상을 위한 AG (Anti Glare : 화학적 에칭 가공을 통하여 빛의 반사를 방지) 기술 적용 후 후 본 실험을 진행하였다. 실험 진행 순서는 Fig. 3과 같으며, Dot 패턴 기반의 컬러유리 적용을 위한 실험 변수로 패턴 사이즈, 커버리지, 색상 변화를 주었으며, 각 변수마다 전기적 특성 확인 및 심미성을 고려하여 최적화를 위한 스텝별 실험을 진행하였다.

Fig. 3 Experimental Flowchart

3. 결과 및 고찰

3.1 AG (Anti Glare) 유리

Dot 패턴기반의 컬러 BIPV 모듈의 효율 향상을 위하여 기본 재료인 유리의 표면을 화학적 에칭 가공을 통하여 빛의 반사를 방지 할 수 있는 AG (Anti Glare) 기술을 사용하여 전기적 특성 변화를 확인하였다. Fig. 4와 같이 AG가공된 유리는 검은 뿌연 빛을 띄게 되어 있으나, 유리 간격을 두지 않고 투과도를 측정하였을 경우 약 80~85%의 투과율을 갖는다. 또한 AG 가공 후의 유리는 미세한 무늬가 존재하여, 지문이 묻지 않아 모듈 설치 및 시공시 태양전지 셀에 핑거마크가 생기지 않아 효율관리에 유리한 장점이 있다. 본 논문에서 사용한 AG가공 법은 Glass위에 TiO_2 성분을 이용한 Spray 방식을 사용하여 증착하였다. AG 가공 모듈의 전기적 특성을 확인 하기 위하여, 6 inch 단결정 21.3% (5.2 Wp) 태양전지 10 cells 을 이용하여 모듈화 한 후 기존 저철분 유리와의 비교분석 결과(Table 1) 약 4.6%의 출력향상을 확인할수 있었다.

Fig. 4 (a) Float glass, (b) AG (anti-glare) glass

Table 1 Electrical characteristics after AG (anti-glare)

No.	Float Glass			AG glass		
	Pmax [W]	Isc [A]	Voc [V]	Pmax [W]	Isc [A]	Voc [V]
Test 1	42.87	9.79	5.68	44.81	10.28	5.69
Test 2	42.86	9.79	5.68	44.86	10.30	5.69
Test 3	42.85	9.79	5.68	44.81	10.28	5.70
Test 4	42.85	9.79	5.68	44.83	10.28	5.69
Test 5	42.89	9.80	5.68	44.81	10.28	5.70
Average	42.86	9.79	5.68	44.82	10.28	5.70
Improvement Rate [%]	0	0	0	4.6%	5.0%	0%

3.2 Dot 패턴 사이즈

본 논문의 Dot 패턴 컬러글라스에 사용되는 컬러코팅 소재는 세라믹 후릿트를 사용하였고, 두께는 약 5 ~ 10 μm 이며 500~1,000°C 소부온도에서 유리표면에 용착발색하여 제작되었다. Dot 패턴의 사이즈별 출력 변화를 확인하기 위하여 동일한 20%의 커버리지에서 패턴 크기를 300 μm 와 500 μm 의 크기로 패턴 유리를 제작하여 출력비교를 진행하였다.

6 inch 단결정 21.3% (5.2 Wp) 태양전지 4 cells를 이용하여 모듈을 제작하였고, Fig. 5와 같이 버스리본 위에 Marking 작업을 진행하여 BIPV 모듈의 심미적 효과를 상승하였다.

Fig. 5 Comparison of aesthetics after Module Bus Ribbon black marking

Dot 패턴 사이즈에 따른 출력 편차(Table 2)가 0.07 Wp로서 동일한 커버리지에서는 Dot 패턴 크기에 따라서는 출력의 차이가 거의 없는 것으로 확인하였고, 심미성 향상을 위해 Fig. 6의 500 um 사이즈의 패턴을 이용하여 커버리지 시험을 진행하였다.

Table 2 Output deviation according to pattern size

Pattern Size	Pmax [W]	Voc [V]	Isc [A]	Vmp [V]	Imp [A]	Output Deviation [W]
300 um	12.52	2.562	6.325	2.091	5.985	0.07
500 um	12.59	2.552	6.390	2.089	6.027

Fig. 6 Glass appearance according to pattern size (300 um, 500 um)

3.3 커버리지

심미성 향상을 위하여 500 um 사이즈의 패턴유리를 사용하였고, 커버리지에 따른 출력 저하율을 분석하기 위해 10 ~ 30% 까지 5%의 Fig. 7과 같이 커버리지율에 따른 모듈을 제작하여 비교분석을 진행하였다.

Fig. 7 Surface image according to coverage ratio

6 inch 단결정 21.3% (5.2 Wp) 태양전지 12 cells를 사용하여 Fig. 8과 같이 커버리지별 모듈화 후 전기적 특성 비교분석 결과, 커버리지별 빛의 차단율이 일정하게 증가하여 전기적 출력이 일정한 비율로 감소할 것으로 예상되었으나, (Table 3) Dot 패턴 커버리지율의 약 50%정도의 출력저하율을 확인할 수 있었다.

Fig. 8 (a) Glass according to pattern coverage ratio, (b) Module according to pattern coverage ratio

Table 3 Rate of degradation according to pattern coverage ratio

Type	Characteristics	Pmax [w]	Rate of degradation relative to Reference Module [%]
Reference Module	Ribbon Marking	51.8	0
Dot Pattern Color Module	Coverage 10%	49.5	4.44
	Coverage 15%	49.2	5.02
	Coverage 20%	47.2	8.88
	Coverage 25%	46.2	10.81
	Coverage 30%	44.5	14.09

상기 실험결과를 바탕으로 BIPV 모듈의 심미성 극대화 및 컬러 표출에 따른 출력분석을 진행하기 위하여 커버리지 15%와, 커버리지 30%의 패턴을 이용하여 색상별 전기적 특성 변화 시험을 진행하였다.

3.4 컬러 I

Dot 패턴 컬러에 따른 출력 편차와 심미성을 평가하기 위하여 먼저 커버리지 15%의 패턴을 사용하고, 마이크로 컬러 패턴 세라믹 알갱이에 색상 나노잉크(Grey, Blue, Green 색상)를 혼합 후 색상별 변수를 두어 Fig. 9와 같이 Dot 패턴 기반의 컬러 유리를 제작하였다. 본 실험은 기존 커버리지 실험과 동일한 조건에서 색상변화에 따른 전기적 특성 변화를 확인하기 위하여 6 inch 단결정 21.3% (5.2 Wp) 태양전지 12 cells를 사용하여 모듈을 제작하였고, 심미성 및 모듈의 전기적 특성을 확인하였다.

Fig. 9 (a) Grey pattern glass and module, (b) Blue pattern glass and module, (c) Green pattern glass and module

(Table 4) 커버리지 15%의 패턴유리에 Grey, Blue, Green 색상의 변수를 두어 모듈화 하였을 경우 평균 5.4%의 출력저하율을 나타내었으며, Blue색상에서 Grey 색상과 Green 색상보다 높은 출력저하율을 확인하였다. 모듈화 후 출력 저하율은 우수하나, 심미성 확인 결과 컬러 BIPV모듈로서의 기능하기에 적합하지 않음을 판단하였고, 커버리지를 높이고 심미성을 부각시키기 위해 커버리지 30% 패턴유리에 색상변수를 두어 실험을 진행하고자 한다.

Table 4 Rate of degradation by color of pattern glass with 15% coverage ratio

Color	Pmax [W]	Voc [V]	Isc [A]	Vmp [V]	Imp [A]	Rate of degradation relative to Reference Module [%]
Reference	47.135	7.868	8.624	5.859	8.045	0
Grey	45.169	7.867	8.271	5.849	7.722	4.17
Blue	43.760	7.846	8.196	5.735	7.631	7.16
Green	44.831	7.871	8.094	5.936	7.552	4.89

3.5 컬러 II

Fig. 10과 같이 커버리지 30%의 패턴유리의 심미성을 극대화 하고자 밝은 색상인 Yellow, Red, Blue, Grey를 변수로 선정하여 실험을 진행하였다. 기존 커버리지 15%의 색상 패턴유리와 출력 및 심미성 변화만을 확인하기 위하여 6 inch 단결정 21.3% (5.2 Wp) 태양전지 12 cells을 사용하여 모듈화 하였고 심미성 및 전기적 특성을 확인하였다.

Fig. 10 Dot pattern color glass (a) yellow, (b) blue, (c) red, (d) grey

Fig. 11과 같이 커버리지 30%의 Dot 패턴 색상유리의 모듈화 후 전기적 특성을 확인 결과(Table 5) 전체 평균 9.2%의 출력저하율을 나타내며 색상모듈 제품에서 우수한 결과를 얻었다. 커버리지 15%의 Dot 패턴 색상에서는 Blue 색상이 출력 저하율이 가장 높게 나타난 것에 비해 커버리지 30%에서는 가장 낮은 출력저하율을 보이며 높은 출력을 확인할수 있었다. Fig. 12와 같이 태양전지가 흡수하는 빛의 파장 특성 상 파란빛은 높은 에너지 밀도를 갖고 있고, 빨간 부분으로 갈수록 낮아지게 된다³⁾. Blue 색상모듈에서 기타 색상에 비해 커버리지를 상승에 따라 출력 저하율이 상승하지 않고 가장 높은 출력을 확인한 이유는 빛의 파란색 파장이 짧고 가장 큰 에너지 밀도를 갖는 특성 때문에, 커버리지가 상승하더라도 글라스 표면의 색상 영향으로 출력저하율이 크게 변하지 않은 것으로 판단된다⁴⁾. 상기 시험으로 확인한 바 Dot 패턴 기반의 컬러 태양광모듈 제작 시 Blue 색상의 Dot 패턴 사용이 심미적 효과 및 출력 효율에 유리한 것으로 확인되었다.

Fig. 11 Dot pattern color module (a) yellow, (b) blue, (c) red, (d) grey

Table 5 Rate of degradation by color of pattern glass with 30% coverage ratio

Type	Characteristics	Pmax[W]	Rate of degradation relative to Reference Module [%]
Reference Module	Ribbon Marking	51.9	0
DotPatternColorModule (Coverage30%)	Red Color	46.7	10
	Yellow Color	46.9	9.63
	Grey Color	46.9	9.63
	Blue Color	48	7.51

Fig. 12 Energy density by color wavelength of light

4. 결론

심미성 향상을 위한 Dot 패턴 기반의 색상 유리 모듈 제작을 위해, 패턴 사이즈, 커버리지, 색상별 전기적 특성 분석을 수행하였다. 기존 컬러태양전지를 이용한 태양전지 모듈의 경우 재료와 색상의 차이에 의해 심미적 효과가 감소하며, 컬러 유리의 경우 출력 저감율은 기존 모듈에 비해 10% 내외로 적용이 가능하며 심미적인 효과는 우수하나 높은 단가 및 수급이 불안정하다는 장점이 있다. 본 연구에서는 Dot 패턴 기반의 색상 유리모듈을 사용함으로써 전면적 색상유리에 비해 단가 경쟁력에서 유리한 색상을 구현함과 동시에 커버리지 30% 패턴 모듈 중 Blue color에서 최대 -7.5%의 기존대비 낮은 출력저하율을 갖는 모듈을 제작하였다. 향후 수십GW로 성장하는 국내 태양광 발전시장에서 디자인적, 기능적 요소를 가미할 수 있는 Dot 패턴 기반의 색상유리 BIPV 제품군 확대 및 사업화 모델이 필요하다.

후기

본 연구는 2020년도 산업통상자원부의 재원으로 광역협력권육성사업의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. P0006068).

REFERENCES

1. Lynn, N., Mohanty, L., and Wittkopf, S., Color Rendering Properties of Semi Transparent Thin Film PV Modules, Building and Environment, Vol. 54, pp.148-158, 2012.
2. Myong, S. Y. and Jeon, S. W., Design of Esthetic Color for Thin-film Silicon Semi-transparent Photovoltaic Modules, Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 143, pp. 442-449, 2015.
3. Xu, Y., Zhang, J., Ai, L., Lou, X., Lin, S., Lu, Y., Fan, B., Jin, J., and Song, W., Fabrication of Mesoporous Double-Layer Antireflection Coatings with Near-neutral Color and Application in Crystalline Silicon Solar Modules, Solar Energy, Vol. 201 pp.149-156, 2020.
4. Ho, W., Tsai, P., and Lee, Y., and Chang, C., Electrical and Optical Properties of Thin Film Silicon Solar Cells with Sub-wavelength Surface Structure and TiO₂ Passivation, Vacuum, Vol. 118, pp. 64-68, 2015.