

양면형 BIPV 시스템의 설치환경에 따른 발전특성 분석

강준구¹⁾ · 김진희²⁾ · 김준태³⁾*

¹⁾건축학과 대학원, 공주대학교, 천안, 31080

²⁾그린기술연구소, 공주대학교, 천안, 31080

³⁾건축학부, 공주대학교, 천안, 31080

Analysis of Generation Characteristics of a Bifacial BIPV System According to Installation Methods

Jun Gu Kang¹⁾ · Jin Hee Kim²⁾ · Jun Tae Kim³⁾*

¹⁾Dept. of Architectural Eng., Kongju National University, Cheonan, 31080, Korea

²⁾Green Energy Technology Research Center, Kongju National University, Cheonan, 31080, Korea

³⁾Dept. of Architectural Eng., Kongju National University, Cheonan, 31080, Korea

ABSTRACT: BIPV system is one of the best ways to harness PV module. The BIPV system not only produces electricity, but also acts as a building envelope. Thus, it has the strong point of increasing the economical efficiency by applying the PV modules to the buildings. Bifacial solar cells can convert solar energy to electrical energy from both sides of the module. In addition, it is designed as 3 busbar layout which is the same with ordinary mono-facial solar cells. Therefore, many of the module manufacturers can easily produce the bifacial solar cells without changing their manufacturing equipment. Moreover, bifacial BIPV system has much potential in building application by utilizing glass to glass structure. However, the performance of bifacial solar cells depends on a variety of factors, ranging from the back surface to surrounding conditions. Therefore, in order to apply bifacial solar cells to buildings, an analysis of bifacial PV module performance should be carried out that includes a consideration of various design elements, and reflects a wide range of installation conditions. As a result it found that the white insulation reflector type can improve the performance of the bifacial BIPV system by 16%, compared to the black insulation reflector type. The performance of the bifacial BIPV was also shown to be influenced by inclination angle, due to changes in both the amount of radiation captured on the front face and the radiation transmitted to the rear face through the transparent space. In this study is limited design condition and installation condition. Accordingly follow-up researches in this part need to be conducted.

Key words: Bifacial solar cell, Building integrated photovoltaic, Curtain wall, Outdoor test

Nomenclature

I_m : maximum current, A

V_m : maximum voltage, V

A_{PV} : PV module area, m²

G : solar radiation, W/m²

Subscript

LID : light-induced degradation

*Corresponding author: jtkim@kongju.ac.kr

Received November 29, 2015; Revised December 4, 2015;

Accepted December 4, 2015

1. 서론

해외경제연구소에서 발표한 태양광산업 동향 보고서¹⁾에 따르면 세계 태양광 수요의 약 45%를 차지하는 중국 및 미국 수요가 2016년까지 지속될 것으로 예상되며, 영국 및 인도 등 후발시장의 수요도 큰 폭으로 늘어날 전망으로 예측했다. 또한 기후변화 이슈와 태양광 경제성 향상 등으로 수요 저변이 확대되어 2016년 이후 남미 및 아프리카 지역 수요도 크게 늘어날 것으로 예측하였다. 따라서 태양광 관련 연구기관 및 기업들은 경쟁력 강화를 위해 연구역량을 집중하고 있다. 그 중에서도 좁은 면적에서 높은 출력을 얻을 수 있는 고효율 태양전지에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 고가의 장비와 고비용 제조공정을 사용하고 있는 고효율 태양전지의 경우 BIPV 시스템에 적용하는데 현실적인 어려움이 있는 실정이다. 따라서 고효율 태양전지 중

© 2015 by Korea Photovoltaic Society

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.

모듈 제작공정에 있어 기존 PV모듈 제조장비를 그대로 사용하여 제작이 가능한 중저가형 양면형 태양전지에 대한 관심이 높아지고 있다.

양면형 태양전지는 모듈 전면뿐만 아니라 후면 발전을 통해 고효율 달성이 가능하고 일반적으로 glass-glass 구조를 갖기 때문에 기존 BIPV 시스템을 대체하여 커튼월 적용이 용이하다. 양면형 태양전지는 특정 조건에서 기존 단면 태양전지보다 더 많은 전력을 생산할 수 있다. 그러나 양면형 태양전지의 발전성능은 후면 및 주변조건 등 다수의 인자에 의존하기 때문에 발전성능에 대한 정량적 기준을 설정하기가 어렵다. 또한, 양면형 태양전지는 모듈 전면과 후면에서 전기를 생산하기 때문에 모듈 후면에서도 충분한 일사획득이 가능하도록 설치하는 것이 중요하다. 특히 양면형 태양전지를 건물에 적용하기 위해서는 양면형 태양전지가 설치되는 외벽을 반사면으로 활용하거나 양면형 모듈 후면에 반사판을 덧대어 일체화 하는 방법들이 고려되어야 한다. 따라서 양면형 PV 모듈을 BIPV로 적용하기 위해서는 건물적용에 따른 양면형 BIPV 시스템의 발전특성 분석이 요구된다.

이러한 배경으로 본 연구에서는 양면형 PV 모듈을 건물외벽으로 적용하기 위해 양면형 BIPV 모듈을 수직 및 경사로 설치하고 외벽의 반사조건에 따른 발전특성을 분석하였다.

2. 문헌고찰

태양광발전 산업에서 사용되는 주요 양면형 태양전지 제조 기술은 결정질 실리콘 웨이퍼를 기반으로 n-type과 p-type 웨이퍼를 모두 사용하며, 이중 접합기술도 포함한다. 일반적으로 양면형 태양전지는 Table 1과 같이 동질의 P-N 접합 기술을 기반

Table 1. Comparison of steps between mono and bifacial process for a p-type wafer

Bifacial cell	Monofacial cell
Saw damage removal and wafer cleaning	Saw damage removal and wafer cleaning
BBr ₃ (boron tribromide) diffusion and in-situ oxidation	-
SiO ₂ / SiNx stack on the rear side	-
Front side etch back /texturization	Texturization
POCl ₃ (phosphoryl trichloride) emitter diffusion	POCl ₃ emitter diffusion
PECVD (plasma-enhanced chemical vapour deposition) SiNx ARC (antireflection coating) front side	PECVD SiNx ARC front side
Screen printing front side electrode	Screen printing front side electrode
Screen printing rear contact	Screen printing rear contact
Co-firing	Co-firing

으로 단면형 태양전지 설계에 몇 가지 공정을 추가하여 제작된다²⁾. 이중접합 구조는 후면의 투명 전도성 산화물(TCO)에 격자형상의 금속전극을 사용하는 구조로 후면전극 생성이 용이하여 양면형 태양전지 적용에 유리하다.

양면형 태양전지 응용에 대한 초기 연구는 PV모듈의 전면과 후면의 효율을 향상시키기 위한 공정 및 구조개선에 대한 연구가 수행되었다. 양면형 태양전지의 변환효율 향상 및 구조개선에 관한 연구로는 Macdonald³⁾, Guo와 Cotter⁴⁾ 그리고 Zhou⁵⁾ 등에 의해 n-type 웨이퍼를 이용하여 양면형 태양전지의 변환효율을 향상시키는 연구가 수행되었다.

N-type 웨이퍼는 철과 같은 불순물에 강한 내성을 가지며, 태양전지의 광유도 열화(LID)효과를 감소시켜 발전효율을 향상시키는 특징을 가지고 있다. 또한 Mishima 등⁶⁾은 HIT 태양전지 제작방법을 통해 23% 효율의 양면형 태양전지를 제안하였다. 제안된 HIT 양면형 태양전지의 발전량은 단면형 HIT 태양전지 발전량 보다 10.9% 더 생산하는 것으로 보고하였다. 또한, 옥외 조건에서 설치요소에 따른 양면형 PV모듈의 발전특성을 이해하기 위한 연구들이 수행되었다. Chevalier 와 Chambouleyron 등⁷⁾ 거울 또는 흰색 반사면을 이용하여 양면형 태양전지의 발전성능 향상에 대한 연구를 수행하였다. 또한 Krenzinger와 Lorenzo는⁸⁾ 반사면의 다양한 구성에 따라 양면형 PV 모듈의 연간 발전성능을 분석하였다. 분석결과 반사면 구성에 따라 단면형 PV모듈 대비 10~20% 발전성능이 향상되는 것으로 나타났다.

Ooshaksarai 등⁹⁾ 설치조건에 따른 양면형 PV모듈의 발전성능을 분석하였다. 실험모델은 5" 단결정 양면형 실리콘 태양전지 4개를 2x2 배열로 배치하여 투과면적 비율 31%가 되도록 제작하였다. 실험결과 설계요소에 따른 발전특성은 다음과 같이 분석되었다. 양면형 태양전지와 반사면의 거리는 115 mm에서 최대발전량을 나타냈다. 또한 반사면 유형에 따른 전력생산량은 전면 발전량 기준 반 거울반사 유형이 20%, 산란반사유형이 15% 증가하는 것으로 나타났다. 양면형 PV모듈 표면에 조사되는 태양일사 입사각의 경우 10°에서 최대발전량을 나타냈다. Edmonds는¹⁰⁾ 원통형 반사판을 적용하여 양면형 모듈의 발전량을 27% 향상시키는 디자인을 제안하였다. Duran 등¹¹⁾은 후면 반사면의 색상 및 반사율에 따른 발전량을 분석하였다. 실험은 남향 30° 경사면에 설치된 양면형 태양전지를 대상으로 하였다. 분석결과 잔디 위에 설치한 경우 7.5% 발전성능이 향상되었고, 90% 반사표면에서 21.4%의 발전성능이 향상되는 것을 확인하였다. 후면 색상에 따른 발전성능은 검정색의 경우 3.2%, 베이지색은 5.0% 그리고 흰색은 7.9% 전류량이 향상되는 것으로 분석되었다.

또한 양면형 태양전지는 BIPV 시스템으로 응용이 가능하다. 그러나 양면형 태양전지를 BIPV로 적용하기 위해서는 후면모듈의 일사획득을 위해 벽 또는 옥상바닥과 일정한 간격을 두고

반사면이 결합된 형태로 적용이 되어야 한다. Moehlecke 등은¹²⁾ 반사판이 결합된 건물외피적용 양면형 태양전지 패널을 제안하였다. 이 패널은 동일한 면적의 단면형 태양전지와 비교하여 전력생산량이 연간 35% 향상되는 것으로 분석되었다. Hezel 은¹³⁾ 건물 차양으로 적용이 가능한 양면형 PV 모듈을 제안하였다. 제안된 양면형 PV 모듈은 100 mm × 100 mm 크기의 셀을 4 × 10 배열하였으며, 셀 투과면적 비율은 50%이었다. 실험결과 양면형 PV 모듈은 기존 단면형 PV 모듈과 비교하여 37% 이상 발전 성능이 향상되는 것으로 분석되었다.

이와 같이 양면형 태양전지는 다양한 분야에서 응용을 위한 연구가 수행되었다. 그러나 상용화 측면에서의 연구 및 BIPV 응용분야의 연구는 미흡한 실정이다.

3. 실험체 설계 및 실험

본 연구에서는 양면형 태양전지의 건물적용을 위하여 양면형 BIPV 모듈을 제작하고 설치조건에 따른 양면형 BIPV 시스템의 특성을 옥외성능 실험을 통하여 분석하였다. 제작된 실험체는 현대 건물에서 많이 적용되는 커튼월 적용을 목적으로 하였다. PV 모듈의 커튼월 적용은 유리를 대체하기 때문에 Glass-Glass 구조의 양면형 PV 모듈을 적용하기에 용이하다. 특히 스펠드럴 부분은 알루미늄복합 패널등으로 마감되고 있어 반사판과 통합된 양면형 BIPV 시스템 적용이 용이하다.

3.1 실험체

실험체는 Fig. 1과 같은 형태로 제작하였으며, Table 2와 같이 설치조건에 따라 아스팔트 방수마감과 알루미늄 복합패널 마감

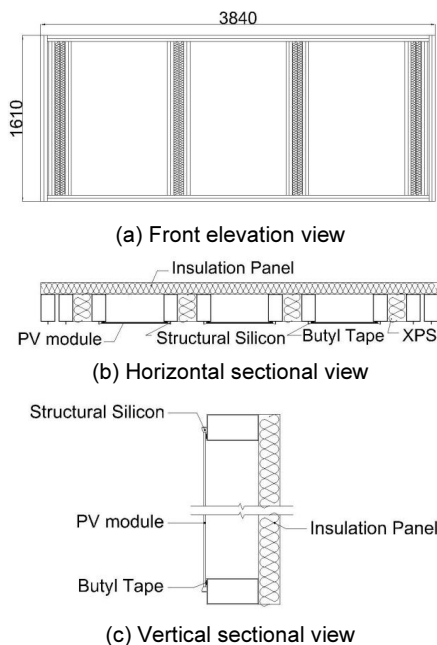


Fig. 1. Drawings of BIPV wall models

Table 2. Structure of Bifacial BIPV models

Type	Layers
Bifacial-White	bifacial PV + 120 mm air spacer + 75 mm white insulation panel
Bifacial-Black	bifacial PV + 120 mm air spacer + 75 mm black insulation panel

Table 3. Electrical specification of bifacial modules (It is only for front side)

Item	Rated values
Cell Type	Bifacial
Si crystal	Mono
Pmax	254 W
Vmp	31.01 V
Imp	8.19 A
Voc	38.54 V
Isc	8.93 A
Module efficiency	15.3%

을 가정하여 반사율 5%의 검정색과 반사율 72%의 백색의 단열판을 적용한 양면형 BIPV 시스템 2개를 제작하였다. 단열판은 모듈과 120 mm 이격시켜 75 mm 두께의 알루미늄 단열패널을 부착하였으며, 서로 인접하는 프레임 사이는 100 mm 단열재를 설치하여 프레임을 통한 열전달을 최소화 하였다. 또한 경사각에 따른 양면형 BIPV 시스템의 발전특성을 분석하기 위해 경사각 30°, 60°, 90° 조절이 가능하도록 하였다.

제작된 양면형 BIPV 모듈의 사양은 Table 3과 같이 전면 모듈 기준 최대출력 254 Wp, 최대전압 31.01 V, 최대전류 8.19A 로 35 mm 간격으로 셀을 배열하여 30% 투과면적을 갖는 반투과형 모듈로 제작하였다. 모듈제작에 사용된 양면형 태양전지는 전면효율 19.4%, 후면효율 19.1%의 평균효율을 갖는 일본 P사의 156 mm (6") 양면형 태양전지를 사용하였다.

3.2 실험장치 및 방법

실험은 2015년 4월중에 실시되었으며 제작된 양면형 BIPV 시스템은 Fig. 2와 같이 충남 천안시 소재 K대학 내 건물옥상(위도 36°47', 경도 127°9')에 정남향을 향하도록 수직 및 경사각 조절이 가능하도록 설치하였다. 또한, 실험유형에 따른 발전성능을 분석하기 위해 측정 장치 및 센서를 설치하였다. 또한 실험 외부조건 측정을 위해 외기온도센서 및 일사량계를 설치하였다.

전력량측정은 최대 입력 전력 270 W 용량의 마이크로 인버터를 설치하고 인버터를 통해 생산한 전력은 전력량측정기를 개별적으로 설치하여 실시간 모니터링을 실시하였다.

실험방법은 양면형 BIPV 시스템이 설치되는 외벽 반사특성 및 경사각에 따른 특성을 분석하기 위해 반사율이 다른 두 가지 실험유형을 수직 및 경사로 설치하여 발전성능을 측정하였다. 경사설치의 경우 경사각 60°로 설치하고 일사량이 최대인 12시

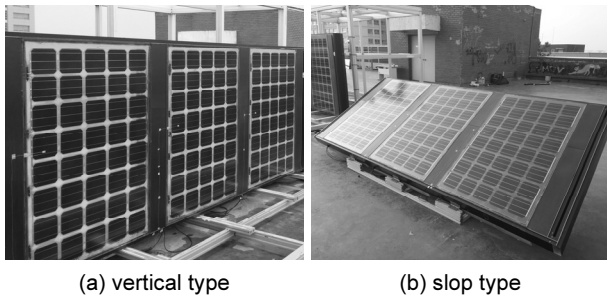


Fig. 2. Picture of the BIPV system installation

30분에 경사각을 60°에서 30°로 변경하여 경사각 변화에 따른 발전성능을 측정하였다.

4. 실험결과

실험은 4월 데이터중 수직면 일사량 최대 560 W/m², 30° 경사면 일사량 최대 920W/m²로 일사가 높고 청명한 날을 선정하여 7시부터 19시 까지 측정된 데이터를 선택하여 분석하였다. 외기온도는 4.2°C에서 18.3°C의 분포를 보였다.

외벽 반사특성에 따른 유형별 발전성능은 Fig. 3과 같이 일사량이 높은 12시에서 13시 사이 최대전력을 나타냈으며, 수직 및 경사로 설치한 실험유형 모두 흰색 단열판을 적용한 양면형 BIPV 시스템의 발전성능이 높게 나타났다.

유형별 평균전력 분석결과 Fig. 4 와 같이 흰색 단열판을 적용한 유형이 수직 설치한 경우 102 W, 60°로 설치한 경우 157 W 그리고 30°로 설치한 경우 186 W로 나타났다. 또한 검정색 단열판을 적용한 유형의 최대 발전량은 수직으로 설치한 경우 83 W, 60°로 설치한 경우 143 W 그리고 30°로 설치한 경우 155 W로 나타났다. 따라서 흰색 단열판이 적용된 유형이 검정색 단열판을 적용한 유형과 비교하여 경사각에 따라 최소 13%에서 최대 24.5%까지 발전성능이 향상되는 것으로 분석되었다. 이는 후면에 적용된 단열판의 색상에 따라 흰색의 경우 반사율이 높아 PV 모듈 후면에서 획득하는 일사량 증가로 전력생산량이 향상된 것으로 분석되었다.

경사각 변화에 따른 양면형 BIPV 시스템의 발전성능은 30°로 설치된 흰색 단열판 적용 유형의 전력생산량이 가장 크게 나타났다. 또한 수직설치와 비교하여 경사각으로 설치된 유형의 경우 발전성능이 최소 39% 이상 향상되는 것으로 분석되었다. 이는 양면형 PV 모듈 전면에서 획득하는 일사량 증가와 더불어 Fig. 5와 같이 셀과 셀 사이의 투과부분을 통해 입사된 일사가 반사면을 통하여 후면 PV 모듈에 전달되는 일사량이 증가하였기 때문으로 분석되었다.

반사판 유형에 따른 발전효율은 수직으로 설치된 양면형 BIPV 시스템의 유형별 전력생산량으로 분석하였다. 발전효율은 식 (1)에 의해 양면셀 면적의 총 획득에너지인 일사량에 대한

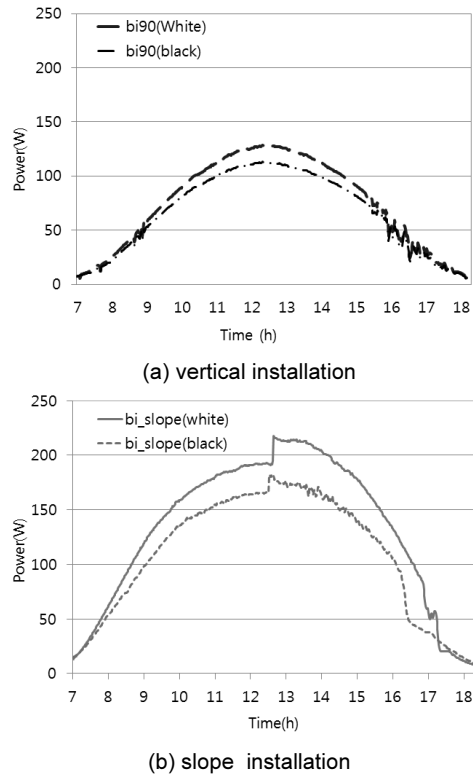


Fig. 3. Power output measurements during day hours

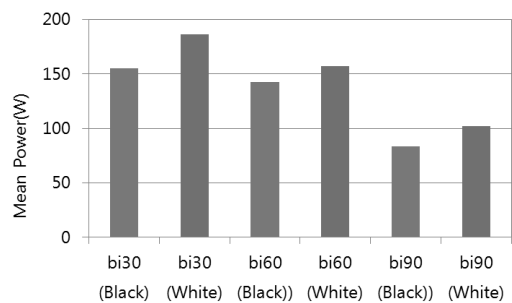


Fig. 4. Mean power generation according to a slope

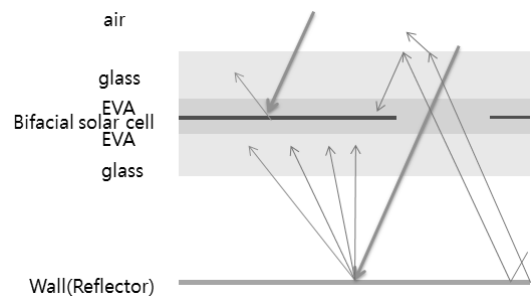


Fig. 5. Schematic sketch (not to scale) showing various light paths in a bifacial PV module

전력생산량의 비로 계산된다. 수직 설치에 따른 실험유형별 평균효율은 Fig. 6과 같이 흰색 단열판을 적용한 양면형 BIPV 시스템의 발전효율은 평균 16.7%로 나타났으며, 검정색 단열판을 적용한 양면형 BIPV 시스템의 발전효율이 평균 14.4%로 나타

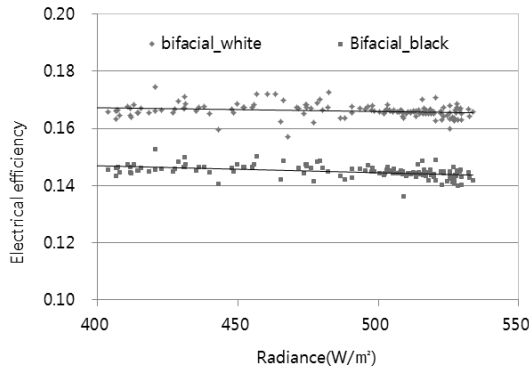


Fig. 6. Electrical efficiency of the reflector type

났다. 따라서 반사판 유형에 따라 검정색 반사판을 적용한 유형에 비해 15.9% 효율이 향상된 것으로 분석되었다.

$$\eta_{pv} = I_m V_m / A_{pv} G \tag{1}$$

5. 결론

본 연구는 양면형 PV 모듈을 건물외피로 적용하기 위해 설치 경사각과 설치 외벽의 반사조건에 따른 양면형 BIPV 시스템의 발전특성을 분석하였다.

분석결과 양면형 BIPV 시스템의 발전성능은 설치되는 외벽 반사율에 따라 반사율이 높을수록 발전성능이 향상되는 것으로 나타났다. 또한 수직설치와 비교하여 경사로 설치하는 경우 투과부분을 통해 후면 PV 모듈로 전달되는 일사량이 증가하여 발전성능 향상에 유리한 것으로 나타났다.

따라서 양면형 PV 모듈을 건물외피에 적용하기 위해서는 설치되는 외벽의 마감반사율이 높은 재료로 마감하는 것이 중요한 것으로 나타났다. 또한 투과부분을 통해 후면 PV 모듈로 일사전달이 잘 되도록 경사각을 고려하여 설치해야 한다.

본 연구는 제한된 경사각에 대한 양면형 BIPV 시스템의 성능 분석 연구로 다양한 경사각, 방위각 그리고 설치요소에 대한 추가적인 연구가 요구된다. 또한 발전성능에 상호 영향을 미치는 설치 요소들을 고려한 최적화 설계연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20134010200540)와 2014년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제(No. 20143010011910)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

1. J.H.Kang, J.W. Lee, "2015 second quarter PV industry trends" The Export_Import Bank of Korea, Vol. 2015-2-09, pp. 1-25, 2015.
2. C. Duran, "Bifacial Solar Cells: High Efficiency Design, Characterization, Modules and Applications", University Konstanz, Dissertation. p.27, 2012.
3. D. Macdonald and L.J. Geerligs, (2004), Recombination Activity of Interstitial Iron and Other Transition Metal Point Defects in P&N-Type Crystalline Silicon, Applied Physics Letters, 85(18):4061-4063.
4. J.H. Guo and J.E. Cotter, (2004), Laser-Grooved Backside Contact Solar Cells with 680mV Open-Circuit Voltage, IEEE Transactions on Electron Devices, 51(12):2186-2192.
5. J. Zhao, A. Wang, and M.A. Green, (1999), 24.5% Efficiency Silicon PERT Cells on MCZ Substrates and 24.7% Efficiency PERL Cells on FZ Substrates, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, 7(6):471-474.
6. T. Mishima, M. Taguchi, H. Sakata and E. Maruyama, (2011), Development Status of High-Efficiency HIT Solar Cells, Solar Energy Materials and Solar Cells, 95(1):18-21.
7. I. Chambouleyron and Y. Chevalier, (1977), Silicon Double Solar Cell, European Photovoltaic Solar Energy Conference. pp. 967-976.
8. A. Krenzinger, E. Lorenzo, (1986), Estimation of Radiation Incident on Bifacial Albedo-Collecting Panels, Solar Energy, 4(5):297-319.
9. P. Ooshaksaraei, K. Sopian, R. Zulkifli, M.A. Alghoul and S.H. Zaidi, (2013), Characterization of A Bifacial Photovoltaic Panel Integrated With External Diffuse and Semimirror Type Reflectors, International Journal of Photoenergy, Vol 2013, Article ID 465837, pp.7-15.
10. I.R. Edmonds, (1990), The Performance of Bifacial Solar Cells in Static Solar Concentrators, Solar Energy Materials, 121, pp.173-190.
11. C. Duran, T. Buck, R. Kopecek, J. Libal and F. Traverso, (2010), Bifacial Solar Cells with Boron Back Surface Field, 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition / 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pp.2348-2352.
12. A. Moehlecke, F.S. Febras, I. Zanesco, (2013), Electrical Performance Analysis of PV Modules with Bifacial Silicon Solar Cells and White Diffuse Reflector, Solar Energy, Vol. 96, pp.253-262.
13. R. Hezel, (2003), Novel Applications of Bifacial Solar Cells, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 11, pp.549-556.