

## 양면형 BIPV 시스템의 커튼월 적용에 따른 온도 및 발전특성 분석

### Analysis of Temperature and Power Generation Characteristics of Bifacial BIPV System Applied into Curtain Wall

강준구\*, 김용재\*\*, 김준태\*\*\*†  
Kang Jun-Gu\*, Kim Yong-Jae\*\*, Kim Jun-Tae\*\*\*†

(Received 21 July 2015; accepted 27 August 2015)

**Abstract :** BIPV system not only produces electricity at building, but also acts as a material for building envelope. Thus, it can increase the economical efficiency of PV system by saving the cost for building materials. Bifacial solar cell can convert solar energy to electrical energy from both sides of the cell. 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 use the bifacial solar cells without changing their manufacturing equipments. Moreover, bifacial PV system has much potential in building application by utilizing glass-to-glass structure of PV module. However, the electrical generation of the bifacial PV module depends on the characteristics of the building surface which faces the module, as well as outdoor environment. Therefore, in order to apply the bifacial PV module to building envelope as BIPV system, its power generation characteristics are carefully evaluated. For this purpose this study focused on the electrical performance of the bifacial BIPV system through the comparative outdoor experiments. As a result, the power generation performance of the bifacial BIPV system was improved by up to 21% compared to that of the monofacial BIPV system. Therefore, it is claimed that the bifacial BIPV system can replace the conventional BIPV system to improve the PV power generation in buildings.

**Key Words :** 건물일체형 태양광발전(Building Integrated Photovoltaic), 양면형 태양전지(Bifacial Solar Cell), 단면형 태양전지(Monofacial Solar Cell), 커튼월(Curtain Wall), 옥외 성능실험(Outdoor Test)

\*\*\*† 김준태(교신저자) : 공주대학교 건축학부  
E-mail : jtkim@kongju.ac.kr, Tel : 041-521-9333  
\* 강준구 : 공주대학교 건축학과 대학원  
\*\* 김용재 : 공주대학교 건축학과 대학원

\*\*\*† Kim Jun-Tae(corresponding author) : Dept. of Architectural  
Eng., Kongju National University.  
E-mail : jtkim@kongju.ac.kr, Tel : 041-521-9333  
\* Kang Jun-Gu : Dept. of Architecture, Graduate School,  
Kongju National University.  
\*\* Kim Yong-Jae : Dept. of Architecture, Graduate School,  
Kongju National University.

## 기 호 설 명

$I_m$	: 최대전류 (A)
$V_m$	: 최대전압 (V)
$A_{PV}$	: 모듈면적 ( $m^2$ )
$G$	: 일사량 ( $W/m^2$ )

## 1. 서 론

태양광 발전시스템은 타 신재생에너지원에 비해 다소 낮은 에너지변환효율을 가지고 있다. 현재 일반적으로 보급되고 있는 결정질계 PV모듈은 최대 18~19%의 양산효율에 머무르고 있다. 이에 따라 태양전지의 경제성과 변환효율을 향상시키기 위해 다양한 공정 및 구조개선에 대한 연구가 수행되고 있다. 이와 함께 건축물의 에너지 성능 향상을 위한 방안으로 건물일체형 태양광발전(Building-Integrated Photovoltaic; BIPV)시스템에 대한 관심이 높다. BIPV 시스템은 건물에서 필요한 전기에너지를 생산함과 동시에 건물외피로서 기능을 하기 때문에 태양에너지시스템의 경제성을 높이는 장점을 갖고 있다.

BIPV에 대한 연구는 발전량 향상을 위한 최적의 일사량 획득과 관련하여 많은 연구<sup>1)2)</sup>가 수행되었다. 또한 모듈온도에 따른 발전성능 변화에 관한 연구<sup>3)</sup>가 수행되었으며, 온도저감을 통한 PV모듈의 효율향상을 위한 PVT

시스템<sup>4)</sup>에 대한 연구가 수행되기도 하였다. 이와 같이 PV모듈의 효율향상을 위한 많은 연구가 수행되었으나 대부분 일반 결정질 태양전지로 수행되었기 때문에 효율향상 측면에서 그 한계점을 가지고 있다. 따라서 BIPV 시스템의 효율향상을 위해 고효율 태양전지의 건물적용에 대한 연구가 필요하다. 특히 BIPV 시스템의 경우 설치 면적이 제한적이기 때문에 좁은 면적에서 높은 출력을 얻을 수 있는 고효율 태양전지에 대한 연구가 중요하다. 그러나 고가의 장비와 고비용 제조공정을 사용하고 있는 고효율 태양전지의 경우 BIPV 시스템에 적용하는데 현실적인 어려움이 있는 실정이다. 따라서 고효율 태양전지 중 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 커튼월의 스펀드럴 부 적용이 가능하다. 그러나 양면형 태양전지의 발전성능은 후면 및 주변 조건에 영향을 받기 때문에 발전성능에 대한 정량적 기준을 설정하기가 어렵다. 더욱이 BIPV 시스템의 경우 건물외피로 적용되기 때문에 후면모듈에 충분한 일사가 전달되기 어렵다. 따라서 양면형 PV 모듈을 BIPV로 적용하기 위해서는 건물적용에 따른 양면형 BIPV 시스템의 성능특성 분석이 요구된다.

양면형 태양전지에 대한 초기 연구는 PV모듈의 전면과 후면의 효율을 향상시키기 위한 공정 및 구조개선에 대한 연구가 수행되었다.

1) H.M.S. Hussein, et al., Performance Evaluation of Photovoltaic Modules at Different Tilt Angles and Orientations, Energy Conversion and Management, Vol. 45, p.2441, 2004.  
 2) X. Gong et al., Design Optimization of a Large Scale Rooftop Photovoltaic System, Solar Energy, Vol. 78, p.365, 2005.  
 3) A. J. Carrand et al., A Comparison of the Performance of Different PV Module Types in Temperate Climates, Solar Energy, Vol. 76, p.280, 2004.

4) Kim, J.T. Development of Energy-Efficient Multi-Functional Roof Air Heating System, Kongju, Ministry of Knowledge Economy, p.98, 2008.

Guo 등은<sup>5)</sup> n-type 실리콘을 이용하여 전면효율 16.6%, 후면효율 16.2%의 양면형 태양전지를 제안하였다. Bruk 등은<sup>6)</sup> p+nn+ 구조의 전면효율 15.9%, 후면효율 13.4%의 양면형 태양전지를 제안하였다. 또한, 양면형 태양전지는 다양한 분야에 응용이 가능한데 초기의 양면형 태양전지 응용에 관한 연구는 80년대에 Chambouleyron 등<sup>7)</sup>에 의해 평면 거울을 사용하거나 흰색으로 색칠된 반사판을 결합한 것이 있다. 또한 양면형 태양전지 후면에 입사되는 일사량을 추정하는 연구에서 Krenzinger 등은<sup>8)</sup> 흰색으로 칠해진 반사판의 다양한 구성에 따른 양면 모듈의 연간 발전성을 분석하였다. 분석결과 반사판 구성에 따라 양면형 PV 모듈의 발전성능은 단면형 PV모듈과 비교하여 10~20% 향상되는 것으로 나타났다. Ooshaksaraei 등은<sup>9)</sup> 그림 1과 같이 산란반사판과 거울반사장치를 통합한 양면형 PV모듈의 발전성능을 분석하였다. 실험결과 반사면이 양면형 PV 모듈과 평행할 경우 반사면의 유형에 따른 전력생산량은 반 거울반사 유형이 20%, 산란반사유형이 15% 증가하는 것으로 보고하였다.



Fig. 1 Experimental configuration for indoor bifacial solar panel integrated with an external reflector.

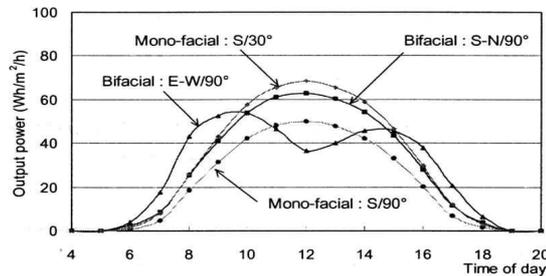


Fig. 2 Daily generation curves of bifacial and monofacial modules

Joge 등은<sup>10)</sup> 수직설치에 따른 양면형 PV 모듈의 방위별 발전특성을 옥외성능 실험을 통하여 분석하였다. 분석결과 그림 2와 같이 동서 방향으로 수직 설치된 양면형 PV모듈은 오전과 오후에 각기 최대 발전을 이루는 쌍곡선 형태로 나타났다. 연간 발전량은 남측 수직으로 설치한 단면형 PV모듈에 비해 150% 향상된 것으로 나타났다. 또한 남북방향 수직으로 설치된 경우 연간 발전량은 남측 수직 설치된 단면형 PV모듈의 발전량과 비교하여

5) J. E. Cotter et al., P-Type Versus n-Type Silicon Wafers: Prospects for High-Efficiency Commercial Silicon Solar Cells, IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 53, No. 8, p.1899, 2006.  
 6) T. Buck, et al., Industrial Screen Printed N-type Silicon Solar Cells with Front Boron Emitter and Efficiencies Exceeding 17%, Proceedings of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, p.1265, 2006.  
 7) I. Chambouleyron et al., Silicon Double Solar Cell, Proceedings of the European Photovoltaic Solar Energy Conference, p.623, 1997.  
 8) A. Krenzinger et al., Estimation of Radiation Incident on Bifacial Albedo-Collecting Panels, Vol. 4, No. 5, p.311, 1986.  
 9) P. Ooshaksaraei, et al., Characterization of a Bifacial Photovoltaic Panel Integrated with External Diffuse and Semimirror Type Reflectors, International Journal of Photoenergy, Article ID 465837, p.7, 2013.

10) T. Joge, Y. et al., Applications and Field Tests of Bifacial Solar Modules, IEEE 29th Conference : Photovoltaic Specialists Conference, Vol. 29, p.1550, 2002.

130% 향상된 발전량을 나타냈다. 이와 같이 양면형 태양전지는 모듈 전면과 후면 양쪽에서 빛을 받아 발전을 하는 것이 중요하며, 동쪽과 서쪽을 향하도록 수직설치 하는 것이 가장 유리한 것으로 나타났다.

양면형 태양전지는 BIPV 시스템으로 응용이 가능하다. 그러나 양면형 태양전지를 BIPV로 적용하기 위해서는 후면모듈의 일사확득을 위해서 벽 또는 옥상바닥과 일정한 간격을 두고 반사면이 결합된 형태로 적용이 되어야 한다. Moehlecke 등은<sup>11)</sup> 그림 3 과 같이 반사판이 결합된 건물의외피적용 양면형 태양전지 패널을 제안하였다. 이 패널은 동일한 면적의 단면형 태양전지와 비교하여 전력생산량이 연간 35% 향상되는 것으로 보고하였다.

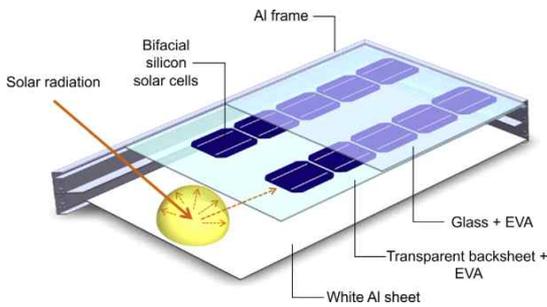


Fig. 3 Bifacial solar module and diffuse back reflector.

Hezel 은<sup>12)</sup> 그림 4와 같이 건물 차양으로 적용이 가능한 양면형 PV 모듈을 제안하였다. 제안된 양면형 PV 모듈은 100mm × 100mm 크기의 셀을 4 × 10 배열하였으며, 셀 투과면적 비율은 50%이었다. 실험결과 이 양면형 PV모

듈은 기존 단면형 PV모듈과 비교하여 37% 이상 발전성능이 향상되는 것으로 분석되었다.

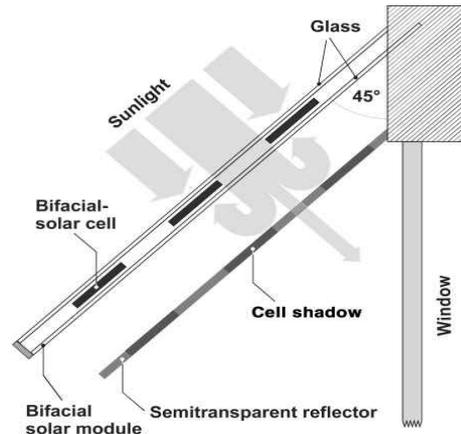


Fig. 4 Sun-shading element with bifacial solar cells

이와 같이 양면형 태양전지 연구는 크게 발전효율을 향상을 위한 연구와 후면모듈의 발전 성능 향상을 위해 반사면 응용과 관련된 연구가 수행되었다. 또한 건물적용을 위해 반사면이 결합된 형태의 양면형 태양전지에 관한 연구가 일부 수행되었으나 아직까지 건물의 외피적용을 위한 연구는 미흡한 것으로 분석되었다.

이러한 배경으로 본 연구는 단결정 실리콘 양면형 PV모듈을 적용한 BIPV 시스템의 성능 분석을 목적으로 하였다.

## 1.2 연구 방법 및 범위

본 연구는 양면형 BIPV시스템의 성능을 분석하기 위해 동일한 발전용량의 단면형 BIPV 시스템과 양면형 BIPV 시스템을 설계 및 제작하고 옥외성능 실험을 통하여 온도 특성 및 전력생산량을 비교 분석하였다. 또한 본 연구는 양면형 BIPV모듈의 발전성능 분석에 있어 셀 배치 및 구조적 영향에 대한 분석은 포함하지 않았다.

- 11) A. Moehlecke et al., Electrical Performance Analysis of PV Modules with Bifacial Silicon Cells and White Diffuse Reflector, Solar Energy, Vol. 96, p.255, 2013.
- 12) R. Hezel, Novel Applications of Bifacial Solar Cells, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 11, p.554, 2003.

## 2. 실험체 설계 및 실험

본 연구에서는 단면형 결정질 PV모듈을 적용한 BIPV시스템과 양면형 BIPV시스템을 제작하고 옥외성능 비교실험을 통하여 각 시스템의 특성을 분석하였다. 제작된 실험체는 일반적으로 사용되는 120 mm 알루미늄 커튼월 프레임을 사용하였으며, 기존 BIPV 커튼월 시공방법에 따라 제작하였다.

### 2.1 실험체

커튼월 실험체는 그림 5와 같은 형태로 제작하였으며, 표 1과 같이 기준모델로서 단면형 BIPV시스템 1개와 양면형 BIPV시스템 2개를 제작하였다. 양면형 BIPV시스템의 경우 아스팔트 방수마감과 알루미늄 복합패널 마감을 가정하여 반사율 5%의 검정색과 반사율 72%의 연미색의 단열판을 적용하였다. 단열판은 75 mm 두께의 알루미늄 단열패널을 사용하였으며, 서로 인접하는 프레임 사이는 100 mm 단열재를 설치하여 프레임을 통한 열전달을 최소화하였다.

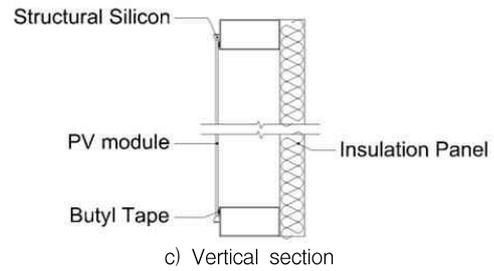
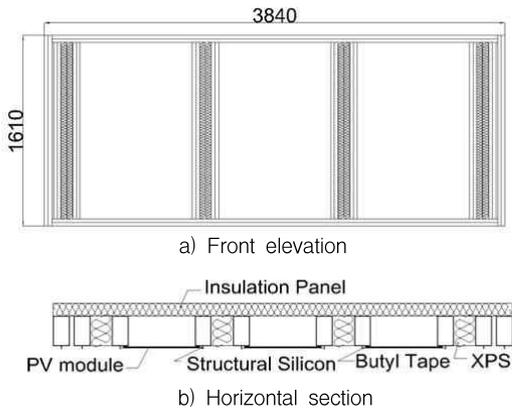


Fig. 5 Drawings of BIPV curtain wall models

Table. 1 Layers of BIPV curtain wall models

Type	Layers
Monofacial	monofacial PV + 120 mm air spacer + 100 mm insulation
Bifacial-White	bifacial PV + 120 mm air spacer + 100 mm white insulation
Bifacial-Black	bifacial PV + 120 mm air spacer + 100 mm black insulation

단면형 BIPV 시스템은 표 2와 같이 일반적으로 사용되는 최대출력 250Wp, 최대전압 31.9V, 최대전류 7.84A를 갖는 단결정 실리콘 태양전지 60개를 적용한 상용화 모듈을 사용하였다. 또한, 양면형 BIPV 시스템은 단면형 BIPV 시스템에 사용된 PV모듈과 동일한 발전성능을 갖도록 60 Cell 양면형 PV모듈을 제작하였다. 제작된 양면형 PV모듈의 사양은 표 3과 같이 전면모듈 기준 최대출력 254Wp, 최대전압 31.01V, 최대전류 8.19A로 단면형 PV모듈과 유사한 성능을 나타냈다. 또한 제작된 양면형 PV모듈은 셀을 35mm 간격으로 배열하여 30% 투과면적을 갖는 반투과형 모듈로 제작하였다.

Table. 2 Electrical specification of monofacial PV module

Item	Rated values
Cell Type	Monofacial
Si crystal	Mono
Pmax	250 W
Vmp	31.9 V
Imp	7.84 A
Voc	38.2 V
Isc	8.59 A
Module efficiency	15.46%

Table. 3 Electrical specification of bifacial module (front side only)

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%

## 2.2 실험방법

본 연구에 사용된 실험체는 그림 6과 같이 충남 천안시 소재 K대학(위도 36°47', 경도 127°9') 내 건물 옥상에 정남향을 면하도록 수직으로 설치하여 2015년 4월에 실험을 실시하였다. 실험 유형에 따른 온도 및 발전성능을 분석하기 위해 측정 장치 및 센서를 설치하였다. 양면형 BIPV 시스템의 각 층별 온도 특성을 분석하기 위해 모듈 전면에서부터 단열판 표면까지 온도를 측정하였다. 측정은 그림 7과 같이 전면태양전지, 후면태양전지, 공기층 그리고 알루미늄 단열판 표면에 T타입 온도센서를 부착하여 수행하였다. 또한 실험 외부조건 측정을 위해 외기온도센서 및 일사량계를 설치하였다. 측정 장치 및 센서를 통한 측정 값은 데이터 수집장치를 이용해 10초 간격으로 수집하여 실시간 모니터링하고 저장하였다. 생산된 전력량은 최대 입력전력 270W 용량의 마이크로 인버터와 전력량측정기를 통해 실시간 모니터링 하였다.



Fig. 6 Picture of the BIPV system installation

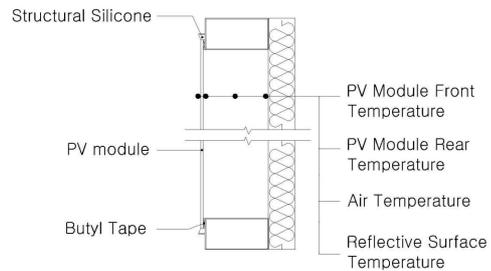


Fig. 7 Temperature measurement points

## 3. 실험결과 및 분석

실험 기간 중 수직면 일사량 최대 560 W/m<sup>2</sup>, 일사가 높고 청명한 날을 선정하여 7시부터 19시 까지 측정된 데이터를 대상으로 분석하였다. 외기온도는 최저 4.2°C에서 최고 18.3°C의 분포를 보였다.

### 3.1 온도특성 분석

양면형 BIPV시스템의 온도특성을 분석하기 위해 단면형 BIPV시스템과 양면형 BIPV시스템의 각 재료층 별 온도를 분석하였다.

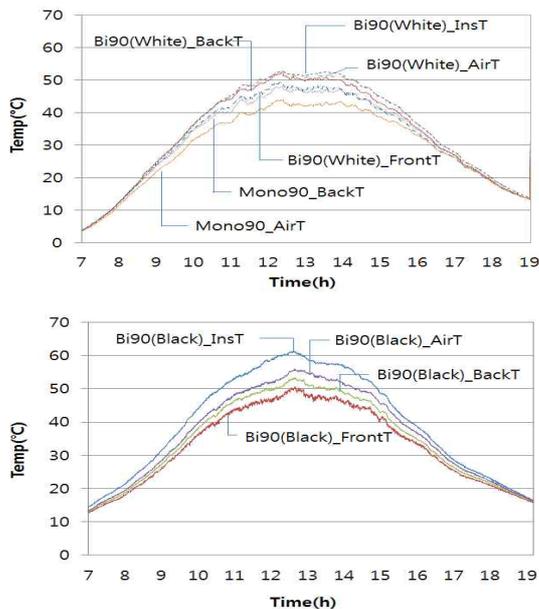


Fig. 8 Temperature measurements during day hours

그림 8은 실험유형에 따른 온도 변화를 보여주고 있다. 분석결과 BIPV시스템의 온도는 일사를 받아 발전하기 시작하는 오전 7시 부터 급격히 상승하다 오후 12시에서 13시 사이 가장 높은 온도를 기록하였다. 온도가 상승하고 하락하는 경향은 실험유형에 따라 유사하게 나타났지만, 모듈 간 온도 상승 폭은 서로 다르게 나타났다. 그 중에서도 검정색 단열판을 적용한 양면형 BIPV시스템(bi90\_black)의 재료층 별 온도 상승 폭이 가장 컸으며, 그 다음으로 흰색 단열판을 적용한 양면형 BIPV시스템(bi90\_white), 단면형 BIPV시스템(mono90) 순으로 나타났다.

단열판 유형에 따른 양면형 BIPV시스템의 모듈전면, 모듈후면, 공기층 그리고 단열판 간의 온도를 비교해보면 단열재 표면에서 가장 큰 온도 상승 현상이 나타났다. 검정색 단열판을 적용한 양면형 모듈의 경우 가장 높은 온도를 기록한 13시~15시 사이에는 단열판과

모듈 전면의 온도 차는 7.3°C, 모듈전면과 공기층 사이에서는 3.1°C의 온도 차이를 나타냈다. 또한 흰색 단열판을 적용한 유형은 단열판과 모듈 전면의 온도 차는 2.73°C, 모듈전면과 공기층 사이에서는 약 2.14°C의 온도 차이로 검정색 단열판을 적용한 유형에 비해 온도변화폭이 작게 나타났다. 또한 검정색 단열판을 적용한 양면형 PV모듈의 후면온도가 평균 30.44°C로 단면형 PV모듈에 비해 3.14°C 높게 나타났으며, 흰색 단열판을 적용한 양면형 PV모듈의 경우도 1.42°C 높게 나타나 양면형 PV모듈의 온도가 단면형 PV모듈에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 또한 단열판의 색상에 따른 PV모듈 온도 차는 1.72°C로 중공층 온도와 단열판 표면 온도상승에 미치는 영향과 비교하여 온도상승에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 분석되었다.

중공층 평균온도 분석결과 양면형 BIPV시스템의 중공층 온도는 흰색 단열판의 경우 29°C, 검정색 단열판의 경우 32°C로 단면형 BIPV시스템의 중공층 온도 25°C와 비교하여 평균 4~7°C 높게 나타났다. 이는 Glass-Glass 형태로 제작되는 양면형 BIPV 시스템 특성상 셀 간 이격거리 확보로 인해 후면 PV 모듈 및 반사면까지 직접적인 일사획득이 가능하므로, 일반적인 모듈보다 일사획득에 의한 중공층 온도상승 현상이 더욱 크게 나타난 것으로 판단된다.

### 3.2 발전특성 분석

양면형 BIPV시스템의 발전특성 분석은 단면형 BIPV시스템의 전력생산량과의 비교를 통해 이루어졌다. 그림 9는 실험유형별 시간의 변화에 따른 전력생산량을 나타낸 것이다. 분석결과 일사량이 높은 12시에서 13시 사이 각 유형별 최대전력은 흰색 단열판을 적용한

양면형 BIPV시스템이 128W, 검정색 단열판을 적용한 BIPV시스템이 113W 그리고 단면형 BIPV시스템이 108W로 나타났다. 또한, 실험유형별 일간 전력생산량 분석결과 단면형 BIPV시스템의 일간 전력생산량은 693 Wh이며, 흰색 단열판 양면형 BIPV시스템은 839 Wh, 검정색 단열판을 적용한 경우 728 Wh로 나타났다. 따라서 양면형 BIPV 시스템의 전력생산량은 단면형 BIPV 시스템과 비교하여 결합되는 단열판의 반사율에 따라 다른 것으로 나타났다. 흰색 단열판을 적용한 경우 21.1%, 검정색 단열판을 적용한 경우 5.3% 향상되는 것으로 분석되었다. 또한 단열판의 반사율에

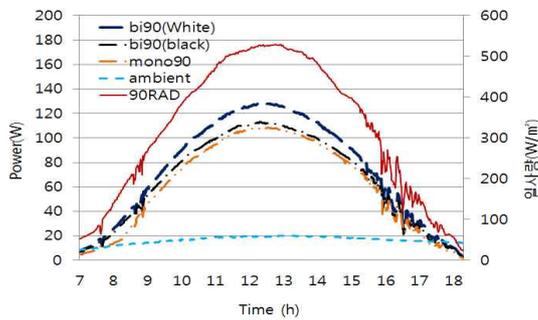


Fig. 9 Power output measurements during day hours

따른 양면형 BIPV시스템의 전력생산량은 흰색 단열판을 적용한 경우 검정색 단열판을 적용한 유형과 비교하여 15% 증가된 것으로 분석되었다. 이는 스펀드럴 내부 표면에 반사율이 높은 단열판을 적용할 경우 양면형 PV모듈 후면에 도달하는 일사량이 증가하기 때문이다.

실험유형별 발전효율은 식(1)에 의해 양면셀 면적의 총 획득에너지인 일사량에 대한 전력생산량의 비로 계산된다. 실험유형별 평균 효율은 그림 10과 같이 흰색 단열판 양면형 BIPV시스템의 발전효율은 평균 16.7%로 나타났으며, 검정색 단열판 양면형 BIPV시스템의

발전효율이 평균 14.4%, 그리고 단면형 BIPV 시스템의 발전효율이 평균 14.2%로 나타났다. 따라서 흰색 단열판을 적용한 양면형 BIPV시스템은 단면형 BIPV시스템에 비해 17.6% 효율이 향상된 것으로 나타났다.

$$\eta_{pv} = I_m V_m / A_{PV} G \quad (1)$$

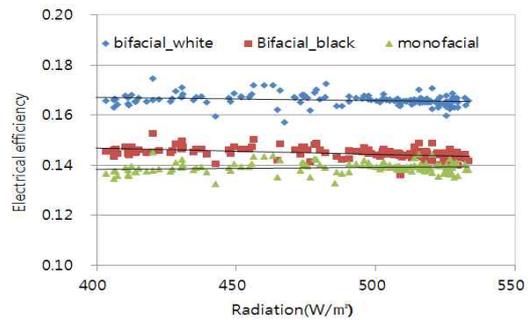


Fig. 10 Electrical efficiency of the BIPV curtain wall type

#### 4. 결 론

본 연구는 옥외성능 실험을 통해 양면형 BIPV시스템의 커튼월 적용에 따른 온도 및 발전특성을 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 온도특성 분석결과, 양면형 BIPV시스템의 경우 직접적인 일사획득에 의해 단면형 BIPV 시스템보다 증공층 및 단열판 온도상승 현상이 더욱 크게 나타나는 것으로 분석되었다. 그러나 PV모듈 온도의 경우 온도상승의 효과는 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 외기와 맞닿아 있는 PV모듈이 대류에 의한 표면 열손실에 의한 것으로 판단된다.
- (2) 발전성능 분석결과, 양면형 BIPV 시스템의 발전성능은 단면형 BIPV 시스템 대비 반사면의 반사특성에 따라 일간 전력생산량은 5~21 % 향상되는 것으로 나타났다.

따라서 양면형 BPV시스템을 건물외피로 적용할 경우 반사율이 높은 마감재와 결합하는 것이 적합할 것으로 판단된다.

- (3) 이와 같은 온도 및 발전 특성 분석을 통하여 기존 BIPV시스템의 효율 향상을 위한 방안으로 양면형 BIPV시스템 적용이 가능할 것으로 판단되며, 향후 양면형 BIPV시스템 활성화를 위한 유용한 자료로 활용될 수 있다. 그러나 본 연구는 제작 여건상 동일한 형태로 제작하여 단면형 BIPV 모듈과 양면형 BIPV모듈의 성능평가를 실시한 것이 아니기 때문에 셀 간격에 따른 구조적 영향에 대한 한계를 갖고 있다. 향후 셀 배치 및 모듈 구조에 대한 추가연구와 양면형 BIPV 시스템의 성능에 영향을 미치는 다양한 요소들에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 2013년도 연구과제 (No.20134010200540)와 2014년도 연구과제 (No.20148520011270)의 지원을 받아 수행되었습니다.

## Reference

1. H.M.S. Hussein, G.E. Ahmad and H.H. El-Ghetany, Performance Evaluation of Photovoltaic Modules at Different Tilt Angles and Orientations, *Energy Conversion and Management*, Vol. 45, pp.2441-2452, 2004.
2. X. Gong and M .Kulkarni, Design Optimization of a Large Scale Rooftop Photovoltaic System, *Solar Energy*, Vol. 78, pp.362-374, 2005.
3. A. J. Carr and T.L. Pryor, A Comparison of the Performanc of Different PV Module Types in Temperate Climates, *Solar Energy*, Vol. 76, pp.285-29, 2004.
4. Kim. J.T. Development of Energy-Efficient Multi-Functional Roof Air Heating System, Kongju, Ministry of Knowledge Economy, 2008.
5. J. E. Cotter, J. H. Guo, P. J. Cousins, M. D. Abbott, F. W. Chen, and K. C. Fisher, P-Type Versus n-Type Silicon Wafers: Prospects for High-Efficiency Commercial Silicon Solar Cells, *IEEE Transactions on Electron Devices*, Vol. 53, No. 8, pp.1893-1901, 2006.
6. T. Buck, R. Kopecek, J. Libal, A. Herguth, K. Peter, I. Röver, K. Wambach and B. Geerligs, Industrial Screen Printed N-type Silicon Solar Cells with Front Boron Emitter and Efficiencies Exceeding 17%, *Proceedings of the 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference*, pp.1264-1267, 2006.
7. I. Chambouleyron and Y. Chevalier,, Silicon Double Solar Cell, *Proceedings of the European Photovoltaic Solar Energy Conference*, pp.623-633, 1997.
8. A. Krenzinger, E. Lorenzo, Estimation of Radiation Incident on Bifacial Albedo-Collecting Panels, *Solar Energy*, Vol. 4, No. 5, pp.297-319, 1986.
9. P. Ooshaksaraei, K. Sopian, R. Zulkifli, M.A. Alghoul and S.H. Zaidi, Characterization of a Bifacial Photovoltaic Panel Integrated with External Diffuse and Semimirror Type Reflectors, *International Journal of Photoenergy*, Article ID 465837, pp.7-15, 2013.
10. T. Joge, Y. Eguchi, Y. Imazu, I. Araki, T. Uematsu, and K. Matsukuma, Applications and Feld Tests of Bifacial Solar Modules, *IEEE 29<sup>th</sup> Conference : Photovoltaic Specialists Conference*, Vol. 29, pp.1549-1552, 2002.
11. A. Moehlecke, F.S. Febras and I. Zanesco,

Electrical Performance Analysis of PV Modules with Bifacial Silicon Solar Cells and White Diffuse Reflector, *Solar Energy*, Vol. 96, pp.253-262. 2013.

12. R. Hezel, Novel Applications of Bifacial Solar Cells, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Vol. 11, pp.549-556. 2003.