

# 환기 유무에 따른 CIGS BIPV 커튼월 유닛의 성능 비교 분석

김상명\* · 김진희\*\* · 김준태\*\*\*\*

\*공주대학교 대학원 에너지시스템공학과

\*\*공주대학교 그린에너지기술연구소

\*\*\*공주대학교 건축학부

## Comparison of Performance Analysis of the Ventilated and Non-ventilated CIGS BIPV Units

Kim Sang-Myung\* · Kim Jin-Hee\*\* · Kim Jun-Tae\*\*\*\*

\*Department of Energy System Engineering, Kongju National University

\*\*Green Energy Technology Research Center, Kongju National University

\*\*\*Department of Architectural Engineering, Kongju National University

†Corresponding author: jtkim@kongju.ac.kr

### Abstract

CIGS thin film solar cells are technically suitable for BIPV applications than regularly used crystalline silicon solar cells. Particularly, CIGS PV has lower temperature coefficient than crystalline silicon PV, thus decrease in power generation is lowered in CIGS PV. Moreover, CIGS PV can decrease shading loss when applied to the BIPV system, and the total annual power generation is higher than crystalline silicon. However, there are few studies on the installation factors affecting the performance of BIPV system with CIGS module. In this study, BIPV curtain wall unit with CIGS PV module was designed. To prevent increase of temperature of CIGS PV module by solar radiation, ventilation was considered at the backside of the unit. The thermal specification and electrical performance of CIGS PV of the ventilated unit was analyzed experimentally. Non-ventilated unit was also investigated and compared with ventilated unit. The results showed that the average CIGS temperature of the ventilated curtain wall unit was 6.8°C lower than non-ventilated type and the efficiency and power generation performance of ventilated CIGS PV on average was, respectively, about 6% and 5.8% higher than the non-ventilated type.

**Keywords:** 건물일체형 태양광발전(BIPV), CIGS 모듈(CIGS module), 커튼월(Curtain wall), 환기형(Ventilated type), 비환기형(Non-ventilated type), 스펠드렐(Spandrel)

### 1. 서론

#### 1.1 연구배경 및 목적

건물일체형 태양광발전 시스템은(BIPV: Building Integrated Photovoltaic)은 PV 모듈을 전기 생산뿐만 아니라 건축물의 외장재로 사용함으로써 건설비용을 절감할 수 있다는 장점을

OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol.37, No.2, pp.47-57, April 2017  
<https://doi.org/10.7836/kjes.2017.37.2.047>

pISSN: 1598-6411

eISSN: 2508-3562

Received: 06 March 2017

Revised: 24 April 2017

Accepted: 25 April 2017

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.

가지고 있다<sup>1)</sup>. 또한 BIPV 시스템은 건축물의 외벽, 커튼월, 천장, 차양, 지붕, 창호 등 다양한 건물구성 요소에 일체화하여 적용할 수 있으며 건물의 디자인적인 요소로도 쓰이고 있다<sup>2)</sup>. 일반적으로 결정질 실리콘 태양전지가 사용되는 BIPV 시스템은 태양전지에 음영 발생 시 음영에 의한 발전량 감소, 디자인적 다양성의 어려움 그리고 모듈 후면 온도 상승으로 인한 건물 부하상승 등 여러 가지 단점들을 가지고 있다. 이러한 결정질 실리콘 태양전지의 단점들을 보완하기 위해 CIGS 박막 태양전지에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. CIGS 박막 태양전지는 다른 박막태양전지에 비해 발전효율이 결정질 실리콘 태양전지에 가장 근접하며, 동일용량 설치 시 결정질 실리콘 태양전지에 비해 연간 총발전량이 많다<sup>3)</sup>. CIGS 박막 태양전지는 온도저감계수가 낮기 때문에 후면 발열로 인한 발전량 감소가 적어 고온이나 그늘에서도 발전효율이 균일하며, shading loss에 의한 발전량 감소도 줄일 수 있다<sup>4)5)</sup>. 또한 외관이 미려하고 다양한 크기와 모양으로 모듈 제작이 가능하여 BIPV 시스템 적용에도 유리한 장점을 가지고 있다<sup>6)</sup>.

CIGS 모듈은 커튼월방식의 BIPV 모듈로 적용이 용이하며, 특히 커튼월의 건물입면에서 비 조망부분인 스펠드럴 부위에 적용이 가능하다. 커튼월 시스템은 건물의 하중을 받지 않는 비 내력벽으로 비전 부분과 스펠드럴 부분으로 나누어져 있다. 비전부위는 건물의 채광과 전망을 위해 창호 유리가 설치되는 부분으로 PV 적용 시 PV셀 간격 조정 및 투광형 PV 모듈을 적용하는 등 투과 및 조망이 가능하도록 고려되어야 한다. 반면 스펠드럴 부분의 경우 채광을 고려할 필요가 없어 투광형 PV모듈과 불투명 PV 모듈 모두 적용이 가능하다.

한편, 전면이 유리로 이루어진 커튼월 시스템은 건물의 냉난방 부하를 증가시켜 건물의 냉난방에너지를 증가시킨다는 단점을 가지고 있다. 커튼월 스펠드럴 부에 BIPV 시스템을 적용하게 되면 건물에 필요한 에너지를 공급하여 건물의 에너지 수요에 대응 할 수 있다. 그러나 CIGS 모듈이 커튼월의 스펠드럴 부에 적용된 BIPV 시스템의 성능, 특히 환기방식에 의한 영향을 규명한 연구는 미흡한 실정이다. 이러한 배경에서 본 연구는, 커튼월 스펠드럴부에 CIGS 모듈이 적용된 BIPV 시스템의 성능을 실험을 통해 분석하였다. 이를 위해 환기 유무에 따른 BIPV 커튼월 유닛의 열적 및 전기적 특성을 비교하였다.

## 1.2 연구방법

본 연구는 CIGS BIPV 커튼월시스템의 환기유무에 따른 CIGS 모듈의 후면온도와 발전량 변화를 확인하기 위해, 우선 CIGS BIPV 커튼월 유닛을 환기형과 밀폐형 두 가지 유형으로 설계하고 제작하였다. 이 유닛은 기존 건물의 외벽에 부착하는 형태로 기존 교육용 건물의 외벽에 설치되었다. 두 유닛에 적용된 CIGS 모듈의 후면 온도와 발전량을 측정하고 이를 비교 분석하였다.

## 2. 문헌고찰

박막 태양전지란 전기를 발생시키기 위한 활성층으로 실리콘 웨이퍼 대신에 유리등의 기판 위에 박막을 증착하여 만드는 방식으로 태양전지에 필요한 반도체 재료의 양을 줄여 제조 단가를 낮추며 대면적의 태양전지 모듈을 제작할 수 있는 장점을 지닌다. 박막 태양전지는 비정질/결정질 실리콘 박막 태양전지, CdTe 박막 태양전지, 염료감

용 태양전지, CIGS 박막 태양전지 등으로 구분되며 재료의 특성에 따라 각기 다른 장·단점을 가지고 있다<sup>7)</sup>. 박막 태양전지 중 Cu, In, Ga, Se의 4가지 원소로 구성된 CIGS(Cu(In,Ga)<sub>2</sub>Se<sub>2</sub>) 박막 태양전지는 박막 태양전지 중 가장 높은 변환효율을 보이고 있는데, 이는  $10^5 \text{cm}^{-1}$  이상의 높은 광흡수계수로 인하여 두께 1-2  $\mu\text{m}$ 의 박막으로도 고효율의 태양전지 제조가 가능하기 때문이다<sup>8)</sup>. 현재 CIGS 박막 태양전지는 실험실 수준 최고 효율 20.3%, 상용화 효율 13%로 높은 효율을 보이고 있다. 또한 CIGS 태양전지는 열적으로 안정성이 높아 장시간 빛에 노출되어도 효율감을 거의 보이지 않으며, 내습성 또한 우수한 것으로 보고되고 있다<sup>9)</sup>. CIGS 태양전지의 장점 중 하나인 장시간 신뢰성의 경우 미국 NREL(National Renewable Energy Laboratory)의 CIGS 태양전지 장기 옥외실험을 통해 알 수 있는데 실험 결과 10년 이후에도 모듈의 효율 변화가 없는 것으로 조사되었다<sup>10)</sup>.

BIPV 시스템에서 PV시스템을 건축자재로 적용시킬 경우 태양전지의 발전량에 영향을 미치는 요소 중 하나는 모듈의 온도이다. 모듈 온도의 상승은 발전량 저하에 직접적인 영향을 미치는데, 태양전지의 온도계수가 높을 경우 온도상승에 의한 발전량 감소가 크게 나타난다. 태양광모듈의 온도계수는 기준 온도 25°C로부터 주위온도가 1°C 상승할 경우 저하되는 모듈 출력의 변화율을 말하며, 결정질 실리콘 태양전지는 주위온도가 올라가면 밴드 갭이 감소하여 큰 폭으로 출력이 저하되는 단점이 있다. CIGS 태양전지는 광학적 에너지 밴드 갭을 1eV ~ 2.7eV로 폭넓은 범위로 조절할 수 있으며<sup>9)</sup>, 결정질 실리콘 태양전지보다 낮은 온도계수를 가지고 있다. 그리하여 다른 태양전지에 비해 비교적 고온이나 그늘에서도 발전효율이 균일하다.

A. Virtuani 등<sup>11)</sup>은 태양전지 종류에 따른 온도계수와 온도상승에 따른 태양전지의 성능실험을 진행하였다. BIPV 시스템에 실리콘 태양전지와 CIGS 박막 태양전지를 적용하여 STC조건 외에 60°C, 70°C, 80°C일 때의 모듈의 전력량 저하를 비교하였다. 실험결과 온도상승에 따른 전력량 감소율은 CIGS 태양전지가 결정질 실리콘 태양전지보다 적었으며 온도가 상승할수록 그 차이가 점점 커지는 것을 확인 할 수 있었다. 이와 같이 CIGS 태양전지의 특성들은 BIPV 시스템에 적용하기에 유리하며 이를 건물 일체형 부재로 유닛화 하여 적용하기 위한 연구들이 진행되고 있다.

### 3. CIGS BIPV 커튼월 유닛 설계 및 실험

#### 3.1 CIGS BIPV 커튼월 유닛

실험을 위해 제작된 CIGS BIPV 커튼월 유닛은 Fig.1과 같다. 기존 건축물에 적용 가능하도록 설계되었다. 커튼월 유닛은 비전부와 스펠드럴부로 나누어지며 CIGS 모듈은 비 비전부인 커튼월유닛의 스펠드럴부에 적용되었다.

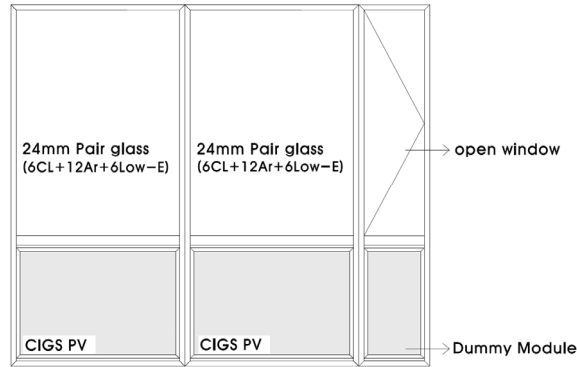


Fig. 1 Front view of CIGS BIPV units

환기 유무에 따른 CIGS 모듈의 성능을 분석하기 위해서 CIGS BIPV 커튼월 유닛은 Fig. 2와 같이 환기형과 밀폐형으로 설계되었다. 환기형 CIGS BIPV 커튼월 유닛은 스펀드럴 부 상하부에 공기의 입·출구를 제작하였으며, 이를 통해 CIGS 모듈 후면에서 자연대류에 의한 환기가 이루어지도록 하였다. 스펀드럴 부 후면으로 유입된 외기가 CIGS 모듈 후면에서 발생하는 열을 외부로 방출시켜 CIGS 모듈 후면의 온도를 낮추는 냉각효과를 고려하여 설계하였다.

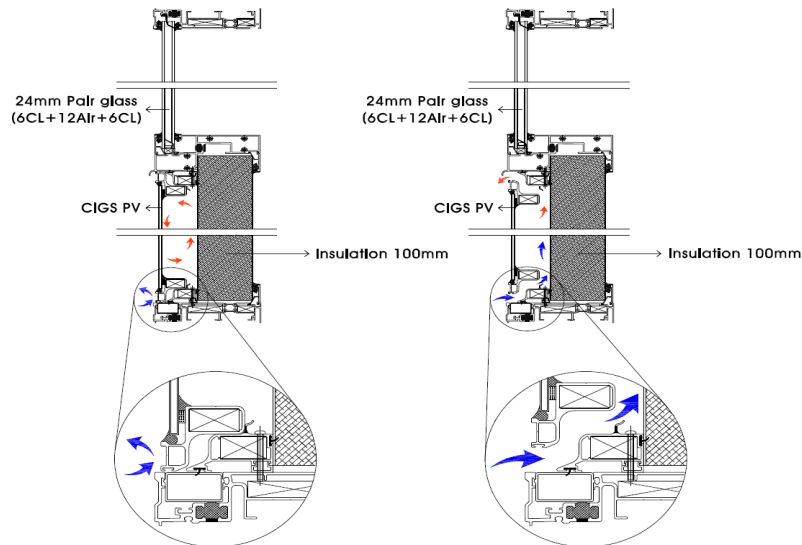


Fig. 2 Frame details(left: closed type, right: ventilated type)

밀폐형 CIGS BIPV 커튼월 유닛은 스펀드럴 부 후면으로의 공기유입을 막아 후면 환기가 일어나지 않도록 설계하였다. 이로 인해 CIGS 모듈 후면으로 방출되는 열이 외부로 빠져나가지 못하여 스펀드럴 부 후면의 공기층은 갇힌 형태의 밀폐형으로 제작되었다.

환기형과 밀폐형 CIGS BIPV 커튼월 유닛의 스펙트럴 부는 Table 1과 같이 구성되었으며 환기가 가능한 통풍구 형상 이외에 두 유닛의 구성재는 동일하게 적용하였다. 두 유닛 모두 CIGS모듈 후면에 63 mm 두께의 중공층을 설계하였다. 또한 기존 건물에 부착하는 외피 구성재로서의 기능으로 외피 단열성능을 보강하는 의미로 스펙트럴부 후면에 100 mm 두께의 압출법 단열재(XPS)를 추가하였다.

**Table 1** Configuration of the CIGS BIPV units

Type	Components
Non-ventilated	CIGS Module+ 63 mm Cavity + 100 mm XPS
Ventilated	CIGS Module + 63 mm Cavity + 100 mm XPS

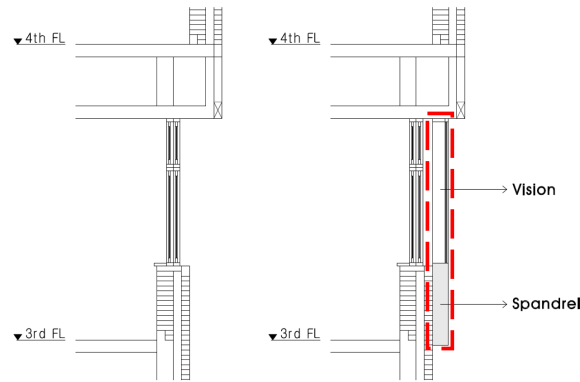
CIGS BIPV 커튼월 유닛에 적용된 CIGS 모듈의 상세 규격은 Table 2와 같다. 각 유닛에 적용된 CIGS 모듈의 면적은 0.94 m<sup>2</sup>이며, 정격용량 및 효율은 각각 113.19 W, 11.2%인 모듈이 적용되었다. 각 CIGS 모듈에 별도의 부하 저항을 연결하여 발전량을 측정하였고, 모듈의 온도 및 발전량 데이터는 매 10초 간격으로 수집하였다.

**Table 2** CIGS module specification

	Specification
Rated Power (Pmax)	110.0 W
Rated Voltage (Vmpp)	72.4 V
Rated Current (Impp)	1.52 A
Open Circuit Voltage (Voc)	93.3 V
Short Circuit Current (Isc)	1.69 A
Module Area (m2)	0.94 m <sup>2</sup>
Module Efficiency (%)	11.7%

### 3.2 실험방법

제작된 BIPV CIGS 커튼월 유닛은 실험을 위해 충남 소재 (위도 36° 47', 경도 127° 9') 기존 교육시설 건축물에 적용되었다. Fig. 3은 해당 건축물에 BIPV CIGS 커튼월 유닛의 적용 전 후를 나타낸 단면도이며, 실험체는 기존 창호 입면의 외관 및 디자인을 고려하여 이중외피 형태의 외피 부착형으로 제작하여 건물에 시공되었다. 환기유무에 따른 CIGS 모듈의 열적특성을 알아보기 위해 열전대 T타입을 CIGS 모듈 후면 중앙에 부착하여 모듈의 온도를 측정하였으며, PV 모듈 면에 도달하는 전일사량 측정을 위해 실험체와 동일한 90° 수직 경사면에 일사량계를 설치하였다.



**Fig. 3** Sectional view of CIGS BIPV curtain wall units(left: before installation, right: after installation)

Fig. 4는 실험체가 적용된 건물 사진으로 실험체가 적용된 공간은 실 면적 56m<sup>2</sup>의 사무실 용도로 사용되고 있으며, 또한 설치 대상건물 및 입면에 대해 동시기준 음영분석을 통하여 일조시간동안 실험체에 음영발생에 의한 영향을 사전 검토하였다. 건물의 음영분석 결과 오전 10시부터 오후 4시까지의 실험체에 음영발생에 의한 영향이 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이에 따라 실험체에 음영이 발생하지 않는 오전 10부터 오후 4시까지의 실험데이터를 이용하여 실험체의 성능을 분석하였다.



**Fig. 4** View of CIGS BIPV curtain wall units applied on an existing building facade

#### 4. 실험결과 및 분석

실험은 2015년 10월 6일부터 11월 10일까지 이루어졌으며 실측된 데이터 분석은 일사가 좋은 날 아침 10시부터 오후 4시까지 6시간 동안 측정된 결과를 대상으로 하였다. 분석된 데이터의 실험조건은 최고 일사량은 884.5 W/m<sup>2</sup>에서 최저 314.3 W/m<sup>2</sup>로 나타났으며, 평균 일사량은 724.4 W/m<sup>2</sup>이었다. 외기는 최저 15.2°C에서 최고 20.4°C로 평균 19.1°C의 분포를 보였다.

### 4.1 열적 특성

CIGS BIPV 커튼월 유닛 내부의 열적 특성은 일사와 외기에 따른 각 실험체의 CIGS 모듈 후면온도 변화를 통해 분석하였다. Fig. 5는 일사에 따른 유형별 모듈 후면온도의 변화를 나타낸 것으로 환기형 CIGS 모듈의 후면온도는 밀폐형 모듈의 후면온도에 비해 전반적으로 낮은 온도가 나타났다. 밀폐형 모듈의 후면온도는 최대 67.4°C까지 상승하였으며 이는 환기형 CIGS 모듈의 최고온도인 59.2°C보다 8.2°C 높게 상승하는 것으로 분석되었다. 또한 모듈 후면의 평균온도는 환기형 59.9°C, 밀폐형 53.1°C 로 평균 6.8°C의 온도차로 분석되었다.

따라서 환기형 CIGS BIPV 커튼월 유닛은 CIGS 모듈이 적용된 스펀드럴 부 후면의 환기구조로 인해 밀폐형보다 낮은 CIGS 모듈 온도를 유지한다는 것을 확인할 수 있었다.

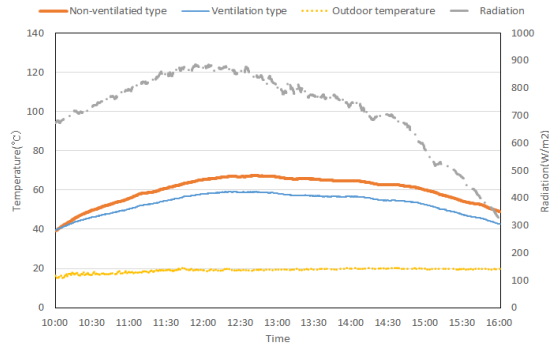


Fig. 5 Temperature of CIGS module for each unit type

### 4.2 전기적 특성

CIGS 모듈의 전기적 성능은 도달하는 일사량과 PV 모듈의 온도에 영향을 받는다. 본 연구에서는 CIGS BIPV 커튼월 유닛의 각 유형별 CIGS 모듈의 전력 생산량 및 일사에 따른 발전 효율, 그리고 모듈 후면온도와 전기적 특성과의 관계성 등을 비교 분석하였다.

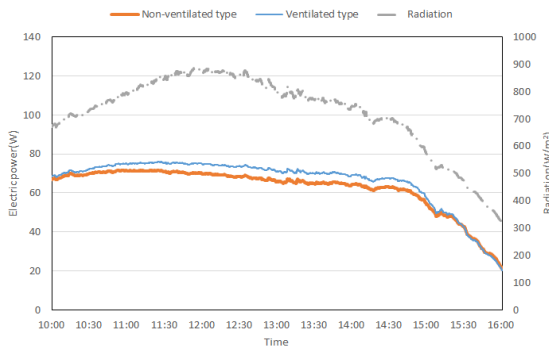


Fig. 6 CIGS power generation by radiation for each unit type

Fig. 6은 일사에 따른 환기형과 밀폐형의 CIGS 모듈 전력량을 비교한 그래프이다. 분석결과 환기형 CIGS 모듈의 발전량은 전체적으로 밀폐형 보다 높게 나타났다. CIGS 모듈의 순간 최대 발전량은 일사량이 850 W/m<sup>2</sup>일 때 환기형 76.1 W, 밀폐형은 71.7 W이며, 밀폐형 CIGS의 경우 환기형 대비 약 6%의 발전성능 저하가 발생하는 것으로 분석되었다. 또한, 환기형 CIGS 모듈의 평균 발전량은 66.2 W, 밀폐형의 경우 62.6 W로, 환기형 CIGS 모듈이 밀폐형에 비해 5.4% 높은 것으로 분석되었다.

또한 환기형과 밀폐형 CIGS 모듈의 전기효율을 분석하였으며 전기효율은 식(1)과 같이 계산되었다.

$$\text{전기 효율 } (\eta_{el}) = \frac{I(\text{전류}) \times V(\text{전압})}{A_{pv}(\text{집열면적}) \times G(\text{일사량})} \quad (1)$$

Fig. 7은 일사량에 따른 CIGS 모듈 효율을 오차범위 ±5 W/m<sup>2</sup>에서 같은 일사량 값을 가지는 데이터들의 평균으로 나타낸 그래프이다.

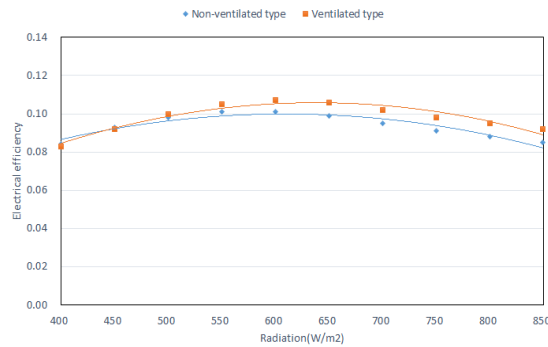


Fig. 7 Electrical efficiency of CIGS module for each unit type

그래프에서 일사량 변화에 따른 환기형과 밀폐형의 CIGS 모듈 효율을 비교해보면 일사가 낮은 경우 효율의 차이는 미세하지만 일사가 500 W/m<sup>2</sup> 이상부터는 환기형이 밀폐형 보다 높은 전기 효율을 나타낸다. CIGS 모듈은 일사량이 600 W/m<sup>2</sup>일 때 가장 높은 전기 효율이 나타났으며, CIGS 모듈의 전기효율은 환기형 10.7%, 밀폐형 10.1%로 분석되었다. 환기형 CIGS 모듈의 전기효율이 밀폐형 보다 0.6% 포인트 높은 것으로 분석되었으며, 이는 환기형 CIGS 모듈의 전기효율이 밀폐형 보다 약 6% 높게 향상된 것을 의미한다. 일사가 증가함에 따라 CIGS 모듈의 전기효율이 증가하지만 일사량이 600 W/m<sup>2</sup> 이상 증가할 경우 CIGS 모듈의 효율이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이로 인해 Fig. 6에서 일사량의 증가함에도 불구하고 전력 생산량이 일정한 것을 확인할 수 있는데, 그 이유는 일사량의 증가로 인해 CIGS 모듈 온도가 상승하기 때문이다.



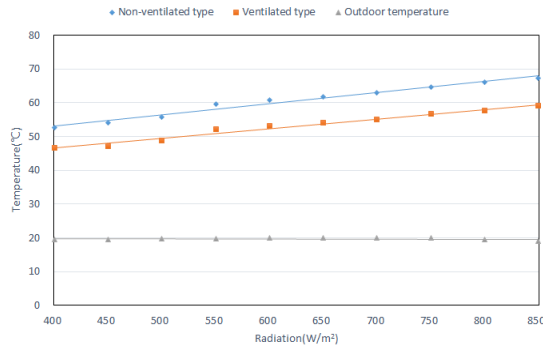


Fig. 8 Temperature of CIGS modules by radiation

Fig. 8은 일사량에 따른 CIGS 모듈후면 온도를 나타낸 그래프이며 일사량이 증가함에 따라 CIGS 모듈의 후면온도 또한 계속 상승하는 것을 확인할 수 있다. CIGS 모듈 후면온도의 증가는 CIGS 모듈의 전기효율에 영향을 미치게 된다. 이로 인해 600W/m<sup>2</sup> 이상 일사량이 증가하게 되면 계속된 후면온도 상승으로 인해 CIGS 모듈의 전기효율이 감소한 것으로 분석되었다.

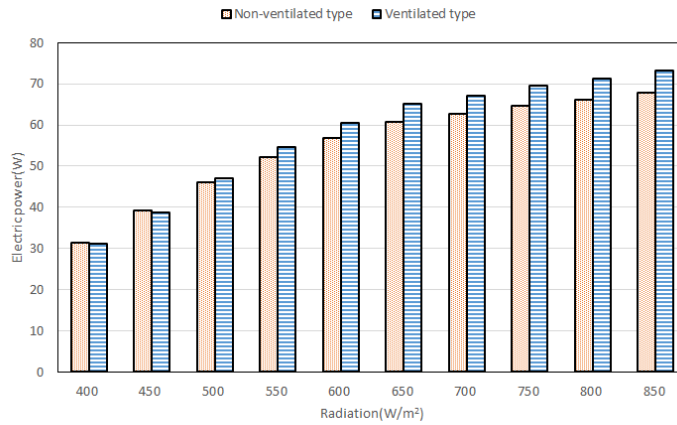


Fig. 9 Power generation of CIGS modules by radiation

Fig. 9는 일사량에 따른 밀폐형과 환기형 CIGS 모듈의 발전량을 나타낸 그래프이다. 일사가 낮은 경우 밀폐형과 환기형 CIGS 모듈의 발전량은 비슷하지만 일사가 증가할수록 환기형 CIGS 모듈의 발전량이 밀폐형 보다 증가하는 것으로 나타났다. 일사가 가장 높은 850 W/m<sup>2</sup>에서 밀폐형 CIGS 모듈의 발전량은 67.9 W이며 환기형은 73.2 W로 나타났다. 이는 환기형의 CIGS 모듈의 발전능력이 밀폐형 보다 7.8% 향상된 것으로 분석되었다. 일사 증가에 따른 CIGS 모듈의 온도상승은 모듈의 효율과 발전을 저하시키지만 환기형의 경우 모듈의 온도상승을 방지하여 밀폐형 보다 모듈의 효율과 발전능력이 크게 개선되는 것으로 확인되었다.

## 5. 결론

본 연구에서는 CIGS BIPV 커튼월 유닛을 실 건물에 적용함으로써, 환기 유무에 따른 CIGS BIPV 유닛의 열 및 전기성능을 분석하였다.

분석결과 환기형 CIGS BIPV 유닛은 후면환기 구조로 인해 CIGS 모듈의 후면온도가 밀폐형보다 낮게 나타났다. 환기형 CIGS 모듈 후면온도는 밀폐형 보다 평균 7°C 낮은 것으로 분석되었다. CIGS 모듈의 발전 효율은 일사가 낮은 경우 환기유무에 따른 차이가 크게 나타나지 않았지만, 일사가 증가함에 따라 환기형 CIGS 모듈의 효율이 밀폐형 보다 최대 약 8%, 평균 약 6% 높은 것으로 확인되었다. 이론적으로 약 0.35%/K의 온도계수를 가지는 CIGS 태양전지는 온도가 상승할수록 태양전지의 전기효율은 감소하는 것으로 알려져 있다. 본 실험결과를 통해 CIGS 모듈 온도가 상승함에 따라 CIGS 태양전지의 효율이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며, 더 높은 CIGS 모듈의 온도를 가진 밀폐형의 경우 더 많은 효율저하가 나타난 것이 확인되었다 또한 CIGS 모듈의 발전량도 일사가 증가할수록 환기형 CIGS 모듈이 밀폐형 보다 더 높게 나타났는데, 환기형 CIGS 모듈의 발전성능은 밀폐형보다 하루 평균 5.8% 높은 것으로 분석되었으며 일사량이 높을 때, 최대 7.8%까지 상승되는 것으로 확인되었다.

이를 통해 CIGS BIPV 커튼월 유닛을 적용할 경우 밀폐형 보다 후면 환기구조가 적용된 환기형 CIGS BIPV 커튼월 유닛이 CIGS 모듈의 전력생산 및 전기효율 향상에 효과적인 것으로 결론지을 수 있다. 따라서 커튼월 스펀드럴 부에 CIGS BIPV 시스템을 적용하는데 있어, CIGS 모듈의 온도상승을 방지를 위해 환기구조와 같은 기술적 방안이 고려되어야 하는 것을 확인 할 수 있었다.

향후, 커튼월 스펀드럴 부에 CIGS 모듈을 적용할 경우 디자인의 최적화를 위한 연구가 필요하며, 이에 따른 최적화된 시스템의 성능분석이 요구된다.

## 후기

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 2014년도 연구과제(20143010011910)과 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 지역산업선도인력양성사업 성과임(과제번호: NRF-2016H1D5A1910875).

## REFERENCES

1. Kim, J. H. and Kim, J. T., The Performance Evaluation of the BIPV System Considering Photovoltaic Module Temperature, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 5, pp. 53-58, 2004.
2. Kim, J. S., The Analysis of Characteristics on CIGS Thin Film Solar Cell Module for BIPV Applications, master thesis, Kongju National University, 2012.
3. Beck, M. E., Wiedeman, S., Huntington, R., VanAlsburg, J., Kanto, E., Butcher, R., and Britt, J. S., Advancements in Flexible CIGS Module Manufacturing, Conference Record of the Thirty-First IEEE, pp. 211-214, 2005.
4. Wiedeman, S., Beck, M. E., Butcher, R., Repins, I., Gomez, N., Joshi, B., and Britt, J. S., CIGS Module Development

- on Flexible Substrates, Conference Record of the Twenty-Ninth IEEE, pp. 575-578, 2002.
5. Malmstrom, J., Wennerberg, J., and Stolt, L., A Study of the Influence of the Ga Content on the Long-term Stability of Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> thin film solar cells, Thin Solid Films, No. 421, pp. 436-442, 2003.
  6. Kang, J. G., Jang, H. H., Kim, J. H., and Kim, J. T., The Characteristics on CIGS Thin Film PV Module for Curtain Wall Applications, Vol. 4, pp. 257-261, 2013.
  7. Lee, J. H., Lee, J. S., Choi, W. S., and Park, Y. S., CIGS Compound Thin Film Solar Cell Technology Development and Industry Trend, Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 61, No. 11, pp.23-36, 2012.
  8. Yoon, J. H., Industry Trends and Future Technologies of CIGS Thin Film Solar Cell, The Magazine of the Institute of Electronics and information Engineers, Vol. 35, No. 6, pp. 50-58, 2008.
  9. Choi, S. H., Park, J. J., Yun, J. O., Hong, Y. H., and Kim, I. S., A Study of Mo Back Electrode for CIGSe<sub>2</sub> Thin Film Solar Cell, The Korean Vacuum Society, Vol. 21, No. 3, pp. 142-150, 2012.
  10. Lee, J. H., Lee, J. S., Im, D. G., Kim, D. Y., and Choi, W. S., Development Trend of Cu(In, Ga)Se<sub>2</sub> Thin Film Solar Cell Technology, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 10, No. 4, pp. 12-26, 2011.
  11. Virtuani, A., Pavanello, D., and Friesen, G., Overview of temperature coefficients of different thin film photovoltaic technologies, 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition/5th orld Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pp. 6-10, 2010.
  12. Feist, R., Mills, M., and Ramesh, N., Methodology for Delivering Reliable CIGS based Building Integrated Photovoltaic(BIPV) Products, Reliability Physics Symposium(IRPS), 2012 IEEE International, pp. 4A-1, 2012.
  13. Lee, S. G., A Study on Electrical & Thermal Performance of BIPV Applied Spandrel Using Modeling Methodology, Kongju National University, 2013.
  14. Kim, H. R., Kim, K. S., Kang, G. H., Yoo, K. J., and Kim, J. T., Electrical Characteristics of Semi-transparent BIPV Module with Backside Glass, Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 7, pp. 1300-1301, 2011.
  15. Park, K. E., Kang, G. H., Kim, H. I., Yu, G. J., and Kim, J. T., Analysis of Thermal and Electrical Performance of semi-transparent photovoltaic(PV) module, Energy, Vol. 35, No. 6, pp.2681-2687, 2010.