

박막 BIPV창의 온도변화와 발전성능 상관관계에 관한 실측연구

김빛나*, 윤종호**, 신우철***

*한밭대학교 대학원 건축공학과(shinepn@hanmail.net), **한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr),
***대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.ac.kr)

An Experimental Study on Relationship Between Temperature Change and Generation Performance of a-Si BIPV Window System

Kim, Bit-na* Yoon, Jong-Ho** Shin, U-Cheul***

*Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Hanbat University(shinepn@hanmail.net),
**Dept. of Architectural Engineering, Hanbat University(jhyoon@hanbat.ac.kr),
***Dept.ofArchitecture, DaejeonUniversity(shinuc@dju.ac.kr)

Abstract

This research on building Integrated Photovoltaic System replacing windows and doors with amorphous silicon thin film PV windows and doors installing same exact mount on Mock-up. The windows and doors should be installed in different angle and bearing so that we can analyse the amount of electricity from them. The objective of the research is to evaluate and investigate the relationship between factors(intensity of solar radiation, PV window surface temperature, incidence angle, and sky conditions) that affects performance of PV window and performance. The range and method of this research is to establish monitoring system and analysis the data from the monitoring system to evaluate the performance of PV windows that have thin film of solar battery. We should evaluate the insolation according to the position of PV window, output, and surface temperature according to months and seasons so that we can figure out the relationship between these. And we should investigate the relationship between performance and efficiency according to incidence angle and sky condition so that we can figure out the correlation between factors and performance.

Keywords : 건물일체형 태양광발전(BIPV), a-Si 박막 태양전지(Amorphous silicon thin-film solar cell), 표면온도 (Surface temperature), 발전성능(Output power)

1. 서 론

건축물에 부착 설치되는 형태의 태양전지는 단순한 패널 형태 외에도 건축물과 일체화된 외장재 형태로 제작되는 건물일체형 태양전지(BIPV)가 있다. 특히 빛을 투과시킬 수 있는 투광형 a-Si 박막 태양전지는 유리의 기능을 대신할 수 있기 때문에 기존의 건물에서 창호를 대체할 뿐만 아니라 전기를 생산함으로써 미래 PV산업의 잠재성이 큰 분야라고 할 수 있다. 투광형 a-Si 박막 태양전지가 기존의 창호와 같은 기능을 하기 위해서는 채광, 단열, 차음, 구조 성능 등의 사항이 검토되어야 한다. 특히 건물에 기존의 창을 대신하여 PV창을 설치하였을 경우 기존의 창과 비교하여 채광측면에서의 역할 뿐만 아니라 전기를 생산한다는 측면이 있기 때문에 전기를 생산함으로써 발생하는 열을 고려하여야 한다.

PV모듈의 온도와 발전성능의 관계에 대한 선행연구에 따르면 PV모듈은 온도에 따라 발전성능에 영향을 미치는데 태양전지모듈의 자체온도가 1°C 상승함에 따라 변환효율은 0.5% 정도 감소¹⁾하므로 일사량과 온도가 상승함에 따라 BIPV 시스템의 성능에 영향을 준다. 국내에서는 주택용 3kW 지붕일체형 태양광발전 시스템의 온도와 발전성능에 관한 실험적 연구²⁾, 지붕일체형 PV모듈의 온도에 따른 발전성능 분석³⁾, PV모듈 온도를 고려한 BIPV시스템의 성능 평가⁴⁾ 등의 결정계 태양전지를 대상으로 한 연구는 많이 있지만 박막 태양전지를 창호화하여 건물 적용에 따른 PV창의 온도와 발전성능에 대한 연구는 부

족한 실정이다.

투광형 박막 PV모듈을 이용한 PV복층창, 삼중창과 같이 PV모듈을 투명유리와 복층화, 삼중화하여 공기층을 포함하는 경우 중간 공기층의 실외 측으로 박막전지가 위치하고 있으며, 특히 10%의 투과율에 따른 투과 일사를 제외하면 대부분 박막전지 층에 흡수되어 열과 전기로 변환된다는 점에서 투명 복층창, 삼중창에 비해 투과과정에서 발생하는 열이 매우 높을 것으로 사료되며, 이는 주간의 발전시간대에 온도상승에 의한 발전량 및 발전효율에 영향을 미치는 요인이 되므로 반드시 고려되어야 한다.

따라서 본 연구는 건축창호를 대체할 수 있는 a-Si 박막 BIPV 창 of 열적특성과 발전특성을 실측하여 데이터를 수집하고 PV창의 온도변화에 따른 발전성능 상관관계를 도출하는데 목적이 있다.

본 연구에서는 투광형 a-Si 박막 PV창의 온도특성에 따른 발전성능을 분석하기 위해 건물일체형 a-Si 박막 PV창을 적용한 Mock-up 모델을 통한 실측실험을 수행하였다. Mock-up 모델에 투광형 a-Si 박막 PV모듈을 라미네이션(Lamination) 한 PV단판모듈을 지붕에 파고라형태로 수평으로 설치하였고, 복층화하여 남측 수직면에 PV복층창으로 삼중화하여 서측 수직면에 PV삼중창으로 설치하였다. 그리고 모니터링을 실시하여 각 모듈의 일사량, 모듈온도, 발전량 등을 측정하고 실측 데이터를 통해 PV창의 표면온도변화에 따른 발전성능 상관관계를 분석하였다.

2. BIPV창의 성능 및 Mock-up 모델 개요

투광형 박막 PV모듈을 창호화하여 Test Mock-up에 적용하기 위해 Fig. 1과 같은 과정을 거쳐 PV모듈을 제작하였다. PV모듈 제작은 원자재(ASI Thin-film Cell)에 EVA 필름과 투명유리 5mm를 접합하여 10mm두께

1) Randall Thomas, Photovoltaics and Architecture, Spon Press, pp.14, 2001

2) 윤종호, 「주택용 3kW 지붕일체형 태양광발전 시스템의 온도와 발전성능에 관한 실험적 연구」, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, pp.276~281, 2006

3) 김현일, 「지붕일체형 PV모듈의 온도에 따른 발전성능 분석」, 한국건축환경설비학회 추계학술발표대회 논문집, pp.173-177 2007

4) 김진희, 「PV모듈 온도를 고려한 BIPV시스템의 성능 평가」, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, pp.53~58, 2004

의 단판 접합 PV모듈(5mm TCO Glass + Amorphous Thin-Film + 5mm Float Glass)을 제작하였다.

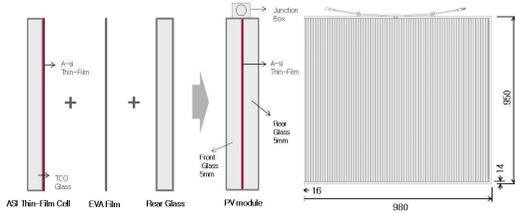


Fig. 1 Manufacture and shape of PV module

단판 접합 PV모듈의 크기는 너비 980mm, 높이 950mm으로써 면적이 약 0.931m²이며, 모듈 1매는 108개의 셀이 직렬로 연결되어 있다.

표준 시험조건(STC)¹⁾에서의 전기적 특성 측정결과는 Table. 1에 나타난 바와 같이 최대출력(P_{max}) 44Wp, 개방전압(V_{oc}) 91.8V, 단락전류(I_{sc}) 0.97A, 최대출력전압(V_{Pmax}) 59.6V, 최대출력전류(I_{Pmax})가 0.74A로 측정되었다. STC 조건에서 일사량대비 발전성능을 나타내는 지표인 효율은 약 7%인 것으로 나타났다.

Table. 1 Electrical characteristics of PV module

항목	내용
최대출력(P _{max})	44 [W]
개방전압(V _{oc})	91.8 [V]
단락전류(I _{sc})	0.97 [A]
최대출력전압(V _{Pmax})	59.6 [V]
최대출력전류(I _{Pmax})	0.74 [A]

단판 접합 PV모듈의 광학성능을 시험하기 위해 200~2400nm 파장대의 투과율, 흡수율, 반사율을 측정하였으며, PV모듈의 광학특성 시험결과는 Table. 2에 나타난 바와 같다.

Table. 2 Optical characteristics of PV module

항목	광학특성
두께	10 mm
태양 투과율	0.067
전면 반사율	0.222
후면 반사율	0.203
가시광선 투과율	0.082
전면 가시광선 투과율	0.100
후면 가시광선 투과율	0.166
전면 방사율	0.840
후면 방사율	0.840
적외선 투과율	0.000

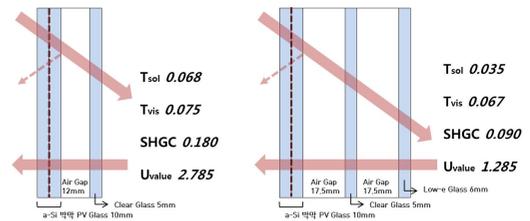


Fig. 2 Optical and thermal properties of PV window

시험결과를 토대로 Mock-up에 시공될 PV 복층창 및 PV삼중로이창에 대한 광학적 특성 및 열적 특성을 분석하였다. 창호성능 해석 도구로서 LBNL(Lawrence Berkeley National Laboratory)에서 개발하여 세계적으로 널리 보급된 WINDOW 5 및 THERM 5를 사용하였다. PV복층 및 PV삼중로이창의 광학성능 및 열적특성은 Fig. 2에 나타낸바와 같다.

Table. 3 Mock-up overview

건물명	솔라큐브(Solar-Cube)
건물위치	대전광역시 H대학교 건설공학관 옥상
건축면적	59.15m ²
건립연도	2009년 6월
태양전지 종류	a-Si 박막 태양전지
단위창 크기	980mm x 950mm = 0.931m ²
PV 총 설치용량	44W/매 x 12매 x 4개면 = 2.1kW
PV 창호형태	단창(수평면), 복층창(남측 수직면 및 경사면), 삼중창(서측 수직면)

PV창의 발전성능 및 온도성능을 실측하기 위한 Mock-Up을 설계 제작하였다. Table. 3

1) STC(Standard Test Conditions): 태양광발전 모듈이나 태양전지 시험의 조건이며, 태양전지(태양전지 셀)와 태양광발전 모듈 특성을 측정할 때의 기준으로 일조강도 1000W/m², AM 1.5, 어레이 대표온도 25±2℃인 시험조건

은 Test Mock-up 모델의 개요를 나타낸 것이다. Fig. 3과 같이 Mock-up 모델에 적용된 PV창의 종류 및 설치용량은 PV단창이 옥상 파고라 부분에 수평으로 12매, PV복층창이 경사 30°로 옥상천장과 남측 수직면에 각각 12매, PV삼중로이창호가 서측 수직면에 12매, 총 48매의 2.1kW 용량이 설치되었다. 단, 옥상 파고라 부분 PV단창의 실제 설치용량은 총 25매가 설치되어 있으나, 방위 및 경사각별 발전량 비교를 위해 동일 용량인 12매만 가동 중이며 나머지 13매는 모듈 간 전선연결 없이 의장적인 목적으로 설치되었다.



Fig. 3 Mock-up view and position of PV window

3. 실측을 통한 BIPV창의 발전성능 평가

3.1 분석개요 및 분석방법

본 장에서는 Mock-up 모델의 시공 후 모니터링 시스템의 보정과정을 거쳐 도출된 실측데이터를 2010년 11월부터 2011년 10월까지 연간 수평면, 남측 경사면, 남측 수직면, 서측 수직면의 일사량과 PV발전량 및 온도 측정결과에 대한 통계처리 분석을 수행 하였다. 오류 데이터를 제외하고 최종 선별된 데이터는 1분 간격 측정 자료로 분석방법은 일별로 계측된 데이터를 월별로 1차 그룹화하고, 2차로 분별데이터를 그룹화하고, 3차로 분별데이터를 시간별 평균하여 그룹화한 후 산술평균 및 표준편차, 최대 및 최소값에 대

한 통계 처리하여 그래프의 형태로 분석을 수행하였다.

3.2 계측기간의 설치위치별 일사량 분석

Table. 4는 월별 월평균 적산 일사량 및 연간 적산 일사량 비율을 비교한 것이다.

Table. 4. Monthly, yearly total insolation

구분	월평균 적산 일사량 (kWh/m ² ,month)			
	수평면	남측 경사면	남측 수직면	서측 수직면
2010.11	71.85	113.64	111.39	55.29
2010.12	57.82	98.83	102.64	49.01
2011.01	68.28	117.80	125.76	64.99
2011.02	67.55	101.42	89.04	51.46
2011.03	129.15	165.35	115.29	83.27
2011.04	132.76	151.23	83.67	81.53
2011.05	128.35	127.48	59.11	72.05
2011.06	133.02	129.54	56.13	72.98
2011.07	109.93	106.45	49.57	56.58
2011.08	107.32	108.34	56.66	55.05
2011.09	111.37	126.91	77.79	63.66
2011.10	97.81	122.08	91.51	64.73
월평균	101.27	122.42	84.88	64.22
연간 합계	1215.2	1469.1	1018.6	770.6
비율	82.7%	100.0%	69.3%	52.5%

설치위치별로 월평균 적산 일사량을 분석한 결과 수평면의 경우 4월에 적산 일사량이 132.76 kWh/m²로 가장 많은 일사를 받으며, 12월에 57.82 kWh/m²로 가장 적은 일사를 받는다. 남측 경사면의 경우 3월에 165.35 kWh/m²로 가장 많은 일사를 받으며, 12월에 98.83 kWh/m²로 가장 적은 일사를 받는다. 남측 수직면의 경우 1월에 125.76 kWh/m²로 가장 많은 일사를 받으며, 7월에 49.7 kWh/m²로 가장 적은 일사를 받는다. 서측 수직면의 경우 3월에 83.5 kWh/m²로 가장 많은 일사를 받으며, 12월에 49.57 kWh/m²로 가장 적은 일사를 받는다.

연간 총 적산일사량은 남측 경사면의 경우 1469.1 kWh/m², 수평면의 경우 1215.2 kWh/m², 남측 수직면의 경우 1018.6 kWh/m², 서측 수직면의 경우 770.6 kWh/m²이다. PV창 설

치위치 중 연간 일사량이 남측 경사면일 때 가장 크며, 남측 경사면의 연간 일사량을 100%라고 한다면 수평면은 82.7%, 남측 수직면은 69.3%, 서측 수직면은 52.5%의 연간 일사량 비율을 나타낸다.

3.3 PV창의 설치위치별 발전성능 평가

본 연구에서는 측정기간(2010년 11월 ~ 2011년 9월) 동안 인버터 입력단에서 측정된 직류(DC)발전량을 기준으로 설치위치별 발전량을 통계 처리하여 월별 PV발전량을 분석하였다. 수평면 PV창의 월별 발전량 변화를 보면 평균 태양고도가 높은 6월에 발전량이 94.98 kWh로 가장 높고, 태양고도가 낮은 12월에 발전량이 32.02 kWh로 가장 낮은 것으로 나타났다. 남측 경사면 PV창의 경우 월별 발전량 변화를 보면 3월에 발전량이 91.71kWh로 가장 높고, 12월에 발전량이 53.67kWh로 가장 낮은 것으로 나타났다. 남측 수직면 PV창의 경우 3월에 발전량이 65.76kWh로 가장 높고, 12월에 발전량이 31.40kWh로 가장 낮은 것으로 나타났다. 서측 수직면의 경우 9월에 발전량이 38.31kWh로 가장 높고, 12월에 발전량이 18.08kWh로 가장 낮은 것으로 나타났다. 각 설치위치의 PV창을 통한 총 발전량의 경우 3월에 가장 유리하고 12월에 가장 불리한 것으로 나타났다. 각 설치위치의 총 발전량은 남측 경사면의 경우 850.9kWh, 수평면의 경우 791.2kWh, 남측 수직면의 경우 527.1kWh, 서측 수직면의 경우 343.3kWh이다. 따라서 남측 경사면이 총 발전량이 가장 크며, 수평면, 남측 수직면, 서측 수직면 순으로 크다. 남측 경사면이 받는 연간 총 적산일사량을 100%라고 한다면 수평면은 93%, 남측 수직면은 62%, 서측 수직면은 40%의 비율을 나타낸다.

3.5 PV창의 표면온도 및 발전특성 분석

PV창의 표면온도 상승이 발전성능에 미치는

영향을 분석하기 위해 표면온도 외에 확산 일사와 박막PV모듈 전면의 유리특성에 따른 입사각에 의한 투과율 변화의 영향을 배제하기 위해 청천공인 날과 발전시간동안 PV창의 입사각이 작은 날을 선정하였다.

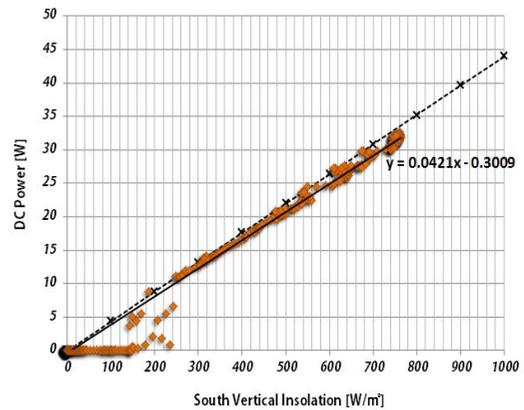


Fig. 4. Power generation characteristics by insolation

Fig. 4는 일사강도에 따른 수직면 PV창의 발전성능을 나타낸 것으로 점선으로 표시한 STC 조건 최대출력 44W에 비해 실선으로 표시한 실제 발전성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 입사되는 일사강도와 주변 외기온도에 의한 PV창의 온도상승에 의한 영향이라고 판단된다.

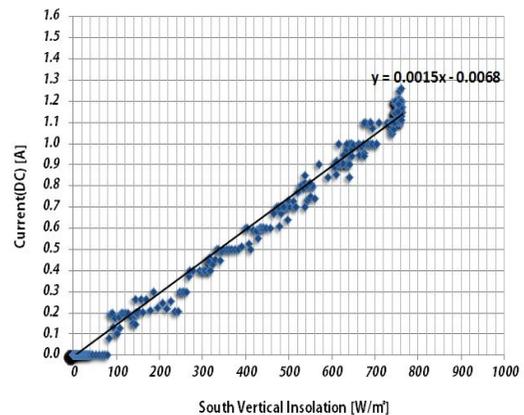


Fig. 5 Current characteristics by insolation

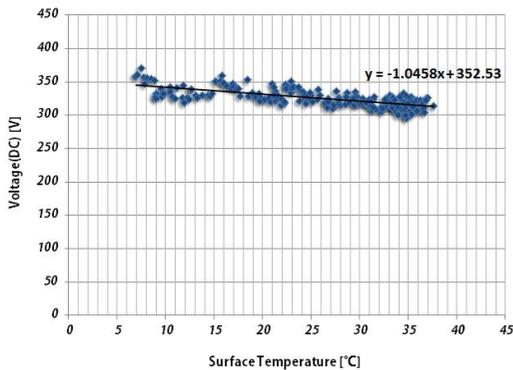


Fig. 6 Voltage characteristics by insolation

Fig. 5, Fig. 6에 의하면 전류는 일사강도에 비례적으로 증가하고, 전압의 경우 일사강도가 증가할수록 전압이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 일사강도에 따른 출력이 저하되는 것은 온도가 상승함에 따라 전압이 감소하기 때문인 것으로 분석되었다. 이때 전압의 감소율은 1°C마다 약 0.3%로 나타났고, 전류가 온도상승에 의한 영향이 거의 없다고 할 때, 최대출력은 표면온도가 1°C 상승함에 따라 약 0.3%가 감소하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 건축창호를 대체할 수 있는 비정질 실리콘 박막 PV창을 Mock-up모델에 설치하고 설치위치별 일사량, 온도, 발전성능의 모니터링을 수행하였다. 모니터링을 통해 얻어진 데이터를 통계 분석하여 설치위치별 데이터를 정량적으로 수립하고, 박막 PV창의 표면 온도상승에 따른 발전성능특성에 대한 분석을 수행하였으며 분석 결과는 다음과 같다.

연간 총 적산일사량은 남측 경사면의 경우 1469.1 kWh/m², 수평면의 경우 1215.2 kWh/m², 남측 수직면의 경우 1018.6 kWh/m², 서측 수직면의 경우 770.6 kWh/m²이다. PV창 설치위치 중 연간 일사량이 남측 경사면일 때 가장 크다. 각 설치위치의 총 발전량은 남측

경사면의 경우 850.9kWh, 수평면의 경우 791.2kWh, 남측 수직면의 경우 527.1kWh, 서측 수직면의 경우 343.3kWh이다. 따라서 남측 경사면이 총 발전량이 가장 크며, 수평면, 남측 수직면, 서측 수직면 순으로 크다.

온도가 상승할수록 발전성능 저하가 나타나는 것은 온도상승에 따른 전압이 감소하기 때문인 것으로 나타났고 그에 따라 최대출력은 표면온도가 1°C 상승함에 따라 약 0.3%가 감소하는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호 : 2009-0089930)

References

1. Randall Thomas, Photovoltaics and Architecture, Spon Press, pp.14, 2001
2. 윤종호, 주택용 3kW 지붕일체형 태양광발전 시스템의 온도와 발전성능에 관한 실험적 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, pp.276~281, 2006
3. 김진희, PV모듈 온도를 고려한 BIPV시스템의 성능 평가, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회 논문집, pp.53~58, 2004
4. 김현일, 지붕일체형 PV모듈의 온도에 따른 발전성능 분석, 한국건축환경설비학회 추계학술발표대회 논문집, pp.173-177 2007
5. 신혜영, 태양전지 온도에 따른 효율, 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, pp.356~361, 2009
6. 임경업, 건물일체형 신재생에너지 시스템의 평가를 위한 Mock-up 시설 계획설계에 관한 연구, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, pp.102~107, 2010