

## 천공상태에 따른 박막 BIPV 창호의 온도 및 발전특성 실측연구

김빛나\*, 윤종호\*\*, 신우철\*\*\*

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

### A Study on Optimum of Performance Objectives of Passive House with Load Reduction elements

Kim, Bit-na\*, Yoon, Jong-Ho\*\*, \*\*\*Shin,U-Cheu

\*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 date from the monitoring system to evaluate the performance of PV windows that has 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), 표면온도(Surface temperature), 천공상태(Sky Conditions), 발전성능(Output power)

---

## 1. 서 론

국내외 비정질 실리콘 박막 태양전지 관련 연구를 고찰한 결과 천공상태에 따른 투광형 비정질 박막 PV창의 발전성능에 대한 국내 연구는 없는 실정이고 국외 연구의 경우 비투광형 비정질 실리콘 박막 태양전지에 대한 연구 및 실측연구가 아닌 시뮬레이션에 의한 연구가 주를 이루고 있다. 또한 PV의 온도와 발전성능에 대한 연구는 결정계 실리콘 태양전지를 대상으로 한 연구가 국한적이다. 따라서 본 연구는 건축창호를 대체할 수 있는 박막 태양전지를 이용한 BIPV창의 광학특성과 열적특성을 분석하고, BIPV창을 실제 Mock-up모델에 적용하고 장기간에 걸쳐 발전성능 및 온도특성을 모니터링 하여, 건물 일체형 BIPV창의 설치위치별 발전성능 및 온도특성을 도출하고 이들 결과에 대한 통계 분석을 통해 각 설치위치별 BIPV창의 발전성능에 영향을 미치는 인자들(일사강도, PV창 표면온도, 입사각, 천공상태 등)과 발전성능과의 상관관계를 규명하고 정량적으로 도출하였다.

## 2. BIPV창호의 성능 및 Mock-up 모델 개요

투명 박막 PV모듈을 창호화하여 Mock-up에 적용하기 위해 그림 1과 같은 과정을 거쳐 PV모듈을 제작하였다. PV모듈 제작은 원자재(ASI Thin-film Cell)에 EVA 필름과 투명유리 5mm를 라미네이션하여 10mm두께의 단판 PV모듈을 제작하였다.

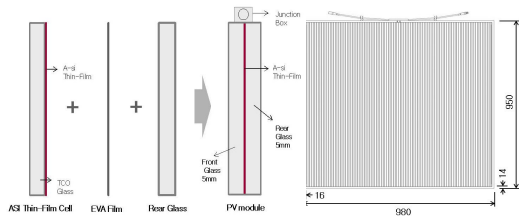


그림 4. PV모듈의 형상 및 크기

단판 PV모듈의 크기는 980mm×950mm으로써 면적이 약 0.931m<sup>2</sup>이며 PV모듈 1개는 108개의 셀이 직렬로 접속되어 있다.

표준 시험조건(STC)<sup>1)</sup>에서의 전기적 특성 측정결과를 표 1에 나타난 바와 같이 최대출력(P<sub>max</sub>)이 44Wp, 개방전압(V<sub>oc</sub>) 91.8V, 단락전류(I<sub>sc</sub>) 0.97A로 나타났으며, 최대출력전압(V<sub>Pmax</sub>) 59.6V, 최대출력전류(I<sub>Pmax</sub>)가 0.74A로 측정되었다. 또한 창호의 필수성능조건 중 하나인 가시광선투과율(T<sub>vis</sub>)이 10%로 나타났으며, 일정조건에서 일사량대비 발전성능을 나타내는 지표인 효율은 약 7%인 것으로 나타났다.

표 1. PV모듈의 전기적 특성

항 목	내용
최대출력(P <sub>max</sub> )	44 [W]
개방전압(V <sub>oc</sub> )	91.8 [V]
단락전류(I <sub>sc</sub> )	0.97 [A]
최대출력전압(V <sub>Pmax</sub> )	59.6 [V]
최대출력전류(I <sub>Pmax</sub> )	0.74 [A]
Efficiency[%]	7

표 2. PV모듈의 광학특성 시험결과

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

PV모듈(5mm TCO Glass + Amorphous Thin-Film + 5mm Float Glass)의 광학성능

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

을 시험하기 위해 200~2400nm 파장대의 투과율, 흡수율, 반사율을 측정하였으며, 시험 결과를 바탕으로 가시광선투과율( $T_{vis}$ ) 및 태양투과율( $T_{sol}$ )등 광학특성을 분석하였다. PV모듈의 광학특성시험결과는 표 2에 나타난 바와 같다.

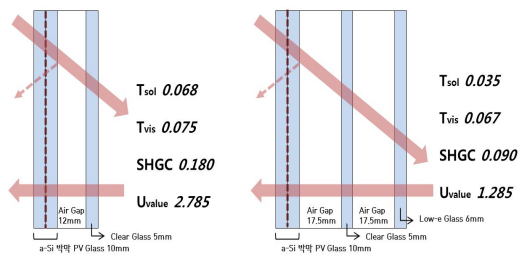


그림 5. PV복층 및 삼중창의 광학성능 및 열적특성

시험결과를 토대로 Test Mock-up에 시공될 PV복층창 및 PV삼중로이창호에 대한 광학적 특성 및 열적 특성을 분석하였다. 창호 성능 해석도구로서 LBNL에서 개발하여 세계적으로 널리 보급된 WINDOW 5.0 및 THERM 5.0을 사용하였다. PV복층 및 삼중창의 광학성능 및 열적특성은 그림 2에 나타난바와 같다. PV창의 발전성능 및 온도성능을 시험하기 위한 Test Mock-Up은 국립한밭대학교의 건설공학관 건물 6층 옥상에 위치하였다. 표 3은 Mock-up 모델의 개요를 나타낸 것이다.

표 3. 실험을 위한 Mock-up 모델의 개요

건물명	솔라큐브(Solar-Cube)
건물위치	대전광역시 국립한밭대학교 건설공학관 옥상
건축면적	59.15m <sup>2</sup>
건립연도	2009년 6월
태양전지 종류	균일 투광성 아몰포스실리콘(a-si) 태양전지
단위창 크기	980mm x 950mm = 0.93m <sup>2</sup>
PV 총 설치용량	44W/매 x 12매 x 4개면 = 2.1kW 단창 (수평면)
PV 창호형태	복층창 (남측 수직면 및 30도 경사면) 삼중창(서측수직면)

그림 3과 같이 Mock-up 모델에 적용된 PV모듈의 종류 및 설치용량은 접합모듈이 옥상 파고라부분에 수평으로 12매, PV복층창이 옥상천장에 경사 30°와 남측벽 수직면에 각각 12매, PV 삼중로이창호가 서측벽 수직면에 12매, 총 48매의 2.1kW 용량이 설치되었다. 한편, 옥상 파고라부분 접합모듈의 실제 설치용량은 1.1kW급 총 25매가 설치되어 있으나, 방위 및 경사각별 발전량 실측을 위해 동일용량인 12매만 가동 중이며 나머지 13매는 모듈 간 전선연결 없이 의장적인 목적으로 설치되었다.



그림 6. Mock-up 전경 및 PV창 설치위치

### 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 9월까지 11개월 동안 수평면(SLOPE\_0°), 남측 경사면(SLOPE\_30°), 남측 수직면(SLOPE\_90°), 서측 수직면(SLOPE\_90°)의 일사량과 PV발전량 및 온도 측정결과에 대한 통계처리 분석을 수행 하였다. 오류 데이터를 제외하고 최종 선별된 데이터는 32개 변수에 대한 368,640개의 1분별 측정 자료로 총 11,796,480개의 데이터를 대상으로 통계 분석을 수행하였다. 분석방법은 일별로 계측된 데이터를 월별로

1차 그룹하고, 2차로 분별데이터를 그룹하고, 3차로 분별데이터를 시간별 평균하여 그룹화한 후 산술평균 및 표준편차, 최대 및 최소값에 대한 통계 처리하여 그래프의 형태로 분석을 수행하였다.

### 3.2 계측기간의 설치위치별 일사량 분석

설치위치별로 일평균 적산 일사량 및 월적산 일사량을 분석한 결과 수평면의 경우 4월에 적산 일사량이 132.76kWh/m<sup>2</sup>로 가장 많은 일사를 받으며, 12월에 57.82kWh/m<sup>2</sup>로 가장 적은 일사를 받는다. 남측 경사면의 경우 3월에 165.35kWh/m<sup>2</sup>로 가장 많은 일사를 받으며, 12월에 98.83kWh/m<sup>2</sup>로 가장 적은 일사를 받는다. 남측 수직면의 경우 1월에 125.76kWh/m<sup>2</sup>로 가장 많은 일사를 받으며, 7월에 49.7kWh/m<sup>2</sup>로 가장 적은 일사를 받는다. 서측 수직면의 경우 3월에 83.5kWh/m<sup>2</sup>로 가장 많은 일사를 받으며, 12월에 49.57kWh/m<sup>2</sup>로 가장 적은 일사를 받는다.

표 4. 월별 일평균 적산 일사량

구분	일평균 적산 일사량 (kWh/m <sup>2</sup> ,day)			
	수평면	남측 경사면	남측 수직면	서측 수직면
2010.11	2.40	3.79	3.71	1.84
2010.12	1.87	3.19	3.31	1.58
2011.01	2.20	3.80	4.06	2.10
2011.02	2.41	3.62	3.18	1.84
2011.03	4.17	5.33	3.72	2.69
2011.04	4.43	5.04	2.79	2.72
2011.05	4.14	4.11	1.91	2.32
2011.06	4.43	4.32	1.87	2.43
2011.07	3.55	3.43	1.60	1.83
2011.08	3.46	3.49	1.83	1.78
2011.09	3.71	4.23	2.59	2.12
2011.10	3.16	3.94	2.95	2.09
월평균	3.33	4.03	2.79	2.11

표 5는 월별 월평균 적산 일사량 및 연간 적산 일사량 비율을 비교한 것이다. 연간 총 적산일사량은 남측 경사면의 경우 1469.1kWh/m<sup>2</sup>, 수평면의 경우 1215.2kWh/m<sup>2</sup>, 남측 수직

면의 경우 1018.6kWh/m<sup>2</sup>, 서측 수직면의 경우 770.6kWh/m<sup>2</sup>이다. 따라서 남측순으로 크다. 남측 경사면이 받는 연간 총 적산일사량 경사면이 연간 총 적산일사량이 가장 크며, 수평면, 남측 수직면, 서측 수직면 을 100%라고 한다면 수평면은 82.7%, 남측 수직면은 69.3%, 서측 수직면은 52.5%의 비율을 나타낸다.

표 5. 연간 월별 월평균 적산 일사량

구분	월평균 적산 일사량 (kWh/m <sup>2</sup> ,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%

### 3.3 PV창의 설치위치별 발전성능 평가

본 연구에서는 측정기간(2010년 11월~2011년 9월) 동안 인버터를 통과한 직류(DC) 발전량을 기준으로 설치위치별 발전량을 통계 처리하여 월별 PV발전량을 분석하였다. 수평면 PV창의 월별 발전량 변화를 보면 평균 태양고도가 높은 6월에 발전량이 94.98kWh로 가장 높고, 태양고도가 낮은 12월에 발전량이 32.02kWh로 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.

### 3.4 천공조건에 따른 PV모듈의 발전효율 분석

본 연구에서는 천공조건에 따른 PV창의 발전성과 발전효율을 분석하기 위해 우선 천공 운량에 따른 천공을 구분함에 있어서 운량 0~2를 청천공, 운량 3~7을 중간천공, 운량 8~10을 담천공으로 구분하였으며, 연간 청천공, 중간천공, 담천공 비율은 아래 표 6와 같다.

천공상태를 청천공, 담천공 상태로 구분하여 일사강도에 따른 발전효율을 비교하였다. 담천공 상태일 때 일사강도는 약 200~500W/m<sup>2</sup>이며, 청천공 상태일 때 일사강도는 약 500~900W/m<sup>2</sup>로 분포한다. 담천공의 경우 일사강도가 청천공보다 작지만 효율은 청천공 상태보다 약 1~2% 정도 높게 나타나는 것으로 분석되었다.

표 6. 연간 천공상태 비율

천공상태 (평균운량)	청천공 (0~2)	중간천공 (3~7)	담천공 (8~10)
비율(%)	31.2%	45.8%	23.0%

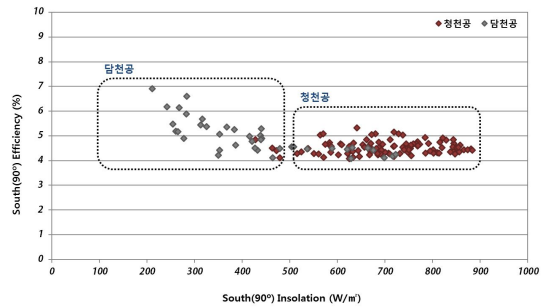


그림 4. 담천공, 청천공 상태일 때 일사강도에 따른 발전효율 비교

### 3.5 PV창의 표면온도 및 발전특성 분석

PV창의 표면온도 상승이 발전성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 표면온도 외에 확산일사와 박막PV모듈 전면의 유리특성에 따른 입사각에 의한 투과율 변화의 영향을 배제하기 위해 청천공인 날과 발전시간동안 PV모듈의 입사각이 작은 날을 선정하였다. 그림 5는 일사강도에 따른 수직면 PV창의 발전성능을 나타낸 것으로 정격출력(44W)에 비해 발전성능이 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 입사되는 일사강도와 주변 외기온도에 의한 PV창의 온도상승에 의한 영향이라고 판단된다.

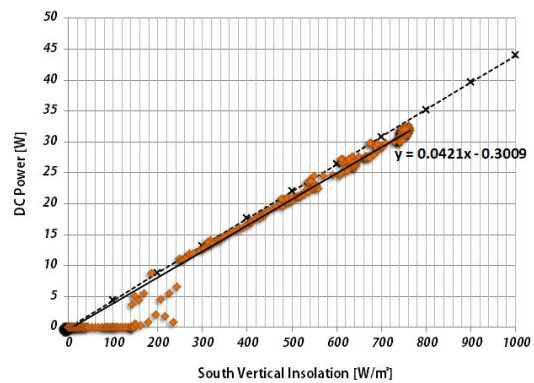


그림 5. 수직면PV창의 일사강도에 따른 출력특성

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.

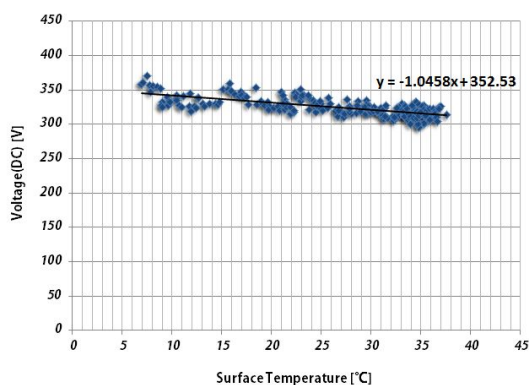


그림 6. 수직면 PV창의 표면온도에 따른 전압 특성

#### 4. 결 론

본 연구는 건축창호를 대체할 수 있는 비정질 실리콘 박막 PV창을 Mock-up모델에 설치하고 설치위치별 발전성능의 모니터링을 수행하였다. 모니터링을 통해 얻어진 데이터를 통계 분석하여 설치위치별 발전성능을 정량적으로 수립하고, 발전성능에 영향을 미치는 요소를 고려하여 각 요소와 발전성능의 상관관계를 분석하였다. 비정질 실리콘 박막 PV창의 경우 청천공 상태보다 담천공 상태일 때 발전효율이 약 1~2% 정도 높게 나타나는 것으로 분석되었고, 최대출력은 표면온도가 1°C 상승함에 따라 약 0.3%가 감소하는 것으로 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부의 '2010신재생에너지기술개발사업'의 연구비 지원으로 수행되었음(과제번호 : 20103040010100)

#### 참 고 문 헌

1. 윤종호, 자연채광용 박막 태양전지 BIPV 모듈의 발전성능 실측연구, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 2006
2. 윤종호, 주택용 3kW 지붕일체형 태양광발전 시스템의 온도와 발전성능에 관한 실험적 연구, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집, 2006
3. 김진희, PV모듈 온도를 고려한 BIPV시스템의 성능 평가, 한국태양에너지학회 춘계학술발표대회논문집, 2004
4. 김현일, 지붕일체형 PV모듈의 온도에 따른 발전성능 분석, 한국건축친환경설비학회 추계학술발표회 논문집, 2007
5. 신혜영, 태양전지 온도에 따른 효율, 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, 2009
6. 이경희, "건축환경계획론", 태림문화사, 1993, P264-389
7. 윤종호, "그린 빌딩과 BIPV시스템", 산업자원부, 에너지절약기술 워크샵 논문집, 2002
8. 윤종호, "건물통합형 태양광발전(BIPV) 시스템의 설계요소 및 접근방법", 에너지관리공단산하
9. 태양광발전기술연구회, 제1회 태양광발전기술세미나, 2001.10
10. 윤종호, 이길송, 김종일, 최을, 유권중, "상업건물 외벽용 태양광발전(BIPV) 전자재 모듈 개발 연구", 한국생태환경건축학회, 한국생태건축학회 춘계학술발표논문집Vol3, No.1, 2003.