

건물일체형 투명 PV복층창의 설치조건에 따른 단위출력당 발전특성 분석연구

안영섭*, 송종화*, 김석기*, 이성진*, 윤종호**

*코오롱건설(주) 기술연구소(ysan@kolon.com), **한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr)

A Study on the Power Performance Measurement of Transparent Thin-film PV Windows of BIPV Depending on the Inclined Angle

An, Young-Sub*, Song, Jong-Hwa*, Kim, Seok-Ge*, Lee, Sung-Jin*, Yoon, Jong-Ho**

*KOLON E&C Institute of Technology(ysan@kolon.com),

**Dept. of Architectural Eng., Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr)

Abstract

This study is on the analysis of power output of transparent thin-film PV windows which are integrated into the building envelope instead of traditional windows. 3 installation angles of vertical, horizontal and 30° inclination are investigated. To measure power output of PV windows, full scale mock-up house was designed and constructed. The power performance of PV window system was analyzed for horizontal angle, declination angle and vertical angle according to incline angle. Monitoring data are gathered from November 2006 to August 2007 and statistical analysis is performed to analysis a characteristics of power performance of transparent PV windows. Results show that annual power output of PV window with horizontal angle is 844.4kWh/kWp/year, declination angle 1,060kWh/kWp/year and vertical angle 431.6 kWh/kWp/year.

Keywords : 박막 태양전지(Thin-Film Solar Cell), PV복층창(PV Double Windows) 건물일체형 태양광 시스템(BIPV, Building Integrated Photovoltaic), 경사각(Inclined angle), 연간발전량(Power Output)

1. 서 론

1.1 연구의 목적

기존 화석연료의 고갈, 온실가스로 인한 전 세계적 기후변화, 고유가등으로 인하여 주

요 국가의 에너지 안보 수요가 늘어나고 있다. 신·재생에너지산업이 주목될 수밖에 없는 상황이다. 이에 정부기관, 연구기관, 학계에서는 당장 현실적인 에너지 문제뿐만 아니라 글로벌 재생에너지 확보를 위하여 기술개

발연구에 전념하고 있다. 신·재생에너지에는 태양광, 태양열, 지열, 풍력등이 기술개발 에너지 분야로 각광을 받고 있다. 특히, 전력 부분에서 풍력과 태양광이 시장 성장을 주도하고 있다. 태양광은 2005년을 기준으로 55%의 성장(세계 재생에너지 관련기구, REN21)을 나타내고 있는데 이것은 태양광 발전 연구가 1980년대부터 꾸준히 진행되어 전체 신·재생에너지분야에서 큰 비중을 차지하고 있는 것으로 분석된다. 또한 태양광을 무한한 에너지원으로 사용하는 태양전지(Solar Cell)의 기술로 전기 생산력이 전 세계적으로 2000년도에 1,000MW 였으나 2030년에는 140,000MW¹⁾로 증가할 것으로 예상되고 있다.

비정질계의 박막전지(Thin-film PV)의 경우 원자재 절감을 통해서 저가화 연구가 활발히 진행되고 있고 특히, 결정계보다 온도 상승에 따른 발전성능 감소 비율이 현저히 낮아 고온에서도 발전성능을 향상 시킬 수 있는 장점을 지니고 있다. 뿐만 아니라 건물의 지붕이나 외벽에 적용하여 건물 외장재 역할을 하는 건물일체형 태양발전 시스템(BIPV, Building Integrated Photovoltaic System)로서 공사비용을 절감할 수 있고, 전기를 생산하여 부하를 절감하는 이중효과도 지니고 있다. 또한 단열기능, 차양, 건축과 융화될 수 있는 디자인등의 측면에서 매우 큰 장점을 지니고 있어 미래 PV산업의 신성장 동력이 될 전망이다. 국내에서는 후면환기에 따른 PV모듈의 발전성능 평가²⁾, 3kW급 연계형 태양발전 시스템의 성능평가³⁾등의 결정계를 대상으로 한 연구가 활발히 진행되고 있지만 건축가들이 선호하는 건축창을 대체

할 수 있는 투명 박막전지의 창호화 연구 및 건물 적용 사례는 최근에 초기 연구가 착수된 실정이다. 따라서 본 연구는 건축창호를 대체할 수 있는 박막 태양전지를 이용한 PV 복층창 시스템의 실제 건물 적용모델을 대상으로 장기간에 걸친 경사각별 발전성능의 모니터링을 수행하여 정량적 실측데이터를 정립하는데 주 목적이 있다.

1.2 연구방법

본 연구에서는 투명 박막태양전지를 라미네이션(Lamination)한 PV 모듈의 발전특성을 분석하기 위하여 PV 모듈의 제작, 실험을 위한 Mock-up모델의 경사각별 설계 및 시공, 장기모니터링 및 PV모듈의 발전특성 분석등의 순서로 연구를 진행하였다.

본 연구에 적용된 투명 아몰포스 실리콘 박막태양전지(Thin-film Solar Cell)는 단판 모듈로 국내에서 생산이 되지 않아 외국제품을 수입하였으며, 이를 국내에서 복층창화하여 PV모듈화 하고, 건물에 적용하기 위해서 실물 스케일 Mock-up 모델을 설계 시공하였으며, Mock-up 모델이 완공된 후 9개월간 모니터링하고 발전특성 결과를 통계·분석하는 방법으로 연구를 진행하였다. 특히 PV모듈의 연간 발전량 도출을 위해서 측정되지 않은 3개월간의 데이터를 30년 표준기상데이터의 월별 일사량을 근거로 발전량을 산출하여 연간 발전성능을 비교 분석하였습니다.

2. Mock-up 모델의 설계 및 시공

2.1 개요

투명 박막 PV모듈을 복층창화하여 Mock-up에 적용하기 위하여 그림1과 같은 과정을 거쳐 PV모듈 제작하였다. PV모듈 제작은 원자재(ASI Thin-Film Cell)에 EVA 필름과 투명유리 5mm를 라미네이션하면 10mm두께의 PV 단판모듈이 제작된다. 이후

1) A. Zahedi, Solar photovoltaic(PV) energy; latest developments in the building integrated and hybrid PV systems, Renewable Energy 31(2006) 711-718

2) 윤종호, 한규복, 안영섭 “주택 지붕일체형 PV시스템 후면환기에 따른 발전성능 변화 실험연구”. 한국태양에너지학회 논문집, V.27 N.3, 2007.9

3) 소정훈 외 4인, 3kW급 연계형 태양발전 시스템의 성능특성 비교분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회논문집, vol.24, No.2, 2004.6

에 복층화를 위해서 12mm 공기층과 5mm 두께의 투명유리를 후면에 연속부착하여 총 27mm의 복층창을 제작하였다.

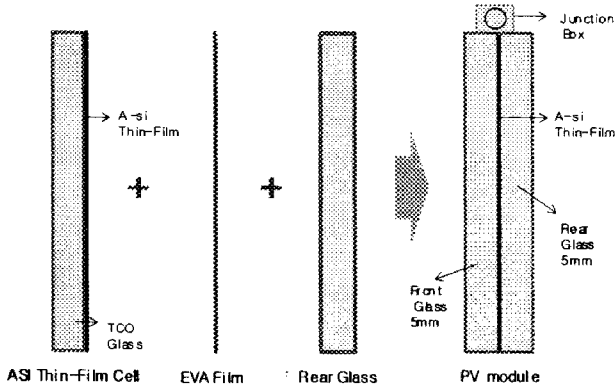


그림 4. 투명 PV창 단판모듈의 제작 과정

단판 PV모듈의 크기는 가로 980mm 세로 950mm이며, PV모듈 1개는 108개의 셀이 직렬로 접속되어 있다. 박막 PV모듈의 전기적 특성은 표 2에 나타내었다.

표 1 박막 PV 모듈의 사양

항 목	내 용
모듈 두께(mm)	10
모듈 효율(%)	7
최대 출력(W)	44.0
최대 전압(V)	59.6
최대 전류(A)	0.74
개방 전압(V)	91.8
단락 전류(A)	0.972

3. Mock-up 모델의 설계 및 시공

그림 3에 도식한 바와 같이 Mock-up 모델은 가로 8m, 세로 5m, 높이 3.5m, 30° 경사 지붕 및 평지붕이 복합된 형태로 계획하였다. 일사 수해가 가장 양호한 남향으로 계획하였다.

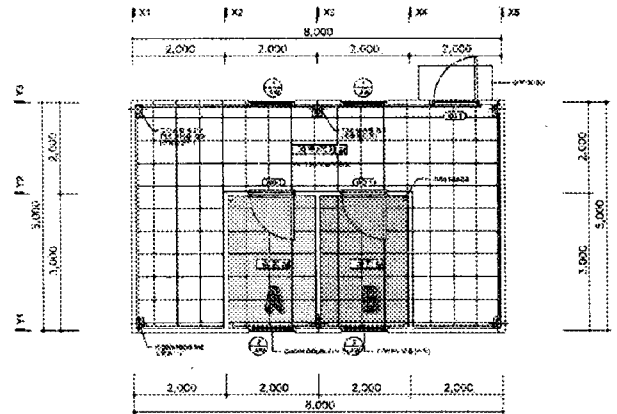


그림 6. Mock-up 모델의 평면도

박막 PV복층창의 실험을 위한 단위 공간은 평면도에서 보는 바와 같이 가로 4m, 세로 3m, 높이 2.7m의 독립된 공간으로 A실의 창문에 적용된 박막 PV복층창을 대상으로 발전 성능 평가를 실시하였으며 설치 경사각도에 따른 비교성능을 위해 30° 경사면 및 0° 수평지붕면에도 박막 PV복층창을 각각 설치하였다.

그림 4는 설계를 바탕으로 시공 완공된 Mock-up 모델의 전경을 나타낸 것이며, 수직(SLOPE_90)벽면, 경사(SLOPE_30)지붕, 수평(SLOPE_0)지붕에 각각 투명 박막 PV복층창을 시공하였다.

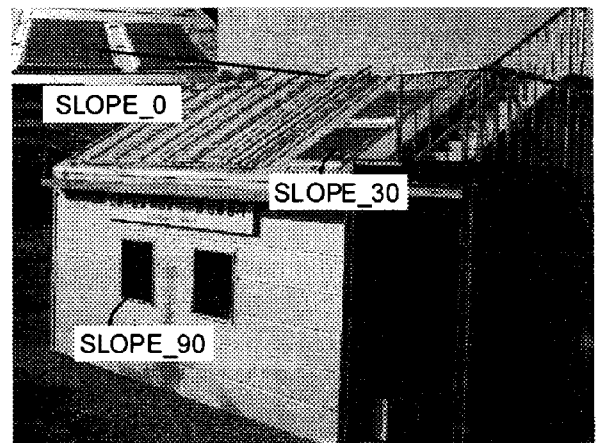


그림 7. Mock-up 모델의 전경

4. 박막 PV복층창의 발전량 실측 결과

4.1 개요

본 장에서는 Mock-up 모델의 시공 후 모니터링 시스템의 보정과정을 거쳐 도출된 2006년 11월부터 2007년 8월까지 9개월 동안 90°수직면(SLOPE_90), 30°경사면(SLOPE_30), 0°수평면(SLOPE_0)의 전일사량과 PV 발전량 측정결과에 대한 통계처리 분석을 수행 하였다.

데이터는 1분간의 평균값을 매 1분 간격으로 저장하였다. 야간 및 오류 데이터를 제외하고 최종 선별된 데이터는 56개 변수에 대한 총 12,254,312개의 데이터를 대상으로 통계 분석을 수행하였다.

분석방법은 일별로 계측된 데이터를 월별로 1차 그룹하고, 2차로 분별데이터를 그룹하고, 3차로 분별데이터를 시간별 평균내어 그룹화 한후 산술평균 및 표준편차, 최대 및 최소값에 대한 통계처리와 그래프의 형태로 분석을 수행하였다.

한편 본 연구의 실측결과는 인버터가 설치되지 않고 저항으로 부하를 처리한 경우의 직류 발전량에 대한 분석결과이다. 따라서 인버터와 연계되고 MPP 최적제어가 수행된 측정결과와는 연간 발전량에 있어 다소 차이가 있을 것으로 사료된다.

4.2 시간대별 발전량 실측결과

그림 5와 6은 설치각도별로 연평균 일일 시간별 일사량도와 PV모듈의 직류 발전량을 시간대별로 통계처리하여 도식한 결과이다. 12시를 기준으로 SLOPE_30의 일사량도가 평균 528.4W/m²에 수렴하는 반면, SLOPE_90은 385.0W/m² SLOPE_0은 459.6W/m²로 SLOPE_30의 연평균 일일 시간대별 수렴 일사량 측면에서 가장 유리함을 알 수 있다.

그 결과 그림 6에 나타낸 것과 같이 12시를 기준으로 각 설치각별 평균 발전량도

SLOPE_30이 19.9W로 가장 높게 나타났고, SLOPE_0은 15.7W, SLOPE_90은 8.6W로 나타났다.

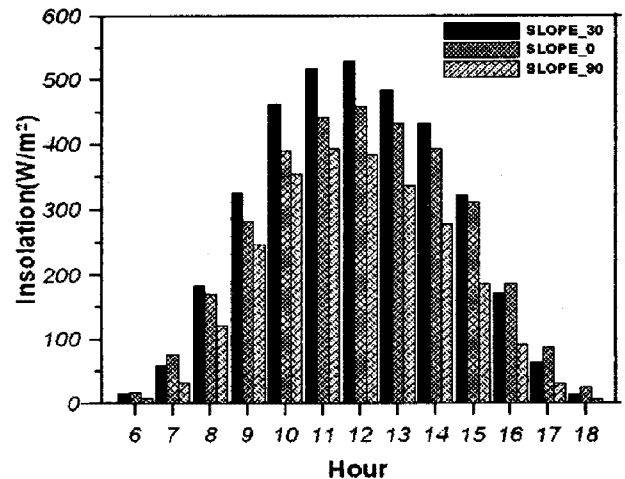


그림 8. 연중 시간에 따른 일사량 실측결과

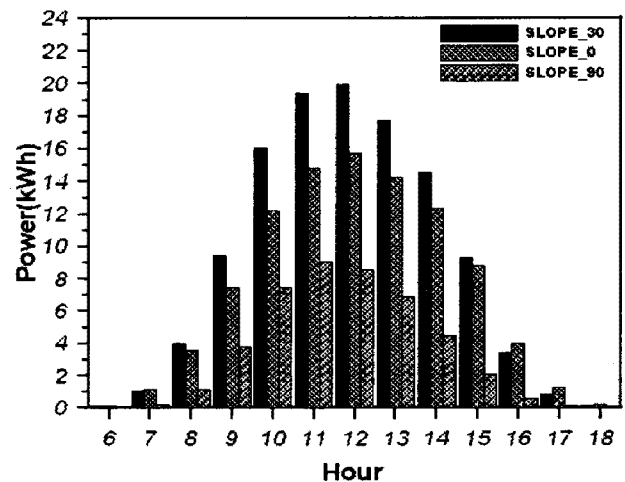


그림 9. 연중 시간에 따른 발전량 실측결과

이와 같은 현상은 SLOPE 90을 대상으로 6월의 태양고도를 분석한 결과 입사각도(Incidence Angle)가 60°이상으로 유지되어 일사수열조건이 불리하기 때문이다.

4.4 단위 출력당 발전량 분석결과

4) 입사각(Incidence Angle) : 직달 햇빛과 햇빛을 받는 모듈 면(Active Surface)의 법선 사이의 각도. 0~90° 범위에서 법선과 태양의 방향이 일치할 때(수직 입사) 0°로 한다. 태양광발전 용어집. 산업자원부, 2007

본 절에서는 측정기간 통한 설치각도별 통계처리한 월별 일사량과 발전량을 비교·분석하였으며 그림 7에 나타내었다.

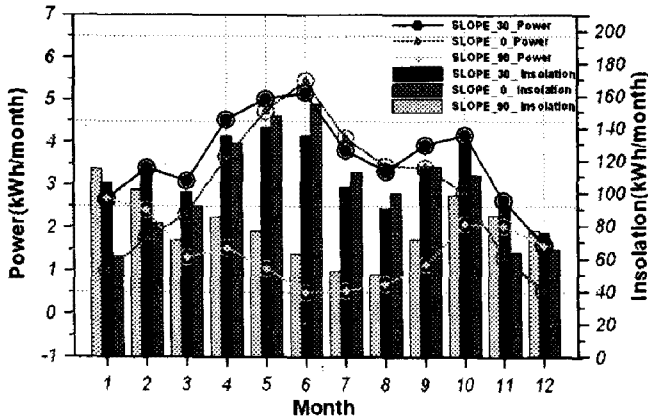


그림 11. 설치각별 월별 적산 일사량 및 총 발전량(DC)

SLOPE_0의 일사량 분석결과 연간 적산 일사량이 1,238.9 kWh/m²yr를 수열하는 것으로 나타났다. 연평균 발전량의 경우 2.89 kWh/year로 측정되었고, 월별 변화를 살펴보면 6월에 가장 많은 5.47 kWh/month의 발전성능 보였고, 태양고도가 낮은 12월에 가장 낮은 발전성능을 보이는 것으로 평가되었다. 단위 출력당 연간발전량으로 환산 할 경우 844.4 kWh/kWp.yr의 발전성능을 발휘하는 것으로 평가되었다.

SLOPE_30의 경우 연간 적산 일사량은 1,343 kWh/m²yr으로 측정되어 분석된 설치조건 중 가장 우수하였다. 월별 변화를 살펴보면 5월에 140.2kWh/month로 가장 많이 수열하였으며, 12월에 75.3 kWh/month로 가장 낮게 수열하였다. 발전량 분석결과 연평균 발전량은 3.62 kWh/year로 측정되었으며, 6월에 5.19 kWh/month로 발전성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. 단위 출력당 연간발전량으로 환산 할 경우 1,060.0 kWh/kWp.yr의 발전성능을 발휘하는 것으로 평가되었다.

SLOPE_90의 경우에 다른 설치각도에 비해 연간 적산 일사량이 가장 작은 949.6 kWh/m²yr를 수열하였으며, 월별 변화는 다른 설치각

도와 반대로 12월에 115 kWh/month로 가장 많은 일사량을 수열하였고, 7월에 52.5 kWh/month를 수열하는 것으로 나타났다. 단위 출력당 연간발전량은 431.6 kWh/kWp.yr로 나타나 가장 불리한 것으로 나타났다.

따라서 설치각도별 연적산 일사량 분석결과 가장 우수한 경사면인(SLOPE 30) 대비 수평면(SLOPE 0) 92%, 수직면(SLOPE 90) 71%의 일사량을 수열하는 것으로 나타났고, 단위 출력당 연간발전량의 경우 경사면 대비 수평면 80%, 수직면 41%의 발전성능을 발휘하는 것으로 분석되었다.

그림 9는 월평균 PV 발전효율을 월별로 경사각에 따라 도식한 것이다. SLOPE 30 연평균 발전효율은 3.19%이며 하절기에 높고 동절기에 하락하지만 그 편차는 크지 않다. SLOPE_0의 경우 연평균 발전효율은 2.61%로 SLOPE_30에 비해 동절기에 큰 폭의 효율저하가 발생된다. 특히 SLOPE_90의 PV발전효율은 연평균 1.77%로 가장 낮았으며, 특히 6월에 0.8%로 급격한 저하를 나타내고 있다.

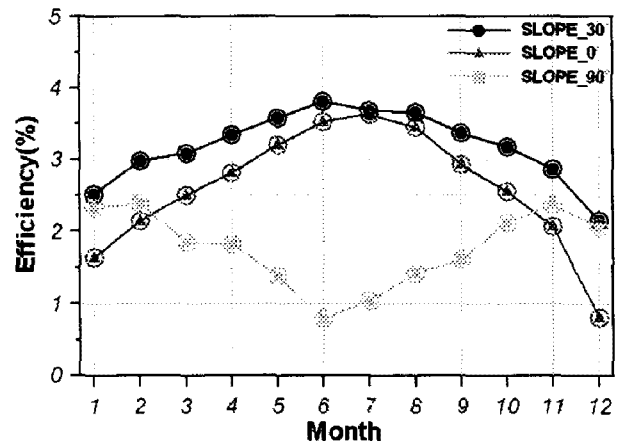


그림 12. 설치각별 월별 발전효율

이와 같은 현상은 입사각에 따른 PV발전효율의 상관관계에서 규명될 수 있다. 발전효율이 입사각 증가에 따라 60°부터 서서히 감소하다가 70°에서 급격하였다.

이를 통해 PV모듈의 발전효율 변화는 태양고도 및 방위각 변화 즉, 입사각 변화에 따라

큰 영향을 받음을 확인할 수 있다. 또한 하절기 수직면 PV모듈의 급격한 효율저하 원인은 유리의 태양복사 투과특성이 입사각 60° 이상에서 급격한 투과율 감소를 나타내기 때문에 PV 태양전지 전면의 유리 영향에 의해서와 같은 결과가 발생된 것으로 평가된다.

5. 결 론

본 연구에서는 건축창호를 대체하여 발전 및 채광, 창호의 기능을 복합적으로 발휘할 수 있는 BIPV 모듈인 투명 박막 PV복층창의 설치각도별 연간 발전성능을 평가 분석하였으며 다음과 같은 주요 결과를 도출하였다.

- 투명 PV복층창을 통한 단위출력당 연간 발전량은 수평면(SLOPE_0), 경사면(SLOPE_30), 수직면(SLOPE_90) 설치시 각각 844.4, 1060.3, 431.6 kWh/kWp.년으로 나타나 가장 우수한 경사면 대비 수평면 80%, 수직면 41%의 발전성능을 발휘 하는 것으로 평가되었다.

- 월별 PV복층창을 통한 발전량 및 발전효율은 태양복사의 입사각에 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 연평균 발전효율은 최적 설치각도인 SLOPE_30 3.19%, SLOPE_0 2.61%, SLOPE_90 1.77%로 분석되었다.

- PV모듈을 통한 발전량 산출 이론 해석시 태양전지 전면의 유리 투과율에 대한 입사각별 입사각 수정계수 고려가 매우 중요한 변수인 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 소정훈 외 4명, PV시스템 최적화를 위한 손실요인 분석, 전력전자학회 논문집, 제11권, 제 1호, 2006

2. 유권종 외 1인, “태양광발전시스템의 보급기술 현황과 전망”, 한국태양에너지학회지, V.2 N.4, 2003
3. 윤종호, 한규복, 안영섭 “주택 지붕일체형 PV시스템 후면환기에 따른 발전성능 변화 실험연구”. 한국태양에너지학회 논문집, V.27 N.3, 2007
4. 김재원 외 5인, “벽면부착방식 PV시스템의 건축물 적용가능성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집(계획계), V . 1 9 N.6, 2003
5. 김의중, 최원기, 서승직 “지붕 일체형 태양광 시스템의 응용에 관한 연구”, 한국태양에너지학회, 한국태양에너지학회 논문집 V.25. N.2, 2005
6. “AMORPHOUS, MONO-AND POLY-CRYSTALLINE SILICON PV MODULES : A COMPARATIVE STUDY OF THEIR RELATIVE EFFICIENCIES UNDER VARIOUS OUTDOOR CONDITIONS”, 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Convention May 11-18, 2003 Osaka, Japan.
7. “TRNSYS Version 14.2 manual”, SOLAR ENERGY LABORATORY UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON MADISON, WI 53706 USA, March 2000