한국신·재생에너지학회 2008년도 춘계학술대회논문집 pp.386~389

건물일체형 태양광발전시스템(BIPV)의 설치조건에 따른 발전특성 연구

*안 영섭[1)], *송 종화[1)], *김 석기[1)], *이 성진[1)], **윤 종호[2)]

Power Performance Characteristics of Transparent Thin-film BIPV Module depending on an Installation Angle

*Youngsub An, *Jonghwa Song, *Seokge Kim, *Sungjin Lee, **Jongho Yoon

Key words : Thin-film solar cell(박막 태양전지), BIPV(건물일체형 태양광 시스템), Inclined angle(경사각), Azimuth angle(방위각), Power Output(연간발전량)

Abstract : This study has analysed power output characteristics of transparent thin-film PV module depending on incidence angle and azimuth. The simulation results was evaluated power outputs of transparent thin-film PV module depending on incidence angle and azimuth after calibrating the experimental and computed data.
As a result, the best power output performance of transparent thin-film PV module was obtained at slope of 30° to the south, producing the annual power output of 977kWh/kWp. The annual power output data demonstrated that the PV module with a slope of 30 ° could produce a 68 % higher power output than that with a slope of 90 °, with respect to the inclined slope of the module. Furthermore, the PV module facing south showed a 22 % higher power output than that facing to the east in terms of the angle of the azimuth.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

신·재생에너지인 태양광, 태양열, 지열, 풍력등은 에너지 기술개발 분야로 각광을 받고 있다. 특히, 전력부분에서 풍력과 태양광이 시장 성장을 주도하고 있다. 태양광은 2005년을 기준으로 55%의 성장(세계 재생에너지 관련기구, REN21)을 나타내고 있는데 이것은 태양광발전 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 1,000MW였으나 2030년에는 140,000MW[1)]로 증가할 것으로 예상되고 있다. 또 유럽재생에너지위원회(European Renewable Energy Council)에 의하면 재생에너지는 기저부하[2)](基底負荷)를 담당할 수 있을 뿐 아니라, 2040년에는 세계 1차 에너지 수요의 절반을 공급하는 게 가능하다고 결론을 내린 바 있다.

온도상승에 따른 발전량 감소 비율이 현저히 낮은 비정질계 태양전지는 결정계보다 고온에서도 발전성능을 향상 시킬 수 있는 장점을 지니고 있다. 뿐만 아니라 건물의 지붕이나 외벽에 적용

1) 코오롱건설(주) 기술연구소
E-mail : ysan@kolon.com
Tel : (031)329-0664 : (031)329-0651
2) 한밭대학교 건축공학과
E-mail : jhyoon@hanbat.ac.kr
Tel : (042)821-1126 Fax : (042)821-1636

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

2) 기저부하란 한정된 기간에 계속적으로 걸리는 부하, 즉 전력 시스템을 운용하기 위해서 그 수준 이상은 항상 생산해야 하는 최소한의 전량을 의미한다.

하여 건물 외장재 역할을 하는 건물일체형 태양발전 시스템(BIPV, Building Integrated Photovoltaic System)로서 공사비용을 절감할 수 있고, 전기를 생산하는 이중효과도 지니고 있다. 또한 단열기능, 차양, 건축과 융화될 수 있는 디자인등의 측면에서 매우 큰 장점을 지니고 있어 미래 PV산업의 신성장동력이 될 전망이다. 국내에서는 후면환기에 따른 PV모듈의 발전성능 평가[3], 3kW급 연계형 태양발전 시스템의 성능평가[4]등의 결정계를 대상으로 한 연구가 활발히 진행되고 있지만 건축가들이 선호하는 건축창을 대체할 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 시스템을 대상으로 해석프로그램을 이용하여 박막 태양전지의 경사각과 방위각별 연간 발전량 정략적 데이터를 수립하는데 주목적이 있다.

1.2 연구방법

실물스케일에 적용된 PV 모듈의 발전성능평가를 위해서 먼저 Mock-up 모델을 설계·시공하였다. Mock-up모델을 대상으로 투명 박막태양전지를 라미네이션(Lamination)한 PV단판모듈을 복층화하여 설치하였다. 1년동안 모니터링을 실시하고 연간발전량을 산출하였다. 연간발전량의 실측데이터를 바탕으로 해석프로그램으로 경사각별 방위각별 PV 모듈의 연간 발전량을 수행하였다.

본 연구에서 PV모듈에 적용된 투명 아몰포스 실리콘 박막태양전(Thin-film Solar Cell)는 단판 모듈로 국내에서 생산이 되지 않아 일본에서 생산된 A사의 제품을 수입하였으며, 이를 국내에서 복층창화하여 PV모듈화 하였다.

2. PV모듈의 개요

본 연구에서는 Table.1 과 같은 전기적 특성을 갖는 투명 박막 PV 모듈을 대상으로 해석프로그램을 실시하였다. Fig.1은 Mock-up에 설치하기 전 PV단판모듈의 모습을 나타낸 것이다.

(표 3) 박막 PV모듈의 전기적 특성

항 목	전기적 특성
최대 출력(W)	44.0
최대전압(V)	59.6
최대전류(A)	0.74
개방전압(V)	91.8
단락전류(A)	0.972

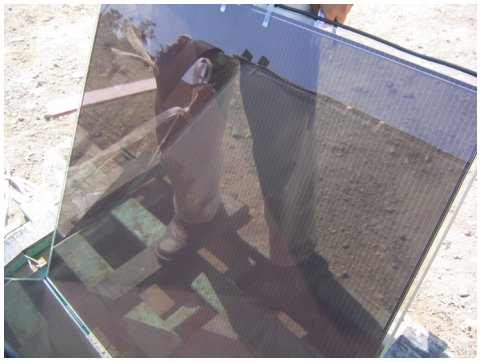

Fig. 1 박막 PV단판모듈

3. Mock-up 모델의 개요

투명 박막 PV 모듈을 적용하기 위해서 가로 8m, 세로 5m, 높이 3.5m, 30° 경사지붕 및 평지붕이 복합된 형태로 Mock-up 모델을 Fig. 2 와 같이 설계·시공하였다. 야간 및 오류 데이터를 제외하고 최종 선별된 데이터는 56개 변수에 대한 총 12,254,312개의 데이터를 대상으로 통계 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.

Fig. 2 Mock-up 모델의 전경

4. 시뮬레이션을 통한 PV모듈의 발전성능평가 결과

4.1 해석프로그램의 개요 및 검증

본 연구에서 구동된 해석프로그램은 미국 위

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

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

스콘신 대학교 SEL에서 개발한 TRNSYS를 이용하였다. TNSYS는 태양열 시스템 뿐만 아니라 태양광 시스템의 발전량, 일사량, 온도, 풍속등의 시간별 데이터를 산출할 수 있는 전 세계적인 프로그램으로 인정받고 있다.

해석프로그램의 오차율을 실측데이터와 비교·검증 후 보정한 월변화에 따른 실측발전량과 시뮬레이션 발전량을 Fig.3에 나타내었다. 또한 설치각도 Slope_30 ° 의 PV 모듈을 대상으로 실측된 연간 단위 출력당 발전량 1,060kWh/kWp과 해석프로그램의 연간 단위 출력당 발전량 977kWh/kWp의 오차율을 비교·분석하였다. 그 결과 오차율이 8.5%로 나타나 오차 범위내의 결과 값으로 판단하여 설치조건에 따른 발전량의 변화를 분석하기위한 해석프로그램을 구동하기로 하였다.

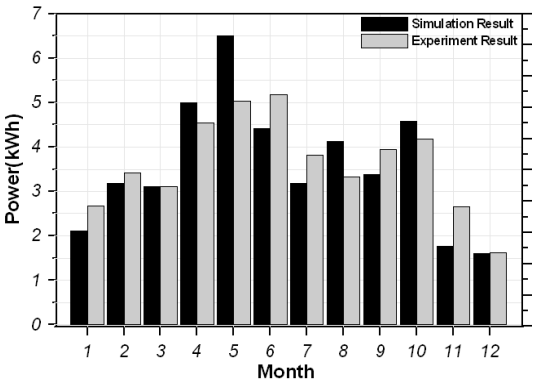

Fig. 3 해석프로그램의 보정 결과

4.2 설치각도에 따른 발전성능 평가

실측실험에서는 정남향을 기준으로 한정된 경사각도(Slope_90 ° , Slope_30 ° , Slope_0 °)에 따른 발전량만 비교분석하였고, 해석프로그램 통하여 추가로 Slope_70 ° , Slope_50 ° , Slope_10 ° 의 경사각도별 발전성능 시뮬레이션을 시행하였으며 월별 발전량 분석결과를 Fig. 4에 나타냈다. 그 결과 정남향을 기준으로 경사각별 월별 변화는 Slope_30 ° 이내 범위의 낮은 경사각도에서 6kWh 이상의 발전성능을 나타냈고, Slope_50 ° 이상의 경사각도에서는 6kWh미만의 발전성능 보이는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 5와 같이 연간 단위 출력당 발전성능 분석결과 Slope_30 ° 이 977kWh/kWp로 가장 높게 나타났고 Slope_90 ° 이 357kWh/kWp로 Slope_30 ° 에 비해 37%의 발전량을 나타내 분석된 경사각도중에서 가장 낮게 나타났다. 그다음으로 Slope_10 ° 는 954kWh/kWp, Slope_0 ° 는 890kWh/kWp, Slope_50 ° 는 860kWh/kWp, Slope_70 ° 633kWh/kWp 순으로 나타났다.

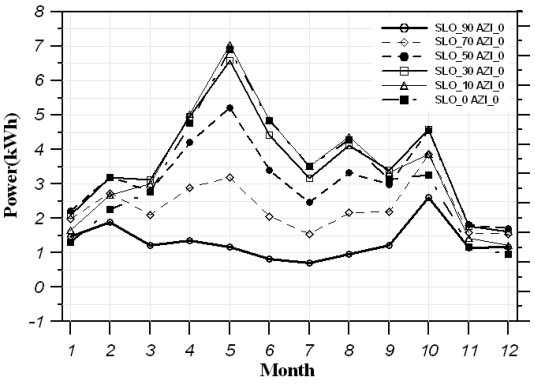

Fig. 4 정남향일 때 경사각에 따른 월별 발전량

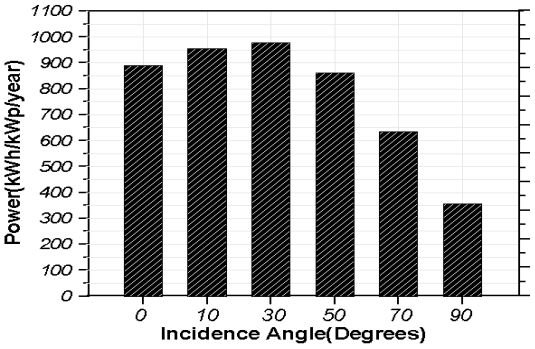

Fig. 5 정남향일 때 경사각에 따른 연간 발전량

그 밖에 분석된 방위각별 발전량 결과를 Fig. 6에 도식하였다. 분석된 방위각 변화에서 Slope_30 ° 에 설치된 PV모듈의 발전성능이 가장 우수한 것으로 나타났고, Slope_90 ° 에 설치된 PV 모듈의 발전성능이 방위각 변화에도 가장 저조한 것으로 분석되었다. Slope_30 ° 를 기준으로 방위각별 연간 발전량은 분석된 방위각 중에서 정남에 설치된 PV 모듈의 발전성능이 가장 우수하였으며 정남(South)을 기준으로 남서 30 ° (Azimuth 30 °)은 99%, 남동 30 ° (Azimuth 330 °)은 96%, 남서 60 ° (Azimuth 60 °)은 93%, 남동 60 ° (Azimuth 300 °)은 88%, 정서향(Azimuth 90 °)은 83%, 정동향(Azimuth 270 °)은 78%의 순으로 발전성능을 나타났다. 또한 PV 모듈의 연간 발전량이 일부 방위각도에서 Slope_30 ° 까지는 서서히 증가하다가 이후 경사각도에서는 감소하는 경향을 보였다. 특히 Slope_60 ° 부터는 급격하게 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 현상은 PV 모듈의 전면에 부착되어 있는 유리의 수정계수에 의한 것으로 Fig. 9에 입사각에 따른 수정계수[5] 변와 동일한 패턴을 보였다.

5) TRNSYS Version 14.2 manual, SOLAR ENERGY LABORATORY UNIVERSITY OF WISCONSIN--MADISON MADISON, WI 53706 USA, March 2000

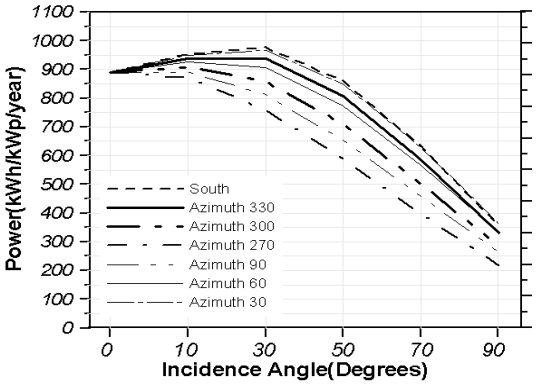

Fig. 6 경사각에 따른 방위각별 연간 발전량

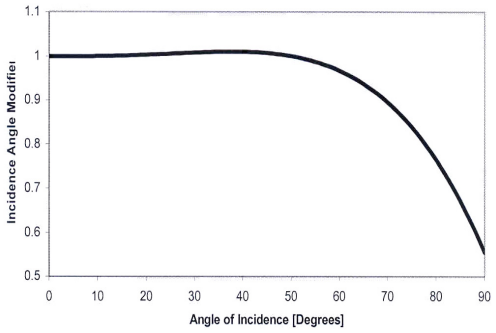

Fig. 7 입사각 수정계수[King et. al, 1997]

즉 경사각이 증가할 수 록 PV전면에 부착되어 있는 유리의 특성 때문에 태양투과율(Tsol)이 큰 입사각도에서는 현저히 감소하게 되고 이것은 PV 모듈 발전량에 직접적으로 영향을 미치는 것으로 판명되었다.

5. 결 론

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

(1) PV모듈의 실측과 시뮬레이션의 연간 발전성능 보정결과 오차율 범위 내인 8.5%로 나타났고, 시뮬레이션을 통해 분석된 경사각별 연간 단위출력당 발전량은 정남향을 기준으로 Slope_30에 설치된 PV 모듈이 977kWh/kWp(100)로 가장 우수하였고, Slope_10, 50, 70, 90은 각각 954(98%), 890(88%), 633(65%), 357kWh/kWp(37%)의 순으로 발전성능을 보여 분석된 경사각에 따라 발전성능은 평균 24%, 최대 63%까지 격차가 나타나는 것으로 판명되었다.

(2) 시뮬레이션을 통해 분석된 방위각별 연간 단위출력당 발전량은 Slope_30을 기준으로 정남향(South)에 설치된 PV모듈이 가장 우수하였다. 남서 30은 967kWh/kWp로 정남향 대비 99%의 발전성능을 보였고 남동 30, 남서 60, 남동 60, 정서향, 정동향은 각각 은 937(96%), 907(93%), 858(88%), 812(83%), 759kWh/kWp(78%)의 순으로 방위각에 따라 PV모듈의 발전성능은 평균 11%, 최대 22%까지 격차가 나타나는 것으로 판명되었다.

References

[1] 이의준, 건물을 위한 신·재생에너지 이용연구, 한국건축친환경설비학회 논문집, Vol. 1, No.3, 2007
[2] 소정훈외 4명, PV시스템 최적화를 위한 손실요인 분석, 전력전자학회 눈문집, 제11권, 제 1호, 2006.2
[3] 윤종호, 한규복, 안영섭 “주택 지붕일체형 PV 시스템 후면환기에 따른 발전성능 변화 실험연구”. 한국태양에너지학회 논문집, V.27 N.3, 2007.9
[4] 소정훈 외 4인, 3kW급 연계형 태양발전 시스템의 성능특성 비교분석에 관한 연구, 한국태양에너지학회논문집, vol.24, No.2, 2004.6
[5] 유권종 외 1인, “태양광발전시스템의 보급기술 현황과 전망”, 한국태양에너지학회지, v.2 n.4, 2003. 11
[6] TRNSYS Version 14.2 manual, SOLAR ENERGY LABORATORY UNIVERSITY OF WISCONSIN-MADISON MADISON, WI 53706 USA, March 2000
[7] A. Zahedi, Solar photovoltaic(PV) energy; lastest developments in the building integrated and hybrid PV systems, Renewable Energy 31(2006) 711-718