수직형 태양광발전모듈의 계절별 일사획득 및 온도변화에 따른 출력특성 변화에 관한 연구

박경은*, 강기환**, 김현일***, 유권종****, 김준태*****

* 공주대학교 대학원 건축학과(kepark@kongju.ac.kr)
** 한국에너지기술연구원 태양광발전연구센터(ghkang@kier.re.kr)
*** 인하대학교 대학원 건축공학과(hikim@kier.re.kr)
**** 한국에너지기술연구원 태양광발전연구센터(gj-y@kier.re.kr)
***** 공주대학교 건축학부(jtkim@kongju.ac.kr)

Study on variation of electrical characteristics of vertical PV module according to the change of irradiance and temperature

Kyung-Eun Park*, Gi-Hwan Kang**, Hyun-Il Kim***, Gwon-Jong Yu****, Jun-Tae Kim*****

*Dept. of Architecture, Kongju National University(kepark@kongju.ac.kr)
**Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research(ghkang@kier.re.kr)
***Dept. of Architecture, Inha University(hikim@kier.re.kr)
****Photovoltaic Research Center, Korea Institute of Energy Research(gj-y@kier.re.kr)
*****Dept. of Architecture, Kongju National University(jtkim@kongju.ac.kr)

Abstract

Building Integrated PV(BIPV) is one of the best fascinating PV application technologies. To apply PV module in building, various factors should be reflected such as installation position, shading, temperature, and so on. Especially the installation condition should be considered, for the generation performance of PV module is changed or the generation loss is appeared according to installation position, method, and etc.

This study investigates variation of electrical characteristics of a PV module according to the change of irradiance and temperature. From this experimental study, we confirmed that the irradiance, the temperature variation and the generation performance of a PV module were appeared differently according seasonal variation. Actually the PV module installed in building facade showed high-generation performance in winter.

Keywords : (반투명)태양광발전모듈((Semi-Transparent) Photovoltaic module), 설치조건(Installation condition), 온도 변화(Temperature variation)

접수일자 : 2008년 00월 00일, 심사일자 : 2000년 00월 00일, 게재확정일자 : 2000년 00월 00일,
교신저자 : 박경은(kepark@kier.re.kr))

1. 서 론

1.1 배경 및 목적

전 세계적으로 태양광산업 붐이 일고 있는 가운데, PV시스템의 설치 규모와 적용 대상 및 범위 역시 확대되고 있다. 이 중에서도 특히 PV시스템을 건물에 적용하는 기술은 가장 효과적인 적용 분야 중 하나로, 전기 생산이라는 본래의 목적 이외에 외장재를 대신하여 건축물에 사용함으로서 경제적, 미적 측면에서 이중효과를 거둘 수 있다. 특히 유효부지가 적은 우리나라의 지형적 조건에서는 더욱 유리한 기술이다.

국내의 기하학적 조건에서 태양광발전모듈이 가장 많은 전기를 발전할 수 있는 최적 조건은 모듈이 경사각 30° 내외의 정남쪽을 향하도록 하는 것이다. 이 조건에서 벗어날수록, 즉, 방위각이 동쪽이나 서쪽 심지어 북쪽으로 향하게 될수록 PV 모듈의 연간 발전효율은 감소한다. 또한, 경사각이 감소하거나 증가할수록, 특히, 수직에 가까워질수록 연간 발전효율은 감소하게 된다. 그러나 PV 모듈을 건물에 적용하고자 할 경우, 이러한 조건에 부합하는 경우는 많지 않고, 특히, 중대규모 건물의 경우, 건물 입면의 PV 적용 잠재량이 많기 때문에, 건물에 PV 시스템 적용을 확대하기 위해서는 건물 수직면에의 설치는 불가피하다. PV 모듈은 설치하는 조건 및 방법에 따라 발전 특성이 변화하게 되므로, PV 모듈을 수직면에 설치할 경우, 변화하게 되는 발전 특성을 파악해야 발생하는 손실을 최소화 시킬 수 있다.

따라서 본 논문에서는 모듈의 수직면 적용 시, 모듈의 발전성능에 가장 큰 영향을 미치는 기후 요소인 일사 및 온도에 관한 계절별 모니터링 데이터 및 수직형 PV 모듈의 전기적 특성을 분석하였다. 본 연구가 향후 국내 건물에의 태양광발전시스템의 적용 확대를 위한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

1.1 연구방법

본 논문에서는 반투명 PV 모듈을 옥외에 설치하여 실험을 수행하였다. 시뮬레이션을 수행하여 수평면 대 수직면 PV 모듈의 계절별 일사획득 및 출력 특성을 비교하였고, 실험을 통하여 수직면 PV모듈의 계절별 일사획득 및 온도변화, 그리고 출력 특성을 분석하였다.

2. 수평면 및 수직면 PV 모듈의 계절별 출력 특성 비교 분석

본 장에서는 PV 모듈 및 어레이의 모델링 및 시뮬레이션이 가능한 SolarPro를 이용하여 경사각 별 모듈의 연간 일사획득 및 발전량 예측 분석을 수행하였다.

본 연구에서 사용된 것과 동일한 용량의 모듈을 경사각 별로 시뮬레이션 하여 각 모듈의 월별 발전량을 산출하였다. 그림 1은 시뮬레이션 수행 결과로, 가장 상반되는 경향을 나타낸 수평면(0°)과 수직면(90°) 모듈의 연간 발전량을 비교한 그래프이다. 수평면 모듈은 4월부터 10월 사이에 가장 많은 발전량을 나타내고 있으면 특히, 4~6월은 일 년 중 가장 높은 발전량을 나타내고 있다. 반면, 수직 모듈의 경우에는 10월부터 4월까지 많은 발전량을 나타내고 있으며, 특히, 태양의 고도가 가장 낮은 10월에서 2월 사이에 가장 많은 발전량은 나타내고 있다.[1)]

이와 같이 수평면과 수직면으로 설치된 각각의 PV 모듈은 일사획득 및 발전 특성이 서로 상이하게 나타났다. 이러한 결과는 경사각 및 방위각의 변화, 그리고 계절의 변화에 따라 또 다르게 나타나게 된다. 따라서 건물에의 태양광 모듈 적용 시, 이러한 결과를 고려하여 발전 손실에 대한 대비 및 손실을 최소화 시킬 수 있는 방안을 모색해야 한다.

---

1) 박경은, 강기환, 김현일, 유권종, 김준태, 후면유리 종류에 따른 투과형 태양광발전모듈의 열 및 광 특성 분석. 한국태양에너지학회 춘계학술대회, 서울(2008) 263-268.

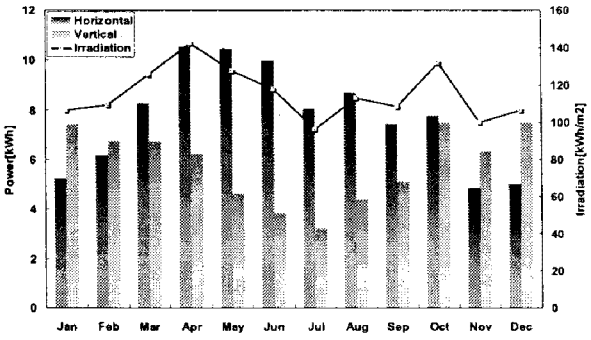

그림 1. 수평 vs. 수직면 모듈의 연간발전량 비교

3. 수직면 적용 PV 모듈의 출력 특성 분석

본 장에서는 수직면 적용 모듈의 장기적 모니터링 결과를 분석하여, 계절의 변화에 따른 일사획득 및 온도 변화에 대한 분석을 수행하고, 이에 따른 모듈의 출력 특성 변화를 분석하였다.

3.1 모듈개요

모듈은 총 32매의 5인치 다결정 태양전지를 이용하였다. 32직렬 1병렬로 구성되었으며, 부분음영 등의 현상에 대비하여 각 모듈마다 바이패스 다이오드를 사용하였다. 제조 후 표준시험조건(Standard Test Condition : STC)하에서 전기적 성능시험을 수행한 결과, Voc 19.5V, Isc 4.92A, Vmp 15.8, Imp 4.61, Fill Factor 75.9%, 그리고 최대출력 약 72W의 성능을 나타내었다. 그림 2는 본 실험에 사용된 모듈의 전류-전압 커브로 모듈의 초기 전기적 성능을 나타내고 있다.

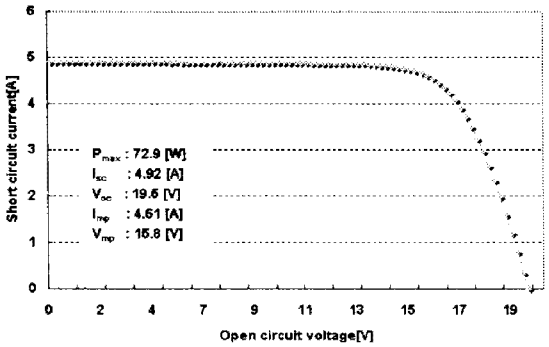

그림 2. PV 모듈의 IV Curve(STC)

3.2 실험개요[2)]

본 연구에서는 세 가지 요소를 측정하였다. 첫 번째는 PV 모듈에 입사되는 일사량 측정, 두 번째는 모듈의 온도 측정, 그리고 세 번째는 모듈의 전기적 성능 측정이다. 각각에 사용된 측정 장비 및 측정 방법은 다음과 같다.

(1) 일사량 및 온도 측정

정확한 일사량 측정을 위해 모듈과 동일선상에 있는 수직 벽면에 일사량계를 설치한 후 동일 조건에서 측정을 수행하였다. 또한, 모듈의 표면 온도를 측정하기 위해서 Thermo couple(T-type)을 이용하였다. 일사 및 온도 센서를 통해 측정된 데이터는 Graphtec사의 midi LOGGER GL450를 이용하여 수집하였다.

(2) 전기적 성능 측정

표준시험조건에서의 발전성능 측정을 위해 Pasan사의 Sun Simulator IIIb를 사용하였다. 본 시뮬레이터는 flash light generator의 펄스안정도 ±1%, Electronic load의 정밀도 ±0.5%의 IEC class A급 장비이다. 또한, 모듈의 부하역할을 감당하고 운전 상태에서의 발전성능을 계측하기위해 소용량 인버터인 OK5E-LV를 사용하였다.

(3) PV모듈 설치

모듈은 그림 3에서 보이는 건물의 베란다 부분의 외기와 면하는 부분에 적용이 되었다. 본 실험용 건물은 4층 규모의 실험건물 옥상에 위치하여 주변 환경의 영향을 받지 않도록 조성하였다.

그림 3. PV 모듈의 설치 전경

2) K. E. Park, et. al., Experimental study on semi-transparent PV module for application in building facade, Renewable Energy Conference, Pusan, (2008).

3.3 실험결과

본 연구에서는 2007년 11월 10일부터 현재까지 모니터링 되고 있는 일사, 온도, 그리고 전류와 전압 데이터를 분석하였다.

(1) 일사량의 변화

그림 4는 모니터링 기간 동안의 겨울, 봄, 그리고 여름철 각각의 대표적인 한 달 동안의 일사량을 나타낸 그래프로, 그림에서 계절별 일사량 차이를 쉽게 확인할 수 있다. 2007년 11월 10일부터 2008년 8월 30일까지의 일사량 그래프를 살펴보면, 수직면에 도달하는 일사량은 동절기부터 하절기가 시작되기 전까지 비교적 많았고, 하절기에는 급격한 감소를 나타내었다. 이와 같은 결과는 앞 장에서 시뮬레이션을 통해 확인한 바와 같이 설치 조건 및 태양의 기하학적 조건에 따라 일사획득량의 차이가 발생한 것으로 사료된다. 또한 하절기에는 장마철이 있어서 더욱 많은 일사량 감소가 나타났다.

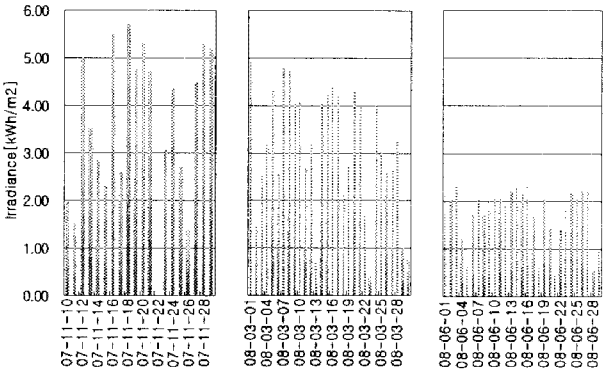

그림 4. 계절별 일사량 비교(좌:冬, 중:春, 우:夏)

(2) 일사 및 온도의 변화에 따른 모듈의 출력 특성 변화

그림 5는 동, 춘, 하절기의 청명한 어느 한 날 계측된 모듈의 온도 변화를 비교한 그래프이다. 그림에서 보이는 바와 같이 대기 온도가 가장 높은 하절기에 모듈의온도가 가장 낮게 계측되었음을 알 수 있다. 또한 다른 두 계절에 계측된 값들은 서로 유사하나, 외기온을 고려할 때 동절기 시 모듈의 온도 상승이 크다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 PV모듈이 획득하는 계절별 일사량 차이 및 이에 의한 발전량 차이에서 그 원인을 찾을 수 있다. 실제로 동일한 날 계측된 수직면 일사량 및 발전량을 비교한 결과, 그림 6, 그림 7과 같은 결과를 나타내었다. 그림에서 보이는 바와 같이 일사량과 모듈의 출력량이 거의 유사한 패턴을 나타내고 있다.

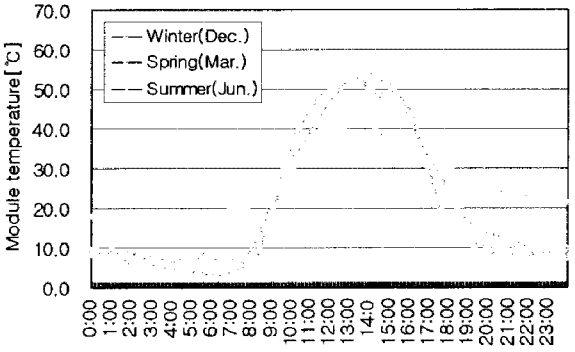

그림 5. 계절별 모듈의 온도 변화

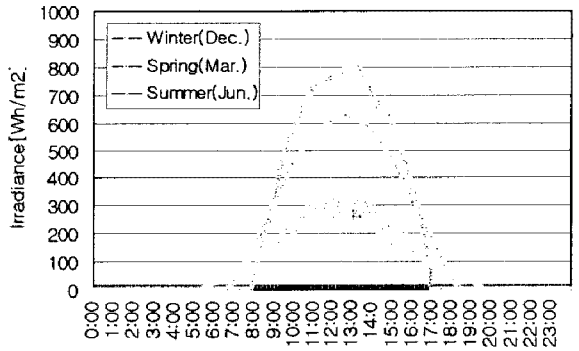

그림 6. 계절별 모듈의 일사량 변화

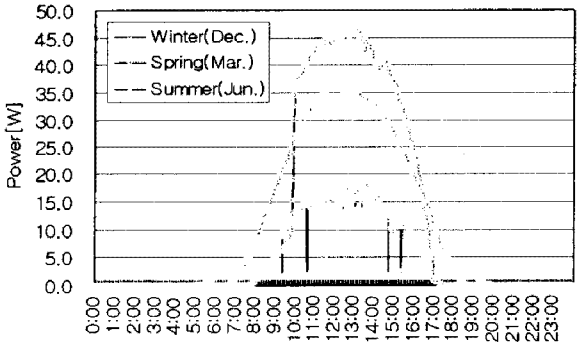

그림 7. 계절별 모듈의 출력 변화

이러한 결과를 통해, 일사량이 대기의 온도에 비해 모듈 출력에 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 수직면에 적용한 PV 모듈의 경우, 동절기에 더 많은 일사량 획득을 통해 발전량이 증가하며, 이로 인해 모듈의 온도 또한 더 높게 상승하는 것으로 분석되었다. 이와 같은 발전 특성은 향후, 건물에너지 소비 및 PV 모듈이 건물의 열환경에 미치는 영향 분석 시 중요한 고려 요소가 될 것으로 사료된다.

또한, 본 논문에서는 일사 및 온도의 변화에 따른 모듈의 발전 효율 감소 또는 증가에 관한 분석을 수행하였다. 우선, 일사량의 변화에 따른 PV 모듈의 전압 및 전류 특성은 그림 8과 같다. 이것은 STC 온도 조건(25℃)에서 변화하는 일사량에 따른 모듈의 전기적 특성을 분석한 결과로, 전압은 500W/m^2 이하에서는 조금씩 증가추세를 보이다가 그 이후에는 거의 동일한 수준을 유지하였다. 전류는 거의 선형으로 일사량이 증가함에 따라 계속적인 증가추세 나타내었다.

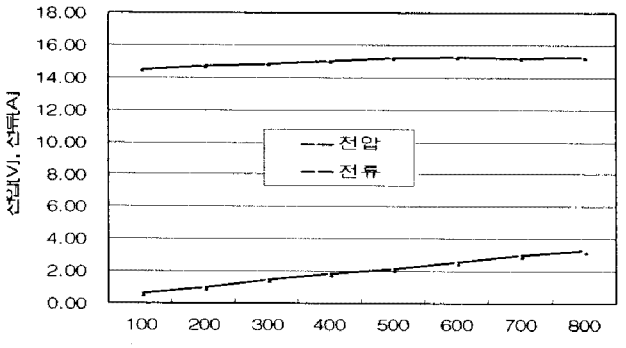

그림 8. 일사량 변화에 따른 전압 및 전류 특성

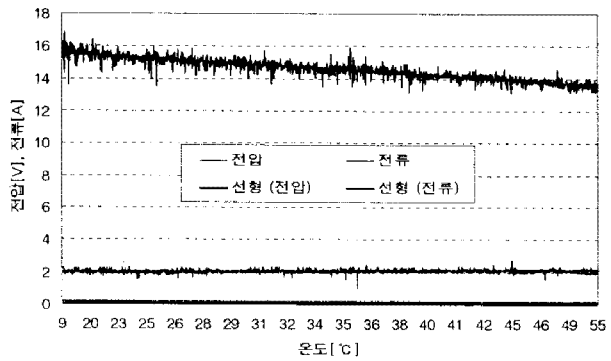

그림 9. 모듈의 온도 변화에 따른 전압 및 전류 특성

모듈의 온도 변화에 따른 PV 모듈의 전압 전류 특성은 그림 9와 같다. 옥외 실험 시, 온도를 제외한 STC(일사강도 1000W/m2, AM 1.5)를 만족하기 힘들고, 특히 수직면 설치의 경우 이러한 조건의 조성은 불가능하므로, 500W/m^{2}의 동일한 일사 조건에서 온도 변화에 따른 모듈의 출력특성 변화를 분석하였다. 그 결과, 그림에서 보이는 바와 같이 전압은 온도가 상승함에 따라 계속적인 추세를 나타내었고, 전류는 온도가 상승함에 따라 다소 증가하였다. 전력은 전압과 마찬가지로 모듈의 온도가 상승함에 따라 계속 감소추세를 나타내었는데, 그 감소율은 약 -0.52/℃로 산출되었다. 이는 일반적인 전력 감소 범위 내에 속하는 결과로,[3] 설치 전 표준시험조건에서 실험하여 도출한 0.48%/℃보다 다소 손실률이 증가하였다. 이는 일사조건 및 측정방법 차이 및 기타 손실요인에 의해 차이가 나타난 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 논문에서는 PV 모듈이 수직면에 적용이 된 경우, 계절별로 다르게 나타나는 일사량, 온도변화 특성 및 이에 따른 모듈의 전기적 출력 특성에 관한 연구를 수행하였다.

시뮬레이션을 통해 경사각에 따른 PV 모듈의 일사획득량 및 발전량 차이를 비교한 결과, 수평으로 적용된 모듈은 4~6월에 가장 많은 일사량을 획득하며, 이에 따라 발전성능에 있어서도 동기간 동안에 가장 높은 수준을 나타냈다. 수직면으로 설치된 경우에는 이와는 상이한 결과를 나타냈는데, 겨울철을 중심으로 일사획득량 및 발전량이 많은 것으로 나타났다.

모니터링을 포함한 실험으로 수직면 모듈의 일사획득, 온도변화, 그리고 출력 특성 변

3) German Solar Energy Society, Planning and Installing Phtovoltaic System, James & James Ltd(2005) 70-71. (Original Source : Manufacturers' information LEEE-TISO, TUV and ECN measurement data)

화에 대한 분석을 수행한 결과, 모듈의 출력이 가장 큰 영향을 미치는 것은 일사량으로, 동절기를 중심으로 일사획득량이 가장 많은 기간 동안 발전량 역시 가장 많았고, 일사량의 증가에 따른 모듈의 직접적인 열에너지 획득 및 발전 시 발생하는 열량의 증가로 모듈의 온도 또한 동기간 동안 가장 높게 나타났다. 이는 모듈이 수직면에 설치될 경우, 기존의 설치조건들에서와는 다른 온도 및 발전 특성을 나타냄을 알 수 있는 결과였다. 본 연구는 건물 입면에 PV 모듈을 적용할 때, 모듈의 동작 특성을 예측함으로 설치 조건에 의해 발생하는 손실을 최소화하고, 건물에너지와의 연계 연구 시 고려할 중요한 요소로서 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 산업자원부, "건축환경을 고려한 BIPV용 태양전지모듈 및 제조기술개발", 2007.10.

2. 박경은, 강기환, 김현일, 유권종, 김준태, 후면유리 종류에 따른 투과형 태양광발전모듈의 열 및 광 특성 분석. 한국태양에너지학회 춘계학술대회, 서울(2008) 263-268.

3. D. Infield et al., A simplified approach to thermal performance calculation for building integrated mechanically ventilated PV facades, Building and Environment, Vol. 41(2006) 893-901.

4. German Solar Energy Society, Planning and Installing Phtovoltaic System, James & James Ltd(2005) 70-71.

5. K. E. Park, et. al., Experimental study on semi-transparent PV module for application in building facade, Renewable Energy Conference, Pusan, (2008).