

후면 유리 종류에 따른 투과형 태양광발전모듈의 열 및 광 특성 분석

박경은*, 강기환**, 김현일***, 김경수****, 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)
- ***** 한국에너지기술연구원 태양광발전연구센터(kskim@kier.re.kr)
- ***** 공주대학교 건축학부(jtkim@kongju.ac.kr)

Analysis of Thermal and Optical Characteristic of Semi-transparent Module according to Various Types of the Backside Glass

Kyung-Eun Park*, Gi-Hwan Kang**, Hyun-Il Kim***, Kyung-Su 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(kskim@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 a temperature should be considered, for it affects both electrical efficiency of a PV module and heating/cooling load in a building. This study investigates a semitransparent PV module that is designed as finished material for windows. Therefore it needs to considerate about the optical characteristics of the transparent module. It reports the effect of thermal and optical characteristics of the PV module on generation performance. The study was performed by measuring sun spectrum and luminance through the PV modules and by monitoring the temperature and experiment. The results showed that 1 degree temperature rise reduced about 0.48% of output power.

Keywords : 건물일체형 태양광발전(Building Integrated Photovoltaic (BIPV)), (반투명)투과형 태양광발전모듈 ((Semi-)Transparent PV module)

1. 서 론

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 사용함으로써 경제적, 미적 측면에서 이중효과를 거둘 수 있다. 특히 유효 부지가 적은 우리나라의 지형적 조건에서는 더욱 유리한 기술이다.

건물에 PV시스템을 설치할 때 이러한 시너지 효과를 얻기 위해서는 반드시 고려되어야 하는 설치조건들이 있는데, 대표적인 것으로 방위, 경사, 일사량, 음영, 그리고 온도 등이 있다. 특히, 온도는 PV시스템의 발전성능을 저해시키는 주요인이면서 동시에 건물의 냉난방부하에 직접적인 영향을 미치는 요인이 되므로 반드시 고려되어야 한다.

또한, 본 연구에서 사용된 모듈은 불투명한 결정질 실리콘 태양전지 사이에 간격을 두어 모듈을 통해 빛이 건물 내로 유입될 수 있는 (반)투명 모듈이다. 이러한 투과형 모듈을 건물에 적용한 경우에는 건물 내의 열 환경뿐 아니라 빛 환경에도 영향을 미치게 되므로, 이 부분에 대한 고려 역시 선행되어야 한다.

PV모듈이 건물 내부 환경 및 건물 에너지 소비에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 우선, 모듈 자체의 특성 분석이 이루어져야 한다. 따라서 본 논문에서는 투과형 모듈의 열 및 광학적 특성을 분석하는 첫 단계로 여러 종류의 유리를 사용한 각 모듈의 휘도를 측정하고 그 결과를 상호 비교분석하였다. 또한, 외부조건 그리고 유리의 종류에 따른 모듈의 온도 변화와 이에 따른 발전성능 특성을 분석하였다.

본 연구를 통해 투과형 태양광발전모듈이 건물에 미치는 영향 분석을 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

2. PV 모듈 구성 개요

본 논문에서 사용된 모듈은 건물 외벽 마감재 또는 창호재로 널리 사용되고 있는 유리를 대체할 수 있도록 디자인 및 제작된 것으로, 다음과 같이 구성되었다.

2.1 태양전지

본 연구에서는 현재 태양광시장에서 가장 많이 사용되고 있는 5인치 다결정 태양전지를 이용하였는데, 모듈 제조 전 사용될 태양전지의 초기 성능평가를 수행하였다. 약 500여장의 태양전지를 정격 상태에서 시험한 결과 평균 출력이 2.417W, 태양전지 간 균일도는 약 2.94%로 측정되었다. 측정 완료 후 모듈 한 장에 가능한 한 균일한 성능의 태양전지가 사용될 수 있도록 별도의 분류 작업을 수행하였다.

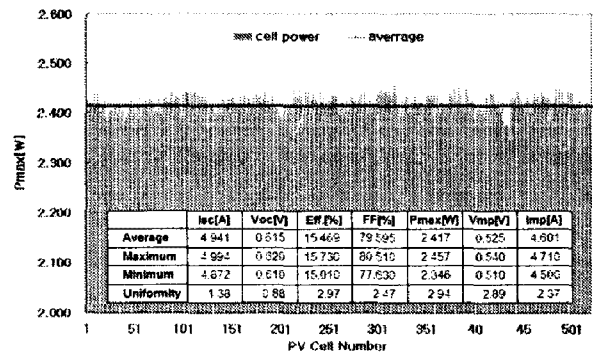


그림 1. PV Cell power test

2.2 유리

본 모듈은 총 3장의 유리로 구성되어 있다. 전면에는 발전 효율을 높이기 위해 저철분 강화 유리를 사용하였고, 중간층에는 색깔 및 반사 유리를 사용하였다. 사용된 유리는 그린, 브라운, 반사그린, 반사블루, 투명 유리이다. 본 모듈은 건물 외장재 대체용이므로 단열을 고려하여 공기층을 두고 한 장의 유리를 더 사용하였는데, 최후면에는 전면의 것과 동일한 유리를 사용하였다.

2.3 PV모듈

모듈은 총 32개의 5인치 다결정 태양전지를 이용하였다. 32직렬 1병렬로 구성되었으며, 부분음영 등의 현상에 대비하여 각 모듈마다 바이패스 다이오드를 사용하였다. 모듈 구성 및 회로도는 다음과 같다.

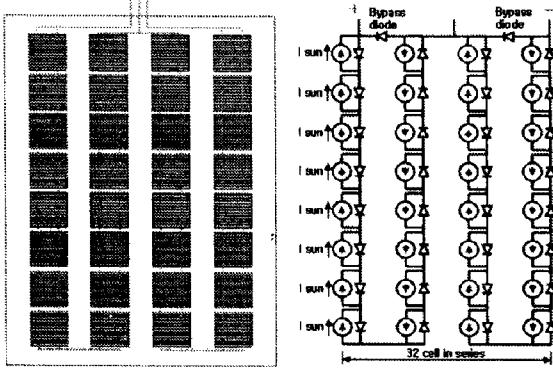


그림 2. 모듈 구성 및 회로도

3. 실험 개요

3.1 온도 센서 설치

모듈 적층별 열전달 및 온도 변화를 최대한 정확히 측정 및 분석하기 위해 모듈의 레이저 별로 온도 센서를 부착하였다. 측정 위치는 그림 3에서 보이는 바와 같이 모듈 전면과 후면유리, 공기층, 최후면에 설치되었다.

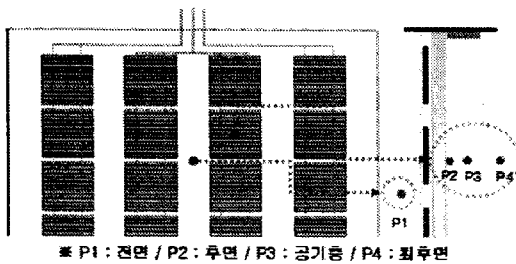


그림 3. 온도 측정 점

3.2 PV모듈 설치

모듈은 그림 4에서 보이는 건물의 배란다 부분에 적용이 되었다. 본 실험용 건물은 4층 규모의 실험건물 옥상에 위치하여 주변 환경의 영향을 거의 받지 않도록 하였다.



그림 4. PV 모듈의 설치 전경

3.3 측정 장비

본 연구에서는 세 가지 요소를 측정하였다. 첫 번째는 유리의 종류에 따른 PV 모듈의 휘도 측정, 두 번째는 모듈의 온도 측정, 그리고 세 번째는 모듈의 전기적 성능 측정이다. 각각에 사용된 측정 장비는 다음과 같다.

(1) 휘도 측정

휘도 측정을 위해서 Konica Minolta사의 CS-1000A를 사용하였다. 본 분광휘도계의 측정과장범위는 380~780nm, 분광정밀도는 ±0.3nm, 편광오차는 5%이하이다. 측정휘도 범위는 최대 800,000,000cd/m²까지 가능하다.

(2) 온도 측정

모듈 레이저의 표면 온도 측정을 위해서는 Thermo couple(T-type)을 이용하였고, 공기층에는 RTD(PT100))를 사용하였다. 이 센서들을 통해 측정된 데이터는 Graphtec사의 midi LOGGER GL450를 이용하여 수집하였다.

(3) 전기적 성능 측정

표준시험조건(Standard Test Condition)에서의 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. 모듈의 부하역할을 감당하고 운전상태에서의 발전성능을 계측하기 위해 소용량 인버터인 OK5E-LV를 사용하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 PV모듈의 초기 전기적 성능 측정

설치 전 초기모듈의 전기적 성능평가를 수행한 결과, 후면 유리의 색깔 및 종류에 따른

차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 그림 5는 각 모듈의 초기 성능평가 결과로서 각 모듈의 I-V Curve를 나타낸다.

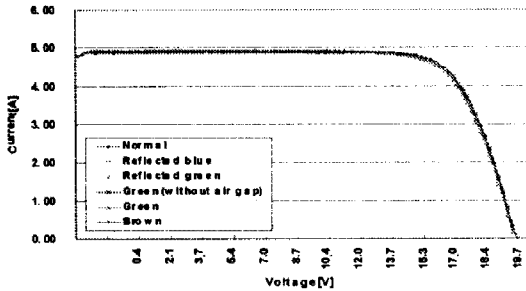


그림 5. 모듈 별/레이어 별 온도 변화

4.2 PV모듈의 휘도 측정 분석

그림 6과 그림7은 각 모듈을 통해 입사되는 태양빛 스펙트럼과 휘도 측정 결과를 나타낸 그래프이다. 그림과 같이 후면에 투명한 유리를 사용했을 경우, 가장 많은 광이 입사됨을 알 수 있다. 그 다음으로 높은 광 입사량을 나타낸 모듈은 그린 유리를 사용한 것으로, 공기층이 없는 모듈이었다. 그 다음은 반사 유리, 그린, 갈색 유리의 순으로 나타났다.

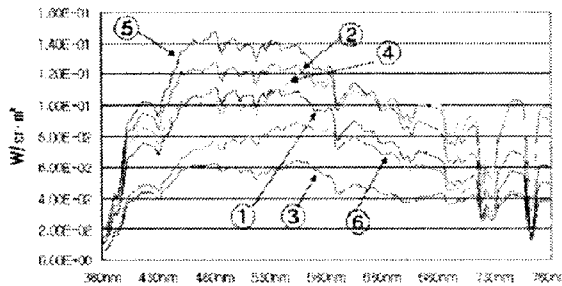


그림 6. 모듈별 입사 가시광선 스펙트럼

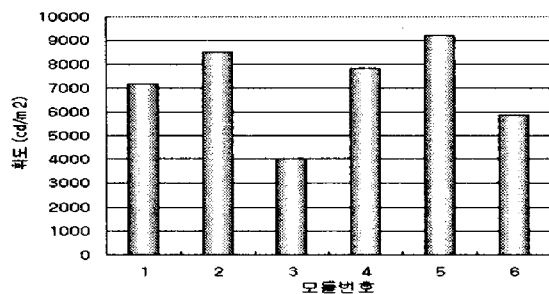


그림 7. 모듈별 휘도 분석

4.3 PV모듈의 온도 특성 및 발전성능 분석 (1) 단일 모듈의 온도 변화 특성

그림 8은 5월 중 G/G 모듈의 구조층 별 온도 변화를 나타낸 것으로, 그림에서 보이는 바와 같이 일몰 후 태양광 모듈이 일사를 받기 시작하면서부터 각 레이어 간 온도 차이가 발생하기 시작하며, 일정한 일사강도 수준 이상이 되어 모듈이 발전하기 시작하는 시간부터 그 격차가 점차 커졌다. 전면, 후면, 공기층, 최후면 간의 온도를 비교해보면 공기층이 다른 구조층보다 가장 큰 온도 상승 현상을 나타냈다. 가장 높은 온도를 기록한 오후 1시~3시 사이에는 공기층과 모듈 전면의 온도 차는 약 5°C, 공기층과 최후면 사이에서는 약 3°C의 온도 차이를 나타내었다. 이러한 온도 변화 경향은 계절의 바뀌어도 계속되며, 외기온도, 일사 획득, 일사 획득에 따른 발전 정도, 그리고 모듈에 사용된 재료 특성에 따라 그 온도 변화 폭이 달라진다.

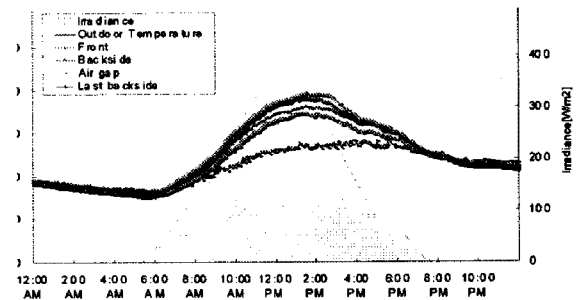


그림 8. G/G모듈의 구조층별 온도 변화 추이

(2) 유리 종류에 따른 모듈 온도 변화

설치 후 2007년 5월의 청명한 날 측정 한 각 모듈의 온도 변화를 모니터링 한 결과에서도 유사한 결과가 나타났다. 그림 9는 각각 다른 유리를 사용한 모듈 6개의 전면, 후면, 공기층, 그리고 최후면 온도를 나타내고 있다. 모듈 전면과 최후면 유리는 실외 또는 실내의 기온이나 바람 등의 영향으로 비교적 편차가 나타난 반면, 태양전지 후면 유리와 공기층 온도는 안정적으로 나타나고 있다. 따라서 온도의 변화에 따른 발전성능의 영향을

판단하기 위해서는 태양전지 후면의 유리 온도를 기준으로 하여 각 모듈별 온도를 비교해본 결과, 모듈 후면에 투명유리를 사용한 모듈과 갈색 유리를 사용한 모듈이 가장 큰 온도차를 나타내었다. 이는 앞 절의 모듈 휘도 측정 결과와 일치한다. 그러나 이때의 모듈 간 최대 온도차는 2℃ 이하로, 각 모듈은 유사한 수준의 온도 분포를 나타내었다.

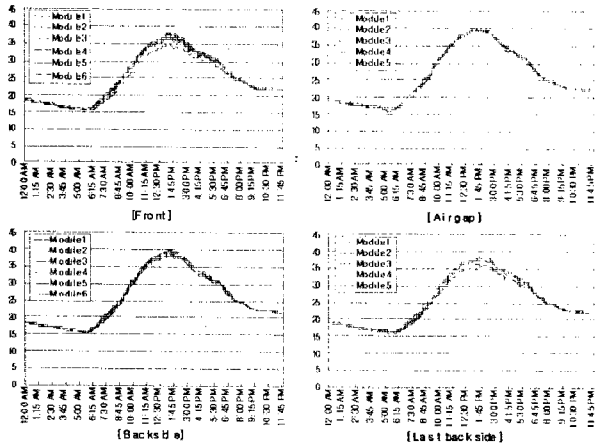


그림 9. 모듈 별/레이어 별 온도 변화

그림 10은 두 모듈의 6월과 10월 온도 변화를 비교한 그래프로, 그림에서 보이는 바와 같이 6월에는 이 모듈 간 온도차는 더욱 작아져 거의 동일한 수준으로 측정되었다. 그러나 10월의 경우에는 5~6℃ 이상의 온도차를 나타내었다. 또한, 10월의 평균 외기 온도는 14.8℃로 6월 평균온도인 23.8℃보다 현저히 낮음에도 불구하고 모듈의 온도는 더욱 높게 나타났다. 이는 모듈의 발전 성능 및 실내 환경에 영향을 줄 수 있는 요인으로 작용하게 된다.

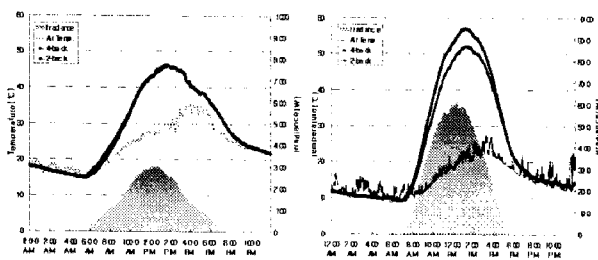


그림 10. 여름(6월) vs. 가을(10월) 모듈 온도 비교

계절이 바뀔에 따라 나타나게 되는 이러한 태양광 모듈의 온도 변화는 수직면에 적용된 모듈의 설치조건과 이에 따른 계절별 일사 획득량의 변화에서 그 원인을 찾을 수 있다. 수직면의 경우에는 태양의 고도가 높은 하절기 보다는 태양의 고도가 낮은 춘, 추, 동절기에 더 많은 일사를 획득할 수 있다. 본 연구에서는 이와 관련하여 PV 모듈 및 어레이의 모델링 및 시뮬레이션이 가능한 SolarPro를 이용하여 경사각 별 모듈의 연간 일사 획득 및 발전량 예측 분석을 수행하였다.

본 실험에서 사용된 것과 동일한 용량의 모듈을 경사각 별로 시뮬레이션 하여 각 모듈의 월별 발전량을 산출하였다. 그림 11은 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, 일년 중 태양의 고도가 가장 높은 하절기 즉, 4~6월은 일년 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 발전량을 나타내고 있다.

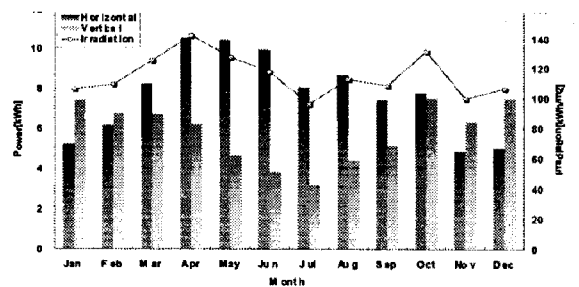


그림 11. 수평 vs. 수직면 모듈의 연간발전량 비교

(3) 온도 변화에 따른 발전 특성

앞에서 확인한 바와 같이 일사 및 대기 온도, 태양전지의 특성, 그리고 발전 시 발생하는 열로 인해 태양광 모듈의 온도가 상승됨을 알 수 있었다. 본 절에서는 이러한 온도변

화에 따른 전기적 발전특성을 분석하였다. 실험은 STC 조건에서 모듈의 온도만 25℃에서 65℃까지의 변화시켜 이에 따른 발전특성을 분석하였다.

그림 12는 그 결과를 나타낸 것으로 모듈의 온도가 상승함에 따라 전압은 감소하고 전류는 소폭 증가하였다. 출력은 모듈의 전압 감소폭이 전류의 상승폭보다 크기 때문에 전압과 유사한 형태로 감소되었다. 즉, 일사강도 1,000W/m², 25℃에서 65℃까지의 온도 변화에 따른 발전량 변화를 분석한 결과 전압의 감소율은 1℃당 약 0.49%, 전류의 상승률은 1℃당 약 0.01%로 나타났고, 이에 따른 최대 출력은 1℃당 약 0.48%의 감소를 나타냈다.

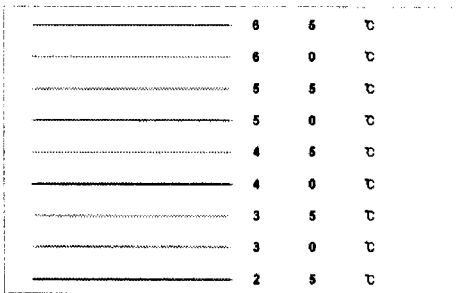


그림 12. 모듈의 온도변화에 따른 I-V Curve 변화

5. 결론

본 논문에서는 투과형 모듈의 열 및 광학적 특성을 분석하기 위해 모듈의 후면에 여러 종류의 유리를 사용하였고, 제조된 각 모듈의 휘도를 측정하여 그 결과를 상호 비교분석하였다. 또한, 모듈의 온도 변화와 이에 따른 발전성능 특성을 분석하였다.

그 결과 유리 종류에 따라 모듈의 스펙트럼 및 휘도 측정 결과에서 모듈 간 차이를 확인할 수 있었고, 모듈의 온도 변화에서도 차이를 나타냈다. 모듈의 온도 차는 계절별로 다른 결과를 나타냈는데, 태양의 고도 변화에 따라 직사광을 많이 받게 되면 유리의 열 및

광적 특성에 따라 모듈 간 온도 차이가 나타남을 확인할 수 있었다. 모듈의 온도는 발전 성능에 영향을 준다. 본 연구에서 사용된 모듈의 경우, 1℃당 약 0.49%의 전압이 감소되고 약 0.48%의 출력이 감소됨을 알 수 있었다. 따라서 동절기로 갈수록 커지는 모듈 간 온도차에 따른 발전량 차도 나타내게 된다.

모듈 간 광입사량 및 온도 차는 발전성능뿐만 아니라 건물 내부로 입사되는 태양에너지의 양 및 질에 영향을 주어 결국 건물 내부 환경 및 건물 에너지에 영향을 미치게 된다. 따라서 이런 경우 발전성능과 건자재로서 건물에너지 및 건물 실내 환경에 미치는 영향에 대한 고려가 동시에 이루어져야 한다.

본 연구는 이와 같은 건물 내 환경에의 영향 및 건물에너지에 관한 연구의 선행 연구 단계로, 투과형 모듈의 열 및 광학적 특성을 분석하는데 목적을 두고 있다. 본 연구를 통해 투과형 태양광발전모듈이 건물에 미치는 영향 분석을 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

최근 유리소재도 점차 다양해지고 있고 사용량 또한 증가하고 있는 추세이다. 따라서 본 연구를 기본으로, 보다 다양한 유리 및 기타 투과체를 이용한 시료에 대한 다양한 각도에서의 광 및 열특성 분석이 이루어져야 하며, 향후 이에 대한 연구를 계속 수행하고자 한다.

참 고 문 헌

1. 산업자원부, “건축환경을 고려한 BIPV용 태양전지 모듈 및 제조기술개발”, 2007.10.
2. 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.
3. T. Miyazaki et al., Energy saving of office buildings by the use of semi-transparent solar cells for windows, Renewable Energy, Vol. 30 (2005) 281-304.