[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 26, No. 1, 2006

건물통합형 PV Solar Roof의 통풍효과 실험분석

김진희*, 이강록**, 김준태***

*공주대학교 대학원 건축학부(jhkim3904@kongju.ac.kr)
**공주대학교 공학연구원(rock214@kongju.ac.kr)
***공주대학교 건축학부(jtkim@konju.ac.kr)

Experimental Analysis of Ventilation Effect on the Performance of Building-Integrated PV Solar Roof

Kim, Jin-Hee*, Lee, Kang-Rock**, Kim, Jun-Tae***

*New and Renewable Energy Research Dept. Korea Institute of Energy Research(ujhkim@kongju.ac.kr)
**Engineering Research Institute, Kongju National University(rock214@kongju.ac.kr)
***School of Architecture, Kongju National University(jtkim@kongju.ac.kr)

Abstract

The integration of PV modules into building facades or roof could raise PV module temperature that results in the reduction of electrical power generation. Lowering operating temperature of PV module is important in this respect, and PV module temperature should be considered more accurately, for building-integrated PV(BIPV) systems in predicting their performance. This paper describes a BIPV solar roof design and verifies its performance through experiment in relation to the effect of ventilation in space between PV module and roof surface. The results showed that the ventilation in the space had a positive effect in lowering the module temperature of the BIPV solar roof that enhanced the performance of its electricity generation.

Keywards : 건물통합형 PV solar roof(building-integrated photovoltaic solar roof), PV모듈온도(PV module temperature), 통풍효과(ventilation effect), 전력생산량(generated electricity)

1. 서 론

1.1 연구목적 및 필요성

최근 태양광 발전 시스템은 전력생산이라는 원래의 기능뿐만 아니라 건축요소로서 지붕, 외벽, 차양 등에 부착되는 건물의 마감재로써 다양하게 적용되고 있다. 건물의 외부 재료로 사용되는 건물통합형 태양광발전(BIPV: building-integrated

접수일자:2006년 2월 14일, 심사완료일자:2006년 3월 21일

photovoltaic)시스템은 건축자재 비용의 절감효과를 가져다 줄뿐만 아니라 건축적으로 미적인 기능을 더해 준다.

그러나 BIPV시스템의 성능은 외기에 노출된 채 설치되는 기존의 PV시스템 성능과는 서로 다른 특성을 갖는다. 건물에 부착되는 형태로 인해 PV모듈의 온도가 상승되어 시스템의 성능이 저하될 수 있기 때문이다. BIPV시스템의 경제성은 그 시스템의 효율과 건물 외피에 적용한 방식 등에 따라 결정되는데, 일반적으로 시스템의 효율 증진을 위해서 PV모듈의 방위와 경사도, 그리고 PV모듈 온도 등을 고려해야 한다. 특히 건물에 일체화되는 BIPV시스템은 PV모듈의 온도상승을 억제하는 것이 중요하다.

PV시스템의 성능에 결정적인 영향을 미치는 것은 일사량이며, 이것이 PV모듈의 온도에도 직접적인 영향을 미친다. 더욱이 건물에 일체화되는 BIPV시스템은 모듈과 건물 외피면과의 열전달에 의해 PV모듈의 온도가 더 높게 상승할 수 있다. PV셀의 온도가 25℃이상 조건에서 1℃ 상승함에 따라 0.4-0.5%의 효율이 감소[1]되므로 외기온도가 높고 통풍이 어려운 방식으로 적용된 BIPV시스템의 성능은 상대적으로 저하될 것이다. 따라서 BIPV시스템의 성능을 높이기 위해서는 일사량을 최대한 확보하고, 건물면과 PV모듈 후면과의 공간에서 발생되는 열기를 배출시키는 것이 필요하다. 이 공간에서의 열기 배출은 통풍을 통해 이루어 질수 있다.

이러한 배경에도 불구하고 주로 연구된 PV시스템은 대부분 별도의 지지대를 이용한 독립형이고, BIPV시스템의 통풍에 의한 효과를 분석한 연구는 거의 전무한 수준이다. 이에 본 연구의 목적은 건축요소로 적용된 BIPV시스템에 있어 통풍이 시스템의 성능에 미치는 영향을 실험을 통해 분석하는 것이다. 우리나라 주택 지붕과 유사한 형태로 건물통합형 PV Solar Roof를 설계 제작하였고, 이를 외기조건에 노출시켜 PV모듈온도, 일사량, 전기생산량 등의 관계를 통풍과 관련하여 비교 실험하고 건물통합형 PV Solar Roof에 대한 통풍 효과를 분석하였다.

2. PV Solar Roof 모형 제작

2.1 PV Solar Roof 모형

실험을 위해 설계 제작된 건물통합형 PV Solar Roof 모형의 평면도는 **그림 1**과 같다. 지붕에 설치된 PV모듈은 75Wp 다결정 PV모듈 4개를 이용하여 300W_p 용량으로 구성하였으며 사용된 PV모듈의 상세내역은 **표 1**과 같다.

시스템은 모듈 4개를 하나의 어레이로 직렬 연결하여 최대전류 4.3A, 최대전압 69V가 나오도록 구성하였다.

표 1. PV Solar Roof 모듈 상세 규격

항 목	상세 규격
최 대 출 력	75W
최 대 전 압	17.3V
최 대 전 류	4.35A
최 소 보 증 출 력	70W
단 락 전 류	4.75A
개 방 전 압	21.8V
크 기	538*1204*38mm
무 게	7.7kg

선행연구[2]를 통한 시뮬레이션 모델링 결과를 바탕으로, PV모듈과 지붕면과의 통풍간격은 현 실험조건에서 지붕일체형 PV시스템에 가장 유리한 15cm가 되도록 하였다. PV모듈 후면의 통풍이 원활하게 이루어지도록 **그림 2**와 같이 지붕면 위에 수직 방향으로 115mm 높이의 각재를 배치

1) Randall Thomas(ed), Photovoltaics and Architecture, Spon Press, London, 2001, p14

2) 김진희, 김준태, PV모듈 온도를 고려한 BIPV시스템 성능평가, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회논문집, 2004. 5. pp53-pp58.

하고 그 위에 35mm 높이의 수평부재를 덧대어 결합하였다. 지붕면의 경사는 0°~60°까지 조절이 가능하도록 제작하였다. **그림 3**은 건물통합형 PV Solar Roof의 지지구조체와 PV모듈과의 결합상세를 나타낸 것이다. 지붕구조 내에 확보된 통풍간격이 **그림 4**와 같이 처마 부분부터 용마루 부분을 통하여 통풍이 원활히 이루어질 수 있도록 계획하였다. 모듈부분을 제외한 지붕외피는 금속철판을 이용하여 제작하였다.

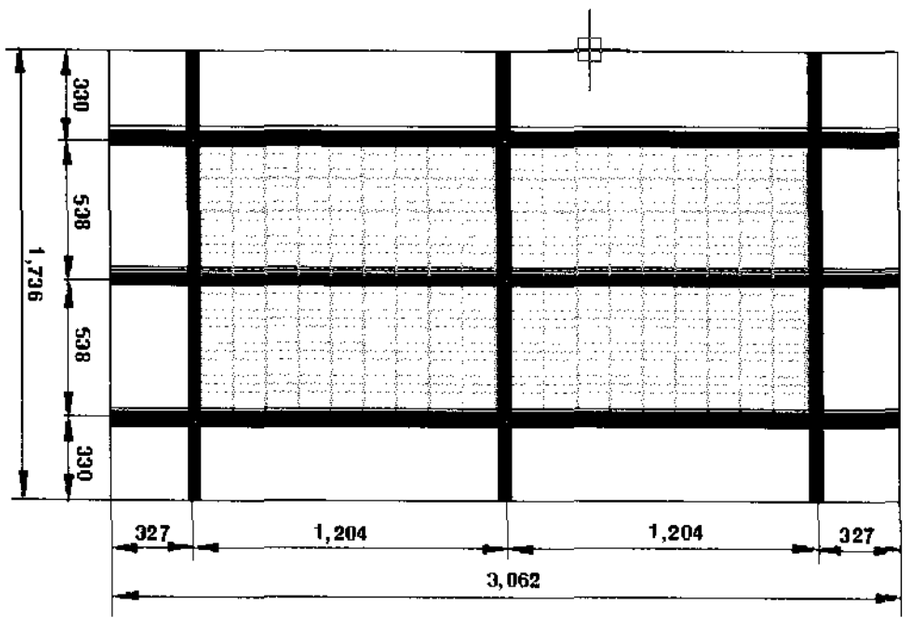

그림 1. PV Solar Roof 실험모형 평면도

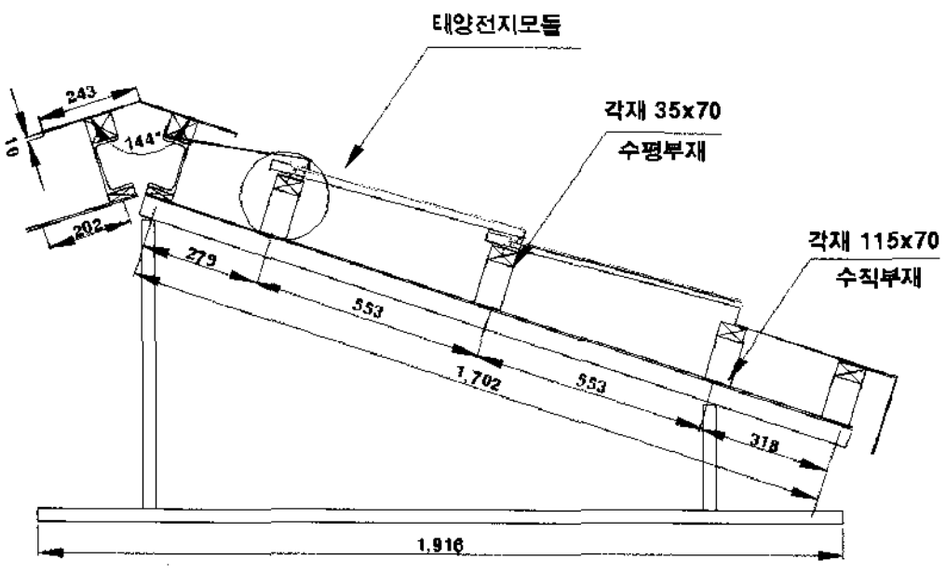

그림 2. PV Solar Roof 실험모형 단면도

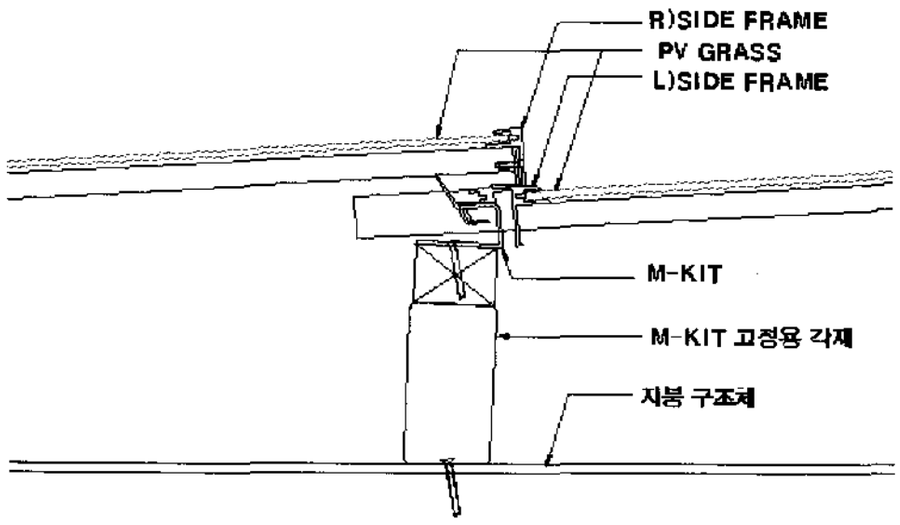

그림 3. PV Solar Roof 모듈 결합 단면상세

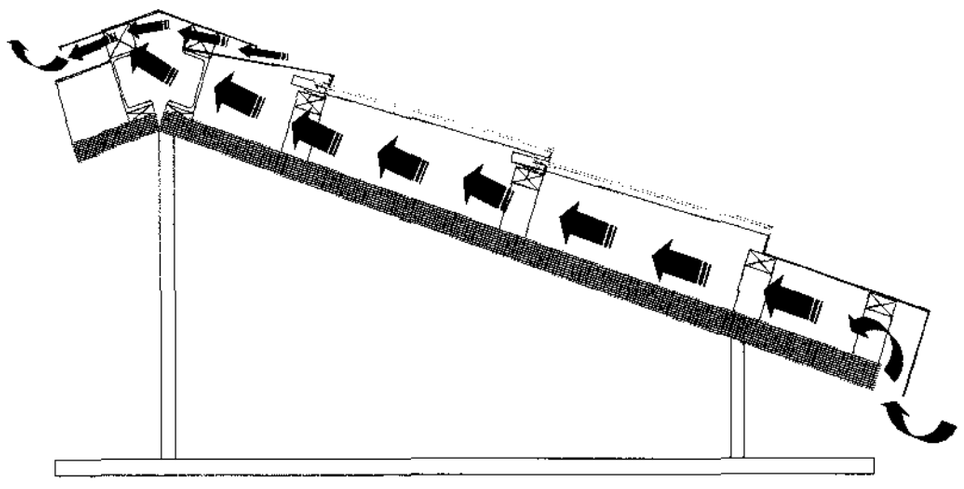

그림 4. PV Solar Roof 통풍 개념도

3. 성능실험

3.1 실험장치 및 방법

성능평가를 위해 제작된 건물통합형 PV Solar Roof 실험체는 충남 공주시 소재 공주대 공과대학 건물의 옥상에 설치하였다(**그림 5**). 지붕의 경사는 30°로 정남향을 향하도록 설치하였다. 실험체의 PV모듈 및 후면 공기의 온도, 내부 기류속도, PV시스템의 전력생산량 등을 측정하기 위한 측정장치를 연결하였다(**그림 6**).

또한 실험 외부조건으로 경사 지붕면의 전일사량, 외기온도, 풍속 등을 측정하였다. 실험 장치로는 PV Solar Roof의 전력부하로 사용하기 위한 백열전구, 그리고 일사량, 풍속, 외기온도, 기류, 모듈온도 등의 실측치를 자동으로 기록하는 계측장비, 시스템의 생산전력량을 계측하는 파워미터 등으로 구성하였다. 이 외에 풍속계, 일사계를 장치하였다.

아래 **그림 7**은 계측실의 계측장비 모습과 낮에 PV시스템으로 발전이 되어 백열전구에 점등이 된 모습을 보여주고 있다.

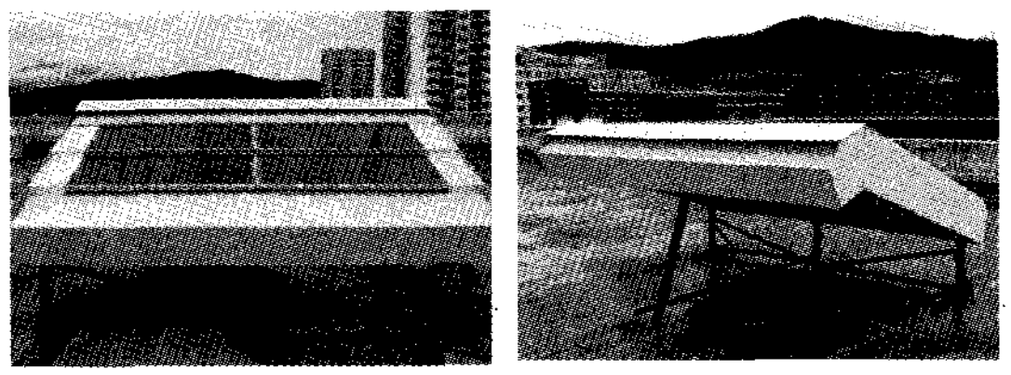

그림 5. PV Solar Roof 실험모형 외관

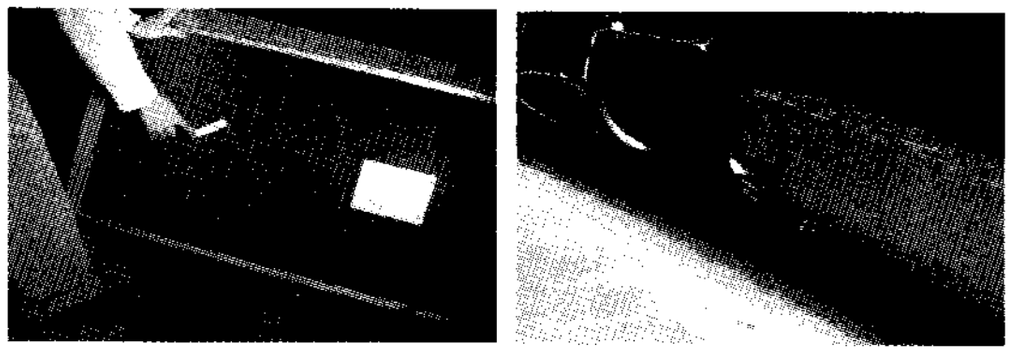

그림 6. PV모듈 온도측정 센서 및 기류 측정 센서

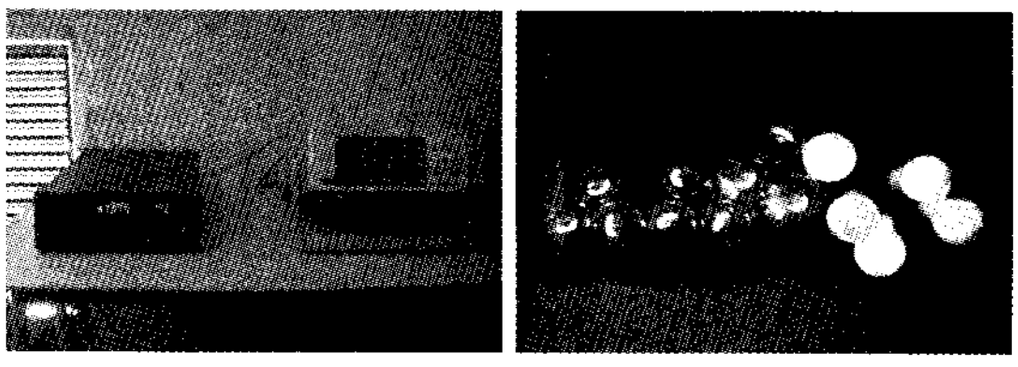

그림 7. PV Solar Roof 계측장치 및 부하

실험은 2005년도 9월~10월 동안 실시되었으며 통풍에 따른 PV Solar Roof의 성능변화를 알아보기 위해 동일 실험체를 대상으로 지붕의 통풍구를 열었을 때와 닫았을 때로 구분하여 측정하였다.

PV Solar Roof에 설치된 PV에서 생성되는 전기의 특성을 파악하고자 전류 및 전압, 전력 생산량의 변화를 분석하였다. 또한 모듈온도가 PV 시스템의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 시스템의 모듈 온도와 함께 통풍 공간의 풍속을 측정하였다. 또한 외기온도와 함께 통풍구 입구 쪽과 출구 쪽에서 PV모듈 후면의 표면온도를 측정하였다. 또한 통풍 공간 내 기류를 측정하여 공간 내의 통풍효과를 파악하였다.

3.2 실험결과

본 연구에서는 통풍구를 열었을 때와 닫았을 때의 PV시스템 성능을 비교하기 위해 측정일 중 일사 및 기타 외기조건이 유사한 특정한 날자(10월 12일과 10월 18일)를 선정하여 실험결과를 비교·분석하였다.

(1) 일사량 및 모듈온도 변화

통풍구를 열고 실험한 10월 18일의 실험결과는 **그림 8**에 나타난 바와 같다. 당일 오전 9시부터 오후 5시까지 측정된 일사량은 최고 949W/m²였으며, 외기온도는 최저 12℃에서 최고 22℃의 분포를 나타냈다.

설치된 PV모듈의 온도는 일사량에 따라 변화하는 것을 알 수 있으며, 지붕체의 통풍구 입구 쪽과 출구 쪽 PV모듈의 온도는 평균 약 5℃ 정도 차이가 있었고 입구 쪽보다 출구 쪽 온도가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 PV Solar Roof 구조체의 열기가 배출되어 나타난 현상으로 파악되었다. 즉 기류가 아래에서 위로 유동하며 PV모듈의 열기가 전달되기 때문이다.

지붕구조체 내부의 공기온도는 일사량의 변화에 따라 변화하는 것으로 나타났으며 외기온도 보다 약 5℃ 미만으로 높게 나타났다. 여기서 공간 내부의 공기온도가 다소 큰 폭으로 변화하는 것은 통풍에 의해 구조체 내부에 외부공기가 유입되기 때문으로 판단된다. 통풍구를 개방한 본 측정일의 외기풍속은 평균 1.1m/s였으며, 통풍 공간 내에서는 기류가 평균 약 0.5m/s로 미세한 통풍이 일어났다. 이는 PV Solar Roof 시스템 실험 모형이 작은 규모이고 실제 지붕과 달리 바닥 면으로부터 낮게 설치되어 외부의 바람 유입이 적어 일어난 것으로 판단된다. 따라서 실규모의 건물 지붕에 적용하였을 경우, 더 큰 통풍효과가 나타날 것으로 예측된다.

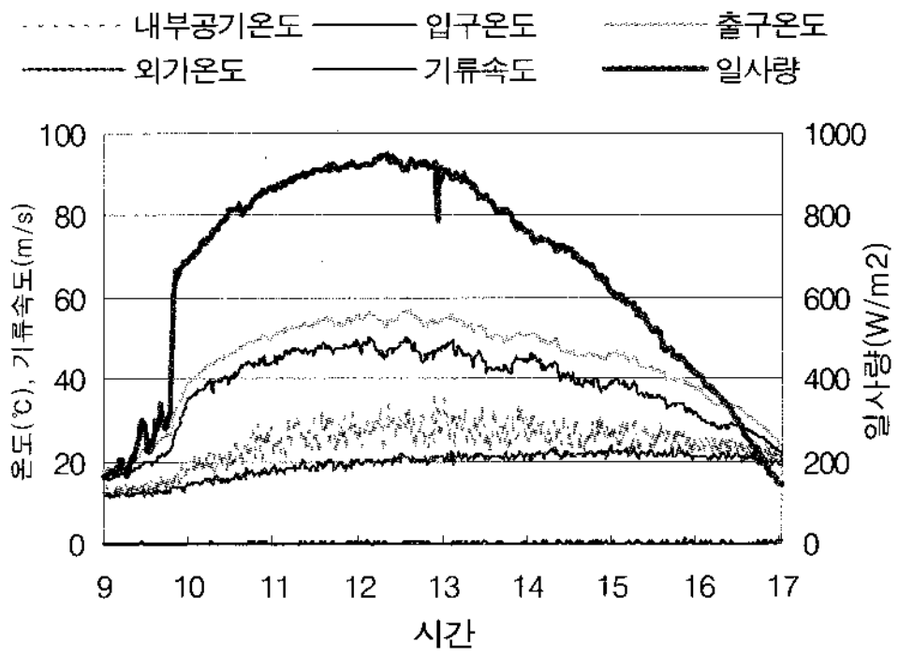

그림 8. PV Solar Roof 실험결과 (통풍구 개방)

통풍구를 닫고 실시한 10월 12일의 실험 결과는 **그림 9**와 같다. 실험일의 일사량은 최고 950W/㎡였으며, 외기온도는 최저 14℃에서 최고 24℃의 분포를 나타냈다.

앞의 경우와 같이 PV모듈의 온도는 일사량에 따라 변화하는 것으로 나타났으나, 지붕체의 통풍구 입구 쪽과 출구 쪽 PV모듈의 온도차는 1℃ 미만으로 온도가 거의 동일한 것으로 나타났다.

통풍구를 닫은 지붕구조체 내부의 공기온도는 일사량이 증가함에 따라 PV모듈 온도와 같이 상승하였다. 실험결과 측정된 일사량이 916W/㎡일 때 내부 공기온도는 최고 53℃까지 상승하여 외기 온도 보다 30℃정도 높게 나타났다. 이러한 높은 온도 차이는 통풍구의 폐쇄에 따른 현상에 따른 것으로 분석되었다. PV모듈과 지붕면상의 공간에 기류가 형성되지 않은 것은 측정일 외기 풍속이 0.9m/s임에도 불구하고 통풍 공간 내에서 기류가 측정되지 않은 것을 통해서도 알 수 있다.

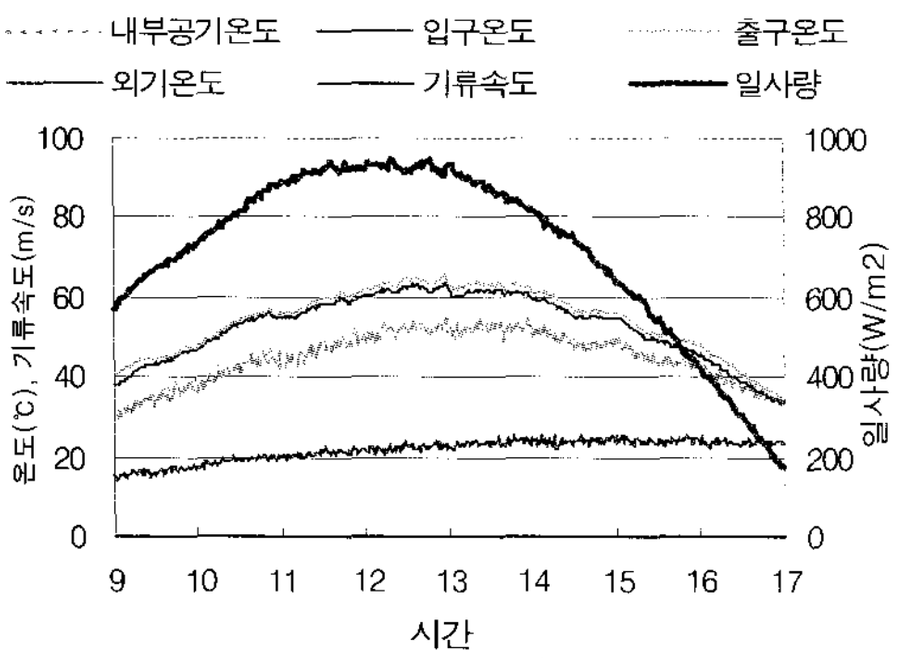

그림 9. PV Solar Roof 실험 결과 (통풍구 폐쇄)

위 실험결과를 통해 PV Solar Roof에 적용된 PV모듈의 온도는 통풍구를 열었을 때 최고 55℃, 통풍구를 막았을 때 66℃로 나타났다. PV Solar Roof의 모듈 온도는 통풍의 유무에 따라 10℃ 가량 차이가 나타났고, 이는 구조체의 통풍이 PV모듈의 온도를 저하시키는 것임을 증명하는 것이다.

상대적으로 일사량이 높고 외기온도가 높은 조건에서는 PV모듈의 온도가 더욱 상승될 것으로 예상되어 외기조건에 따라서는 본 실험결과보다 통풍이 모듈온도에 미치는 영향은 더욱 클 것이다.

(2) PV시스템의 전기적 특성

PV Solar Roof의 전기적인 특성을 살펴보면, 통풍구를 열었을 때와 닫았을 때의 측정된 전류와 전압이 일사량의 변화에 따라 차이가 있음을 알 수 있다.(**그림 10, 11**)

통풍구를 열었을 때 최고 전류 3.7A, 최고 전압은 64V로 나타났고, 통풍구를 닫은 경우 최고 전류와 전압이 각각 3.7A, 64V로 나타났다. 이 실험값을 통해 일사량이 동일한 조건에서 통풍구의 개폐가 BIPV시스템의 전기 특성 중 전류보다는 전압에 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다.

통풍구를 열었을 때, 닫았을 때보다 약 3V 차이로 전압이 높게 나타난 것을 확인할 수 있다. 반면, 두 경우 전류의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 이는 통풍에 의한 PV모듈 온도저하가 PV시스템의 전압을 강화하여 순간전력생산량을 증가시키는 결과를 나타낸다.

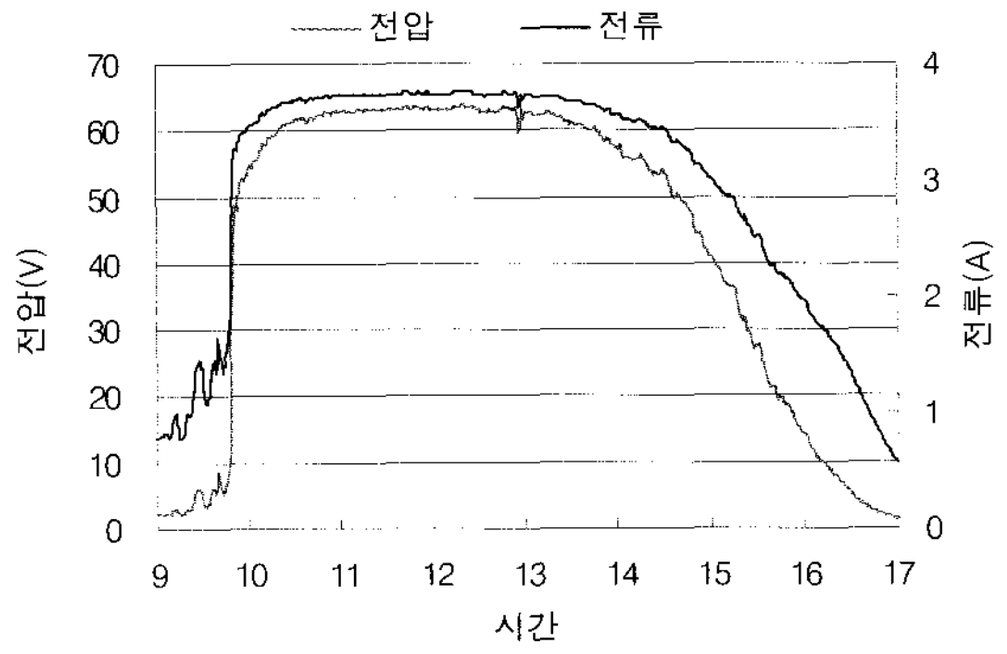

그림 10. 전류 및 전압 변화(통풍구 개방)

일사량이 950W/㎡으로 가장 높을 때 본 PV Solar Roof의 전력생산량을 살펴보면, 통풍구를

열었을 때와 닫았을 때 각각 240W_P, 227W_P로 나타났다. 실험체의 PV모듈 후면 공간에 대한 통풍이 14W_p의 전력생산량 증가를 가져온 것을 나타낸다. 이는 일사량이 높은 시점에서 지붕구조체 내 통풍이 약 6%의 순간 전략생산량의 증가를 가져온 것이다.

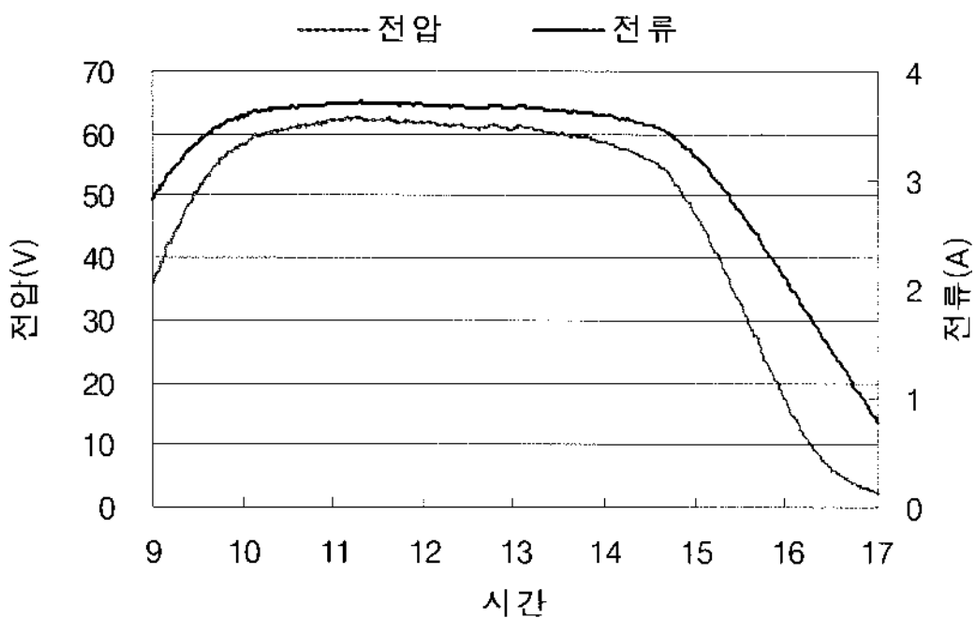

그림 11. 전류 및 전압 변화(통풍구 폐쇄)

그림 12는 실험한 이틀 동안의 일사량 및 전력생산량과의 관계를 나타낸 것이다. 실험일 중 일사량이 거의 동일한 12시부터 13시까지 1시간 동안의 전력생산량을 비교 분석하였다. 이 시간 동안의 PV모듈 면에서 얻어진 평균일사량은 약 929W/㎡였고, 통풍구를 닫았을 때 평균 전압 및 전류 값은 각각 61.3V, 3.7A, 통풍구를 열었을 때는 각각 63.2V, 3.7A로 나타나 앞서 분석한 최대 전략생산 시점의 전기적 특성과 유사하게 나타났다. 이 시간 동안의 전력생산량을 비교해 보면 순간 전력생산량의 평균이 통풍구를 닫았을 때 225.8W_P, 통풍구를 열었을 때는 236.7W_P로 약 10.9W_P의 차이를 보이고 있다. 본 건물통합형 PV Solar Roof의 성능은 지붕구조체 내에 통풍을 제공하여 약 4.8% 상승하는 것으로 밝혀졌다. 이는 앞서 분석한 실험결과를 통해 통풍에 의해 PV모듈의 온도가 약 10℃ 낮아졌고, 이것이 PV시스템의 성능에도 영향을 미쳐 전력생산량이 저하된 것으로 분석되었다.

이러한 결과는 25℃이상 조건에서 PV모듈의 온도가 1℃ 상승함에 따라 약 0.5%의 효율이 저하되는 기존의 연구결과와 거의 일치하는 실험결과로 판단된다.

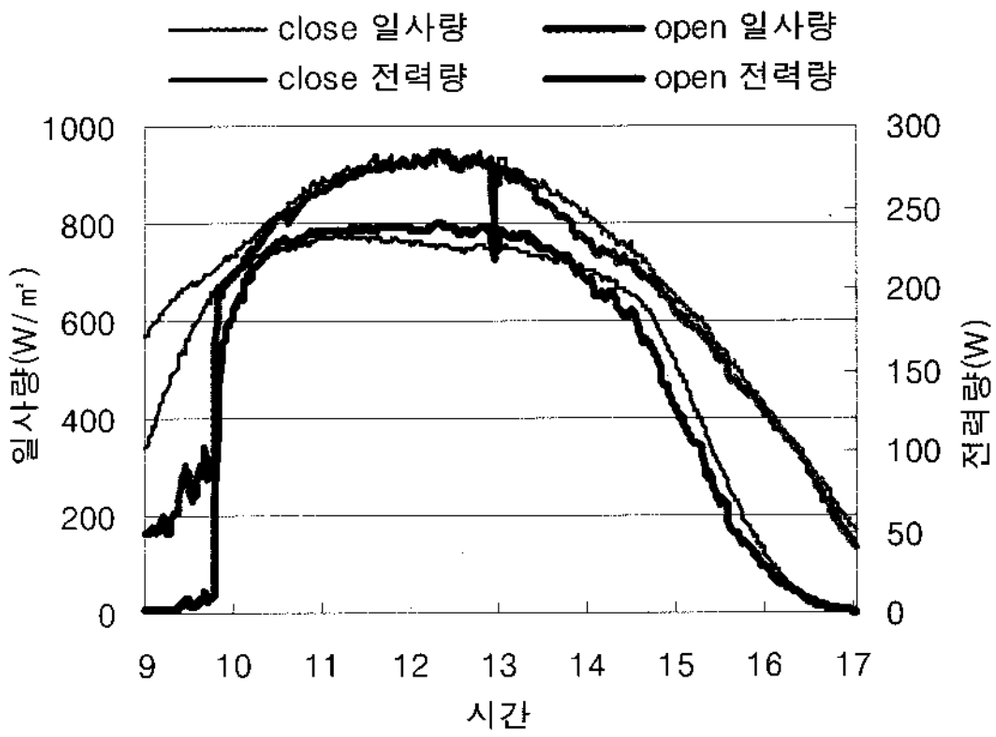

그림 12. 일사량과 PV Solar Roof의 전력생산량

4. 결 론

본 연구에서는 지붕에 적용된 BIPV시스템의 내부 자연통풍이 PV모듈의 온도 및 시스템의 전기적 성능에 미치는 영향을 알아보기 위해 지붕일체형 BIPV시스템을 제작하여 그 성능을 측정하고 분석하였다.

실험을 통해 건물통합형 PV Solar Roof에 적용된 PV모듈의 온도는 통풍 유무에 따라 차이가 있음이 밝혀졌고, 개구부의 개방에 의한 통풍으로 본 실험 PV시스템의 전력 생산이 통풍이 안 되는 경우에 비해 약 4.8% 가량 향상되는 것으로 밝혀졌다. 300W_p 용량의 소형 BIPV시스템을 사용하여 실험하고 일사량이 유사한 서로 다른 날의 실험결과를 비교 분석한 것에 따른 연구의 한계는 있으나 지붕형 BIPV시스템의 성능에 대한 통풍의 정량적인 분석을 수행한 것에 의미가 있다고 할 수 있다. BIPV시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 구조체 내에 모듈 온도를 강하시키기 위한 통풍이 필요함을 알 수 있었다. 건축구조적인 측면에서 BIPV시스템의 효율을 최대화하기 위해

서는 건물 면과 PV모듈 사이 공간에 적절한 통풍 간격을 유지하는 것이 중요하다.

BIPV시스템에 사용된 PV모듈의 온도와 시스템의 전기적 성능과의 관계를 보다 실증적으로 밝히기 위해서는 실제 규격의 지붕구조물에 PV모듈을 일체적으로 적용한 건물통합형 PV Solar Roof를 조성하고 추가적인 연구를 수행하는 것이 필요하다. 또한 서로 다른 설치 조건에 적합한 최적의 통풍간격을 산정하기 위해서는 보다 다양하고 복합적인 실험이 이루어져야 하고, 이를 토대로 통풍간격을 쉽게 산출할 수 있는 평가도구의 개발이 요구된다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단 연구사업의 일환(과제번호 : 2005-E-BD02-P-02)으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. Randall Thomas(ed), Photovoltaics and Architecture, Spon Press, London, 2001
2. 김진희, 김준태, PV모듈 온도를 고려한 BIPV 시스템 성능평가, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회논문집, 2004. 5. pp53-pp58.
3. Energy Equipment Testing Service (EETS), PV COOL-BUILD, Department of Trade and Industry, UK, 2004
4. Steven J. Strong, The Solar Electric House, Sustainability Press, Massachusetts, 1993
5. Roger Messenger, Photovoltaic Systems Engineering, CRC Press, Boca Raton, 2000
6. Tomas Markvart, Solar Electricity, John Wiley & Sons, Chichester and New York, 2000