

건물 적용 유형별 BIPVT 집열기

열적 실험성능 비교

The Thermal Performance Comparison of BIPVT Collector Applied on Roofs and Facades

강준구, 김진희, 김준태

공주대학교 건축공학과 대학원

ABSTRACT

The temperature of PV modules that integrated into building facades or roof increases that could reduce the electrical efficiency of the PV system. In order to increase PV system's efficiency it is very important to remove the heat from the PV modules. For this purpose, hot air can be extracted from the space between PV modules and building envelope, and used for heating in buildings. The solar collector utilizing this thermal effect is called photovoltaic-thermal(PVT) solar collector. This paper compares the experimental performance of building-integrated PVT collectors that applied on building roof and facade. There are two different case: a roof-integrated PVT type and a facade-integrated PVT type. The experimental results show that the collected thermal energy of the roof-integrated type was 24% higher, compared to that of the facade-integrated.

Keyword: ' , ' PV/Thermal collector units, performance comparison, thermal performance, facade-integrated PVT, roof-integrated PVT, collected thermal energy

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

PV 모듈은 전기생산 과정에서 열을 발생시키며 전기생산 효율을 증진시키기 위해서는 효율적으로 열을 배출하도록 해야 한다. 이러한 특성은 외부 노출로 독립적으로 설치되는 경우보다는 환기가 수월하지 않은 건물일체형 태양광발전 (BIPV)에서 더욱 중요한 이슈로 다루어져 왔다.

PVT 복합모듈은 전기 생산 과정에서 PV 모듈이 발생시키는 열을 보다 적극적으로 이용하기 위한 방안으로 PV 모듈과 집열기능을 결합

하여 태양에너지에 의해 전기와 열에너지를 동시에 생산하는 복합 장치이다. 즉, 건물의 에너지 성능을 향상시키고 태양에너지 이용 시스템의 효율을 극대화하여 건물에 필요한 열원과 전기를 동시에 확보 할 수 있는 건물일체형 태양광·열 복합 집열기(BIPVT)이다. 현재 미국 및 유럽을 통해 많은 연구들이 활발히 진행되고 있으며 국내에서도 이에 대한 연구가 최근 몇 년 동안 연구되어 왔다. 최근에는 지붕적용 태양광·열 복합 집열기(BIPVT)에 대한 열 및 전기적 성능에 대한 연구결과가 발표되기도 하였다.

그러나 건물 적용 유형에 따른 성능분석에 대한 연구는 찾아보기 힘들다. 건물에서 지붕면은 일사확득이 유리하고 미적으로도 건물에 일체화하여 PV 를 적용하기 쉬우나, 건물외피로서 설치면적이 제한이 있다. 반면 건물입면, 즉 벽체는 설치면적이 지붕면에 비해 크지만, 일사확득량의 감소에 따른 태양광·열 복합 집열기 (BIPVT)의 에너지 생산량이 작다. 따라서 이에 대한 태양광·열 복합 집열기 (BIPVT)의 건물 적용 유형에 따른 성능 비교분석이 필요하다. 본 연구에서는 실험을 통해 지붕 및 외벽에 적용된 공기식 태양광·열 복합 집열기 (BIPVT)의 열적 특성을 파악하고, 그 성능을 비교 분석하였다.

1.2 연구방법

본 연구에서는 공기식 BIPVT 를 지붕 및 외벽에 적용시 열적성능을 비교분석 하였다. 실험을 위해 지붕형과 벽체형 공기식 BIPVT 를 설계하고 제작하였다. 본 연구는 지붕과 외벽적용 BIPVT 의 열적 성능을 비교분석 하였으며, 전기 성능 분석은 본 논문에서는 다루고 있지 않다.

2. BIPVT 개요 및 작동원리

BIPVT 는 이중외피 개념을 BIPV 에 적용한 방식으로 건물의 지붕과 외벽을 2 중 구조로 만들어 통풍이 가능하게 하고 건물 마감재로 PV 모듈을 적용하는 형태이다. PV 모듈을 통해 집열된 공기를 팬(fan)으로 좀 더 적극적으로 환기시켜 PV 모듈을 냉각시키고 발전 효율을 증진시킨다. 배출된 열원을 건물 난방 및 급탕시스템에 필요한 열원으로 이용할 수 있고, 외부로 열기를 배출하게 되면 건물의 냉방부하를 줄일 수 있다.

3. 지붕 및 외벽적용 BIPVT 성능실험

3.1 지붕 및 외벽적용 BIPVT 실험체

PV 모듈은 최대출력 125Wp 의 다결정 실리콘 모듈(670 × 1505 ×3 8mm)을 사용하였다.

실험체는 두 개의 PV 모듈을 하나의 유닛으로 최대전류 7.04A, 최대전압 34.8V 의 최대 250Wp 용량으로 결선하였다. 지붕 및 외벽적용 BIPVT 시스템은 PV 모듈과 지붕 및 외벽사이에 각목을 이용하여 10 cm 높이의 공기 채널을 두도록 하였으며 지름 10 cm의 집열 공기취출구를 실험체 상부에 설치하고 팬을 부착하여 내부 공기를 취출할 수 있게 하였다. 또한 구조체의 구성과 단열은 건축물설비기준에 적합하도록 설계 제작하였다. [그림 1]



외벽적용 BIPVT



지붕적용 BIPVT

[그림 1] 지붕 및 외벽적용 BIPVT 실험체 외관

3.2 실험방법

성능평가를 위해 제작된 지붕 및 외벽 모형 실험체는 충남 천안시 소재 공주대 공과대학 건물의 옥상에 설치하였다. 지붕유형의 경사는 30° , 외벽유형은 수직 90° 로 정남향을 향하도록 설치하였다. 각각의 실험체의 PV 모듈 및 후면 공기의 온도 등을 측정하기 위한 측정기기를 연결하였으며, 실험 외부조건으로 지붕 및 외벽면의 전일사량, 외기온도 등을 측정하였다. 실험 장치로 일사량, 외기온도 및 모듈온도 등의 실측치를 자동으로 기록하는 계측장비 등으로 구성하였다.

앞서 설명된 두 유형의 공기식 BIPVT 모델을 지붕 및 외벽 모형에 적용하여 비교실험 하였다. 지붕적용 BIPVT 유형에 대한 실험은 2008 년 10 월~11 월 동안 실시되었으며, 외벽적용

BIPVT 유형은 2009 년 10 월 동안 실시되었다. 각각의 유형별 실험체 내부의 공기온도와 모듈 표면온도를 측정하기 위해 열전대(T 타입)를 설치하였다. 집열된 공기는 환기팬을 이용해 외부로 배출되며 배출된 공기온도와 환기량을 측정하기 위해 덕트를 연결하고 풍량 및 온도센서를 설치하였다. 환기팬을 통해 배출되는 공기량은 한 유닛 당 150 m³/h 의 동일한 유량으로 실험하였다.

4. 지붕 및 외벽적용 BIPVT 실험 결과

각각의 실험모형에서 열적 성능은 일사와 외기온도 등에 따른 모듈후면 온도를 각 유형별로 분석하였으며, 팬 가동 유무에 따른 열적성능 특성을 분석하였다. 실험 데이터는 여러 날의 실험값 중 수평일사량과 외기온도가 비슷한 2008 년 11 월 02 일(지붕형), 2009 년 10 월 21 일(벽체형) 측정값으로 분석하였다. 일사량이 서서히 증가하여 가장 높아졌을 때 환기팬을 가동시켰으며, 시스템의 모듈 유닛당 150 m³/h 유량을 강제 흡입하여 외부로 배출하였다. 이에 따라 일사량에 따른 집열량과 온도특성을 각 유형별로 비교 분석하였다.

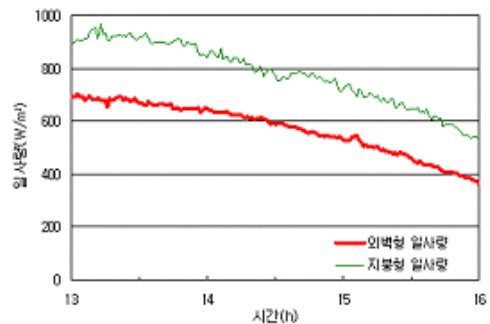
4.1 유형별 BIPVT 의 집열량

일사량에 따른 집열효율은 다음 식(1)에 의해 계산되었다. 일사량이 서서히 증가하여 가장 높아졌을 때 환기팬을 가동시켰으며, 시스템의 모듈 유닛당 150 m³/h 유량을 강제 흡입하여 외부로 배출하였다. 따라서 오후 1 시 이후부터의 집열효율을 계산한 것이며, BIPVT 모델의 입구온도인 외기온도와 출구쪽 흡입덕트에서 온도의 차로 계산되었다.

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}c_p(T_i - T_a)}{A_{pvt} G} \quad \text{식(1)}$$

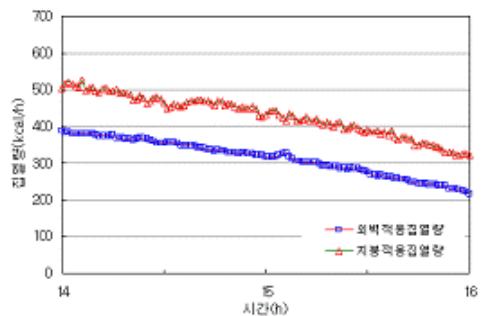
- m : 열매체 유량 (m³/hr)
- Cp : 열매체 비열 (J/Kg℃)
- Ta : 입구온도(외기온도) (℃)
- To : 출구온도 (℃)
- Aa : 집열면적 (m²)
- G : 일사량 (W/m²)

지붕 및 외벽실험체에 사용된 BIPVT 의 일사량에 따른 집열효율은 평균 30.0%, 집열효율로 계산되었다. [그림 2]와 같이 시간에 따른 적용유형별 일사량은 지붕형의 경우 일사량이 시간에 따라 530W/m²~930W/m², 외벽형의 경우 360W/m²~700W/m²로 지붕형의 경우 외벽형보다 평균 200W/m² 일사획득량이 많은 것으로 나타났다.



[그림 2] 시간에 따른 적용유형별 일사량

[그림 3]은 팬 가동 후 오후 2 시에서 4 시 사이의 각 유형별 평균 집열량 (kcal/h)를 나타낸 것이다. 평균 집열량은 지붕적용 유형이 410 kcal/h, 외벽적용 유형이 310 kcal/h 나타났다. 이는 건물 적용유형에 따른 일사획득량의 차이 때문으로 분석된다.



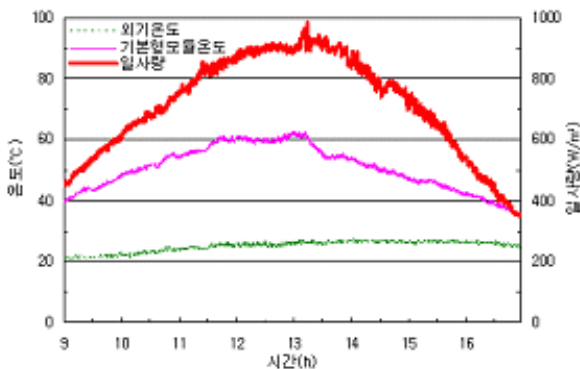
[그림 3] 시간에 따른 유형별 집열량

4.2 유형별 BIPVT 의 모듈온도 특성

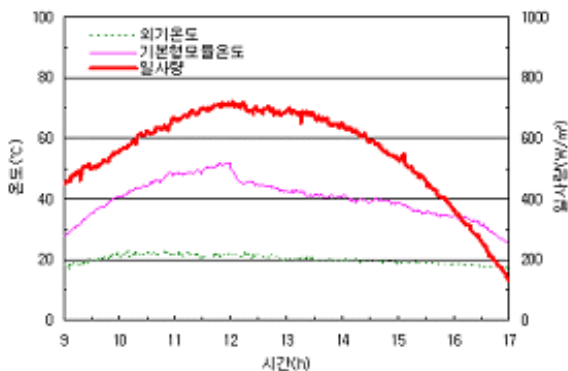
지붕 및 외벽적용 기본유형의 일사량에 따른 모듈온도 측정 결과는 [그림 4],[그림 5]와 같이 나타났다.

PV 모듈온도는 지붕형의 경우 일사량의 증가에 따라 점차 증가하다 팬 가동 후 PV 모듈온도가 60℃에서 53℃로 외벽적용 PV 모듈온도는 52℃에서 45℃로 낮아졌다. 이에 따라 PV 모듈온도는 지붕형의 경우 외벽형보다 모듈온도가 8℃ 높게 나타나는 것으로 확인되었다.

이는 앞서 설명한 바와 같이 지붕형의 경우 외벽형 보다 일사획득량이 많기 때문으로 분석된다. 또한 두 유형의 팬 가동 전과 후의 PV 모듈 온도차는 7℃로 동일한 냉각 효과를 나타내는 것으로 분석된다.



[그림 4] 지붕적용 BIPVT 모듈온도



[그림 5] 외벽적용 BIPVT 모듈온도

실험결과 집열량은 일사획득이 유리한 지붕적용 유형이 외벽적용 유형보다 약 24% 더 높게 나타나는 것으로 분석되었다. 또한 강제 환기팬에 의한 동일 실험유량에서 PV 모듈온도는 지붕형이 외벽형 보다 8 에서 10℃ 더 높게 나타났다. 이는 일사획득이 유리한 지붕형의 일사 획득량이 크기 때문이다.

따라서 일사획득량과 이에 따른 PV 모듈온도 차이에 의해 전기성능 특성 및 전력생산량이 다르게 나타날 것으로 판단된다.

이와 같은 기초적인 실험 결과를 바탕으로 향후 건물 적용방법에 따른 BIPVT 유형의 전기 및 집열효율을 더욱 높일 수 있는 방법을 개발하는 것이 필요하다. 또한 이러한 BIPVT 모델을 실제 건물의 난방시스템과 결합하여 건물의 난방부하 저감에 미치는 효과를 종합적으로 분석하는 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. P.G. Charalambous, G.G. Maidment, S.A. Kalogirou & K. Yiakoumetti(2007), Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review, Thermal Engineering, Vol.27, 275-286
2. 김진희, 김준태, 이강록, 양연원(2006), 공기식 BIPV 집열 지붕 시스템의 성능모델링, 한국태양에너지학회 춘계학술발표회 논문집. 282-287
3. 강준구, 김진희, 김준태(2008), 공기식 집열 지붕 난방시스템의 실험연구, 한국태양에너지학회 추계학술발표회 논문집
4. Kim, J. H, Kang, J. G & Kim, J. T(2008), An experimental study of air-type PVT collector with performance improvements, Proceeding of SB08, Melbourne.

5. 결 론