

실험을 통한 BIPV/T 시스템 성능분석-2.시스템 열성능

조혜진*, 이현주**

*전력연구원, 연구원(119927525@kepco.co.kr),
**전력연구원 선임연구원(lhj8865@kepco.co.kr)

Performance Analysis of the BIPV / T system by the performance Test- Part2. Thermal Performance

Jo, Hye-Jin*, Lee, Hyeon-Ju**

*Researcher, KEPCO Research Institute(119927525@kepco.co.kr),
**Senior Researcher, KEPCO Research Institute(lhj8865@kepco.co.kr)

Abstract

BIPV/T (Building Intergrated PhotoVoltaic/Thermal) is combined system produces electricity and thermal energy. The heat from PV modules should be removed for better electrical performance, and can be converted into useful thermal energy.

The test system is installed to top floor of the experimental house in the KEPCO Research Institute. The experimental performance is executed from 13th February to 13th March, 2012. The expected system's thermal performance is 1.9kWh under the horizontal solar radiation is 600W/m² and the air flow in the system is 20CMH/m².

Keywords : 건물통합형 태양광열 발전시스템(BIPV/T, Building Intergrated PhotoVoltaic/Thermal), 열성능 (Thermal performane)

기 호 설 명

CMH : Cubic meter per hour(m³/h)
Rad : 수직면 일사량(W/m²)

1. 서 론

국내에서는 태양광을 이용한 PV 시스템 및 태양열을 이용한 시스템은 개발 단계를 거쳐

보급이 활발하나, 경제성의 문제 및 효율저하를 원인으로 그 적용이 미비하다. 또한, 건물의 경우 전력소비량 뿐 아니라, 냉난방에너지, 건물 IAQ등 다각적이고 복합적인 기능이 요구되므로 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 방안으로 PV 시스템에 Solar Thermal을 연계한 태양광열 발전시스템이 그 대안이 될 수 있다.

공기난방을 주로 하는 북미의 경우 가정용, 업무시설용으로 다양하게 공급되고 있으나,

국내는 아직 연구가 미흡하다. 따라서, 전력 연구원의 시험주택 상부 옥탑층에 BIPV/T 시스템을 설치하여 그 성능 및 효과를 실험·분석하고 있다. 이러한 실험을 통하여 태양전지의 발전효율 향상 및 태양열 공기난방 성능평가를 수행하며, 향후 빌딩 적용기술로서의 타당성 및 국내외 사업화 방안에 대하여 연구하고자 한다.

BIPV/T시스템의 활용방안은 다양하게 이루어 질 수 있으나, 본 논문에서는 시스템의 가동형태 및 외기조건에 따른 BIPV/T 시스템의 에너지 생산 효율을 알아보았다.

2. 설치시스템의 개요

시스템의 전체 설치규모는 총 48.4m²으로 벽면 22m², 옥상 26.4m²이다. 본 논문에서는 겨울철 효율이 높은 BIPV/T Wall을 대상으로 분석하였으며, BIPV/T Wall의 설치사진 및 센서 설치도는 다음과 같다. 이때, 기대되는 BIPV/T Wall 열 생산량은 평균 일사량이 600W/m², 시스템 풍량 20CMH/m² 일 때 수직벽면 설치효율을 고려하여, 1.9kWh이다.



그림 1. BIPV/Wall 설치사진

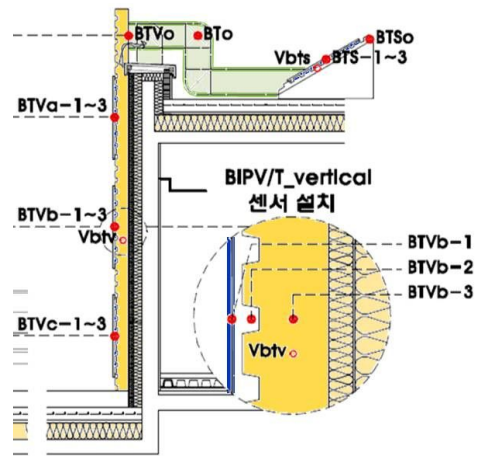


그림 2. 센서설치 단면도

3. BIPV/T 시스템 실험 및 분석

외기온 및 시스템 가동형태에 따른 시스템의 효율을 알아보기 위하여 시스템의 가동형태 및 조건을 변경하여 2012년 2월 13일~3월 13일까지 실험하였으며, 각각의 주요 내용은 다음과 같다. 실험시 수직면 일사량을 일사량계를 이용하여 측정된 데이터를 이용하였다.

3.1 시스템 풍량 변화에 의한 출구온도

BIPV/T 시스템은 외부 일사량에 의하여 집열판 내 공기층의 온도 상승 및 외부공기가 집열판을 통과시 열교환에 의하여 열을 획득하므로, 시스템 내 풍량변화에 따라 출구온도가 변화하게 된다.

이러한 변화를 관찰하기 위하여 크게 세가지로 나누어 실험을 진행하였다. 먼저 시스템을 미가동(0CMH/m²)하여 중공층 내 자연대류만을 유도, 풍속조절을 통하여 시스템을 통과하는 풍량이 각각 20CMH/m², 54CMH/m²가 되도록 유도하였다. 이때의 BIPV/T Wall의 출구온도와 일사량의 변화는 다음과 같다.

수직면 일사량에 의한 BIPV/T wall의 출구온도 변화에서 시스템을 미가동시 온도상

승은 일사량과 큰 관련없이 5~25℃ 내에서 분포되어 있으나, 시스템 풍량을 20CMH/m², 54CMH/m²로 가동시 분포도는 비교적 넓으나 다음과 같은 선형 수식으로 정의되며, 이때 각각의 결정계수는 0.424, 0.734이다.

$$T_{wallout-20} = 0.0193 \times Rad + 9.148 \dots\dots(1)$$

$$T_{wallout-54} = 0.0276 \times Rad + 6.121 \dots\dots(2)$$

시스템 설계사의 자료를 참고하면, 일사량 600W/m²인 경우, 시스템 풍량 20CMH/m²에서 외기온 대비 시스템의 최종 출구온도차이는 12.5℃를 기대하였으며, 실측된 값에 의하면 외기온과 최종 출구온도 차이는 약 12.9℃로 시스템의 성능을 확보하고 있음을 알 수 있다.

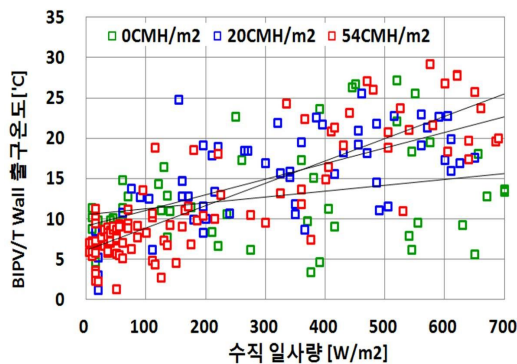


그림 3. 일사량 변화에 의한 출구온도 분포

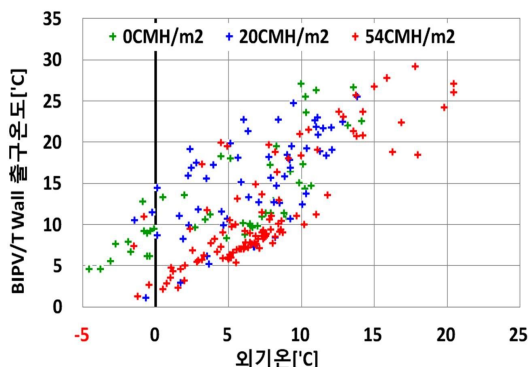


그림 4. 외기온 변화에 의한 출구온도 분포

또한, 외기온 변화에 의한 BIPV/T Wall의 출구온도 분포를 살펴보았을 때, 외기온이 상승할 수록 출구온도가 상승하나, 시스템 풍량 0CMH, 20CMH인 경우 큰 차이가 발생하지 않으며, 54CMH인 경우 외기온 대비 시스템 출구온도가 다소 낮은 경향을 보이기는 하나 그 상승폭이 유사하진 않다.

3.2 외기조건 변화에 의한 온도차 분석

BIPV/T 시스템의 이용가능한 열에너지의 획득 분석은, 집열관의 출구에서 공조시스템의 입구까지의 열손실 등을 고려하여 급기온을 기준으로 수행하였다.

다음은 시스템 풍량 20CMH/m², 54CMH/m²의 수직면 일사량과 급기온과 외기온의 온도차를 나타내었다. 수직면 일사량과 온도차는 분포가 유사한 선형 패턴이이나, 시스템 풍량이 낮을수록 온도차가 높은 것을 볼 수 있다. 이는, 집열관 내로 유입될 때 집열관과의 열교환이 더 장시간 이루어지기 때문으로 파악된다.

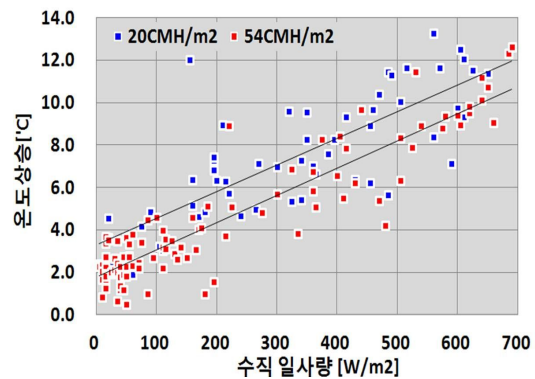


그림 5. 일사량 변화에 의한 온도차 분포

이때, 각각의 선형 수식의 결정계수는 0.847, 0.644으로 오차범위 내 데이터를 제외한다면, 비교적 적합도가 높다.

$$\Delta T_{20} = 0.0128 \times Rad + 1.752 \dots\dots\dots(3)$$

$$\Delta T_{54} = 0.0125 \times Rad + 3.290 \dots\dots\dots(4)$$

또한, 풍량별 외기온에 의한 온도차도 분석하였다. 시스템 풍량에 관계없이 획득가능한 온도차는 외기온에 따라 넓게 분포되어 있어 특별한 연관성을 찾기 곤란하므로, BIPV/T 시스템의 열생산 효율은 일사량과 관계가 깊은 것을 알 수 있다.

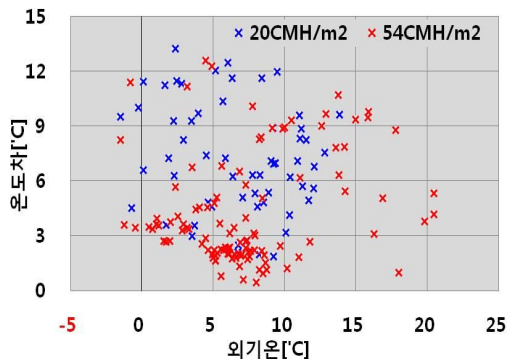


그림 6. 외기온 변화에 의한 온도차 분포

3.3 외기조건 변화에 의한 열획득량

외기조건 변화에 의한 열 획득량 분석은 앞서 언급하였듯이 덕트 말단부의 최종 급기온도를 이용하였다.

시스템의 열 획득량은 일사량의 변화에 의하여 선형 패턴을 보이고 있으며, 풍량이 증가할수록 상승하는 경향이 뚜렷하다. 이는, 외기온과 급기온도 차이는 풍속이 낮을수록 상승하는 경향을 보이나 그 차이는 크지 않으며, 열 획득량은 다음과 같은 공식에 의하여 풍량과 비례하기 때문으로 여겨진다.

$$Q = m \times C \times \Delta T \dots \dots \dots (3)$$

(Q : 열획득량, m : 풍량, C : 비열, ΔT : 온도차)

이때의 수직면 일사량과 풍량별 열 획득량은 다음과 같은 수식으로 정의될 수 있으며, 이때의 결정계수는 각각 0.551, 0.867이다.

$$Q_{20} = 1.798 \times Rad + 518.8 \dots \dots \dots (3)$$

$$Q_{54} = 5.673 \times Rad + 654.0 \dots \dots \dots (4)$$

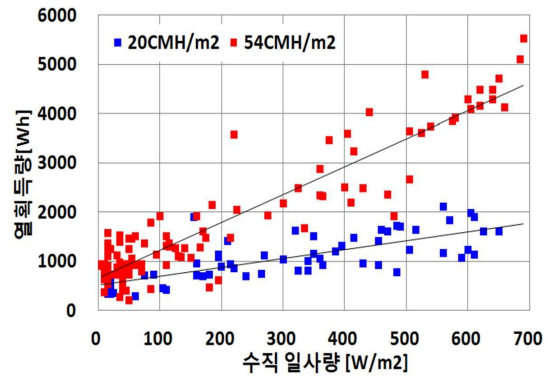


그림 7. 일사량 변화에 의한 열획득량

시스템 설계시, 시스템 풍량 20CMH/m²으로 약 1.9kW의 열 획득을 기대하였으나, 실측 및 수식에 의한 결과 값은 약 1.6kW으로 설계 값과 약 15.8%의 오차가 발생한다. 이는, 3.1장에서 BIPV/T Wall에서 기대한 수치 이상으로 온도차이를 확보한 점을 고려할 때, BIPV/T wall 최종출구에서 급기덕트 말단 사이의 열손실에 의한 것으로 여겨지며, 향후 단열 보강을 통하여 이 차이를 줄일 예정이다.

수직면 일사량이 100W/m²~800W/m² 변화시 BIPV/T wall의 열 획득효율 분석결과 시스템 풍량 20CMH/m² 일 때 11.1~31.8%(600W/m² 기준 12.1%), 시스템 풍량 54CMH/m² 일 때 29.5~55.5%(600W/m² 기준 30.7%) 효율을 보이고 있다. PV 발전 효율이 13~15% 인 점을 고려하면, 총 시스템 효율은 600W/m² 기준 하에서, 20CMH/m² 약 25~27%, 54CMH/m² 약 43~45%를 기대할 수 있다.

4. 결론

전력 및 열의 동시생산이 가능한 효과적인 태양열 시스템인 BIPV/T 시스템을 설치한 후 그 효과를 알아보기 위하여 실험을 수행한 결과 다음과 외부조건 및 시스템의 운전조건에 따라 다음과 같은 패턴을 보이고 있다.

- (1) 수직면 일사량과 BIPV/T wall의 출구온도는 비례관계를 보이며 증가하고 있으며, 외기온과 BIPV/T wall의 출구온도 역시 비례관계로 증가하나 큰 차이점을 보이고 있지는 않다.
- (2) 수직면 일사량과 급기 온도차는 비례하여 증가하나, 시스템 풍량이 낮을수록 증가하는 경향을 보이고 있으며, 이는 풍량이 낮을수록 집열판 통과시 더 많은 열교환이 이루어지기 때문으로 여겨진다. 외기온과 급기 온도차는 상관관계가 발견되지 않았다.
- (3) 수직면 일사량과 열획득량은 비례하여 증가하는 경향을 보이고 있으며, 시스템 풍량이 증가할 수록 더 많은 열획득량이 많다. 이러한 결과는 풍량별 급기 온도차가 크지 않으므로 열 획득량이 풍량에 비례한다고 여겨진다.
- (4) 수직면 일사량과 열획득 효율은 풍량 20CMH/m² 일 때 11.1~31.8%, 시스템 풍량 54CMH/m² 일 때 29.5~55.5%로 양호한 열 획득 효율을 보이고 있다.

후 기

본 연구는 전력연구원 내 설치된 BIPV/T 시스템의 동절기 후반 실험 기간 중 시스템의 열성능에 관한 결과로서, 향후연간 성능 실험 및 세분화된 풍량조절을 통한 데이터의 추가 획득으로 다양한 이용가능성을 분석하여 활용방안을 도출할 계획이다.

참 고 문 헌

1. 강동연 외, 보급형 태양열 공기 집열 건축 외장 판넬 시스템 열성능 분석기술, 공기조화 냉동공학회 2000하계학술발표회 논문집, pp 687-691
2. 이의준, 그린빌딩을 위한 태양열 신선외기 난방기술, Journal of the KGBC 0103

- Vol.5, NO1
3. 이의준 외, 태양열광복합 활용 열·전기 동시생산 설비기술 현황과 전망, 설비/공조·냉동·위생 2006년 1월호, pp57-63
 4. 조일식 외, 다기능 복합 솔라월 시스템 개발. 한국과학재단 기초연구사업, 2010.04
 5. 이의준 외, 건물 통합형 태양열 공기 난방 기술, 한국태양에너지 학회지, 2011. 04
 6. 서유진 외, 반사판을 이용한 고정식 집속형 태양광, 열 복합패널의 성능평가, 한국태양에너지학회 논문집 Vol.25, No4, pp85-92
 7. Yuxiang Chen. et al. Modeling, design and thermal performance of a BIPV/T system thermally coupled with a ventilated concrete slab in a low energy solar house : Part 2, ventilated concrete slab, Solar energy 84, 2010, pp.1908-1919