

실험을 통한 건물통합형 태양광·열(BIPVT) 시스템의 난방성능 평가

정선옥*, 김진희**, 김지성*, 박세현*, 김준태***

*공주대학교 건축공학과 대학원(strawberry@kongju.ac.kr),
**공주대학교 그린홈에너지기술연구소(jiny@kongju.ac.kr),
***공주대학교 건축학부(jtkim@kongju.ac.kr)

The Heating Performance Evaluation of Heating System with Building-Integrated Photovoltaic/Thermal Collectors

Jeong, Seon-Ok* Kim, Jin-Hee** Kim, Ji-Seong* Park, Se-Hyeon* Kim, Jun-Tae***

*Dept. of Architectural Engineering, Graduate School, Kongju National University (strawberry@kongju.ac.kr),
**Green Home Energy Technology Research Center, Kongju National University(jiny@kongju.ac.kr),
***Dept. of Architectural Engineering, Kongju National University(jtkim@kongju.ac.kr)

Abstract

The heat from PV modules should be removed for better electrical performance, and can be converted into useful thermal energy. A photovoltaic-thermal(PVT) module is a combination of PV module with a solar thermal collector which forms one device that produce thermal energy as well as electricity. In many studies various water type PVT collectors have been proposed in effort to increase their electrical and thermal efficiency.

The aim of this study is to evaluate the heating performance of heating system combined with PVT collectors that on integrated building roof. For this study, the BIPVT system of 1.5kWp was installed at the experimental house, and it was incorporated with its heating system.

From the experimental results, the solar fraction of the heating system with BIPVT was 15%. It was also found that was analyzed that the heating energy for the house can be reduced by 47%, as the heat gained from BIPVT system pre-heated the water used for heating system.

Keywords : 건물일체형 태양광·열 난방시스템(Heating system with BIPVT), 태양광·열 집열기 (PV/Thermal collector), 열효율(Thermal efficiency), 전기효율(Electrical efficiency), 난방성능(heating performance)

기 호 설 명

- A_{pvt} : Collector area [m^2]
 T_i : Collector inlet temperature [$^{\circ}C$]
 T_o : Collector outlet temperature [$^{\circ}C$]
 T_m : Fluid mean temperature [$(T_o - T_i)/2$]
 T_a : Outdoor temperature [$^{\circ}C$]
 m : Mass flow rate [kg/hr]
 η_{th} : Thermal efficiency
 η_{el} : Electrical efficiency
 C_p : Specific heat [$J/kg^{\circ}C$]
 G : Irradiance [W/m^2]
 I_m : Maximum current [A]
 V_m : Maximum voltage [V]
 M : Heating flow rate [L]
 T_c : Tap water temperature [$^{\circ}C$]
 T_h : Heating supply temperature [$^{\circ}C$]

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

건물에 적용된 PV 시스템은 전기가 생성되는 과정에서 발생하는 열로 인해 PV 모듈의 온도가 상승하고 그 결과 BIPV 시스템의 효율이 저하되는 문제가 발생된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 다양한 연구가 이루어져 왔으며, BIPV 시스템의 효율을 증가시키기 위한 방법으로 태양광·열(Photovoltaic-thermal: PVT)시스템이 개발되었다. 그리고 최근 35년간 국내외에서 PVT 시스템에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다¹⁾²⁾³⁾.

PVT 시스템은 열매체의 종류에 따라 공기

식과 액체식으로 분류할 수 있다. 공기식 PVT 시스템은 대류를 위한 최소한의 팬 동력 이외의 별도의 주변장치 없이 건물외피에 손쉽게 적용할 수 있다는 장점을 갖는다. 그러나 열용량이 작고 열전달률이 낮으며, 밀도가 작기 때문에 대용량 덕트를 사용해야 하며, 송풍 팬에서 소음이 발생할 우려가 있다. 액체식 PVT 시스템은 누수와 동결에 따른 문제가 발생할 수 있지만 공기식 보다 열성능이 우수한 장점을 갖고 있다⁴⁾.

특히 액체식 PVT 시스템은 태양광발전시스템과 태양열 집열기를 개별적으로 설치하는 것에 비해 시공 및 경제성 측면에서 매우 유리하다. 또한 건물 외장재로서의 역할을 통해 건축부재의 절감효과를 갖는다.

따라서 건물에너지성능의 향상 및 태양에너지 시스템의 활용을 극대화 하기위한 액체식 태양광·열(Photovoltaic thermal : PVT)시스템의 건축적 활용은 매우 중요하다. 그러나 기존의 액체식 PVT 시스템에 대한 연구는 단일 모듈의 열 및 전기성능의 향상을 위한 성능평가⁵⁾⁶⁾⁷⁾가 대부분이며, PVT 시스템에서 생산된 열원 및 전력을 건물의 난방이나 급탕 또는 전력원으로 이용하는 건물적용 시스템 연구는 미비한 실정이다.

이러한 배경에 따라 본 연구에서는 건물통합형 태양광·열 시스템(BIPVT: Building Integrated Photovoltaic/Thermal System)을 이용한 난방시스템의 성능분석을 목적으로 하였다.

- 1) P. Affolter. et al., PVT Roadmap: A European Guide for the Development and Market Introduction of PV-Thermal Technology. Energy Research Centre of the Netherlands(ECN), 2006.
- 2) A. Ibrahim, et al., Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.15, No.1, pp.532 - 365. 2011
- 3) V. V. Tyagi et al. Advancement in solar photovoltaic/thermal (PV/T) hybrid collector technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.16, No.4, pp.1383 - 1398. 2012

- 4) J. H. Kim, (2011) 「A study of Energy Performance of a Building-Integrated Photovoltaic-Thermal System」 a doctoral dissertation in kongju national university. p.16.
- 5) J. H. Kim. et al., Experimental Performance Comparison of Water Type Glazed and Unglazed PV-Thermal Combined Collectors, Korea Institute of Ecological Architecture and environment, Vol.9 No.4, pp.37-42, 2009.
- 6) J. A. Chun. et al., A Study on Performance of Flat Water-type PVT Modules According to Absorber Type, Korean Solar Energy Society, pp.93-98, 2011.
- 7) S. O. Jeong. et al., The Experimental Performance of Rectangular Tube AbsorberPV/Thermal Combined Collector Module, Korean Solar Energy Society, pp.87-92, 2011.

1.2 연구방법

본 연구에서는 1.5 kW_p 용량인 Unglazed Type의 액체식 PVT 모듈을 실험주택에 지붕일체형으로 설치하였으며, 실험주택의 난방 열원으로 이용하기 위해 PVT 난방시스템을 구축하였다. 이를 통해 BIPVT 집열기의 열적 전기적 성능을 측정하였으며, 그 결과를 분석하였다. 또한 액체식 BIPVT 모듈을 이용한 난방시스템의 일일 열성능 및 난방성능에 대하여 분석하였다.

2. 난방성능평가 실험계획

2.1 Unglazed PVT 모듈 개요

Unglazed PVT 모듈에는 표준실험조건(Standard Test Conditions: STC)에서 전기효율 16.71 %인 240 Wp 단결정 실리콘 PV모듈이 적용되었다. 그리고 PV 모듈 후면에는 Sheet and Tube 타입의 흡열관이 결합되어 제작되었다.

제작된 PVT 모듈은 외기실험조건⁸⁾ 하에서 전기효율 16.4 %, 열손실계수 -15, 열효율계수 0.73의 성능을 갖으며, 주요성능은 Table 1에 나타난 바와 같다.

Table 1. PVT module performance and detail

셀 타입	mono crystalline silicon
최대 출력	240 W
전기효율	16.2 %
열손실계수[F _R U _L]	-16.4
열효율계수[FR(τ _α)]	0.73
크기	1656*997*50mm

2.2 BIPVT 난방시스템 개요 및 실험방법

액체식 BIPVT 난방시스템은 천안(위도 36° 47' 경도 127° 9')에 위치한 공주대학교

6공학관 옥상에 설치된 실험주택에 적용되었다. 실험주택은 정남향이며, 액체식 PVT가 적용된 지붕의 경사각도는 30°이다. 실험주택은 건물적용실험을 위한 Test Room과 데이터 측정제어를 위한 Service Room으로 구성되어있다.

Fig. 1은 BIPVT 모듈이 지붕에 설치된 실험주택의 외관 및 BIPVT 난방시스템 계통도를 나타낸 것이다. 실험주택은 기존주택의 난방시스템과 연계하여 BIPVT 모듈을 통해 획득된 열을 난방열원으로 이용하기 위한 시스템을 구성하였다. BIPVT 난방시스템은 1.5 kW_p급의 태양광 발전용량이며, 액체 PVT 모듈의 집열면적은 8.64 m², 집열부에서 획득열량을 저장하기 위한 축열탱크(500 l), 전력생산량을 측정하기 위한 인버터, 보조열원인 전기보일러, 비난방 기간에 난방시스템의 실험을 위한 방열기(FCU) 등으로 구성되었다. 유체의 주요 측정점에는 RTD 온도센서가 사용되었다.

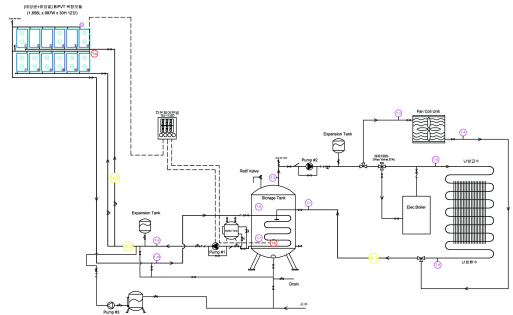


Fig. 1 Experimental house view and distribution diagram of heating system with BIPVT

8) H. Zondag et al., D8-6: PVT Performance measurement guidelines, Petten: ECN and Emmerthal: ISFH, 2005.

실험은 다음과 같은 조건에서 수행되었다. 집열조건은 입출구 온도차가 4 °C 이상일 때 집열기 순환펌프 ON, 2 °C 이하 일 때 OFF 되도록 설정되었으며, 유량은 10 LPM으로 고정되었다. 실험은 비난방기간에 수행되었으며, 이에 따라 FCU를 통해 설정된 열량을 방열하도록 부하가 설정되었다. 난방부하 설정을 위해 TRNSYS⁹⁾ 프로그램에 의해 시뮬레이션을 수행하였으며, 단열이 잘된 일반가정 100 m² 기준으로 모델링한 결과 17 kW로 산정되었다. 난방 가동은 오후 1시부터 다음 날 오전 7시까지 난방공급온도와 상관없이 설정된 부하를 모두 소비하도록 설정되었다. 또한 난방 공급유량은 5 LPM으로 설정되었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 BIPVT 난방시스템의 열 및 전기성능

BIPVT 난방시스템의 열효율은 식 (1)에 의해 계산되었다. 즉, 열효율은 흡열판에서 얻어지는 총 획득에너지인 Q₁에 대한 BIPVT 모듈 자체의 획득 에너지인 Q₂의 비율로 산출되었다. BIPVT 난방시스템의 전기효율은 식 (2)에 의해 계산되었다. BIPVT 집열면적의 일사량에 대한 전력생산량의 비율로 산출되며 전력생산량은 출력전압과 출력전류의 곱으로 계산된다.

$$Q_1 = A_{pvt} \times G$$

$$Q_2 = m C_p (T_m - T_a) \quad (1)$$

$$\eta_{th} = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{m C_p (T_m - T_a)}{A_{pvt} \times G}$$

$$\eta_{el} = I_m V_m / A_{pvt} G \quad (2)$$

9) J. H. Kim, (2011) 「A study of Energy Performance of a Building-Integrated Photovoltaic-Thermal System」 a doctoral dissertati- on in kongju national university.

BIPVT 난방시스템의 열 성능은 Fig. 2 와 같으며 $\eta_{th}=0.5251-7.9908(T_m-T_a/G)$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 x축에 대한 열손실계수는 8.68, 열효율계수는 0.53로 나타났으며, x축 계수가 0인 열손실이 없는 경우 열효율은 52.5%로 분석되었다.

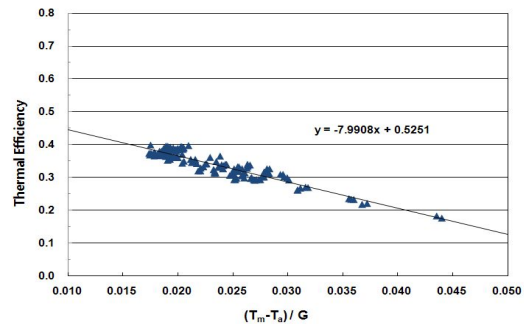


Fig. 2 Thermal efficiency of the BIPVT system

BIPVT 난방시스템의 전기성능은 Fig. 3 과 같으며 $\eta_{el}=0.1696-0.002(T_m-T_a/G)$ 로 나타낼 수 있다. BIPVT 모듈의 전체 전기효율은 x축계수의 실험조건하에서 최대 16.9%로 나타났다.

x축 계수에 대한 전기효율은 열효율에 비해 다소 불균일한 분포를 보이고 있다. 이는 x축 계수의 외기온도와 유체평균온도, 일사량 외에 PV 모듈 표면온도의 영향으로 같은 x축 계수의 조건에도 불구하고 다른 전기효율을 나타내는 것이다.

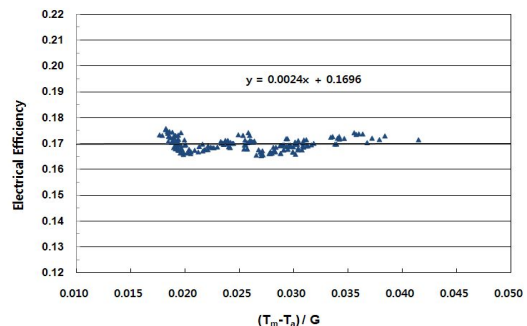


Fig. 3 Electrical efficiency of the BIPVT system

3.2 BIPVT 난방시스템의 일일 열성능

Fig. 4는 BIPVT 난방시스템의 하루 동안의 작동을 나타낸 그래프이다. 시간에 따른 PVT 유체의 입·출구온도, 축열조 평균온도, 난방공급 및 환수온도, 난방 공급유량 및 PVT 공급유량, 외기온도와 일사량을 나타내고 있다.

집열부 순환펌프는 차온제어에 의해 8시 50분경 작동을 시작하였으며, 일사량이 증가함에 따라 PVT 유체의 입출구온도와 축열조 평균온도 또한 증가되었다. PVT 모듈의 평균 입출구 온도차는 3.3 °C로 나타났으며, 최대 온도차는 4.4 °C로 나타났다. 축열조 평균온도는 최초 18 °C에서 39.3 °C로 21.3 °C 증가되었다. 12시를 기점으로 일사량이 점차 감소함에 따라 PVT 획득열량에 의해 축열조 평균온도 및 PVT 입출구 온도는 15시경 까지 상승되었다. 이후 집열부 순환펌프의 작동이 정지됨에 따라 축열조 평균온도 및 난방급수 온도는 서서히 감소되었다.

집열부 순환펌프 작동에 따른 축열조 온도 상승으로 14시부터 15시까지 난방 급수 온도는 40 °C 이상으로 상승되었다. 15시 40분경 집열부 순환펌프의 작동이 정지 되었으며, 다음날 오전 7시까지 FCU에 의한 부하열량 소비에 따라 축열조 평균온도, 난방급수 및 환수온도가 감소되었다.

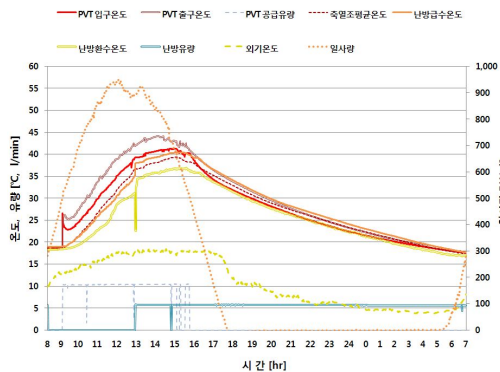


Fig. 4 Daily thermal performance of the heating system with BIPVT

3.3 BIPVT 난방시스템 획득열량

Fig. 5는 BIPVT 난방시스템의 시간별 PVT 획득열량 및 집열효율을 나타낸 그래프이다. 오전 8시부터 일사량의 증가에 따라 열효율과 획득열량이 증가되었다. 그러나 11시 이후부터는 일사량이 증가함에도 불구하고 열효율이 감소되는 것을 볼 수 있다. 이는 축열조 온도상승에 의해 PVT 유체 입구온도가 상승하였으며, 이로 인해 획득열량이 감소되었기 때문인 것으로 분석되었다. 집열 시간 동안의 평균 일사량은 741 W/m², 총 집열량은 9.72 kW, 평균 열효율은 30 %로 분석되었다.

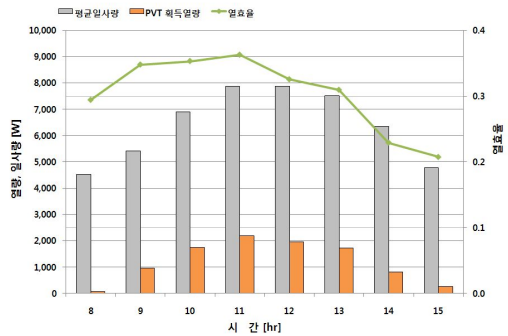


Fig. 5 Hourly heat gain and thermal efficiency of the BIPVT system

Fig. 6은 난방시간 동안 액체식 BIPVT 난방시스템의 시간별 PVT 획득열량 및 히터 공급열량을 나타낸 그래프이다. 본 연구에서는 FCU에 의해 설정된 난방부하가 난방공급수 온도와 상관없이 소비되었다. 따라서 실제 난방부하(공급수온도 40 °C)에 따른 BIPVT 난방시스템의 난방성능 및 기여도를 분석하기 위해 BIPVT 모듈에 의한 난방공급열량과 난방기간 동안 난방을 위해 필요한 보조열원의 열량을 분석하였다. PVT 난방공급열량과 보조열원 열량은 식 (3)에 의해 계산되었다.

$$Q = mC_p(T_h - T_c) \quad (3)$$

축열전 최고온도 18 °C, 난방수량 370 ℓ, 난방공급온도 40 °C 조건에서 필요한 난방열량은 약 9.4 kW로 계산되었다.

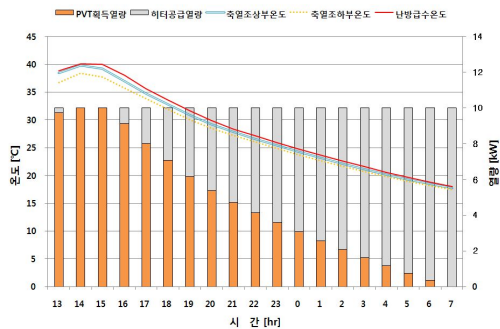


Fig. 6 BIPVT heat gain and auxiliary heating amount for the heating

그래프에서 보면 축열조 온도상승에 의해 14시부터 15시 까지 난방공급수온도는 40 °C 이상으로 상승되었으며, 15시 이후 축열조 온도 및 난방공급수온도가 감소되는 것을 알 수 있다. 따라서 13시경부터 15시까지 약 3시간 동안 BIPVT 난방시스템 획득열원만으로 난방공급이 가능한 것으로 분석되었다. 15시 이후 BIPVT 획득열량이 점차 감소되기 시작하였으며, 그에 따라 축열조온도 역시 감소되었다. 이로 인해 난방공급수 설정온도 40 °C를 위해 필요한 보조열원 공급열량이 점차 증가되는 것을 알 수 있다.

13시 부터 7시까지 19시간의 난방시간을 기준으로 약 3시간 동안 오직 BIPVT 모듈의 획득열량에 의한 난방이 이루어 졌다. 이를 전체 난방시간에 대한 BIPVT 난방 공급시간 비율로 BIPVT 난방시스템의 의존률을 나타낼 수 있다. 분석결과 BIPVT 난방시스템의 의존률은 약 15 %로 나타났다.

난방기간 동안 BIPVT 모듈 획득열량에 의해 보조열원공급열량 절감비율은 47 %로 분석되었다. 따라서 BIPVT 획득열원을 통한 축열조 예열에 의해 난방을 위한 보조열원 공급열량을 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 BIPVT 난방시스템의 난방 성능을 실험을 통해 분석하였다.

분석결과 일일 난방시간 중 BIPVT 난방시스템의 의존률은 약 15 %로 분석되었다. 또한 BIPVT 난방시스템은 기존 난방시스템 대비 약 47 %의 에너지를 절감할 수 있는 것으로 분석되었다. 따라서, BIPVT를 이용한 축열조의 예열은, 난방공급열량을 절감하는데 공헌 할 것으로 판단된다.

본 연구는 비난방 기간에 실험이 이루어졌으며, 비교적 낮은 난방온도 조건에서 실험이 수행되었다. 따라서 실제 난방공급열량에 따른 PVT 및 난방시스템의 일일성능에 대한 추가적인 실험 및 분석이 요구된다. 또한 건물 난방부하에 따른 BIPVT 난방시스템의 에너지 성능 및 기여도에 대한 평가가 면밀히 검토되어야 할 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(20114010203040)과 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업(2012R1 A1A3015046)의 지원을 받아 수행된 것임.

참 고 문 헌

1. Kim, J. H., A study of Energy Performance of a Building-Integrated Photovoltaic-Thermal System, a doctoral dissertation in kongju national university, 2011.
2. Kim, J. H., Kang, J. G., Kim, J. T. Experimental Performance Comparison of Water Type Glazed and Unglazed PV-Thermal Combined Collectors, Korea Institute of Ecological Architecture and

- environment, Vol.9, No.4, pp.37 -42, 2009.
3. Jeong, S. O., Chun, J. A., Kim, J. H., Kim, J. T., Cho, I. S., Nam, S. B., The Experimental Performance of Rectangular Tube Absorber PV/Thermal Combined Collector Module , Korean Solar Energy Society, pp.87-92, 2011.
 4. Chun, J. A., Jeong, S. O., Kim, J. H., Kim, J. T., Cho, I. S., Nam, S. B., A Study on Performance of Flat Water-type PVT Modules According to Absorber Type, Korean Solar Energy Society, pp.93-98, 2011.
 5. Affolter, P., Eisenmann, W., Fechner, H., Rommel, M., Schaap, A., Serensen, H., Tripanagnostopoulos, Y. and Zondag, H., PVT Roadmap; A European Guide for the Development and Market Introduction of PV-Thermal Technology. Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), 2006.
 6. Ibrahim, A., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., Mat, S. and Sopian, K., Recent advances in flat plate photovoltaic/ thermal (PV/T) solar collectors, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.15, No.1, pp.532 - 365. 2011.
 7. Tyagi, V. V., Kaushik, S. C. and Tyagi, S. K., Advancement in solar photovoltaic/ thermal (PV/T) hybrid collector technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.16, No.4, pp.1383 - 1398, 2012.
 8. Zong, H., Borg, N. and Eisenmann, W., D8-6: PVT Performance measurement guidelines, Petten: ECN and Emmershal: ISFH, 2005.