

평판형 액체식 PVT 모듈의 성능 실험 분석

강 준 구, 김 진 희, 김 준 태*

공주대학교 건축학과 대학원, 공주대학교 건축학과*

An Experimental Study of PV/Thermal Combined Collector Module

Jun-Gu Kang, Jin-Hee Kim, Jun-Tae Kim*

Dept. of Architectural Eng., Graduate School, Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

*Dept. of Architectural Eng., Kongju National University, Chungnam 330-717, Korea

ABSTRACT: The photovoltaic/thermal collectors (PV/T collectors) combine the solar thermal collector and photovoltaic modules. They can produce thermal energy in the form of hot air or hot water, and converts solar radiation into electricity. The collectors can improve the electrical performance of PV modules as the heat from the PV module carried away by the thermal part of the system keeping temperatures lower. The basic water cooled PVT collector has metallic water pipes attached to the back of a PV collector. There are main parameters affecting the performance (electrical and thermal) of PVT collectors. This paper analyzed the experimental performance of glazed water PVT module, considering the parameters of solar radiation, inlet water temperature and ambient temperature. It found that solar radiation is the dominant factor for the electrical performance of the collector, and for the thermal performance the inlet water temperature and ambient temperature appeared to be more related.

Key words: PVT combined module(태양광·열 복합모듈), Glazed PVT(유리가 있는 PVT), Thermal characteristics(열적 특성), electrical characteristics(전기 특성), Experimental performance(성능 실험), Temperature variation(온도 변화), Solar radiation variation(일사 변화)

기 호 설 명

A_{pvt} : 집열 및 PV모듈면적 [m^2]
 C_p : 열매체 비열 [$J/kg\ ^\circ C$]
 G : 일사량 [W/m^2]
 I_m : 최대전류 [A]
 V_m : 최대전압 [V]
 T_i : 집열기 입구온도 [$^\circ C$]
 T_o : 집열기 출구온도 [$^\circ C$]

T_a : 외기온도 [$^\circ C$]
 \dot{m} : 열매체 유량 [kg/hr]
 η_{th} : 열효율
 η_{el} : 전기효율

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

PV모듈은 전기생산 과정에서 열을 발생시키며 전기생산 효율을 증진시키기 위해서는 효율적으로 열을 배출하도록 해야 한다. 이러한 특성은 외부노출로 독립적으로 설치되는 경우보다는 환기가 수월하지 않은 건물일체형 PV시스템에서

† Corresponding author

Tel.: +82-41-551-8653; fax: +81-41-551-8659

E-mail address: jtkim@kongju.ar.kr

더욱 중요한 이슈로 다루어져 왔다. PVT복합모듈은 전기 생산 과정에서 PV모듈이 발생시키는 열을 보다 적극적으로 이용하기 위한 방안으로 PV모듈과 집열기능을 결합하여 태양에너지에 의해 전기와 열에너지를 동시에 생산하는 복합 장치이다.

평판형 PVT 복합모듈은 기존의 태양열집열기와 매우 유사하며, 단지 열을 흡수하는 흡수관이 PV모듈 뒷면에 붙여진 형태의 차이가 있다. 평판형 PVT 복합모듈은 일반적으로 액체식 PVT 복합모듈의 경우 glazing 마감에 따라 glazed 모듈과 unglazed 모듈로 분류된다.

국내에서는 최근 몇 년 사이 PV시스템의 열기를 배출하여 성능개선을 위한 방안이 제시되기도 하였고, 태양광과 열을 혼합시킨 PVT시스템의 개발¹⁾²⁾이 시작되었다.

발표된 PVT 복합모듈의 성능실험 연구³⁾⁴⁾에서는 액체식 평판형 PVT 복합모듈을 시제작하고 실험을 통해 성능 분석하였다. 이 연구에서 PVT 복합모듈은 일사량 및 실험체 유수의 입구 온도와 외기에 대한 집열관의 열손실에 의해 효율이 감소되는 것으로 분석되었다. 따라서 PVT의 효율은 열손실에 의해 지배적으로 영향 받는다. 그러나 액체식 PVT모듈의 성능에 영향을 미치는 요소들에 대한 정확한 분석은 미비한 실정이다.

이에 본 연구는 Glazed PVT 복합모듈의 열적, 전기적 성능에 직접적인 관련이 있는 요소들인 일사량, 외기온도 및 유체 입구온도가 Glazed PVT 복합모듈의 성능에 미치는 영향을 실험을 통해 규명하는 것으로 목적으로 하였다.

1.2 연구방법

본 연구는 기존의 결정질 PV모듈과 태양열 집열관을 결합하고 유리커버를 한 Glazed PVT 복합모듈을 설계, 제작하고, 열성능과 전기성능을 실험을 통해 분석하였다. 또한 성능에 영향을 주는 요소 중 입구온도, 외기온도, 일사량의 변화에 따른 열적, 전기적 효율을 분석하였다.

2. Glazed PVT 복합모듈 설계 및 제작

2.1 Glazed PVT 복합모듈

본 연구에서는 기존 태양열 집열기와 PV 모듈을 이용하여 평판형 액체식 PVT 복합모듈을 설

계하고 이를 시제작 하였다.

제작된 PVT 복합모듈의 구성은 기존 상용화된 제품의 PV모듈과 태양열집열기 사양으로 제작되었다. Fig 1 과 같이 태양광의 손실율을 최소화하면서 태양광모듈에 태양광이 입사되도록 하며, 흡수된 열의 손실을 줄이는 저철분 강화유리로 Glazing 최종 마감 하였다.

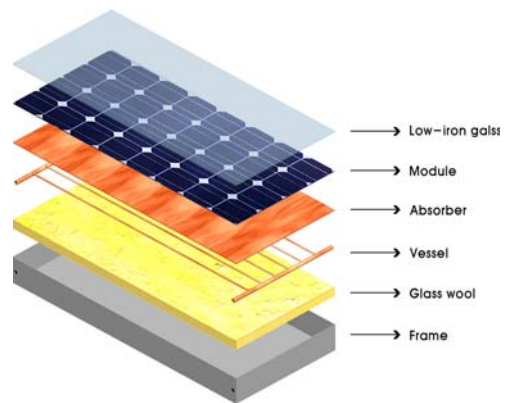


Fig. 1 Glazed PVT Combined Collector module conceptual diagram

PV 모듈은 STC 조건에서 변환효율 14%인 최대출력 200 W_p 다결정 PV모듈로, 모듈의 규격은 1,460 mm × 980 mm으로 집열면적 1.4 m² 이며 내화용 전기배선을 연결하였다. PV모듈의 세부적인 사양은 Table 1 과 같다.

PVT 컬렉터 집열기는 8 mm 지관을 1,350 mm × 92 mm 크기의 블랙크롬 구리관 중심에 초음파 용접한 형태이다. 용접된 구리관은 84 mm 간격으로 12개의 지관을 연결하여 전체크기 1,350 mm × 920 mm 로 집열관을 제작하였다.

집열관은 열전도성 접착제로 PV 모듈에 부착하였으며, 하부는 단열을 위해 80 mm 글라스울로 채워넣었다.

Table 1 PV module specification

cell type	poly crystalline silicon
maximum power	200W
maximum voltage	25.8V
maximum current	7.75A
shot current	8.65A
open voltage	33.21V
size	1454*974*38mm

3. 성능실험

3.1 실험장치

제작된 PVT 복합모듈은 “태양 집열기의 집열 성능 시험 방법”(KS B 8200)기준에 기초하여 실험장치를 설계, 제작하였다. 실험장치의 주요 구성은 순환되는 유체의 온도를 일정하게 유지시키기 위한 48L의 항온조와 유체를 순환시키기 위한 펌프 및 실험 유량을 조절하는 유량계로 구성되었다. 일사량계는 PVT 모듈의 경사각과 동일하도록 PVT 실험장치 프레임 면에 고정 설치하였고, 태양위치를 추적하기 위한 태양 추적판을 장착하였다.

실험장치는 Fig. 2 와 같이 실험장치에 설치하여 전동기에 의해 수동으로 실험체의 수평 및 수직각도가 조절되도록 하였다. 시험가대는 수평 집열면이 광원면에 대하여 수직으로 면할 수 있도록 0°~90° 경사각 조절과 360°회전이 가능하도록 제작하였다.



Fig. 2 PVT combined module attached on test Equipment

또한 온도 측정을 위한 열전대(Thermocouple :RTD type)를 PV/T 시스템의 입출구 온도 및 외기온도 측정을 위해 설치하였다. 외부에 노출되는 관 부분은 온도측정의 오차를 줄이기 위해 단열처리를 하였다. 이러한 측정센서로부터 얻어지는 데이터는 자동데이터 수집장치를 이용하여 수집하였다. 이 데이터 수집장치와 컴퓨터간 통신을 통해 PVT 복합모듈의 측정데이터를 실시간으로 측정하였다.

3.2 실험방법

실험은 집열면적 크기에 따라 결정되는 유량(집열기 단위투과 면적당 0.02 kg/s)로 고정된 상태에서 수행되었다. KS B 8200기준에 의해 2007년 9월~11월, 2009년 2~4월 동안 충남 공주시(위도 30° 26′ 37″, 경도 127° 14′ 15″) 소재 공주대학교 공과대학 건물의 옥상에서 실시되었다. PVT 복합모듈의 입구온도를 10℃~70℃에서 10℃씩 변화를 주어 실험하였다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 PVT 복합모듈의 열 성능 및 전기성능

PVT 복합모듈의 열효율은 식 (1)에 의해 계산하였다. 즉, 태양열 집열기의 열효율은 집열판에서 얻어지는 총 획득에너지인 Q_1 에 대한 집열기 자체의 획득에너지 Q_2 의 비율로서 산출하였다.

PVT 복합모듈의 전기효율은 식 (2)에 의해 계산하였다. 즉 PVT 복합모듈의 집열면적의 일사량에 대한 전력생산량의 비율로 산출되며 전력생산량은 출력전압과 출력전류의 곱으로 계산된다.

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

$$Q_2 = \dot{m}c_p(T_i - T_a)$$

$$\eta_{th} = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\dot{m}C_p(T_i - T_a)}{A_{pvt} \times G} \quad (1)$$

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

Fig. 3, 4는 PVT 복합모듈의 열 성능과 전기 성능을 나타낸 그래프이다. PVT 복합모듈의 열효율은 $\eta_{th} = 0.50-4.79(T_i - T_a/G)$ 로 나타낼 수 있다.

따라서 X축($\Delta T/G$)에 대한 열손실계수는 -4.79, 열효율계수는 0.50인 것을 알 수 있다.

그래프에 나타난바와 같이 외기온도와 입구온도, 일사량에 따른 x축 계수 값에 대한 효율을 보면, x축계수가 작을수록 효율이 높은 것을 알 수 있다. 따라서 입구온도가 낮을수록, 외기온도와 일사량이 높을수록 효율이 높은 것으로 분석

되었다. 또한 PVT 복합모듈은 성능에 직접적인 영향을 미치는 일사량보다 실험체 유수의 입구온도와 외기에 대한 집열판의 열손실에 의해 효율이 감소되는 것으로 분석되었다.

PVT 복합모듈의 전기효율은 $\eta_{el} = 0.11 - 0.14(T_i - T_a/G)$ 로 나타낼 수 있다. 그래프(Fig. 4)에 나타난 바와 같이 외기온도와 입구온도, 일사량에 따른 x축 계수 값에 대한 효율을 보면, 다소 불균일한 분포이지만 열효율과 같이 x축계수가 작을수록 효율이 높은 것을 알 수 있다. 따라서 열효율과 같은 입구온도가 낮을수록, 외기온도와 일사량이 높을수록 효율이 높은 것으로 분석되었다. 이는 PV모듈의 경우 일사량에 따라 성능이 크게 좌우되며, PVT 복합모듈 후면의 온도에 직접적인 영향을 미치는 유수입구온도가 낮을수록 전기효율이 높아지는 것으로 분석되었다.

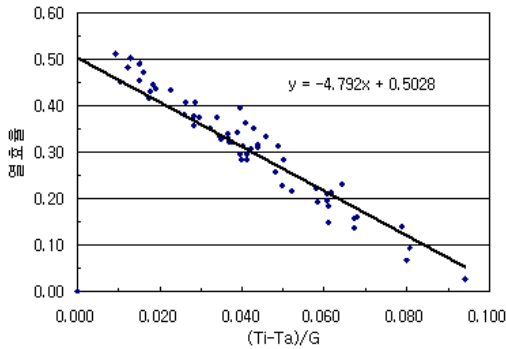


Fig. 3 Thermal efficiency of the Glazed PVT combined module

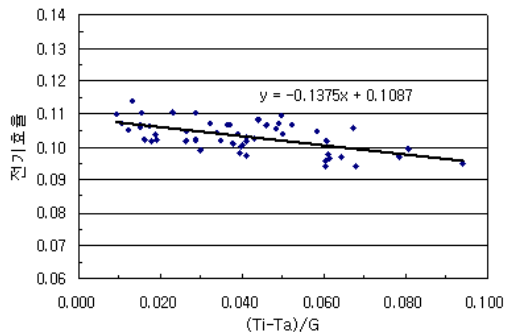


Fig. 4 Electrical efficiency of the Glazed PVT combined module

4.2 성능에 영향을 주는 요소별 분석

(1) 입구온도 변화에 따른 성능

Fig. 5, 6은 평균일사량 약 950 W/m^2 , 외기온도 약 8°C 에서 입구온도 변화에 따른 열 성능과 전기성능을 나타낸 그래프이다.

그래프에 나타난바와 같이 입구온도에 따른 열 성능은 입구온도가 증가함에 따라 열효율이 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 입구온도가 높을수록 입구온도와 외기온도의 차이에 의해 열손실이 크기 때문에 열효율이 낮은 것으로 분석되었다.

전기효율은 입구온도 증가에 따라 10.5%에서 9%로 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 전기효율은 PVT 후면의 온도를 결정하는 유수 입구온도에 따라 PV 모듈온도 상승에 의한 전기효율 감소 때문인 것으로 분석되었다.

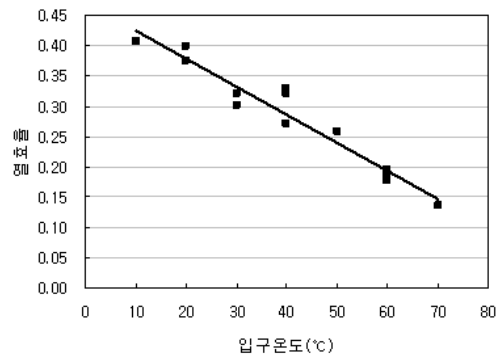


Fig. 5 Thermal efficiency by inlet temperature change

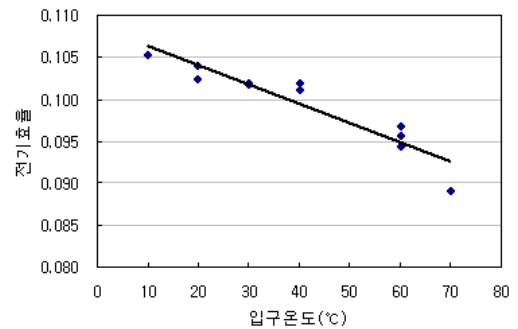


Fig. 6 Electrical efficiency by inlet temperature change

(2) 외기온도 변화에 따른 성능

Fig. 7, 8은 평균일사량 약 850 W/m^2 , 입구온도 40°C 에서 외기온도 변화에 따른 열 성능과 전

기성능을 나타낸 그래프이다.

그래프에 나타난바와 같이 외기온도에 따른 열 성능은 외기온도가 낮아질수록 열효율이 감소되는 것을 알 수 있다.

따라서 앞서 분석된 입구온도에 따른 성능과 같이 입구온도와 외기온도차에 의한 열손실이 크기 때문인 것으로 분석되었다.

전기효율은 다소 불균일한 분포이지만 외기온도가 증가함에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 전기효율은 외기온도 상승에 따라 PV 모듈 온도상승에 영향 받기 때문에 유수입구온도에 따른 분석결과와 같이 전기효율이 감소되는 것으로 분석되었다.

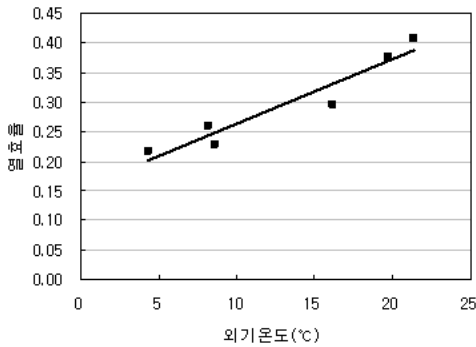


Fig. 7 Thermal efficiency by ambient temperature change

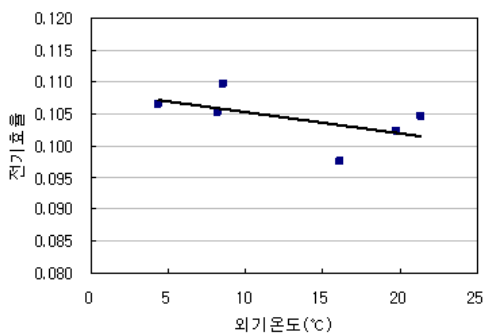


Fig. 8 Electrical efficiency by ambient temperature change

(2) 일사량 변화에 따른 성능

Fig. 9, 10은 평균외기온도 8°C, 입구온도 40°C에서 일사량의 변화에 따른 열 성능과 전기성능을 나타낸 그래프이다.

그래프에서 나타난바와 같이 일사량에 따른 집

열효율은 일사량이 증가함에 따라 증가하는 것을 알 수 있다.

전기효율은 일사량에 지배적으로 영향 받기 때문에 일사량이 증가 할수록 증가되는 것을 알 수 있다. 그러나 일사량이 증가함에 따라 전기효율이 증가하다가 750 /m2 이상부터는 더 이상 증가되지 않고 일정하게 나타나는 것으로 분석되었다. 이는 일사량의 증가에 따라 PV 모듈의 온도상승에 의해 전기효율이 감소되기 때문인 것으로 분석되었다.

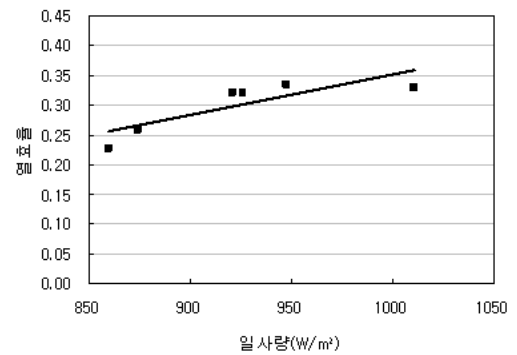


Fig. 9 Thermal efficiency by solar radiation change

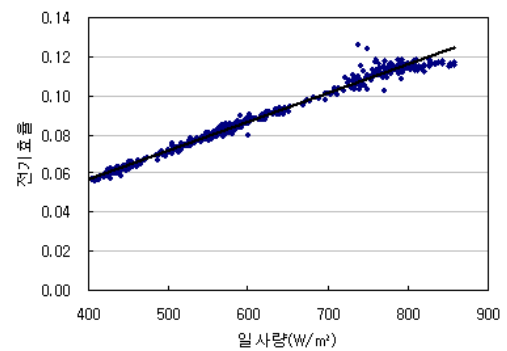


Fig. 10 Electrical efficiency by solar radiation change

5. 결론

본 연구는 액체식 Glazed PVT 복합모듈의 성능을 실험을 통해 분석하였다. 또한 성능에 영향을 미치는 각 요소들에 대해 열적, 전기적 성능을 분석하였다.

분석결과 열성능은 PVT 복합모듈의 성능에

직접적인 영향을 미치는 일사량보다 유수 입구온도와 외기온도에 따라 PVT 복합모듈의 열손실에 의해 열효율이 크게 감소되는 것으로 분석되었다.

전기성능은 일사량에 지배적인 영향을 받아 일사량이 증가함에 따라 전기효율이 증가한다. 그러나 PV모듈의 온도상승에 의한 효율감소 특성으로 일사량이 증가하더라도 PV모듈 후면온도를 결정하는 유수 입구온도와 외기온도에 의해 전기효율이 감소되는 것으로 분석되었다.

향후 추가적으로 PVT 복합모듈의 성능에 영향을 미치는 유량 및 설계요소 등에 대한 종합적인 성능분석 및 명확한 관계 규명을 위한 이론적, 실험적인 추가 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Lee, H. J., Kim, J. H. and Kim, J. T., 2007, An Experimental Study of a Water Type PV/Thermal Combined Collector Unit, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol.27, No.4, pp105-111
2. J. H., Kim, J. T., Kim et al., Thermal and Electrical Performance of an Air Type PV/T System, 2007 ISES, Vol.1, pp401-404
3. Kim, J. H. and Kim, J. T., 2008, An Experimental Study of a Water Type Glazed PV/Thermal Combined collector Module, Vol.24, No.4, pp260-265
4. Kim, J. H. and Kim, J. T., 2008, An Experimental Study of a Water Type Unglazed PV/Thermal Combined collector Module, Vol.20, No.4, pp184-190
5. Y. Tripanagnostopoulos, 2004, PV Combi System and Special Designs for Building, ITC Tools: PV Systems Teaching and Learning Patra 1st, pp.1-27
6. H. A. Zondag, 2005, Flat-Plate PV-Thermal Collectors and System - A Review, Renewable & Sustainable Energy Reviews. pp.3-59
7. A. Pascal et al, 2006, PVT Roadmap ; A European Guide for the Development and Market Introduction of PV-Thermal Technology, IEA