

## 액체식 PVT 복합모듈의 유형별 성능 비교 분석

김진희, 강준구, 김준태<sup>†</sup>

공주대학교 건축학과 대학원, 공주대학교 건축학과\*

## The Experimental Performance Comparison of a Water Type Glazed and Unglazed PV-Thermal Combined Modules

Kim, Jin-Hee, Kang, Jun-Gu, Kim, Jun-Tae<sup>†</sup>

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 excess heat that is generated from PV modules can be removed and converted into useful thermal energy. A photovoltaic-thermal(PVT) module is a combination of photovoltaic module with a solar thermal collector, forming one device that receives solar radiation and produces electricity and heat simultaneously. In general, two types of PVT can be classified: glass-covered PVT module, which produces high-temperature heat but has a slightly lower electrical yield, and uncovered PVT module, which produces relatively lower temperature heat but has a somewhat higher electrical performance. In this paper, the experimental performance of two types of the PVT combined module(water type), glazed(glass-covered) and unglazed, was analyzed. The electrical and thermal performance of the PVT combined modules were measured in outdoor conditions, and the results were compared.

**Key words:** Glazed PVT combined module(유리커버형 태양광·열 복합모듈), Unglazed PVT combined module(유리커버없는 태양광·열 복합모듈) Performance experiment(성능실험), Thermal efficiency(열효율), Electrical efficiency(전기효율)

## 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] $T_i$  : 집열기 입구에서의 열매체 온도 [ $^\circ C$ ] $T_o$  : 집열기 출구에서의 열매체 온도 [ $^\circ C$ ] $T_a$  : 외기온도 [ $^\circ C$ ] $V_m$  : 최대전압 [V] $\dot{m}$  : 열매체 유량 [kg/hr] $\eta_{th}$  : 열효율 $\eta_{el}$  : 전기효율

## 1. 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

<sup>†</sup> Corresponding Author

Tel.: +82-41-521-9333; fax: +82-41-551-8653

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

PVT(태양광·열) 복합모듈은 태양광전지(PV) 모듈이 전기 생산과정에서 발생시키는 열을 이용하기 위해 집열 기능을 결합한 태양에너지 이용 장치로 전기와 열에너지를 동시에 생산한다.

국외에서는 지난 30년 전부터 PVT 복합 시스템에 대한 다양한 내용의 연구가 진행되고 있다. 국내에서도 최근 몇 년 사이 PV모듈의 열기를 배출하여 성능을 개선하기 위한 방안이 제시되기도 하였고, 태양광과 태양열을 동시에 이용하기 위한 복합 태양에너지 집열기에 대한 연구개발이 시작되었다<sup>1)</sup>.

국내 PVT 복합집열기에 대한 기초연구로서 발표된 연구<sup>2)</sup>에서는 평판형 Unglazed PVT 복합모듈을 대상으로 시제작하고 실험을 통해 성능을 분석하였다. 또한 열성능 측면에서 유리한 평판형 Glazed PVT복합모듈을 개발하고 열적, 전기적 성능에 대해 분석한 연구<sup>3)</sup>도 발표된 바 있다.

평판형 PVT 복합모듈은 기존의 태양열 집열기와 매우 유사하며, 단지 금속 흡수판 위에 PV모듈이 부착되는 차이가 있다. 일반적으로 액체식 PVT 복합모듈의 경우 유리커버 유무에 따라 Glazed 모듈과 Unglazed 모듈로 분류할 수 있다. Unglazed 모듈의 경우, 후면 액체의 PV모듈의 냉각효과에 따라 전기효율이 증진되는 동시에 열에너지를 생산한다. 반면 PV모듈로의 열손실에 의해 열효율이 낮다. Glazed 모듈의 경우, PV모듈 앞면에 일정간격을 두고 유리커버가 구성되므로 획득한 열에너지의 열손실을 최소화하여 열효율이 높다. 반면 유리커버에 의한 일사에너지의 투과율 손실과 PV모듈의 온도상승에 따라 전기효율이 낮아지는 단점이 있다. 이와 같이 PV모듈과 태양열 집열기능을 결합한 복합모듈의 전기적, 열적 성능은 전면 유리커버의 존재에 따라 상당한 차이를 보이는 것으로 밝혀졌으나, 이에 대한 구체적인 성능비교 평가는 이루어지지 않았다.

이에 본 연구의 목적은 국내 상용화된 태양열 집열판과 태양광모듈을 이용해 개발한 Glazed PVT 복합모듈과 Unglazed PVT 복합모듈을 대

상으로 열적, 전기적 성능을 비교분석하는 것이다.

## 1.2 연구방법

본 연구는 현재 상용화되어 유통되고 있는 각 구성품을 이용하여 실험실 수준에서 직접 시제작한 유리커버가 있는 액체식 PVT 복합모듈과 유리커버가 없는 PVT 복합모듈을 대상으로 하였다. 제작된 두가지 유형의 PVT 복합모듈은 국제적인 수준의 실험규격(ASHRAE)에 준하여 실험을 수행하여 열적, 전기적 효율을 비교 분석하였다.

## 2. PVT 복합모듈 설계 및 제작

### 2.1 Glazed PVT 복합모듈

본 연구에서는 기존 태양열 집열기와 PV모듈을 이용하여 평판형 액체식 PVT 복합모듈을 설계하고 이를 시제작 하였다. 제작된 PVT 복합모듈은 최종 마감을 저철분 강화유리로 하였으며 20 mm의 중공층을 두고 PV모듈과 기존 태양열 집열기를 결합한 형태이다. PV모듈과 열매체 도관이 초음파 용접된 집열판은 열전도성 접착체로 부착하였으며, 하부는 단열을 위해 글라스울로 채워 넣었다. 사용된 PV모듈은 표준실험조건(STC)에서 전기효율 14%인 200 W<sub>p</sub> 다결정 실리콘 PV모듈을 사용하였으며, PV모듈의 상세한 사양은 Table 1과 같다.

흡열판은 0.3 mm 두께의 블랙크롬 구리판(920 mm \* 1350 mm)으로, 두께 0.6 mm, 지름 8 mm의 열매체 도관과 용접으로 결합되었다. 열매체 도관은 주관지름 20 mm, 지관지름 8 mm의 동관을 92 mm간격으로 설계하였다. Fig. 1은 최종 시제작된 PVT 복합모듈의 모습이며 단면도와 상세를 보여주고 있다(사진 아랫쪽).

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

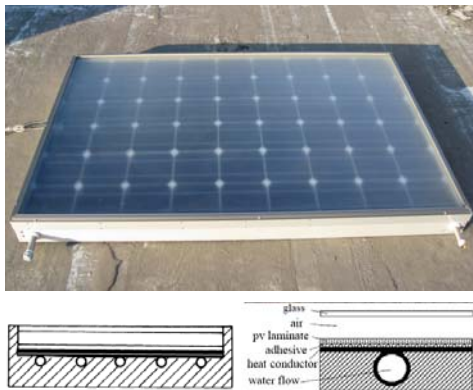


Fig. 1 Tested glazed PVT combined module

## 2.2 Unglazed PVT 복합모듈

Unglazed PVT 복합모듈은 앞서 설명된 Glazed PVT 복합모듈과 동일한 방법으로 제작되었다. 다만, Glazed PVT 복합모듈과 달리 최종마감재로 저철분 강화유리가 사용되지 않고 유리커버가 없는 형태의 PV모듈이 최종마감재로 적용되었다. Fig. 2는 최종 시제작된 Unglazed PVT 복합모듈의 모습이며 단면도와 상세를 보여주고 있다(사진 아랫쪽).

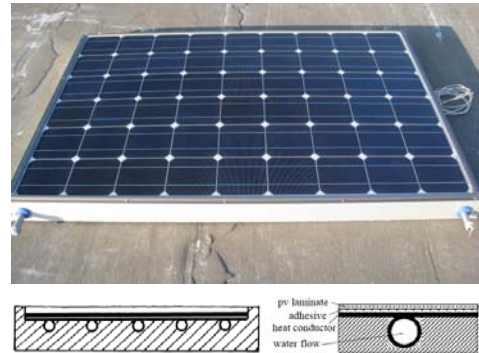


Fig. 2 Tested Unglazed PVT combined module

## 3. 성능실험

### 3.1 실험장치 및 방법

Fig. 3은 실험장치의 구성을 나타낸 계통도이다. 실험장치는 순환되는 유체의 온도를 일정하게 유지시키기 위한 48리터의 항온조와 유체순환을 위한 펌프, 유량계로 구성되었으며 밸브를 조작함으로써 실험조건이 요구한 유량을 일정하게 유지할 수 있다.

PVT 복합모듈의 실험가대는 수평( $0 \sim 360^\circ$ ) 및 수직( $0 \sim 90^\circ$ )으로 각도조절이 가능하며 태양 입사가 PVT 복합모듈과 수직이 되도록 전동기에 의해 수동으로 조절이 가능하다. 일사량계는 실험가대 상부에 실험체와 수평이 되도록 설치하였으며, 태양위치를 추적하기 위한 태양 추적판을 장착하였다. 또한 외기온도와 실험체 입출구 온도를 측정하는 센서(RTD타입)를 설치하였다. 이러한 측정센서로부터 얻어지는 데이터는 자동데이터 수집장치를 이용하여 수집하였다. 이 데이터 수집장치와 컴퓨터간 통신을 통해 PVT 복합모듈의 측정데이터를 실시간으로 측정하였다.

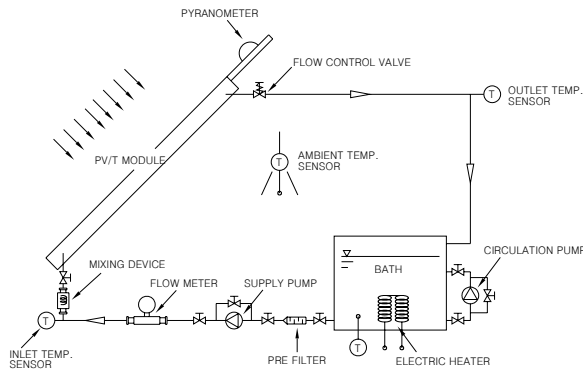


Fig. 3 Test equipment diagram

제작된 PVT 복합모듈은 ASHRAE 93-774)기준에 의해 성능실험을 수행하였으며 실험체 집열면 일사량  $790 \text{ W/m}^2$  이상, 실험유량  $0.02 \text{ kg/sm}^2$ 에서 실험하였다. PVT 복합모듈의 입구온도를  $40 \sim 80^\circ\text{C}$ 에서  $10^\circ\text{C}$ 씩 변화를 주어 실험하였으며 열적, 전기적 성능을 측정하였다.

### 3.2 실험결과 및 분석

Glazed PVT 복합모듈과 Unglazed PVT 복합모듈의 열성능 및 전기 성능에 대한 실험 결과는 다음과 같다.

#### (1) PVT 복합모듈의 열 성능 비교

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

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= A_{pvt} \times G \\
 Q_2 &= \dot{m} C_p (T_i - T_o) \\
 \eta_{th} &= \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\dot{m} C_p (T_i - T_o)}{A_{pvt} \times G} \quad (1)
 \end{aligned}$$

PVT 복합모듈의 열성능은 Fig. 4, 5와 같으며, Glazed PVT 복합모듈의 열효율은  $\eta_{th} = 0.50 - 4.79(T_i - T_a/G)$ , Unglazed PVT 복합모듈의 열효율은  $\eta_{th} = 0.51 - 11.58(T_i - T_a/G)$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 두 PVT 복합모듈의 열효율계수는 0.50인 것을 알 수 있다. 반면, X축( $\Delta T/G$ )에 대한 열손실계수는 Glazed 모듈은 -4.79, Unglazed 모듈은 -11.58로 Unglazed 모듈의 열손실이 두 배 이상 큰 것으로 분석되었다.

그래프에 나타난바와 같이 외기온도와 입구온도, 일사량에 따른 x축 계수 값에 대한 효율을 보면, 두 PVT 복합모듈의 열효율이 크게 차이가 나는 것을 알 수 있다. 열손실이 거의 없는 x축 계수 값 조건에서는 약 5%의 효율차이가 나는 것으로 분석되었다. 그러나 x축 계수 값이 커질수록, 예를 들어 x축 계수 값이 0.04 일 때 Glazed 모듈의 열효율은 평균 30% 이상인 반면, Unglazed 모듈의 열효율은 약 5% 인 것으로 분석되었다. 따라서 유리커버가 없는 Unglazed PVT 복합모듈은 Glazed PVT 복합모듈에 비해 평균 열효율이 매우 낮으며, 약 15%의 열효율 차이가 나는 것으로 분석되었다. 또한 x축 계수 값이 0.04 이상에서는 더 이상 열에너지를 생산하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 겨울철과 같이 외기가 낮아 열손실이 큰 조건에서는 열적으로 매우 불리한 것으로 판단된다.

평균 열효율은 동일한 x축 계수 값 조건에서 Glazed PVT 복합모듈과 Unglazed PVT 복합모듈의 열효율은 각각 약 40%, 22.5%로 분석되었다.

PVT 복합모듈의 열효율은 입구온도가 낮을수록, 외기온도와 일사량이 높을수록 높은 것으로 분석되었다. 또한 PVT 복합모듈은 성능에 직접적인 영향을 미치는 일사량보다 실험체 유수의 입구 온도와 외기에 대한 집열판의 열손실에 의해 효율이 감소되는 것으로 분석되었다.

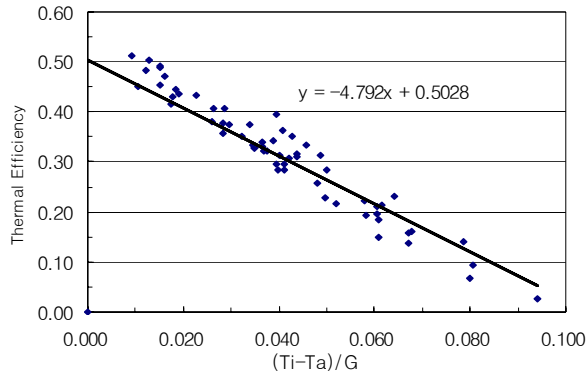


Fig. 4 Thermal efficiency of the Glazed water type PVT combined module

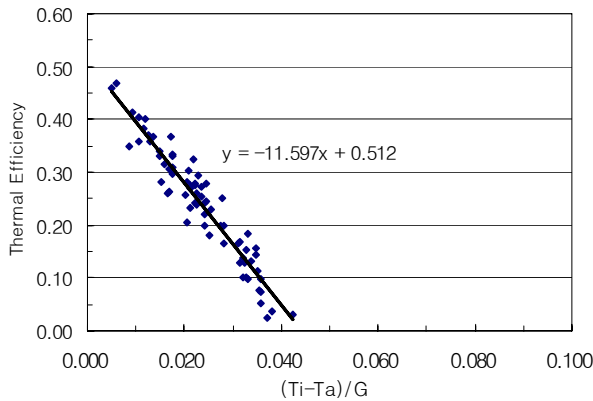


Fig. 5 Thermal efficiency of the Unglazed water type PVT combined module

## (2) PVT 복합모듈의 전기 성능 비교

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

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

PVT 복합모듈의 전기성능은 Fig. 6, 7과 같으며, Glazed PVT 복합모듈의 전기효율은  $\eta_{th} =$

$0.109-0.14(T_i-T_a/G)$ , Unglazed PVT 복합모듈의 전기효율은  $\eta_{th} = 0.124-0.09(T_i-T_a/G)$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 Unglazed PVT 복합모듈의 전기효율은 Glazed PVT 복합모듈에 비해 약 10%가 높아 약 1.5%의 전기효율 차이가 나는 것으로 분석되었다.

그래프와 같이 외기온도와 입구온도, 일사량에 따른 x축 계수 값에 대한 전기효율을 보면, 두 PVT 복합모듈 모두 다소 불균일한 분포이지만 열효율과 같이 x축계수가 작을수록 효율이 높은 것을 알 수 있다. 따라서 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.

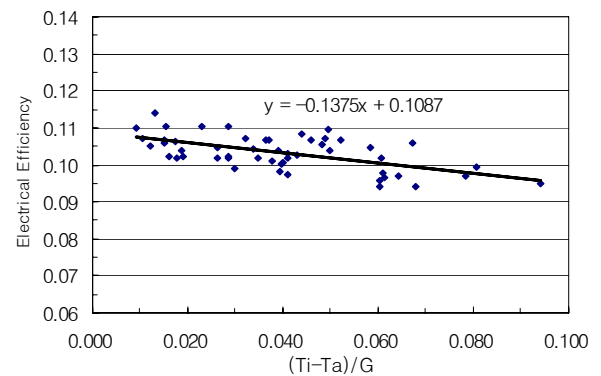


Fig. 6 Electrical efficiency of the Glazed water type PVT combined module

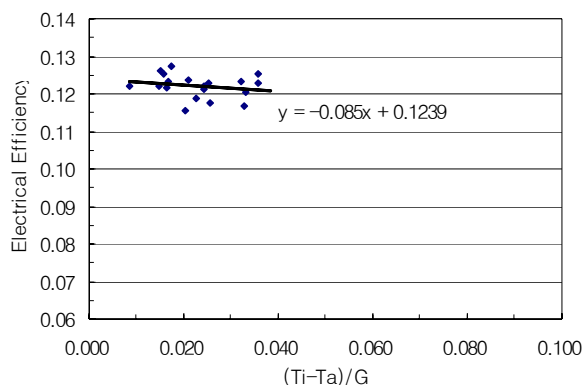


Fig. 7 Electrical efficiency of the Unglazed water type PVT combined module

## 5. 결론

본 연구는 태양열과 태양광시스템을 결합한 액체식 Glazed PVT 복합모듈과 Unglazed PVT 복합모듈의 성능실험 결과를 비교분석하였다.

결과 분석을 통해 열성능에서는 Unglazed PVT 복합모듈이 Glazed PVT 복합 모듈에 비해 약 두 배 이상의 열손실 차이가 나는 것으로 분석되었다. 이에 따라 Glazed PVT 복합모듈이 Unglazed PVT 복합모듈에 비해 열효율이 평균 18% 가량 크게 차이가 나는 것으로 분석되었다. 따라서 Unglazed PVT 복합모듈은 겨울철과 같이 열손실이 큰 조건에서는 낮은 효율로 열적으로 매우 불리한 것으로 판단된다. 반면, 전기성능은 Unglazed PVT 복합모듈이 Glazed PVT 복합 모듈 보다 평균적으로 전기효율이 1.5% 가량 높은 것으로 분석되었다. 따라서 전기적으로는 Unglazed PVT 복합모듈이 더 유리하다 할 수 있다.

그러나 PVT 복합모듈의 전체효율을 고려할 때 Glazed PVT 복합모듈이 Unglazed PVT 복합 모듈에 비해 열효율이 매우 높아 통합적인 성능 측면에서 더 유리한 것으로 평가된다.

향후 추가적으로 PVT 복합모듈에 성능에 영향을 미치는 각 요소에 대해 다양하고 종합적인

분석이 요구되며, 효율 향상을 위한 PVT 복합모듈의 설계요소들에 대한 세부적인 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- 1) Kim, J. H. and Kim, J. T., 2007, The Performance Comparison of PVT System through Literature Review, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol.1, No.2, pp.15-21
- 2) 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, 2007
- 3) Kim, J. H. and Kim, J. T., 2008, An Experimental Study of a Water Type Glazed PV/Thermal Combined Collector Module, Journal of Korean Air-Conditioning and Refrigeration, Vol.20, No.4, pp.260-265
- 4) ASHRAE, 1991, ASHRAE 93-77; Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, INC.
- 5) Y. Tripanagnostopoulos, 2002, Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar System, Solar Energy, Vol.72, No.3, pp.217-234
- 6) H. A. Zondag et al., 2003, yield of Different Combined PV-thermal Collector Designs, Solar Energy, Vol.74, No.3, pp.53-269
- 7) A. Pascal et al, 2006, PVT Roadmap ; A European Guide for the Development and Market Introduction of PV-Thermal Technology, IEA