

# 액체식 Unglazed PVT 복합모듈의 성능실험연구

김진희\*, 강준구\*\*, 김준태\*\*\*

\*공주대학교 건축학과 대학원(jiny@kongju.ac.kr), \*\*공주대학교 건축학과 대학원(zzang9@kongju.ac.kr),  
\*\*\*공주대학교 건축학과(jtkim@kongju.ac.kr)

## An Experimental Study of a Water Type Unglazed PV/Thermal Combined Collector Module

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

\*School of Architecture, Graduate School, Kongju National University(jiny@kongju.ac.kr)

\*\*School of Architecture, Graduate School, Kongju National University(zzang9@kongju.ac.kr)

\*\*\*School of Architecture, Kongju National University(jtkim@kongju.ac.kr)

### 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 converts solar radiation into electricity and heat simultaneously. In general, two types of PVT can be distinguished: glass-covered PVT module, which produces high-temperature heat but has a slightly lower electrical yield, and uncovered PVT module, which produces relatively low-temperature heat but has a somewhat higher electrical performance. In this paper, the experimental performance of water type unglazed PVT combined module, analyzed. The electrical and thermal performance of the module were measured in outdoor conditions, and the results are analyzed. The results showed that the thermal efficiency of the PVT module was 27.05% average and its PV efficiency was about 11.85% average, both depending on solar radiation, inlet water temperature and ambient temperature.

**Key words:** PVT combined module(태양광·열 복합모듈), Unglazed PVT(유리가 없는 PVT), Experimental Performance (성능실험), Thermal efficiency(열효율), Electrical efficiency(전기효율)

### 기 호 설 명

$\eta_{el}$  : 전기효율

$A_{pvt}$  : 집열 및 PV모듈면적[m<sup>2</sup>]

$C_p$  : 열매체 비열[J/kg·°C]

$G$  : 일사량[W/m<sup>2</sup>]

$I_m$  : 최대전류[A]

$T_i$  : 집열기 입구에서의 열매체 온도[°C]

$T_o$  : 집열기 출구에서의 열매체 온도[°C]

$T_a$  : 외기온도[°C]

$V_m$  : 최대전압[V]

$\dot{m}$  : 열매체 유량[kg/hr]

$\eta_{th}$  : 열효율

### 1. 서 론

#### 1.1 연구의 배경 및 목적

PVT(태양광·열) 복합모듈은 태양광전지(PV) 모듈이 전기 생산과정에서 발생시키는 열을 이용하기 위해 집열기능을 결합한 태양 에너지 이용 장치로 전기와 열에너지를 동시에 생산한다. 이 중에서도 액체식 평판형 PVT 시스템은 기존 태양열 집열판과 매우

유사한 형태로 전기 및 열적으로 유리하다. 현재 미국 및 유럽 등 여러 국가에서 상용화되었고, 성능개선을 위한 연구<sup>1)2)</sup>가 활발히 진행되고 있다. Zondag et al<sup>3)</sup>에 의하면 PVT 복합모듈의 전기와 열성능이 기존의 단독으로 적용되는 태양광모듈이나 태양열 집열기 보다 더 낮은 것으로 보고되었다. 그러나 PVT 복합모듈은 각각의 시스템으로 적용되는 것보다 단위면적당 복합적으로 이용되어 더 많은 에너지를 동시에 생산한다. 따라서 PVT 복합모듈 전체효율은 기존 단독으로 적용되는 시스템보다 높다고 할 수 있다.

국내에서도 최근 몇 년 사이 PV시스템의 열기를 배출하여 성능개선을 위한 방안이 제시되기도 하였고, 태양광과 열을 혼합시킨 PVT시스템의 개발이 시작되었다<sup>4)5)6)7)</sup>. 국내 PVT 복합 모듈의 기초연구로서 발표된 연구<sup>6)</sup>에서는 평판형 Unglazed PVT 복합모듈을 시제작하고 실험을 통해 성능을 분석하였다. 그러나 흡열판과 열매체관의 용접방식과 PV모듈로의 열손실 등에 의해 열적성능이 다소 낮은 것으로 분석되었다. 또한 열적으로 유리한 Glazed PVT복합모듈을 개발하고 열적 및 전기성능에 대해 분석한 연구도 발표된 바 있다<sup>7)</sup>.

본 연구에서는 국내 상용화된 태양열 집열판과 태양광모듈을 이용해 전기적으로 유리

한 Unglazed PVT 복합모듈을 제작하고, 성능실험을 수행하여 전기적 성능 및 열적 성능을 분석하였다.

## 1.2 연구방법

본 연구는 PVT 복합모듈의 유형별 특징 및 장단점을 분석하고 이를 바탕으로 액체식 Unglazed PVT 복합모듈을 설계 및 시제작하였다.

제작된 PVT 복합모듈을 국제규격에 맞는 방법으로 성능실험을 수행하여 열적, 전기적 효율을 분석하였다.

또한 본 연구에서는 선행연구인 Glazed PVT복합모듈의 성능차이에 대해 비교하는 내용은 포함되지 않았다.

## 2. PVT 복합 모듈

### 2.1 기술개요

PVT 복합모듈은 일반적으로 열을 흡수하는 흡수판이 PV모듈 뒷면에 붙여진 형태로 구성되어 있다. 열 흡수판은 PV모듈을 냉각시켜 전기성능을 개선하고, 열에너지를 집열하는 두 가지의 기능을 한다. 따라서 낮은 효율과 높은 초기투자비용으로 보급 활성화에 장애가 되고 있는 기존 태양광시스템에 부가적인 기능을 추가하여 전체효율을 증진시킬 수 있다. PVT 복합모듈은 그림 1<sup>(1)</sup>과 같이 기존 PV시스템에서 폐열을 외부로 방출하는 것과 달리 버려지던 폐열을 적극적으로 집열하여 건물난방 및 급탕시스템에 이용한다.

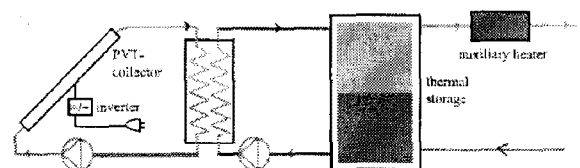


그림 1 PVT 복합시스템

### 2.2 PVT 복합모듈의 유형 및 특징

PVT 복합모듈은 태양열 집열기에 사용되

1) A. Pascal et al, 2006, PVT Roadmap ; A European Guide for the Development and Market Introduction of PV-Thermal Technology, IEAH.

2) Y. Tripanagnostopoulos, 2002, Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar System, Solar Energy, Vol.72, No.3, pp.217-234

3) A. Zondag et al., 2003, yield of Different Combined PV-thermal Collector Designs, Solar Energy, Vol.74, No.3, pp.53-269

4) 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, 2007

5) 김진희, 김준태, 액체식 Glazed PVT 복합모듈의 성능실험연구, 대한설비공학회 논문집, Vol.24, No.4, pp260-266, 2008

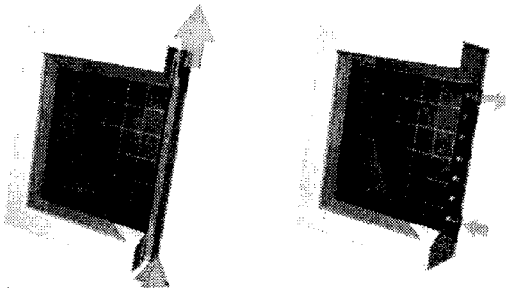
6) 김진희, 김준태, 문헌고찰을 통한 PVThermal 시스템의 유형별 성능특성비교, 한국건축환경설비학회, Vol.1, No.2 pp15-21, 2007

7) 이현주, 김진희, 김준태, 수식 PV/Thermal 복합 시스템의 설계 및 성능실험, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.27, No.4, pp106-112, 2007

는 유체에 따라 공기식과 액체식으로 분류할 수 있으며, 형태에 따라 평판형(flat plate)과 집광형(concentrating)으로 분류할 수 있다.

(1) 공기식과 액체식 PVT 복합모듈

공기식 PVT 복합모듈은 PV모듈 후면에 공기층 및 채널을 두는 형태로, 열매체로 공기를 이용하는 것이다(그림. 2.a). 액체식의 경우 그림. 2.b와 같이 PV모듈 후면에 흡수판과 열매체 도관이 부착된 형태로 열매체물이나 부동액 등의 액체를 이용하는 것이다.



a. 공기식 PVT 모듈      b. 액체식 PVT 모듈  
그림 2 공기식과 액체식 PVT 복합 모듈

공기식은 건물적용에 있어 좋은 열효율을 위해서 높은 공기유량이 요구되어 큰면적의 덕트가 요구되고 팬의 소음이 발생할 수 있다. 반면, 동결 및 과열에 의한 피해가 없고 누수에 대한 염려가 없는 장점이 있다. 액체식의 경우 기존의 태양열집열기와 유사한 방법으로 손쉽게 건물에 적용이 용이하다. 반면 공기식에 비해 누수와 동결에 따른 문제가 발생할 수 있으며, PV모듈과 집열기 유체 사이에 열적 저항이 적은 흡수판이 통합되어야 한다.

(2) 평판형 PVT 복합모듈

평판형 PVT 복합모듈은 일반적으로 기존의 태양열 집열기와 매우 유사하며, 단지 금속 흡수판 위에 PV모듈이 부착되는 차이가 있다. 일반적으로 PVT(액체식) 모듈의 경우 유리커버 유무에 따라 glazed 모듈과 unglazed 모듈로 분류할 수 있다.

평판형 PVT 복합모듈은 건물 입면 및 지붕에 일체화시켜 적용하는 것이 용이하며 기존 평판형 태양열 집열기와 유사한 형태로 적용된다. glazed 모듈은 공기층을 둔 유리커버 마감으로 PVT 복합모듈의 열손실을 줄임으로써 unglazed 모듈에 비해 열효율이 매우 우수하다. 반면, 열적특성 및 유리커버의 일사반사율에 의해 PV모듈의 전기성능이 낮아지는 단점이 있다.

(3) 집광형 PVT 복합모듈

태양광 시스템의 효율을 증진시키기 위해 PV모듈에 일사량을 증가시키기 위해 집광장치 사용되기도 한다. 집광형 PVT모듈은 태양 추적의 기능 여하에 따라 고정형과 추적형으로 분류할 수 있다.

집광형 PVT 복합모듈은 집광효율을 높이기 위한 형상으로 평판형에 비해 두께가 두껍고 비 균일적인 외관형태로 건물 외피에 일체적으로 적용하는 것은 어렵다. 또한 집광성능을 유지하기 위한 유지보수 비용이 증가하게 된다. 집광 효율을 고려하면 이러한 모듈의 사용은 확산일사에 의존하는 기후지역에서는 적절하지 않다.

3. Unglazed PVT 복합모듈 설계 및 제작

3.1 Unglazed PVT 복합모듈

본 연구에서는 기존 태양열 집열기와 PV모듈을 이용하여 평판형 액체식 PVT 복합모듈을 설계하고 이를 시제작 하였다. 제작된 PVT 복합모듈은 최종 마감재로 태양광모듈을 이용한 것으로 PV모듈과 기존 태양열 집열기를 결합한 형태이다. PV모듈과 열매체도관이 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 표1과 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. 그림 4는 최종 시제작된 Unglazed PVT 복합모듈의 모습이다.

표 1 PV모듈 사양

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

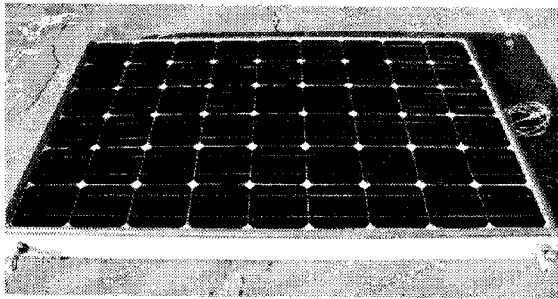


그림 3 테스트된 언글레이즈 PVT복합모듈

#### 4. 성능시험

##### 4.1 시험장치 및 방법

시험장치는 순환되는 유체의 온도를 일정하게 유지시키기 위한 48리터의 항온조와 유체순환을 위한 펌프, 유량계로 구성되었으며 밸브를 조작함으로써 시험조건이 요구한 유량을 일정하게 유지할 수 있다.

그림 5는 PVT 복합모듈이 시험장치에 장착된 설치 모습으로, 시험장치의 가대 위에 시험에 사용될 PVT 복합모듈을 설치하였다. 이 시험가대는 수평(0~360°) 및 수직(0~90°)으로 각도조절이 가능하여 태양 입사가 PVT 복합모듈과 수직이 되도록 전동기에 의해 수동으로 조절이 가능하다. 일사량계는 시험가대 상부에 시험체와 수평이 되도록 설

치하였으며, 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 측정 데이터를 실시간으로 측정하였다.

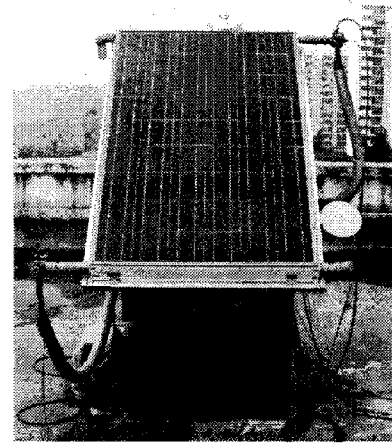


그림 4 시험장치에 장착된 Unglazed PVT복합모듈

제작된 PVT 복합모듈은 ASHRAE 93-77<sup>8)</sup> 기준에 의해 성능시험을 수행하였으며 실험체 집열면 일사량 790 W/m<sup>2</sup> 이상, 실험유량 0.02 kg/sm<sup>2</sup>에서 실험하였다. 실험은 2007년 9월~11월 동안 충남 공주시(위도 30°26'37", 경도 127°14'15") 소재 공주대학교 공과대학 건물의 옥상에서 실시되었다. PVT 복합모듈의 입구온도를 40~80℃에서 10℃씩 변화를 주어 실험하였으며 열적, 전기적 성능을 측정하였다.

먼저 항온조의 온도를 설정하고 실험조건 의 시수온도가 되면, 집열기 입구쪽으로 항온조의 유체를 순환시킨다. 또한 태양위치 추적장치를 이용해 집열면에 대한 태양입사각을 90°가 되게 유지하며, 일사확득이 없는 상태에서 집열기 입출구 온도차가 0.5℃ 이

8) 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.

하로 동일한 조건이 되도록 한다. PVT 복합 모듈의 유입온도와 유량을 계속해서 실험조건으로 유지한 상태에서 열매체를 순환시킨 후, 일사량 획득에 따라 입출구 온도차가 일정한 정상상태에 도달하면 약 10분간 일사량, 외기온도, 입출구온도를 기록하였다.

#### 4.2 실험결과 및 분석

Unglazed PVT 복합모듈의 열성능 및 전기성능에 대한 실험 결과는 다음과 같다.

##### (1) Unglazed PVT 복합모듈의 열 성능

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.

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

$$Q_2 = \dot{m} C_p (T_i - T_o)$$

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

PVT 복합모듈의 열성능은 그림 6과 같으며 열효율  $\eta_{th} = 0.45 - 9.17(T_i - T_a/G)$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 X축( $\Delta T/G$ )에 대한 열손실계수는 -9.17, 열효율계수는 0.45인 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 분석되었다. 또한 PVT 복합모듈은 성능에 직접적인 영향을 미치는 일사량보다 실험체 유수의 입구 온도와 외기에 대한 집열판의 열손실에 의해 효율이 감소되는 것으로 분석되었다.

전체 열효율은 x축( $T_i - T_a/G$ )계수의 실험조

건하에서 46.8%~7.3% 분포로 나타났으며 평균 열효율은 27.05%로 분석되었다.

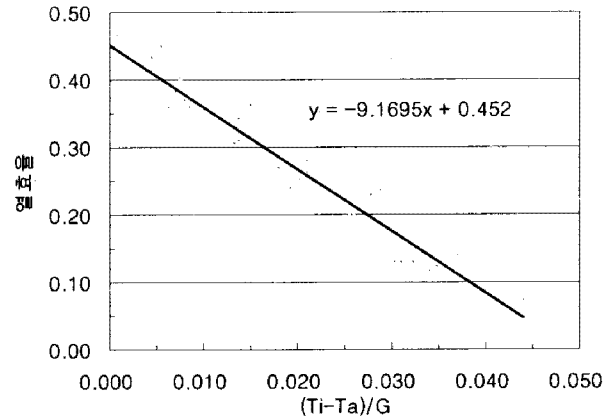


그림 5 PVT복합모듈 열효율

##### (2) Unglazed PVT 복합모듈의 전기 성능

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 그림 7과 같으며 전기효율  $\eta_{el} = 0.14 - 0.47(T_i - T_a/G)$ 로 나타낼 수 있다. 아래 그래프와 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 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 것을 알 수 있다.

전체 전기효율은 열성능실험과 같은 x축( $T_i - T_a/G$ )계수의 실험조건하에서 13.4%~10.3% 분포로 나타났으며 평균 전기효율은

11.85%로 분석되었다.

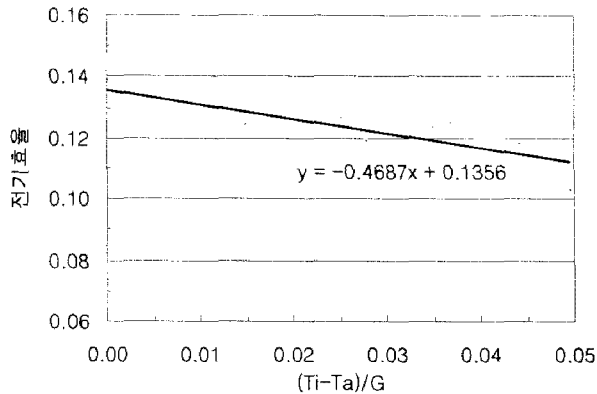


그림 6 PVT복합 모듈 전기효율

## 5. 결론

본 연구는 태양열과 태양광시스템을 결합한 액체식 Unglazed PVT 복합모듈을 개발하고 이에 대한 성능실험 결과를 분석하였다.

분석결과 열성능은 실험체 유수 입구온도가 낮을수록, 외기온도와 일사량이 높을수록 열효율이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 일사량이 많고 외기온도가 높을수록 대류와 전도에 의한 열손실이 적어 열효율이 증가하는 것으로 분석되었다. 전기성능은 단독으로 적용되는 PV모듈의 성능특성과 같이 일사량이 높고 PV모듈의 후면온도 즉, 유수 입구온도와 외기온도가 낮을수록 전기효율이 증가하는 것으로 분석되었다.

Unglazed PVT 복합모듈의 평균 열성능 및 전기성능은 x축계수의 실험조건하에서 각각 27.05%, 11.85%로 분석되어 개발된 PVT모듈의 전체 효율은 38.9%로 나타났다.

이러한 결과를 통해 선행연구인 Glazed PVT복합모듈의 성능과 다소 큰 차이를 나타내는 것을 알 수 있었다. 따라서 향후 추가적으로 Glazed 및 Unglazed PVT 복합모듈의 비교 분석연구가 요구된다. 전기 및 열적 성능의 성능에 영향을 미치는 각 요소에 대한 다양하고 종합적인 분석이 요구되며, 성

능개선을 위한 PVT 복합모듈의 설계요소들에 대한 세부적인 연구가 필요하다.

## 참고문헌

1. A. Pascal et al, 2006, PVT Roadmap ; A European Guide for the Development and Market Introduction of PV-Thermal Technology, IEAH.
2. Y. Tripanagnostopoulos, 2002, Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar System, Solar Energy, Vol.72, No.3, pp.217-234
3. A. Zondag et al., 2003, yield of Different Combined PV-thermal Collector Designs, Solar Energy, Vol.74, No.3, pp.53-269
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. 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, 2007
6. 김진희, 김준태, 액체식 Glazed PVT 복합모듈의 성능실험연구, 대한설비공학회 논문집, Vol.24, No.4, pp260-265, 2008
7. 김진희, 김준태, 문헌고찰을 통한 PVThermal 시스템의 유형별 성능특성비교, 한국건축환경설비학회, Vol.1, No.2 pp15-21, 2007
8. 이현주, 김진희, 김준태, 수식 PV/Thermal 복합 시스템의 설계 및 성능실험, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.27, No.4, pp105-112, 2007