

## 전면 액체식 흡열판을 적용한 PVT 모듈의 실험성능

천진아\*, 김진희\*\*, 김준태\*\*\*, 조인수\*\*\*\*, 남승백\*\*\*\*

\*공주대학교 건축공학과 대학원(jina.c@kongju.ac.kr), \*\*공주대학교 건축학과 대학원(jiny@kongju.ac.kr),  
\*\*\*공주대학교 건축학부 교수, 공학박사(jtkim@kongju.ac.kr)  
\*\*\*\*(주)신성이엔지(insoocho@shinsung.co.kr), \*\*\*\*(주)신성이엔지(namsb@shinsung.co.kr)

### A Experimental Performance of PVT Module With Fully Wetted Absorber

Chun, Jin-Aha\*, Kim, Jin-Hee\*\*, Kim, Jun-Tae\*\*\*, Cho, In-Soo\*\*\*\*, Nam, Seung-Baeg\*\*\*\*

\*Dept. of Architecture Engineering, Graduate School, Kongju National University(jina.c@kongju.ac.kr),  
\*\*Dept. of Architecture, Kongju National University(jiny@kongju.ac.kr),  
\*\*\*Dept. of Architecture., Kongju National University(jtkim@kongju.ac.kr)  
\*\*\*\*Dept, of Shinsung Eng(insoocho@shinsung.co.kr)  
\*\*\*\*Dept, of Shinsung Eng(namsb@shinsung.co.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 converts solar radiation into electricity and heat simultaneously.

In general, there are two different types of PVT module: glazed PVT module and unglazed PVT module. On the other hand, two types of the PVT module can be distinguished according to absorber on PV module rear side: the sheet-and-tube absorber PVT module and the fully wetted absorber PVT module. In this paper, the experimental performance of water type unglazed PVT with fully wetted absorber was analyzed. The electrical and thermal performance of the unglazed PVT were measured in outdoor conditions, and the results were analyzed. The experimental results showed that the thermal efficiency of the PVT module was 42% average, and its electrical efficiencies were 15.2% and 14.2% average, respectively, for the mean fluid temperature of 10-20°C and 21-30°C. Thermal efficiency depends on solar radiation, mean fluid temperature and ambient temperature. The PVT module temperature is related to the cooling effect of the PV module by the fluid of the absorber. The results proved that the electrical efficiency was higher when the mean fluid temperature was lower.

Keywords : 태양광-열 모듈(photovoltaic-thermal: PVT module), 전면 액체식 흡열판(fully wetted absorber), 튜브부착형 흡열판(sheet-and-tube absorber), 열효율(thermal efficiency), 전기효율(electrical efficiency)

---

## 기 호 설 명

- $A_{pvt}$  : 집열 및 PV 모듈면적 [ $m^2$ ]  
 $C_p$  : 열매체 비열 [ $J/kg\ ^\circ C$ ]  
 $G_i$  : 경사면 일사량 [ $W/m^2$ ]  
 $I_m$  : 최대전류 [A]  
 $T_i$  : PVT 입구에서의 열매체 온도 [ $^\circ C$ ]  
 $T_o$  : PVT 출구에서의 열매체 온도 [ $^\circ C$ ]  
 $T_m$  : PVT 모듈 유체평균온도( $(T_o - T_i)/2$ )  
 $T_a$  : 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

태양광-열(photovoltaic-thermal: PVT) 모듈은 태양광발전(PV) 모듈이 전기 생산과정에서 발생시키는 열을 이용하여 PV 모듈의 발전효율을 높이고 건물에서 필요한 열원으로 이용하기 위한 장치로 전기와 열에너지를 동시에 생산한다. 이 중에서도 평판형 액체식 PVT 모듈은 기존의 태양열 집열기와 매우 유사하며, 단지 금속 흡수판 위에 PV 모듈이 부착되는 차이가 있다.

국내에서는 최근 몇 년 동안 다양한 PVT 모듈에 대한 연구가 이루어져왔다.

2005년에는 건물일체형 태양광발전(BIPV) 용 모듈의 후면에서 데워진 열기를 건물의 난방열원으로 이용하기 위한 기초연구로서 공기식 PVT 모듈이 연구<sup>1)</sup>되었다. 그리고 공기식보다 열성능이 우수한 액체식 PVT 모듈에 대한 연구로 평판형 Unglazed PVT 모듈의 성능을 분석한 연구<sup>2)</sup>가 있다. 그러나

흡열관의 용접방식과 PV 모듈로의 열손실 등에 의해 열적 성능이 다소 낮은 것으로 분석되었다. 2009년에는 열적으로 유리한 평판형 Glazed PVT 모듈을 개발하여 성능실험과 성능에 영향을 미치는 요소에 대한 연구<sup>3)</sup>가 발표된 바 있다. 또한 Unglazed PVT 모듈과 Glazed PVT 모듈의 성능비교 분석연구<sup>4)</sup>가 발표된 바 있다. 이 논문에서는 Glazed PVT 모듈이 Unglazed PVT 모듈에 비해 열효율이 높으나 전기적인 측면에서는 낮은 것으로 발표되었다. 최근에 발표된 연구<sup>5)</sup>에서는 PVT 모듈의 표면온도에 따른 유체입구온도의 온도범위 설정이 필요한 것으로 분석하였다.

현재 미국 및 유럽 등 여러 국가에서는 PVT 모듈의 성능개선을 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 최근 PV 모듈 후면에 흡열관의 디자인을 다양하게 적용하여 PVT 모듈의 성능을 개선하기 위한 연구<sup>6)</sup>가 진행되고 있다.

한편, 액체식 PVT 모듈은 유리커버의 유무에 따라 Glazed PVT 모듈과 Unglazed PVT 모듈로 나뉘며, 흡열관의 종류에 따라 튜브부착형 타입과 전면 액체식 타입의 PVT 모듈로 나뉜다.

앞서 언급된 연구들은 대부분 튜브부착형 흡열관을 적용한 Glazed 및 Unglazed PVT 모듈들(그림 1)의 성능 연구가 대부분이다.

본 연구의 목적은 기존 연구의 튜브부착형 흡열관을 적용한 PVT모듈과 달리 전면 액

1) 한국태양에너지학회 추계학술발표회 논문집, pp.184-189, 2008.11.

2) 강준구, 김진희, 김준태, 평판형 액체식 PVT 모듈의 성능 실험 분석, 대한설비공학회, pp.789-785, 2009.

3) 김진희, 강준구, 김준태, 실험에 의한 Glazed형과 Unglazed형 액체식 PVT 집열기의 에너지성능 비교 분석 연구, 한국생태환경건축학회논문집, 9권 4호, pp.37-42, 2009.8.

4) 천진아, 김진희, 강준구, 김준태, 실험에 의한 액체식 Unglazed PVT 모듈의 성능 분석, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, pp.21-26, 2010.10.

5) Adnan Ibrahim, Mohd Yusof Othman et al., Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal(PV/T) solar collectors, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 1, pp.352-365, 2011.1.

1) 김준태 외, 에너지절약형 다목적 공기식집열 지붕시스템 개발 보고서, 지식경제부, 2008.

2) 김진희, 강준구, 김준태, 액체식 Unglazed PVT 복합모듈의 성능실험

체식 흡열판을 적용한 Unglazed PVT 모듈 (그림 2)의 열효율 및 전기효율을 분석하는 것이다.



그림 1 튜브부착형 흡열판을 적용한 PVT 모듈

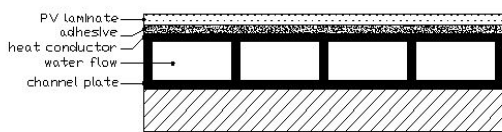


그림 2 전면 액체식 흡열판을 적용한 PVT 모듈

## 1.2 연구방법

본 연구에서는 전면 액체식 흡열판을 적용한 Unglazed PVT 모듈을 시제작하고, ASHRAE 93-77<sup>7)</sup>과 ECN의 PVT성능측정 가이드라인<sup>8)</sup>의 성능측정 및 분석 방법으로 성능실험을 수행하여 열효율 및 전기효율을 분석하였다.

본 연구에서는 선행연구의 흡열판과의 성능차이에 대해 비교하는 내용은 포함하지 않았다.

## 2. 성능평가

### 2.1 실험장치 및 조건

Unglazed PVT 모듈의 제작에 사용된 PV 모듈은 표준실험조건(STC)에서 전기효율 16.71%인 240Wp 단결정 실리콘 PV 모듈을 사용하였으며, 상세 사양은 표 1과 같다. PV모듈 후면에 전면 액체식 금속 흡열판이 부착되었

으며 그 뒤에 단열재로 구성되어 있다.

표 1 PV 모듈 상세 사양

셀 타입	monocrystalline silicon
최대 출력	240W
최대 전압	37.55V
최대 전류	8.56A
단락 전류	8.15A
개방 전압	29.93V
크기	1656×997×50mm

Unglazed PVT 모듈은 ASHRAE 93-77의 실험기준과 ECN의 PVT성능측정 가이드라인의 성능측정 및 분석 방법에 따라 다음과 같은 실험장치에 의해 옥외 실험조건에서 시험평가 되었다.

실험 장치는 유수의 온도를 일정하게 유지시키기 위한 온수탱크와 유량계로 구성되어 있으며 온수탱크를 이용하여 필요한 시수 온도를 설정하고, 밸브를 조작함으로써 실험조건이 요구하는 유량을 일정하게 유지할 수 있다. 그림 3은 PVT 모듈이 거치대에 장착된 모습으로, 집열기 거치대는 정남향을 기준으로 수평(0~160°) 및 수직(15~90°)으로 각도 조절이 가능하다. 일사량계는 실험가대에 실험체와 수평이 되도록 설치하였으며, 태양위치를 추적하기 위한 태양 추적판을 장착하였다. PVT 모듈의 입·출구온도 및 외기온도를 측정하기 위한 온도센서(RTD타입)가 설치되었다.

실험은 2011년 3월 동안 천안(위도 36°47' 경도 127°9')에 위치한 K대학교 학생회관 옥상에서 실시되었다.

실험조건으로는 일사량 790W/m<sup>2</sup> 이상에서 수행하였으며, 유량 104kg/h로 고정된 상태에서, PVT 모듈의 유체평균온도를 외기온도 이상의 온도에서 약 10℃ 변화를 주어 실험하였다. 기타 실험조건 및 분석방법은 ASHRAE 93-77의 실험기준과 ECN의 PVT 집열기 성능측정 가이드라인의 성능측정 및 분석 방법에 따랐다.

7) ASHRAE, ASHARE 93-77: Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, INC, 1991.

8) Pascal 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.



그림 3 성능측정 장비와 PVT 모듈 거치모습

## 2.2 실험결과 및 분석

PVT 모듈의 열효율은 식 (1)에 의해 계산하였다. 즉, 열효율은 흡열판에서 얻어지는 총 획득에너지인 Q1에 대한 PVT 모듈 자체의 획득에너지 Q2의 비율로서 산출하였다.

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

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

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

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

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

PVT모듈의 열성능은 ECN의 PVT컬렉터 성능측정 가이드라인에 따라 전면 액체식 흡열판을 갖는 PVT모듈의 경우 PVT모듈을 통과하는 유체평균온도, 외기온도 그리고 일사량에 상관계수인 x축 계수(( $T_m - T_a$ )/ $G_i$ )로 열효율을 분석하도록 되어있다.

PVT 모듈의 열성능은 그림 4와 같으며  $\eta_{th} = 0.78 - 17.8((T_m - T_a)/G_i)$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 x축에 대한 열손실계수는 -17.8, 열효율계수는 0.78인 것을 알 수 있다. 평균 열효율은 x축 계수의 실험조건하에서 약 42%로 나타났다. 그래프에 나타난바와 같이 외기온도와 유체평균온도, 일사량에 따른 x축 계수 값에 대한 효율을 보면, x축 계수가

작을수록 효율이 높은 것을 알 수 있다.

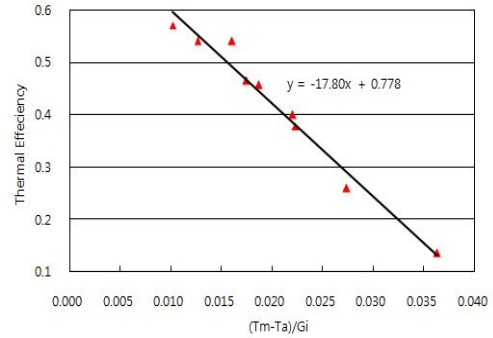


그림 4 PVT 모듈의 열성능

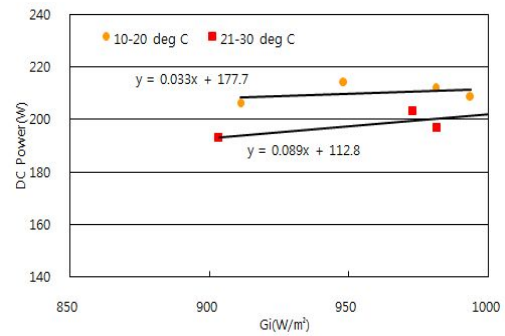


그림 5 PVT 모듈의 일사량과 유체평균온도에 따른 전력생산량

PVT 모듈의 전기성능은 ECN의 PVT 성능측정 가이드라인에 따라 PVT 모듈을 지나는 유체평균온도와 일사량에 따른 전력생산량으로 나타낸다. 따라서 그림 5는 유체평균온도 10-20℃, 21-30℃에서 각각 일사량에 따른 전력생산량을 그래프로 나타낸 것이다. 두 유체평균온도 범위에서 일사량에 따른 전력생산량은 평균 210W, 198W로 각각 나타나, 유체평균온도가 낮은 범위에서 전력생산량이 높은 것으로 나타났다. 평균 전기효율은 유체평균온도 10-20℃, 21-30℃에서 각각 15.2%, 14.2%로 분석되었다.

PVT 유체평균온도는 PVT 모듈온도에 직접적인 영향을 미치는 온도이며, 이에 따라

전력생산량은 유체평균온도가 낮은 범위인 10-20℃에서 더 높은 것을 알 수 있다.

그림 6은 일사량이 1000W/m<sup>2</sup>이고 외기온도가 같을 때 PVT 유체평균온도에 따른 전기효율을 나타낸 것이다. 모듈에 영향을 미치는 유체평균온도가 높아질수록 전기효율이 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 PVT 모듈의 유체평균온도에 의해 PV 모듈 후면온도에 직접적인 영향을 받아 동일일사량에도 불구하고 전기효율이 감소되는 것으로 분석되었다.

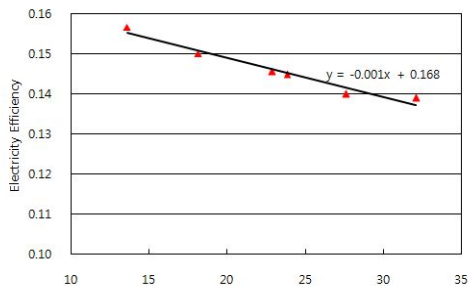


그림 6 PVT 모듈의 유체평균온도에 따른 전기효율(일사량 1000W/m<sup>2</sup>)

## 5. 결 론

본 연구에서는 전면 액체식 흡열판을 적용한 Unglazed PVT 모듈에 대한 성능실험을 수행하고 열효율과 전기효율을 분석하였다.

실험결과 Unglazed PVT 모듈의 평균 열효율은 x축 계수의 실험조건하에서 약 42%로 나타났으며, 열효율은 일사량이 높고 외기온도와 유체평균온도의 차이가 적을수록 외기에 대한 흡열판의 열손실이 적기 때문에 높아지는 것으로 분석되었다.

평균 전기효율은 유체평균온도 10-20℃, 21-30℃에서 각각 15.2%, 14.2%로 유체평균온도가 낮은 10-20℃에서 전력생산량이 더 높은 것으로 나타났다. 따라서 PVT 모듈 유체평균온도는 PV 모듈온도에 직접적인 영향

을 미치며, 이에 따라 전력생산량은 유체평균온도가 낮은 범위에서 더 높은 것으로 분석되었다.

향후 추가적으로 튜브부착형 흡열판을 적용한 PVT 모듈과의 성능비교와 함께 성능에 영향을 미치는 요소들에 대한 추가적인 실험과 분석이 이루어져야 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업(2009-00 93825)과 2010년도 정부(지식경제부)의 재원으로 광역경제권전도산업 육성사업(실리콘 PV모듈의 고효율 및 PVT시스템 사용화)으로부터 지원받아 수행된 연구임.

## 참 고 문 헌

1. 강준구, 김진희, 김준태, 평판형 액체식 PVT 모듈의 성능 실험 분석, 대한설비공학회, pp.789-785, 2009.
2. 김준태 외, 에너지절약형 다목적 공기식 집열 지붕시스템 개발 보고서, 지식경제부, 2008.
3. 김진희, 김준태, 문헌고찰을 통해 PV/Thermal 시스템의 유형별 성능특성 비교, 한국건축친환경설비학회논문집, 1권 2호, pp.5-21, 2007.9.
4. 김진희, 강준구, 김준태, 액체식 Unglazed PVT 복합모듈의 성능실험연구, 한국태양에너지학회 추계학술발표회 논문집, pp.184-189, 2008.11.
5. 김진희, 강준구, 김준태, 실험에 의한 Glazed형과 Unglazed형 액체식 PVT 집열기의 에너지성능 비교 분석 연구, 한국생태환경건축학회논문집, 9권 4호, pp.37-42, 2009.8.
6. 천진아, 김진희, 강준구, 김준태, 실험에

- 의한 액체식 Unglazed PVT모듈의 성능 분석, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, pp.21-26, 2010.10.
7. Adnan Ibrahim, Mohd Yusof Othman et al., Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal(PV/T) solar collectors, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 15, Issue 1, pp.352-365, 2011.1.
  8. ASHRAE, ASHARE 93-77; Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, INC, 1991.
  9. Kim, Jin-Hee, Kim, Jun-Tae et al., The Comparison of The Electrical and Thermal Performance of Glazed and Unglazed PVT Collectors, 2010EuroSun Conference, 2010.
  10. Pascal 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.