

사각튜브부착형 흡열판을 적용한 Unglazed PVT 복합모듈의 열적 전기적 성능분석

정선옥*, 천진아*, 김진희**, 김준태***, 조인수****, 남승백****

*공주대학교 건축공학과 대학원(strawberry@kongju.ac.kr), **공주대학교
그린홈에너지기술연구소(jiny@kongju.ac.kr), ***공주대학교 건축학부 (jtkim@kongju.ac.kr),
****(주)신성이엔지(insoocho@shinsung.co.kr)

The Experimental Performance of Rectangular Tube Absorber PV/Thermal Combined Collector Module

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

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

The performance of the PV/Thermal combined collector module is directly influenced by solar radiation that also has an effect on PV module temperature. It is also has believe that the energy performance of PV/T collector is related to absorber design as well as PV module temperature.

The existing study has been paid to the PV/Thermal combined collector module with circle tube absorbers.

The aim of this study is to analyze the experimental performance of the PV/Thermal combined collector rectangular tube absorbers according to solar radiation.

The experimental result show that the average thermal and electrical efficiencies of the PVT collector were 43% and 14.81% respectively.

Solar radiation is one of the most influential factors to determine the energy performance of PVT collector, but from a certain level of solar radiation the PVT collector receives on, its efficiencies began to decrease.

Keywords : 태양광·열 복합모듈(PVT combined module), 열효율(thermal efficiency), 전기효율(electrical efficiency), 일사량(Solar radiation), 사각튜브부착형 흡열판(rectangular tube absorber)

기 호 설 명

A_{pvt}	: 집열 및 PV모듈면적 (m^2)
T_i	: 집열기 입구온도 ($^{\circ}C$)
T_0	: 집열기 출구온도 ($^{\circ}C$)
T_m	: 유체평균온도 $((T_0 - T_i)/2)$
T_a	: 외기온도 ($^{\circ}C$)
m	: 열매체 유량 (kg/hr)
η_{th}	: 열효율
η_{el}	: 전기효율
C_p	: 열매체 비열 (J/kg $^{\circ}C$)
G	: 일사량 (W/ m^2)
I_m	: 최대전류 (A)
V_m	: 최대전압 (V)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

PVT(Photovoltaic-thermal)복합모듈은 전기 생산 과정에서 PV모듈이 발생시키는 열을 보다 적극적으로 이용하기 위한 방안으로 PV모듈과 집열 기능을 결합하여 태양에너지에 의해 전기와 열에너지를 동시에 생산하는 복합장치이다. 이중에서도 평판형 액체식 PVT 복합모듈은 기존의 태양열 집열기와 매우 유사하며, 단지 금속 흡수관 위에 PV모듈이 부착되는 차이가 있다. 또한 PVT 복합모듈은 전면에 부착되는 유리의 유무에 따라 Unglazed와 Glazed PVT 복합모듈로 나눌 수 있다¹⁾. Glazed PVT 복합모듈은 PVT 복합모듈 전면에 열 손실을 줄이기 위해 유리 커버를 일정 공기층을 두고 마감한 형태이며, Unglazed PVT복합 모듈은 PV모듈이 최종마감재로 적용된 형태이다.

최근 몇 년 동안 다양한 PVT 복합모듈의

연구개발이 이루어져왔으며,²⁾³⁾⁴⁾ 기초연구로서 발표된 연구에서는 Sheet and Tube Type의 Unglazed PVT 복합모듈을 시제작 하고 실험을 통해 일사량이 PVT 복합모듈의 성능에 미치는 영향에 대하여 분석한 바 있다⁵⁾. 또한 평판형 Glazed PVT 복합모듈을 개발하여 실험을 통하여 일사량이 PVT 복합모듈의 열적 전기적 성능에 미치는 영향에 대해 분석된 바 있다.⁶⁾ PVT 복합모듈의 성능은 일사량에 직접적인 영향을 받으며, PV 모듈온도 또한 일사량에 의해 높게 상승되어 전기성능에 영향을 미치게 된다. 또한 PVT 복합모듈의 성능은 흡열관 디자인에 따라 달라진다. 기존 연구에서는 원형튜브부착형 흡열관을 적용한 PVT 복합모듈의 성능연구들이 이루어져왔다.

본 연구에서는 사각튜브부착형 흡열관을 적용한 Unglazed PVT 복합모듈의 열 성능 및 전기성능을 실험을 통해 분석하였다. 또한 일사량이 PVT복합 모듈의 성능에 미치는 영향에 대해 분석하였다.

1.2 연구방법

본 연구에서는 국내 상용화된 태양열 집열관과 태양광 모듈을 이용해 사각튜브부착형 흡열관을 부착한 Unglazed PVT 복합모듈을 시제작 하고, 이를 국제규격에 맞는 방법으로 성능실험을 수행하였다. 또한 일사량 변화에 따른 PVT 복합모듈의 열적, 전기적 성능의 변화를 분석하였다.

1) 김진희, 강준구, 김준태, 액체식 PVT 복합모듈의 유형별 성능 비교분석, 대한설비공학회 학회 논문집, pp792-797

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, 2007
 3) 김진희, 김준태, 문현고찰을 통해 PV/Thermal 시스템의 유형별 성능특성 비교, 한국건축환경설비학회, Vol.1, No.2. pp15-21, 2007
 4) 이현주, 김진희, 김준태, 수직 PV/Thermal 복합 시스템의 설계 및 성능 실험, 한국태양에너지 학회 논문집. Vol.27, No.4. pp105-112, 2007
 5) 천진아, 김진희, 강준구, 김준태, 실험에 의한 액체식 Unglazed PVT모듈의 성능 분석, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회 논문집, Vol 30, No.2, 2010.
 6) 강준구, 김진희, 김준태, 평판형 액체식 PVT 모듈의 성능 실험 분석, 대한설비공학회, pp780-785, 2009

2. 성능평가

2.1 실험장치 및 조건

Unglazed PVT 복합모듈의 제작에 사용된 PV모듈은 표준실험조건(STC)에서 전기효율 16.71%인 240Wp 단결정 실리콘 PV모듈을 사용하였으며, 상세 사양은 표 1과 같다. 또한 PV모듈 후면에 기존 연구와 달리 사각튜브가 부착된 튜브부착형 흡열판이 적용되었으며 그 뒤에 단열재로 구성되어 있다.

표 1. PV 모듈 상세 사양

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

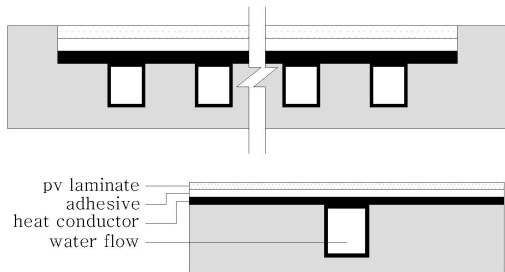


그림 1. 사각튜브부착형 흡열판을 적용한 PVT 복합 모듈의 개념도(위) 및 단면상세(아래)

Unglazed PVT 복합모듈은 ASHRAE 93-77⁷⁾의 실험기준과 ECN의 PVT 성능측정 가이드라인⁸⁾의 성능측정 및 분석 방법에 따라 다음

7) ASHRAE, ASHRAE 93-77: Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors, American Society of Heating, Refrigeration 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.

과 같은 실험 장치에 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 복합모듈이 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 복합모듈의 입·출구 온도 및 외기온도를 측정하기 위한 온도센서(RTD타입)가 설치되었다.

실험은 2011년 11월 동안 천안(위도 36°47' 경도 127°9')에 위치한 공주대학교 학생회관 옥상에서 실시되었다.

실험은 일사량 750W/m²에서 수행하였으며, 유량 104kg/h로 고정된 상태에서 PVT 복합모듈의 유체평균온도를 외기온도 이상의 온도에서 약 10℃ 변화를 주어 수행되었다. 기타 실험조건 및 분석방법은 ASHRAE 93-77의 실험기준과 ECN의 PVT 집열기 성능측정 가이드라인의 성능측정 및 분석 방법에 따랐다.



그림 2. 성능측정 장비와 PVT모듈 거치모습

3. 실험결과 및 분석

3.1 PVT 복합모듈의 열 및 전기성능

PVT 복합모듈의 열효율은 식 (1)에 의해

계산하였다. 즉, 열효율은 흡열 관에서 얻어지는 총 획득에너지인 Q_1 에 대한 PVT 복합모듈 자체의 획득 에너지인 Q_2 의 비율로서 산출 하였다. PVT 복합모듈의 전기효율은 식(2)에 의해 계산하였다. 즉 PVT 복합모듈의 일사량에 대한 전력생산량의 비율로 산출되며 전력생산량은 출력전압과 출력전류의 곱으로 계산된다.

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

$$Q_2 = mc_p(T_i - T_a) \quad (1)$$

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

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

PVT 복합모듈의 열 성능은 그림 3과 같으며 $\eta_{th} = 0.57 - 10.26(T_m - T_a)/G$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 x축에 대한 열손실계수는 -10.26, 열효율계수는 0.57인 것을 알 수 있다.

전체 열효율은 x축 계수의 시험 조건하에서 54%~32.93% 분포로 나타났으며 평균 열효율은 43.08%로 분석되었다. 또한 그래프에 나타난바와 같이 x축계수가 0인 경우 열효율은 57%로 분석되었다.

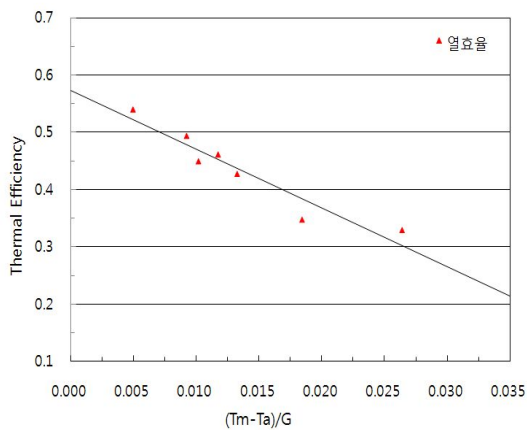


그림 3. PVT 복합모듈 열효율

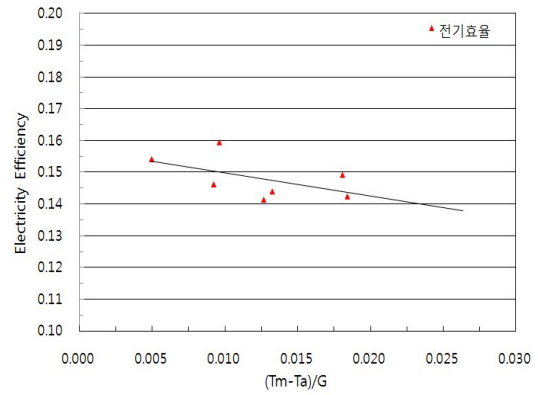


그림 4. PVT 복합모듈 전기효율

PVT 복합모듈의 전기성능은 그림 4와 같으며 $\eta_{el} = 0.15 - 0.72(T_m - T_a)/G$ 로 나타낼 수 있다. 본 PVT 복합모듈의 전체 전기효율은 x축계수의 실험조건하에서 최대 15.7%로 나타났으며 평균 전기효율은 14.81%로 분석되었다. 또한 x축계수에 대한 전기효율은 열효율에 비해 다소 불균일한 분포를 보이고 있다. 이는 전기효율에 영향을 미치는 계수인 순환유체의 입구온도 및 외기온도와 일사량 외에 PV표면온도의 영향으로 같은 x축계수 조건에도 불구하고 다른 전기효율을 나타내는 것으로 분석된다.

3.2 일사량에 따른 PVT 복합모듈의 열 및 전기성능

일사량에 따른 성능분석을 위해 실험은 일사량을 $400 \sim 900 \text{ W/m}^2$ 에서 수행하였으며, 유량 104 kg/h , 외기온도 평균 17°C , 입구온도 25°C 로 고정된 상태에서, 일사량의 변화만 주어 수행되었다.

그림 5는 일사량에 따른 PVT 복합모듈의 획득열량 및 열효율의 변화를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보면 획득열량은 일사량이 증가함에 따라 증가하다가 점차 증가폭이 작아지는 것을 확인 할 수 있다. 이에 따라 일사량이 750 W/m^2 이상에서는 일사량이 증가함에도 불구하고 열효율은 감소되는 것으

로 분석되었다.

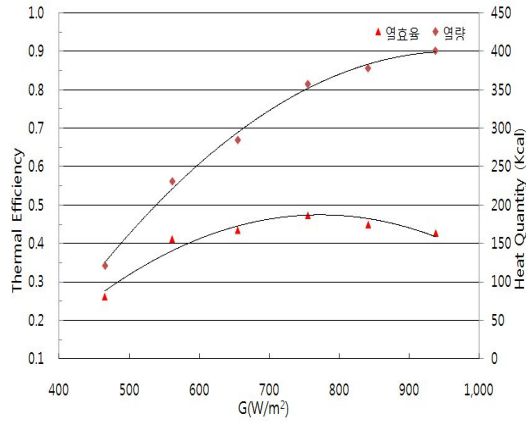


그림 5. 일사량에 따른 PVT 복합모듈의 열량 및 열효율

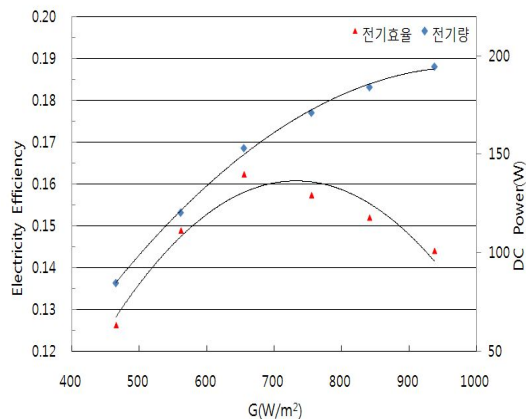


그림 6. 일사량에 따른 PVT 복합모듈의 전력량 및 전기효율

그림 6은 일사량에 따른 PVT 복합모듈의 전력량 및 전기효율의 변화를 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보면 일사량이 증가함에 따라 전력량은 꾸준히 증가하다가 전력량 증가폭이 작아지는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라 일사량 650W/m^2 이상에서는 일사량이 증가함에도 불구하고 전기효율은 감소되었다. 이는 일사량 증가로 PV모듈 온도가 높게 상승하여 전기 효율이 감소된 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 사각튜브 부착형 흡열판을 적용한 Unglazed PVT 복합모듈에 대한 성능실험을 수행하였으며, 일사량에 따른 열 및 전기성능을 분석하였다.

실험결과 PVT 복합모듈의 열효율은 x축 계수가 0일때 57%로 나타났으며, 전기효율은 15.7%로 나타났다.

일사량에 따른 실험결과 일사량이 증가함에 따라 PVT복합 모듈의 열 및 전기 획득량은 증가한다. 그러나 일정 일사량 이상에서는 일사량이 증가함에도 불구하고 증가폭이 감소되어 열 및 전기효율 모두 감소되는 것으로 분석되었다.

특히, 전기효율은 일사량에 따라 생산량은 증가하지만, 일사량이 높아질수록 전기효율이 감소되었다. 이는 일사량에 의한 PV온도 상승에 따른 효율감소로 판단된다.

따라서 향후 PVT 복합모듈의 전기성능에 대해 PV온도에 따른 전기효율 및 성능분석을 위한 실험 및 추가 연구가 필요하다.

후 기

이 논문은 지식경제부의 광역경제권선도 산업 육성사업(실리콘 PV모듈의 고효율 및 PVT시스템 상용화)과 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(20114010203040)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

참 고 문 헌

1. 김진희, 강준구, 김준태, 액체식 PVT 복합모듈의 유형별 성능 비교분석, 대한설비공학회 학회 논문집, pp792-797
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, 2007.
3. 김진희, 김준태, 문헌고찰을 통해 PV/Thermal

- 시스템의 유형별 성능특성비교, 한국건축
환경설비학회, Vol.1, No.2. pp15-21, 2007.
4. 이현주, 김진희, 김준태, 수식 PV/Thermal
복합 시스템의 설계 및 성능 실험. 한국태양
에너지학회 논문집. Vol.27, No.4. pp105-112,
2007.
 5. 천진아, 김진희, 강준구, 김준태, 실험에 의
한 액체식 Unglazed PVT모듈의 성능 분
석, 한국태양에너지학회 추계학술발표대회
논문집, Vol. 30. No.2. 2010.
 6. 강준구, 김진희, 김준태, 평판형 액체식
PVT 모듈의 성능 실험 분석 대한설비공
학회, pp780-785, 2009.
 7. ASHRAE, ASHRAE 93-77; Methods of
Testing to Determine the Thermal Performance
of Solar Collectors, American Society
of Heating, Refrigeration 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.