



[2016-9-PV-004]

PVT 모듈에서의 유입수 온도에 따른 전력효율 특성에 관한 실험적 연구

이광섭¹⁾ · 이의준²⁾ · 강은철^{2)*}

Experimental Study on the PVT Inlet Water Temperature Dependant Power Efficiency Characteristics

Lee Kwang-Seob¹⁾ · Lee Euy-Joon²⁾ · Kang Eun-Chul^{2)*}

Received 26 October 2015 Revised 5 July 2016 Accepted 5 July 2016

ABSTRACT A photovoltaic-thermal (PVT) system can generate thermal and electrical energy simultaneously. In general, photovoltaic panels are located on the front side and a thermal collector is on the back side of the PVT module. Therefore, thermal and electrical energy can be generated simultaneously. A photovoltaic-thermal system has another benefit by helping to overcome the decrease in power efficiency of the photovoltaic system increasing panel surface temperature. In this study, a photovoltaic-thermal SET (Separate effect test) system has been developed for testing air and/or fluid type photovoltaic thermal module. Several experiments were carried out with the module. performance test results showing the characteristics of the efficiency increase with the using water as the heat transfer media. Three experiments were conducted: Case A, Case B and Case C which were conducted at different inlet water temperatures. The results show that the efficiencies of power generation is increasing as 8.32% from 173.11 W to 187.51 W when the PVT module temperature is decreasing as 40°C to 20°C at the same test condition.

Key words PVT; Photovoltaic Thermal(태양광열), Module Temperature(모듈온도), Power Efficiency(전력효율), Inlet Water Temperature(유입수온도)

Nomenclature

Ta : 외기온도 (°C)
Tm : 모듈온도 (°C)
Tin : 입수온도 (°C)
G : 일사량 (W/m²)
Power : 전력생산량 (We)
A : 모듈면적 (m²)

LPM : 유량 (liter/min)

CMH : 풍량 (m³/hour)

Greek letters

ρ : 밀도 (kg/m³)
 η_{pv} : 전력효율 (%)

- 1) Department of Renewable Energy Engineering, University of Science and Technology
- 2) Energy Efficiency Research Division, Korea Institute of Energy Research E-mail: kec8008@kier.re.kr
Tel: +82-42-860-3511

1. 서론

2014년 기준 에너지통계^[1]에 따르면 태양광의 보급용량은 최근 10년간 10배 이상 증가하고 있으나, 태양열의 보급면적

은 최근 3년 사이에 감소추세를 보이고 있다. 그러나 2016년부터 시행될 예정인 재생에너지의무화(RHO; Renewable Heat Obligation) 제도를 비롯하여 최근 이슈가 되고 있는 신재생에너지 융합화 기술로 태양열 에너지에 대한 수요가 다시 증가될 것으로 내다보고 있다.^[2] 특히 태양에너지를 이용하여 전기와 열을 생산하는 태양광열(PVT; Photovoltaic Thermal) 복합 생산 기술은 기존의 태양광 및 태양열 이용 단위기술을 융합화한 신재생에너지 융복합 기술로써 최근에 다양한 연구들이 진행되고 있다.^[3] 이에 본 연구에서는 태양 에너지를 이용한 태양광열(PVT: Photovoltaic-Thermal) 모듈의 전기와 열 생산 특성을 평가할 수 있는 PVT 모듈 특성 평가 장치를 자체 개발하고, 이 개발된 실험 장치를 기반으로 PVT 모듈에서의 유입수 온도 변화에 따른 PVT 모듈의 전력효율 특성을 실험적으로 평가하고자 하였다.

2. 실험장치 구성

PVT 시스템은 전기에너지를 생산하는 Photovoltaic 시스템과 열에너지를 생산하는 Thermal 시스템의 융합 기술이다. 태양복사에너지의 파장영역에 따라 단파장($< 0.78\mu\text{m}$)에서는 전기를 생산하고, 장파장($> 0.78\mu\text{m}$)을 포함한 태양 에너지 전파장은 열을 생산할 수 있기 때문에 PVT 시스템은 태양에너지의 전파장을 효과적으로 사용함으로써 전기와 열을 병합 생산할 수 있다. PVT 시스템은 모듈에 사용되는 열매체에 따라 액체식, 공기식, 액체와 공기 혼합식(하이브리드)으로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 액체식 PVT 모듈의 성능을 평가하기 위한 실험장치를 자체 개발하였으며, 실험장치 구성에 대한 자세한 내용은 다음과 같다.

2.1 KIER PVT 모듈 실험 장치

한국에너지기술연구원에서 자체 제작한 PVT 모듈 특성 평가용 실험 장치는 공기식과 액체식 PVT 모듈을 모두 실험할 수 있는 장치이며, 그 모습은 Fig. 1과 같다. 전면부에는 공기식 PVT 모듈이나 액체식 PVT 모듈을 부착할 수 있도록 구성하였으며, 공기식의 경우 덕트와 연결할 수 있고, 액체식의 경우 배관과 연결할 수 있도록 구축 하였다. 또한 후면부에는 전동모터를 이용하여 PVT 모듈의 설치 각도를

$0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 까지 조작할 수 있으며, 방위각은 고정형으로 실험 장치가 설치된 위치로 조절이 가능하다. 아울러 PVT 모듈의 특성을 객관적으로 평가하기 위해서 PVT 모듈에 유입되는 열매체의 온도와 유량을 조절하기 위한 항온조와 유량조절 장치를 구비하였다. PVT 모듈 실험 장치에 구비된 구성품 들은 Table 1과 같다.

2.2 계측장비

계측장비는 온도센서와 전압계, 전류계, 유량계, 일사량계로 구성된다. 온도센서는 RTD 센서를 이용하였고, PVT 모듈의 표면과 배면 상, 중, 하, 외기온도, 열매체 유입구와 유출구, 그리고 항온조 등 총 12곳을 측정한다. PVT 모듈에서의 발전량을 측정하기 위한 전압계와 전류계를 구비하였으며, PVT 모듈 표면에 떨어지는 일사량을 측정하기 위하여 모듈과 평행한 위치에 일사량계를 설치하였다. 또한



Fig. 1. KIER PVT module test equipment

Table 1. KIER PVT module test device specification

	Capacity	Power
Fan	56,52 CMH	90 W
Pump	2 CMH	115 W
Compressor	1 RT	1440 W
Heater	1 kW	1 kW
Water tank	400×400 mm	—

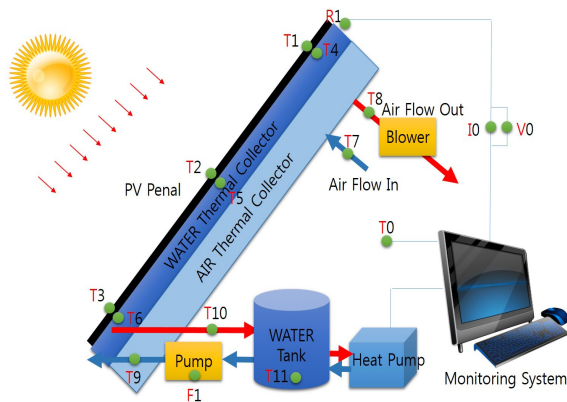


Fig. 2. PVT module test equipment sensing positions

Table 2. Sensor specification

Sensor	Location	Measurement Range	Model
Ambient temperature	T0	-35℃ to 80℃	GOT-100
Panel temperature	T1-T6	-35℃ to 130℃	GDT-100
Air temperature	T7-T8	-35℃ to 130℃	GDT-100
Water temperature	T9-T11	-35℃ to 150℃	GPT-100
Water flow rate	F1	0.025 to 50 LPM	VMZ-Sika
Solar radiation	R1	0-1300 W/m ²	CR100-A

PVT를 순환하는 열매체의 유량을 측정하기 위한 유량계를 설치하였다. 실험 장치에서의 각 측정 위치는 Fig. 2에 제시하였으며, 각 계측장비에 대한 세부적인 사양은 Table 2에 표시하였다. Fig. 2에서 온도센서 측정 위치는 T0에서부터 T11까지이며, 전압은 V0, 전류는 I0, 일사량은 R1, 유량은 F1로 나타내었다.

2.3 모니터링 시스템

PVT 모듈 실험에서 생성되는 데이터를 실시간으로 감시하고 저장하기 위하여 모니터링 시스템을 구축하였다. 모니터링 시스템의 화면은 Autoeye 10을 이용하여 구성하였으며, Fig. 3에서와 같이 실제 계측되는 위치별로 온도, 일사량, 유량, 전압, 전류 등의 데이터를 수집하였다. 실시간 데이터는 1분 간격으로 수집하였으며, 엑셀 파일로 실시간 저장이 된다.

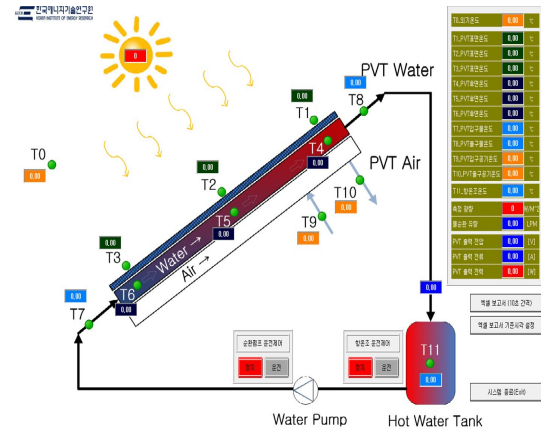


Fig. 3. Monitoring system for PVT module test

Table 3. PVT module specification

at Standard Test Condition (1000 W/m ² , 25℃)		
Specification	Value	Unit
Cell type	CIGS	—
Module power	235.00	Wp
Max power voltage	30.72	V
Max power current	3.65	A
Open circuit voltage	37.33	V
Short circuit current	8.30	A
Power efficiency	14.40	%
Thermal efficiency	30.60	%
Working fluid	35% Ethlene glycole	—
Fluid capacity	1500	ml
Flow rate	2.00	LPM

3. 액체식 PVT 모듈 성능 평가

앞에서 자체 개발한 KIER PVT 모듈 성능 평가 장치를 기반으로 액체식 PVT 모듈에 대한 전력효율 특성을 평가해 보았다. 이 장치를 이용하여 PVT 모듈에서의 유입수 온도 변화에 따라 발전량 변화가 어떻게 나타나는지에 대한 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 액체식 PVT 모듈은 H사 제품으로 표준시험조건(1,000W/m², 25℃)에서의 발전 용량은 235W_p이다. 제조사에서 제공하는 제품 사양에 따르면 이 PVT 모듈의 전력효율은 14.4%이고, 열효율은 30.6%로 나타났다. 이 PVT 모듈에 대한 상세 제원은 Table 3에 나타내었다.

3.1 PVT 모듈

실험에 사용된 PVT 모듈은 Fig. 4와 같으며, 모듈의 크기는 너비 990mm 높이 1,650mm이다. PVT 모듈 후면에는 PV 모듈의 열을 회수하기 위한 순환유체 관이 있으며 이 순환유체 관 안에는 1,500ml의 용량의 에틸렌-글리콜을 35%의 작동매체가 채워져 있다. 작동매체의 순환유량은 2 LPM으로 설정하여 실험을 수행하였다.

3.2 실험 방법

실험은 대전광역시 유성구에 위치한 한국에너지기술연구원 부지에서 2015년 2월 20일부터 3월 30일에 걸쳐 반복적으로 수행하였다. 실험 장치는 실험기간 동안에 항상 같은 위치를 유지하였다. 실험을 위한 모듈의 각도는 일반적으로 지붕형 태양광 모듈의 설치 각도와 동일시키기 위하여 수평면으로부터 약 30°로 기울어서 수행하였다. 실험은 모듈의 온도에 따른 전력생산량을 알아보기 위해 실시하였으며, PVT 모듈의 유입수 온도를 20°C, 30°C, 40°C로 변화를 주면서 실험을 수행하였다. PVT 모듈에서의 유입수 온도 변화에 따라 Case A, Case B, Case C로 나누어 데이터를 수집하였다. 실험 기간 동안 실험 순서는 위 세 가지에 대하여 일일단위로 반복 수행하였으며, 일사조건이 500W/m² 이상인 오전 10시에서 오후 4시 사이에 실험 데이터를 수집하여 분석하였다.

3.3 실험 결과

Case A는 PVT 모듈의 유입수 온도가 20°C일 때이며, Case B는 30°C일 때, Case C는 40°C일 때의 결과 데이터

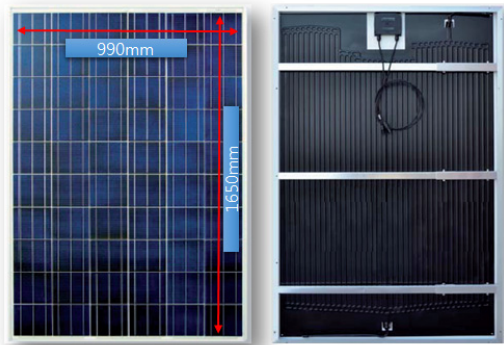


Fig. 4. PVT module for test (front, back)

를 보여준다. 데이터는 1분단위로 연속 수집하였고 비교적 일사조건이 좋은 데이터를 고르기 위해 일사량 700W/m² 이상의 데이터를 수집하였다. 실험기간 중 최고 일사량은 950W/m²까지 기록하였고 외기온도는 평균 3°C에서 5°C를 유지하였다. 자세한 실험 데이터의 결과 값은 Table 4에 나타내었다. 항온조에서 PVT 모듈로 유입되는 유입수의 온도(T_{in})가 PVT 모듈의 온도(T_m)보다 낮은 이유는 배관에서의 열 손실이 발생했기 때문으로 판단된다. 실험기간 중에 PVT 모듈의 온도는 유입수 설정온도에 따라 안정적으로 유지됨을 알 수 있었고, 동일한 일사조건에 대한 전력 생산량을 도출하기 위하여 각 Case 별로 수집된 실험데이터를 바탕으로 Fig. 5와 같이 그래프 상에 결과 값을 도식해 보았다.

Fig. 5에서 알 수 있듯이 동일한 일사조건에 대하여 PVT 모듈에서의 전력 생산량은 Case C → Case B → Case A 순으로 나타난다. PVT 모듈에 유입되는 유입수 온도가 낮을수록 PVT 모듈에서 생산하는 전력량은 증가함을 알 수 있는데, 이는 PVT 모듈 온도가 증가할수록 전력효율이 감소하는 태양광 모듈의 특성을 반영한 결과임을 알 수 있다. PVT 모듈에서의 전력효율 η_{pv} 는 식 (1)에 의해 구할 수 있다.^[4]

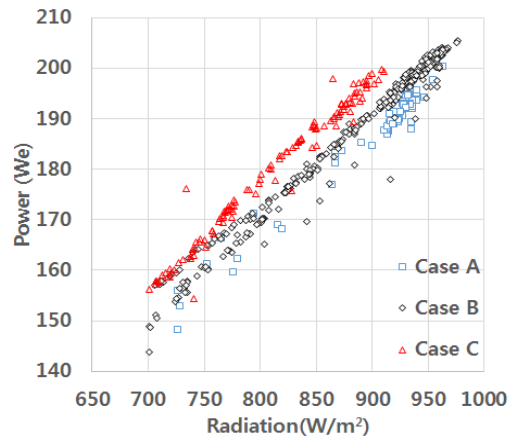


Fig. 5. PVT module actual power generation data

Table 4. PVT module actual test average data

Case	A	B	C
T _{in} (°C)	40.00	30.00	20.00
G (W/m ²)	903.68	870.39	813.22
T _m (°C)	38.42	29.66	18.97
T _a (°C)	3.37	5.74	5.05
Power (We)	185.63	184.91	179.88

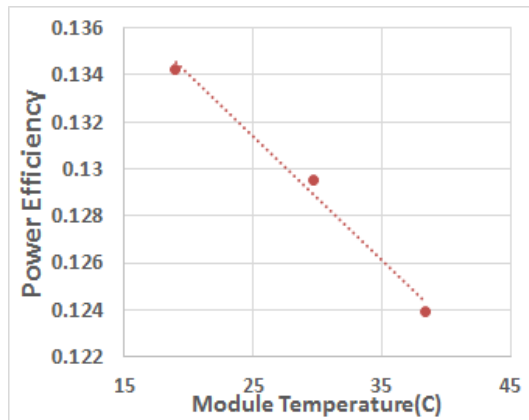


Fig. 6. PVT power efficiency according to the PVT inlet water temperature

Table 5. PVT module power efficiency at 850 W/m²

Case	A	B	C
Tp (°C)	38.42	29.66	18.97
Power (We)	173.11	180.96	187.51
η_{pv} (%)	12.39	12.95	13.42

$$\eta_{pv} = \frac{Power(We)}{G(W/m^2) \times A(m^2)} \quad (1)$$

여기서, G는 일사량을 나타내며, A는 PVT 모듈의 면적을 나타낸다. Power는 PVT 모듈에서의 전력생산량을 나타낸다. Fig. 5에 나타내 실험 데이터를 기반으로 동일한 일사조건에서의 각 Case 별 전력효율을 비교하기 위하여, 일사량은 세 실험의 평균 일사량인 850W/m²으로 설정하였고, PVT 모듈 면적은 1.6335m²을 사용하였다. 계산 결과는 Table 5에 나타내었으며, 동일 일사조건에서 PVT 모듈 온도가 약 40°C에서 20°C로 감소하면서 발전량은 14.4 We가 증가하였는데, 이는 기존 발전량에 비해 8.32%가 증가한 것으로써, PVT 모듈 온도가 1°C가 감소할 때 마다 전력효율은 0.42% 증가한 것을 알 수 있었다. Fig. 6은 PVT 모듈 온도와 전력효율의 관계를 그래프 상으로 나타내었다.

4. 결 론

본 연구에서는 PVT 모듈의 특성을 평가하는 장치를 PVT 모듈에서의 유입수 온도에 따른 PVT 모듈의 전력효율 특

성을 알아보기 위한 실험적 연구를 수행하였다. 본 연구를 통하여 도출한 결론은 다음과 같다.

- 1) 태양에너지를 이용한 PVT 모듈에서의 전기와 열 생산 특성을 평가할 수 있는 KIER PVT 모듈 특성 평가 장치를 자체 개발하였다.
- 2) KIER PVT 모듈 특성 평가 장치를 기반으로 PVT 모듈에서의 유입수 온도에 따른 PVT 모듈의 전력효율 특성을 실험을 통하여 평가하였다.
- 3) PVT 모듈 온도를 20°C, 30°C, 40°C로 변화시켜 실험을 수행하였고, 동일 일사조건에서 PVT 모듈 온도가 약 40°C에서 20°C로 감소하면서 기존 발전량이 약 8.32%가 증가됨을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20133030110900).

References

- [1] Heo, J. S., 2014 Handbook of Energy & Economics Statics in Korea, Korea Energy Management Corporation, 2014, pp. 117-133.
- [2] Lee, K. S., Kang, E. C., Photovoltaic - Thermal Hybrid Technology for Building Energy Saving, Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 2014, pp. 12-18.
- [3] Kamran Moradi, et al., A Review of PV/T Technologies : Effect of control parameters, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2013, pp. 483-500.
- [4] John A. Duffie., PV Generator Characteristic and Models, Solar Engineering of Thermal Processes, 1991, pp. 232.
- [5] Lee, K. S., Kang, E. C., An Experimental Study on the PVT Inlet Water Temperature Dependant Power Efficiency Characteristics, The Korean Society For New And Renewable Energy, 2015, pp. 76-76.