



[2019-6-PV-006]

태양광열 패널의 성능 예측을 위한 실험 연구

박태국¹⁾ · 김대환^{2)*} · 김재형³⁾ · 이근휘⁴⁾ · 장무성⁵⁾ · 이기찬⁶⁾ · 최영도⁷⁾

Experimental Study to Predict the Performance of Solar Photovoltaic and Thermal Collector Panels

Tae-Kook Park¹⁾ · Dae-Hwan Kim^{2)*} · Jae-Hyoung Kim³⁾ · Keun-Hui Lee⁴⁾ · Mu-Seong Chang⁵⁾ ·
Ki-Chun Lee⁶⁾ · Young-Do Choi⁷⁾

Received 22 January 2019 Revised 1 May 2019 Accepted 9 May 2019

ABSTRACT The use of new and renewable energy has increased in several fields. The use of solar energy has taken up a large portion of new and renewable energy. The method to collect solar energy is to produce electricity and obtain heat energy. A photovoltaic cell converts solar light directly to electricity by a photoelectric conversion element. In heat collection, the technology stores solar heat in a fluid using a thermal collector. A PV/T panel is a combination of a photovoltaic panel and a thermal collector, which can produce electricity and heat energy simultaneously. This study examined the electricity and heat energy output of a PV/T panel. Test equipment was developed to measure the performance of a PV/T panel. The results were analyzed by statistical analysis and a regression equation was derived. The heat energy output and electricity can be predicted through the regression equation of the PV/T panel test results. The performance of a PV/T panel predicted by the derived model formula fitted similarly the actual experimental results. The initial framework was constructed and reported at the 2017 conference of the KSME^[1].

Key words PV/T panel(태양광열 패널), Photovoltaic cell(태양 전지), Thermal collector(집열기), New and renewable energy(신재생에너지), Regression equation(회귀 방정식)

-
- 1) Senior Engineer, Nuclear Equipment Qualification & Safety Research Group, Korea Institute of Machinery and Materials
 - 2) Senior Researcher, Nuclear Equipment Qualification & Safety Research Group, Korea Institute of Machinery and Materials
 - 3) Principal Researcher, Nuclear Equipment Qualification & Safety Research Group, Korea Institute of Machinery and Materials
 - 4) Director, Janghan Engineers Inc.
 - 5) Senior Engineer, Department of Reliability Assessment, Korea Institute of Machinery and Materials
 - 6) Principal Engineer, Department of Reliability Assessment, Korea Institute of Machinery and Materials
 - 7) Professor, Department of Mechanical and Materials Engineering, Mokpo National University

*Corresponding author: daehwan@kimm.re.kr

Tel: +82-51-310-8129 Fax: +82-51-310-8199

Nomenclature

- P : electric energy, W
 Q : heat energy, W
 G : solar radiation quantity, W/m²
 T_i : water temperature, °C
 \dot{m} : cyclic water capacity, kg/s
 Y : output value
 X_s : input value
 V : voltage
 I : electric current

subscript

- i : inlet
- o : outlet
- s : factor

1. 서론

그 동안 전 세계적으로 에너지를 취득하는 과정에서 발생하는 문제들을 해결하고 환경문제에 대처할 수 있는 신재생에너지 이용이 각 분야에서 활발히 이루어지고 있다. 국내에서도 주요 환경문제인 온실가스 감축을 위해 2035년까지 신재생에너지 보급을 11%로 확대하기로 하였으며, 에너지산업으로 친환경 에너지 타운, 에너지 자립섬, 제로 에너지 빌딩 등의 친환경 신재생에너지 사업이 추진되고 있다. 해외에서 신재생에너지 중 태양에너지의 이용률이 상당한 부분을 차지하고 있다. 국내 신재생에너지 잠재량도 지열, 태양에너지, 풍력, 수력 중 태양에너지가 큰 부분을 차지하고 있다.

태양에너지를 이용하는 방법 중에는 태양전지(Photo-voltaic cell)의 광전변환소자를 이용하여 태양광을 직접 전기로 전환·생산하는 태양광 이용 기술이고, 집열기(Thermal collector)를 이용하여 태양열을 유체에 저장·생산하는 태양열 이용 기술이 있으며, 전기 및 열에너지의 동시 생산이 가능한 태양광과 태양열을 복합적으로 이용하는 기술이 있다. PV/T(Photovoltaic/Thermal collector) 패널은 태양전지(PV) 패널과 집열기(Collector)를 일체화하여 태양전지 패널로부터의 전기와 집열기로부터의 열을 동시에 생산하는 장치이다. 일반 PV패널은 태양에너지의 10~15% 정도를 전기로 변환시키고 나머지는 방열하여 버리게 되지만 PV/T 패널은 전기와 열을 동시에 얻을 수 있어 PV패널을 단독으로 사용하는 것에 비해 3~4배 많은 에너지를 생산할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이는 PV패널이 반도체 기기로서 운전온도가 높을수록 효율이 낮아지지만 집열기로 인해 PV패널이 냉각되어지는 효과가 생겨 효율이 높아지게 된다. 냉각되면서 운전하는 효율 15%의 PV패널은 냉각되지 않으면서 운전하는 효율 18.8%의 PV패널과 같은 출력을 생산하는^[2] 것으로 기존 연구를 통해 알려져 있다.

1970년 대 이후, PV/T에 대한 연구가 시작되는데 지붕이나 벽면을 열을 제거하는 것^[3]과 제거되는 열을 통해 난방과 온수 등에 사용하기 위해 PV/T 복합시스템을 활용되기 시작하였다^[4].

PV/T 패널은 평판형 및 집광형, 액체식 및 공기식, Glazed 및 Unglazed 등의 다양한 형태 흡수관으로 설계·제작이 가능하며, 재질, 설치각도, 유량, 작동유체의 물리적 성질, 일사량, 풍속 등의 요인 및 변수에 의해 성능이 결정되는데^[5] 그 동안 PV/T 패널에 대한 연구는 주로 성능에 대한 확인^[6,7] 위주로 진행되었고, 전력량 출력이 일사량 및 유입수 온도에 대한 관계를 분석한^[8,9] 경우도 있다.

본 연구에서는 자연광과 인공광원을 통해 PV/T 패널의 성능을 검증하는 실험장치를 각각 개발한다. 합리적으로 실험을 수행하기 위해 실험계획법을 적용하여 PV/T 패널의 주요 성능 지표인 전력량과 열량에 대한 실험결과를 취득한다. 그리고 전력량과 열량에 영향을 주는 인자로 일사량, 인입 물온도, 유량을 적용하여 통계적인 분석을 통해 모델식을 도출한다. 이에 본 연구는 향후 신재생에너지 분야에서 태양광 및 태양열 에너지 취득 및 활용에 대한 비교 자료로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

2. 실험장치의 설계 및 구축

PV/T 패널은 사용처에서 전기 생산과 온열 생산이 있으며 그 성능에 대한 평가 방법이 각각 ISO 9806^[10]과 IEC 61646^[11] 규격에 명시되어 있다. 상기의 규격에서 요구하

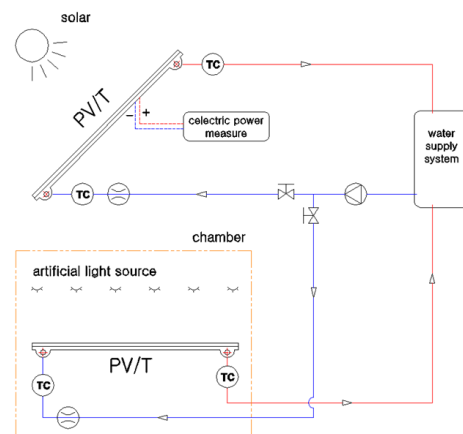
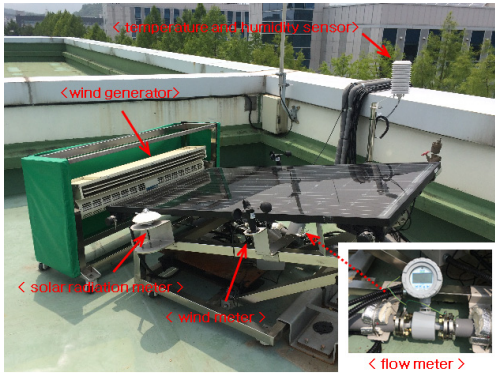
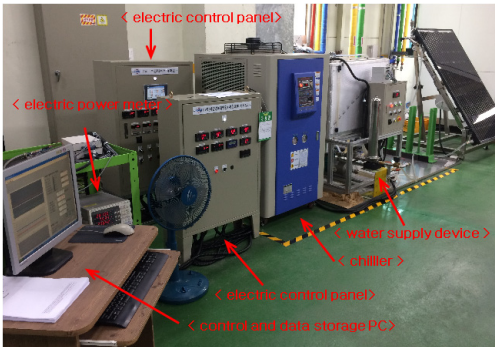


Fig. 1. Schematic of testing equipment

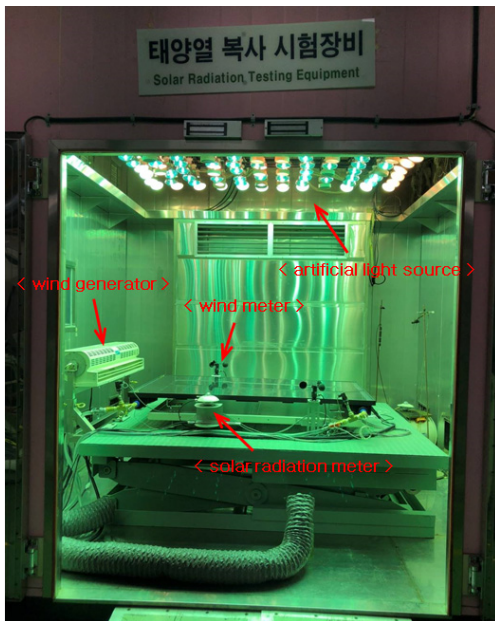
는 절차를 만족할 수 있도록 성능 실험회로를 구성하였다. Figure 1은 개발한 실험장치의 개략적인 회로이다. 그리고 Figure 2의 (a)는 자연광을 활용하여 구축한 성능 실험장



(a) Testing equipment for the natural solar



(b) Circulating water supply and control device



(c) Testing equipment for the solar simulation chamber

Fig. 2. Testing equipment

치로써 연구실 옥상에 PV/T 패널이 정남방향으로 태양의 고도를 고려하여 설치각도를 결정하여 설치하였다. PV/T 패널 전력출력의 측정은 전압과 전류를 직접 측정할 수 있는 요코가와사의 디지털 파워미터 wt300 사용하였고 PV/T 패널 열량출력은 PV/T 패널로 순환하는 물의 입구 및 출구의 온도를 Pt100Ω 센서로 측정하고 유량을 전자식 유량계를 통해 측정하였다. 그리고 외기의 온도 및 습도를 측정하였고 외기의 영향이 일정하게 될 수 있도록 바람 발생기와 2개의 무방향 풍속계를 통해 일정한 풍속(2~3m/s)이 유지 되도록 하였다. Figure 2의 (b)는 실험장치가 설치된 옥상 아래의 실험실에서 일정한 온도로 제어된 순환수를 공급하는 장치와 실험 데이터를 취득 및 저장할 수 있도록 구성된 장치들이다. Figure 2의 (c)는 인공광원을 활용한 실험장치(이하 태양시뮬레이션 챔버)는 기 구축된 규격 MIL-STD-810 Method 505 Solar Radiation의 태양열 복사환경에서의 대상품의 신뢰성을 확인하는 태양열 복사 시험장비(챔버)를 활용하여 자연광의 실험장치와 동일한 구성품을 챔버 내부에 설치하였고 유틸리티 공급 및 데이터 취득 및 저장은 공유하는 것으로 구성하였다.

3. 자연광 실험 결과

PV/T 패널의 성능은 PV패널의 종류, 집열기의 재질과 형식에 따라 좌우되는데 집열기의 경우 최근 가볍고 가공성과 경제성이 뛰어난 기능성 플라스틱 소재에 대한 관심이 높아지고 있다. 이러한 관심은 플라스틱 소재의 장점을 살린 열교환기 개발에도 이어지고 있으며 주로 내부식성이 요구되는 열교환기 소재로 많이 연구되고 있다^[12].

본 연구의 평가에 사용된 PV/T 패널은 폴리머 재질의 집열기가 적용된 제품으로 제조자가 제공한 상세제원은 다음과

Table 1. Main specifications of PV/T panel

No	Item	Specification
1	Panel area	1.68 m ²
2	Panel dimensions (H × W × D)	1.68 × 1.00 × 0.11 m
3	Electric output	275 W
4	Heat output	1,000 W

같다. PV패널 면적은 1.68m^2 이며, 표준시험조건(Standard test condition, STC)에서 PV패널의 전력출력은 275W, 열량출력은 1,000W으로 주요 사양은 Table 1과 같다.

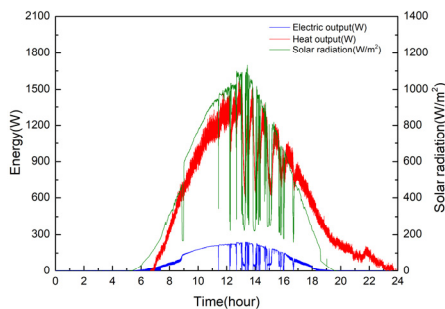
PV/T 패널 출력인 전력은 다음의 식 (1)과 같이 측정된 전압과 전류를 통해 전력량으로 환산할 수 있으며 열량은 식 (2)와 같이 패널에 인입 및 토출되는 순환수의 온도차와 유량을 통해 산출할 수 있다.

$$P = VI \quad (1)$$

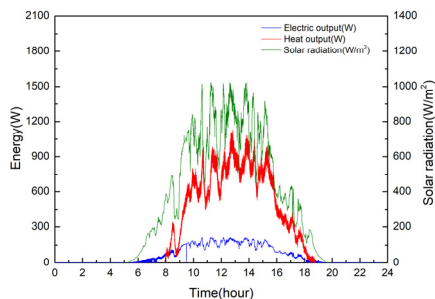
$$Q = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (2)$$

PV/T 패널의 주요 성능지표에 영향을 미치는 제일 중요한 인자는 태양에너지이다. 하지만 자연광을 활용하여 실험을 수행하면 실험자가 임의로 설정 및 조절할 수 없기에 PV/T 패널의 출력(성능)인 전력량(P)과 열량(Q)에 영향을 주는 인자로 순환수 유량과 인입 물온도를 결정하였다.

Figure 3은 자연광을 통해 PV/T 패널의 출력을 측정된 결과로서 해가 뜬 이후부터 출력치가 상승하기 시작하여 11~13시에 일사량이 최고치에 도달하고 안정화되는 경향을 나타내고 있다. 그러나 실험한 수행한 날의 기상조건에



(a) An example of test result



(b) Another example of test result

Fig. 3. Test results of PV/T panel in natural solar test

Table 2. Test results of PV/T panel in natural solar test

No	temperature (°C)	flow rate (kg/s)	electric output (W)	heat output (W)	radiation (W/m ²)
1	17	0.0630	186.0	1,353.5	829.3
2	35	0.0630	163.7	751.6	758.1
3	17	0.0316	168.1	1,000.3	766.7
4	35	0.0630	133.6	615.2	610.8
5	17	0.0316	156.4	927.9	709.0
6	35	0.0316	197.4	522.7	967.6
7	35	0.0316	75.9	155.8	328.5
8	17	0.0630	146.6	1,224.7	651.1

따라 다양한 형태의 결과가 출력된다. 따라서 수행했던 실험의 분석을 위해 날마다 수행한 실험의 결과에서 11~13시 사이에 1초 간격으로 측정된 데이터를 평균하여 산출한 값을 대표값으로 하였다. 그리고 자연광을 사용한 PV/T 패널 실험은 인입 물온도의 2가지 조건과 순환수 유량의 2가지 조건에서 각각 수행하였는데 실험의 유효성을 증가시키기 위해 각 조건별로 2회씩 총 8회를 랜덤하게 수행하였다. 이렇게 수행하고 도출한 실험결과는 Table 2와 같다.

- 출력(Y): 전력량(P) 및 열량(Q)
- 인자(X_i): 순환수 유량(\dot{m}), 인입 물온도(T_i)
- 순환수 유량(\dot{m})의 수준 : (0.0316, 0.0630) kg/s
- 인입 물온도(T_i)의 수준 : (17, 35)

실험을 통해 도출한 전력량 및 열량, 일사량, 유량, 물온도 등의 결과에 대한 통계적인 방법으로 분석하였는데 먼저 출력의 하나인 열량에 대한 결과는 아래와 같다.

- ① Figure 4는 인자인 인입 물온도, 유량, 일사량과 출

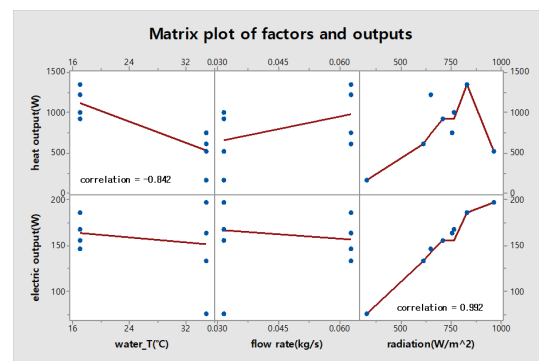


Fig. 4. Correlation plot of outputs in natural solar test

력인 전력량 및 열량의 상관관계를 보여준다. P-value 값이 유의수준(0.05) 보다 작은 일사량과 전력량, 인입 물온도와 열량은 유의한 상관관계가 있고, 일사량과 전력량은 양의 상관관계, 인입 물온도와 열량은 음의 상관관계가 있으며, 나머지 경우는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

- ② Figure 5는 열량에 대한 인자들(인입 물온도, 유량, 일사량)의 표준화된 효과를 보여주는 파레토 차트로 물온도와 유량, 일사량 모두 열량에 유의한 인자이지만 2인자 및 3인자 교호작용은 열량에 유의하지 않는 것으로 나타났다.
- ③ Table 3은 열량에 대한 회귀분석의 결과이며, 인입 물온도, 유량, 일사량의 유의수준이 모두 0.000으로 유의한 인자이고 결정계수(R-sq)가 99% 이상으로 회귀분석으로 도출한 모델식의 유용성이 우수함을 알 수 있다.
- ④ Figure 6은 열량에 대한 인자의 주효과를 보여주는

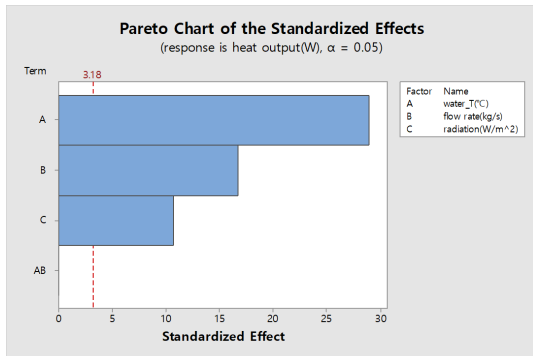


Fig. 5. Pareto chart of the standardized effects in natural solar test

Table 3. Regression analysis of heat output in natural solar test

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	1,066,480	355,493	635.63	0.000
water_T	1	624,221	624,221	1,116.13	0.000
flow rate	1	207,789	207,789	371.53	0.000
radiation	1	85,472	85,472	152.83	0.000
Error	4	2,237	559		
Total	7	1,068,717			

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
23,649	99.79%	99.63%	98.91%

것으로 인입 물온도가 낮을 때, 유량이 많을 때, 일사량이 높을 때에 열량값이 높음을 보여준다.

- ⑤ 출력인 열량과 인자인 물온도 및 유량, 일사량의 회귀 분석을 통해 도출한 모델식은 식 (3)과 같다.

$$Q = 731.8 - 31.734 T_i + 10298 \dot{m} + 0.6054 G \quad (3)$$

전력량에 대한 통계적인 분석의 결과는 열량과 조금 다르게 분석되었는데 전력량에 대한 인자들의 유의수준은 인입 물온도 0.007, 유량 0.042, 일사량 0.000 등으로 3인자 모두 유의한 인자이지만 일사량이 전력량에 가장 유의한 인자이기에 일사량에 따라 거의 전력량 값이 결정됨을 알 수 있다. 그리고 열량과 동일하게 전력량 모델식의 R-sq 통계량이 99% 이상으로 회귀분석이 유용함을 보여주고 있다. 출력인 전력량과 인자인 물온도 및 유량, 일사량의 회귀 분석을 통해 도출한 모델식은 식 (4)와 같다.

$$P = 22.28 - 0.4208 T_i + 136.7 \dot{m} + 0.19308 G \quad (4)$$

PV/T 패널의 출력인 열량 및 전력량에 대한 통계적인 회귀분석으로 도출한 모델식인 식 (3)과 식 (4)를 통해 다른 조건(물온도, 유량, 일사량)에 대한 전력량과 열량을 예측할 수 있다. 모델식을 통한 예측값과 실제 실험에서 측정된 결과값을 비교한 것이 Table 4와 같다. 3가지 조건에 대해 열량 예측값과 실제 측정값의 차이는 일사량이 565.8W로 비교적 낮은 경우는 12.7%으로 크지만 일사량이 700W 이상인 조건은 3% 정도로 잘 맞는 것을 알 수 있다. 이는 PV/T 패널의 열량 출력이 기상조건에 따른 대기 온도 등의

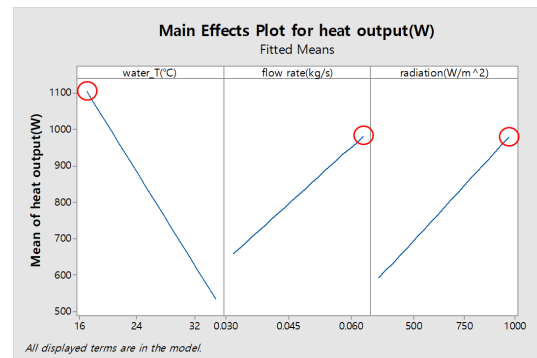


Fig. 6. Main effects plot for heat output in natural solar test

Table 4. The results of predicted and measured outputs in natural solar test

condition	predicted by regression equation		actual measured		different	
	heat output	electric output	heat output	electric output	heat output	electric output
25.0°C, 0.0316 kg/s, 565.8 W/m ²	606.4 W	125.3 W	694.5 W	128.3 W	12.7%	2.3%
25.0°C, 0.0630 kg/s, 747.3 W/m ²	1,039.6 W	164.7 W	1,072.4 W	164.1 W	3.1%	0.4%
25.0°C, 0.0630 kg/s, 912.2 W/m ²	1,139.5 W	196.5 W	1,108.9 W	198.8 W	2.8%	1.2%

Table 5. Regression analysis of electric output in natural solar test

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	9,757.69	3,252.56	776.96	0.000
water_T	1	109.73	109.73	26.21	0.007
flow rate	1	36.59	36.59	8.74	0.042
radiation	1	8,693.61	8,693.61	2,076.69	0.000
Error	4	16.75	4.19		
Total	7	9,774.44			

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
2.046 04	99.83%	99.70%	99.04%

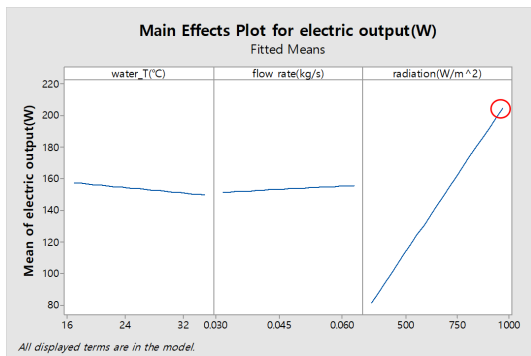


Fig. 7. Main effects plot for electric output in natural solar test

영향을 받은 것으로 판단된다. 그렇지만 일사량에 절대적인 영향을 받는 전력량은 비교적 모델식으로 예측한 값과 실제 실험에서 측정된 값이 잘 맞았다.

4. 인공광원 실험 결과

태양시뮬레이션 챔버는 환경시험을 위한 챔버 형태로 수은 램프 112개와 할로겐램프 32개로 총 144개의 램프가 Figure 8과 같이 배치되어 있고, 챔버 내부에 PV/T 패널을 광원인

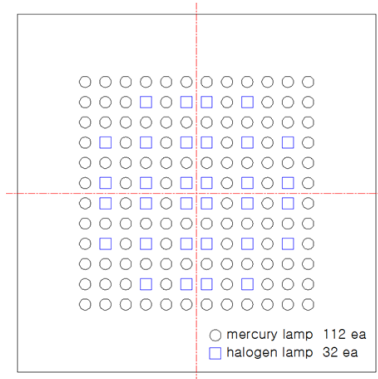


Fig. 8. Lamp layout of the solar simulation chamber

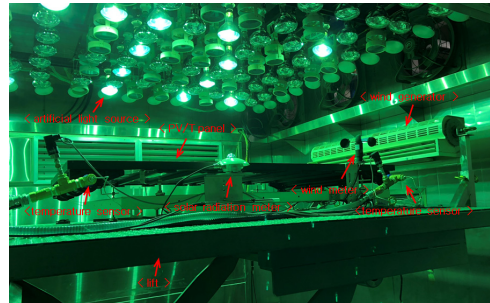
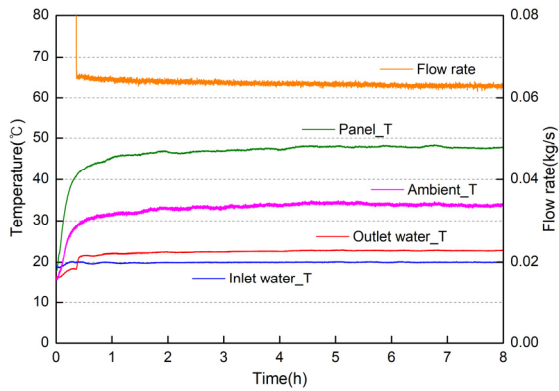


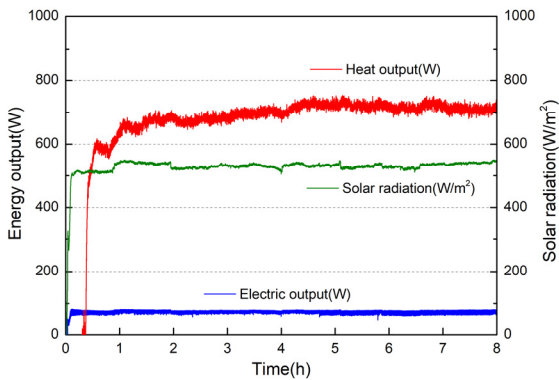
Fig. 9. Test of the PV/T panel in the chamber

램프와 경사각 없이 평행하게 설치하였고 고정된 램프를 기준으로 하여 설치된 PV/T 패널을 상하로 움직이는 리프트를 통해 거리를 조정할 수 있도록 하여 일사량을 조정하였다. Figure 9는 태양시뮬레이션 챔버 내부에 설치된 PV/T 패널의 실험장치으로써 실험용 PV/T 패널과 바람 발생기, 풍속계, 온도 및 압력 센서, 일사량 등으로 구성되었다.

Figure 10은 태양시뮬레이션 챔버를 통한 실험결과의 한 예이다. 3장 자연광 실험의 결과와 다르게 실험장치 작동 1시간 이후부터 일정하게 조건이 유지되는 것을 알 수 있다. 이에 일사량과 열량 출력, 전력 출력이 안정화된 2시간 동안의 평균값을 대표값으로 결정하였다. 실험조건은 인입 물온도의 2가지 조건과 순환수 유량의 2가지 조건, 일사



(a) Conditions of temperatures and flow rate



(b) Outputs and solar radiation

Fig. 10. Test results of PV/T panel in solar simulation chamber

Table 6. Test results of PV/T panel in solar simulation chamber

No	temperature (°C)	flow rate (kg/s)	electric output (W)	heat output (W)	radiation (W/m ²)
1	33	0.0316	97.6	670.2	903.7
2	20	0.0630	101.5	1,243.3	920.8
3	33	0.0316	68.0	351.8	540.3
4	20	0.0316	101.4	1,114.0	916.1
5	20	0.0630	71.6	720.1	529.4
6	20	0.0630	75.6	714.3	517.7
7	33	0.0630	71.3	357.1	536.2
8	33	0.0630	100.1	696.1	931.4
9	20	0.0630	99.8	1,123.0	899.0
10	33	0.0630	95.1	677.3	898.1
11	33	0.0630	70.2	406.2	536.3
12	20	0.0316	98.8	1,030.6	884.5
13	33	0.0316	95.5	628.9	888.0
14	20	0.0316	71.2	697.6	531.4
15	20	0.0316	67.1	652.3	528.0
16	33	0.0316	70.7	228.5	524.7

량의 2가지 조건을 각 2회씩 2번 반복하는 것으로 총 16회를 랜덤하게 수행하였다. 이렇게 수행하고 도출한 실험결과는 Table 6과 같다.

자연광 실험과 동일하게 도출한 전력량 및 열량, 일사량, 유량, 물온도 등의 결과에 대해 통계적인 방법으로 분석한 결과는 다음과 같다.

- ① 먼저 Figure 11은 인입 물온도, 유량, 일사량 등에 대해 출력인 전력량 및 열량에 대한 상관관계는 보여주는 것으로 P-value 값이 유의수준(0.05) 보다 작은 관계는 일사량과 전력량, 일사량과 열량의 경우로 양의 상관관계가 있고, 인입 물온도와 열량은 음의 상관관계가 있지만 나머지 경우는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.
- ② Table 7은 열량에 대한 회귀분석의 결과이며 각각의 인자 인입 물온도, 유량, 일사량의 유의수준이 0.05 이하로 유의한 인자이고 자연광 실험과 비교하면 유

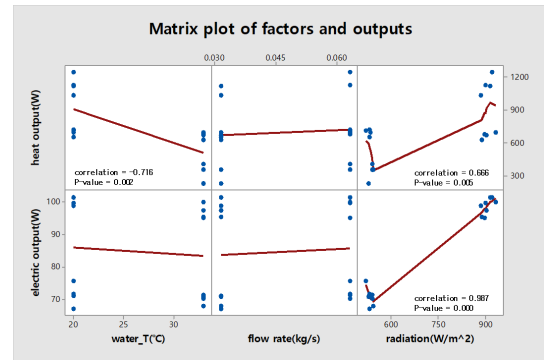


Fig. 11. Correlation plot of outputs in solar simulation chamber

Table 7. Regression analysis of heat output in solar simulation chamber

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	3,176.16	1,058.72	249.24	0.000
water_T	1	27.33	27.33	6.43	0.026
flow rate	1	7.26	7.26	1.71	0.216
radiation	1	3,141.19	3,141.19	739.49	0.000
Error	12	50.97	4.25		
Total	15	3,227.14			

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
2,061.01	98.42%	98.03%	97.18%

량에 대한 효과는 감소하고 일사량에 대한 효과는 증가하였고, 결정계수는 99% 이상으로 회귀분석으로 도출한 모델식의 유용함이 우수함을 알 수 있다.

- ③ Figure 12는 열량에 대한 인자의 주효과를 보여주는 것으로 인입 물온도가 낮을 때, 유량이 많을 때, 일사량이 높을 때에 열량값이 높음을 보여주며 유량에 대한 효과는 조금 미미한 것을 알 수 있다.
- ④ 출력인 열량과 인자인 물온도 및 유량, 일사량의 회귀분석을 통해 도출한 모델식은 식 (5)와 같다.

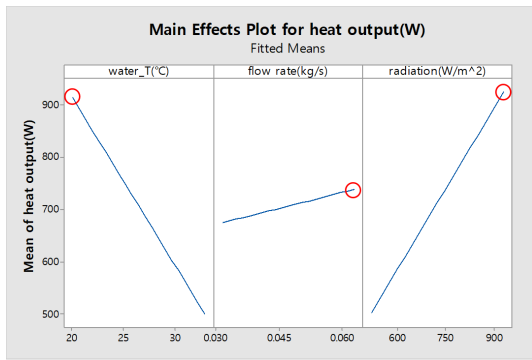


Fig. 12. Main effects plot for heat output in solar simulation chamber

Table 8. Regression analysis of electric output in solar simulation chamber

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	3	1,283,788	427,929	189.36	0.000
water_T	1	685,344	685,334	303.26	0.00
flow rate	1	16,251	16,251	7.19	0.020
radiation	1	591,889	591,889	261.91	0.000
Error	12	27,119	2,260		
Total	15	1,310,907			

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
47.5384	97.93%	97.41%	96.29%

$$Q = 719.1 - 31.84 T_i + 2030m + 1.0248G \quad (5)$$

- ⑤ Table 8은 전력량에 대한 회귀분석의 결과이며 전력량에 대한 인자들의 유의수준은 인입 물온도 0.026, 유량 0.216, 일사량 0.000이고 자연광 실험과 동일하게 일사량이 전력량에 가장 유의한 인자이기에 일사량에 따라 전력량 값이 거의 결정된다.
- ⑥ 출력인 전력량과 인자인 물온도 및 유량, 일사량의 회귀분석을 통해 도출한 모델식은 식 (6)과 같다.

$$P = 34.43 - 0.2011 T_i + 42.9m + 0.07466G \quad (6)$$

PV/T 패널의 열량 및 전력량 출력에 대한 통계적인 회귀분석으로 도출한 관계식인 식 (5)와 식 (6)을 통해 다른 조건에 대한 예측한 결과와 실제 실험에서 측정된 결과는 Table 9와 같다. 열량의 경우 예측값과 실제 측정값의 차이는 1.7~7.9%로 비교적 컷지만 전력량의 경우 차이는 1.3~2.4%로 잘 맞았다.

자연광 및 인공광원에서의 성능 측정 결과에서 알 수 있듯이 PV/T 패널의 전력량 출력 효율이 자연광 실험의 경우

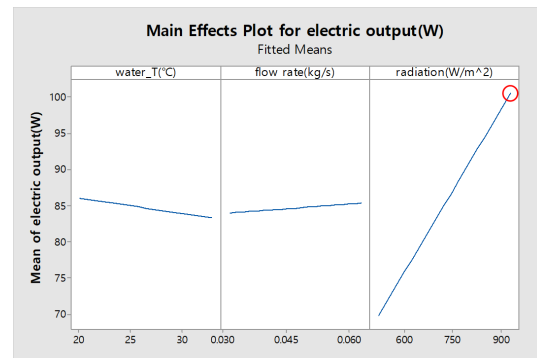


Fig. 13. Main effects plot for electric output in solar simulation chamber

Table 9. The results of predicted and measured outputs in solar simulation chamber

condition	predicted by regression equation		actual measured		different	
	heat output	electric output	heat output	electric output	heat output	electric output
20.0°C, 0.0316 kg/s, 666.9 W/m ²	829.8 W	81.6 W	901.1 W	85.7 W	7.9%	1.3%
20.0°C, 0.0500 kg/s, 697.8 W/m ²	898.9 W	84.6 W	929.9 W	86.7 W	3.3%	2.4%
20.0°C, 0.0435 kg/s, 603.2 W/m ²	788.7 W	77.3 W	802.3 W	78.4 W	1.7%	1.4%

가 인공광원 실험의 경우 보다 높고, 반대로 열량 출력 효율은 인공광원 실험의 경우가 자연광 실험의 경우 보다 높다. 그 이유는 먼저 인공광원을 활용하는 실험에 사용된 장치가 PV/T 패널의 성능을 측정을 위해 구축된 전용 장치가 아니고 다양한 기계류 부품들의 태양에 노출된 환경에서 그 내성을 평가하는 장치를 활용하여 수행하였기에 인공광원 자체가 자연 태양광을 완벽하게 묘사하지 못하는 등의 실험 환경 구현에 차이가 있었다. 이러한 것이 실험의 결과에서 다소 차이를 발생하게 하였고 결과를 회귀분석하여 도출한 모델식에서도 차이를 발생하게 하였다.

5. 결론

신재생에너지의 확대 적용에 따라 태양광 및 태양열 에너지를 동시에 사용할 수 있는 PV/T 패널에 대한 성능 검증도 이루어져야 한다. 이에 본 연구에서는 실험의 에너지원으로 자연광 및 인공광원을 사용하고 여러 가지의 인입 물 온도 및 유량, 일사량 조건에 따라 결정되는 PV/T 패널의 출력 성능을 확인하였다. 그리고 PV/T 패널의 성능 분석에 통계적인 분석기법을 활용하여 최소한의 실험으로 일사량, 인입 물온도, 유량 등 인자들의 유의성과 상관관계를 확인할 수 있었다. 실험에서 PV/T 패널의 전력량 출력은 일사량에 절대적인 영향을 받으며 인입 물온도 및 유량에는 크게 영향이 없는 것으로 확인되었는데 이는 수행했던 실험의 인입 물온도 및 유량의 조건이 PV/T 패널의 전력량 출력을 저하하는 조건이 없었기 때문인 것으로 판단된다. PV/T 패널의 열량 출력은 일사량 및 인입 물온도, 유량 등의 조건에 따라 결정되는 것을 확인하였다. 일사량이 높고 인입 물온도가 낮고 유량이 많을 때 열량 출력이 증가하는 것을 확인하였다. 통계적인 회귀분석 기법을 통해 PV/T 패널의 주요 성능지표인 전력량과 열량을 계산할 수 있는 모델식을 도출하였고 도출한 모델식으로 예측한 값과 실제 실험값을 비교하였는데 비교적 잘 맞는 것을 확인하였기에 도출한 모델식은 다양한 조건에서 실험을 일부 대신할 수 있고 경제적으로 평가 비용 등을 절감할 수 있다. 그리고 성능에 대한 예측이 가능하기에 현실 조건을 반영한 PV/T 패널의 최적 사용 환경을 결정하는데 활용할 수 있습니다.

차후 연구에서는 입력 인자를 대기 온도 및 습도, 패널 온도, 풍속 등으로 확대하여 모델식의 정확도를 더욱 향상시키고자 한다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술평가원의 신재생에너지핵심기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] Park, T.K., Chang, M.S., Eom, H.Y. and Lee, K.C., 2017, "Performance analysis of solar photovoltaic and thermal collector panel using design of experiments", Proc. of the KSME Spring Conference, 2840-2843.
- [2] Shukla, R., Sumathy, K., Erickson, P., Gong, J., 2013, "Recent advances in the solar water heating systems: A review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, **19**, 173-190.
- [3] Tripanagnostopoulos, Y., Nousia, TH., Souliotis, M. and Yianoulis P., 2002, "Hybrid photovoltaic/thermal solar system", Solar Energy, **72**(3), 217-234.
- [4] 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, **1**(2), 15-21.
- [5] Euh, S.H., Lee, J.B., Choi, Y.S. and Kim, D.H., 2012, "The performance and efficiency analysis of a PVT system compared with a PV module and a solar collector", Journal of the Korean Solar Energy Society, **32**(2), 1-10.
- [6] Fan, J., Seng, T.P., Hua, G.L., On, L.K. and Loh K., 2016, "Design and thermal performance test of a solar photovoltaic/thermal (PV/T) collector", Journal of Clean Energy Technologies, **4**(6), 435-439.
- [7] Kim, Y.H. and Shim, K.S., 2013, "Efficiency computation and failure detection of solar power generation panels", Journal of KIISE : Computer Systems and Theory, **40**(1), 1-7.
- [8] Chow, T. T., He, W. and Ji, J., 2005, "Hybrid photovoltaic-

- thermosyphon water heating system for residential application”, *Solar Energy*, **80**(3), 298-306.
- [9] Lee, K.S., Lee, E.J. and Kang E.C., 2016, “Experimental study on the PVT inlet water temperature dependant power efficiency characteristics”, *New. Renew. Energy*, **12**(3), 31-35.
- [10] ISO, 2017, “Solar energy -- Solar thermal collectors -- Test methods”, ISO 9806
- [11] IEC, 2008, “Thin-film terrestrial photovoltaic (PV) modules – Design qualification and type approval”, IEC 61646
- [12] T’Joel, C., Park, Y., Wang, Q., Sommers, A., Han, X. and Jacobi, A., 2009, “A review on polymer heat exchangers for HVAC&R applications”, *International Journal of Refrigeration*, **32**(5), 763-779.