



외기 및 순환수 온도조건을 고려한 PVT-water 시스템의 성능실험

Performance test of PVT-water system considering ambient air and circulating water temperature

정용대* · 남유진**

Jeong, Yong-Dae* · Nam, Yujin**

* Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ. South Korea

** Corresponding author, Dept. of Architectural Engineering, Pusan National Univ. South Korea (namyujin@pusan.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: Photovoltaic system is a technique for producing electrical power by utilizing solar energy, which can be used over 20 years with simple maintenance. However, in the case of photovoltaic systems, the energy conversion efficiency decreases as the surface temperature of module increases, compared with other renewable energy technologies. In this regard, PVT module can increase the energy utilization of a composite module as producing heat and electricity simultaneously by using solar energy. Currently, many researches have been promoting in order to develop a high efficiency PVT module in Korea. However, there are a few studies about the performance of the modules corresponding the shape of types and various heat exchangers of the PVT module. In this study, the electrical performance was measured by the change of the ambient temperature and the circulating water temperature using the fabricated PVT module. **Method:** Experiments were performed using a solar simulator. And this experiment was assumed that the weather condition was in each season, as winter, spring, autumn and summer. It was identified that the I-V curve associated with the change of the experimental conditions and confirmed the change in the electrical characteristics. **Result:** As a result, it was figured out that the surface temperature and the electrical performance changes in case conditions. The electrical performance was calculated in different temperature condition and the power production was confirmed by the change of module temperature.

KEYWORD

태양광
태양광/열 시스템
성능실험

Photovoltaic
Photovoltaic/Thermal system
Performance Test

ACCEPTANCE INFO

Received August 10, 2015
Final revision received September 7, 2015
Accepted September 9, 2015

© 2015 KIEAE Journal

1. 서론

전 세계적으로 고유가 문제 및 환경문제에 대처하기 위해 신재생에너지 이용이 각 분야에서 활발히 이루어지고 있다. 신재생에너지는 정책, 산업, 시장의 성장과 함께 지속적으로 발전하고 있으며, 2004년부터 2013년까지 연평균 20%의 성장률을 보이고 있다. 태양광 발전은 태양광을 이용하여 전력을 생산하는 발전기술로 활발히 이용되고 있으며 세계 태양광 발전시장은 연간 빠른 성장률로 증가하고 있는 추세이다. 2000년대 이후 태양광 발전 총 누적 설치용량을 보면 2004년 약 4.0GW에서 2013년에 약 139GW로 대폭 증가하였다. 이중 2011년과 2012년의 설치용량은 각각 29.7GW, 39GW로 이전의 누적 설치용량을 능가하는 것으로 나타났다.^[1] 각 선진국에서는 자국의 전력생산 비중에서 신재생에너지를 이용한 발전비중을 증가시키고 있는 추세이며, 태양에너지를 이용하는 고성능·고효율의 시스템 개발을 위한 연구들도 이러한 시장의 성장 및 관심의 증가와 함께 지속적으로 진행되고 있다.

그러나 태양광 발전시스템 타 신재생에너지원과 비교하여 에너지 변환 효율이 적기 때문에 넓은 설치면적이 필요하고, 태양전지의 수요가 증가함에 따라 단가가 상승하여 초기투자비가 증가하는 단점을 가지고 있다. 또한 태양전지 모듈은 모듈의 온도가 1°C 상승함에 따라 0.5%의 효율이 감소하기 때문에 모듈의 효율증진을 위해서는 온도를 낮춰줘야 한다. 이러한 태양광 모듈의 단점을 해결하기 위해 태양광 모듈의 뒷면에 열교환기를 부착하여 단위면적 당 에너지 이용효율을 증가시킨 태양광열(Photovoltaic/thermal, PVT) 시스템이 많은 관심을 받고 있다. PVT시스템은 태양에너지의 변환효율을 증대시키고 태양에너지를 이용하여 전기 및 열을 동시에 생산할 수 있다. PVT모듈의 경우 태양전지의 표면온도 감소를 통해 효율 및 에너지 이용효율이 개선되며 단위면적 당 에너지 생산량이 크기 때문에 초기투자비 및 설치면적이 줄어들게 된다.^[2~3]

PVT시스템에 대한 선행된 연구들을 보면, 1978년 Kren과 Russell은 기존의 태양광 모듈과 태양열 집열기를 결합한 새로운 하이브리드 시스템을 제시하였다.^[4] 이후 신·재생에너지에 대한 관심이 증가하면서 PVT시스템의 성능을 증가시키기 위한 여러 연구들이 진행되었으며, Y. Tripanagnostopoulos at al.은 PVT시스템의 열매체 및 유리커버의 유무에 따른 4가지의 기본

실험모델을 제안하고 각 타입의 전기 및 열 성능을 나타내었으며 [5], Zandag H.A at al. 은 PVT모듈 전기 효율 및 열 효율이 각각 태양광 모듈 및 태양열 집열기와 비교하면 저조하지만 복합적으로 에너지를 이용하기 때문에 단위면적 당 에너지 이용효율이 높은 것을 발표하였다. 또한 다양한 설계 디자인을 통해 효율변화를 측정함으로써 고효율의 모듈제작을 위한 대안을 제시하였다. [6] 최근에는 열교환기의 형상에 따른 모듈의 성능향상을 위한 실험적 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

국내에서는 최정식 등이 BIPV 모듈의 성능향상을 위해 수냉식 냉각시스템을 적용한 PVT복합모듈의 제작을 통해 모듈 후면의 온도하강이 모듈의 발전효율 및 출력전압에 미치는 영향을 확인하였다. [7] 김진희 등은 튜브 타입과 일체형 타입의 흡열판을 부착한 액체식 Unglazed PVT모듈을 제작하여 성능실험을 수행하고 열효율 및 전기효율을 분석하였다. 기존 PV모듈의 전기성능시험을 동시에 수행하여, 열손실이 없는 최대 열효율 계수는 70%로 나타났고 외기조건에 따라 열효율 감소에 많은 영향을 받는 것을 확인하였다. 또한 김진희 등은 튜브타입의 PVT모듈을 각각 Glazed와 Unglazed형으로 제작하여 유리커버의 유무에 따른 성능실험을 통해 효율을 분석하였으며, Glazed PVT가 높은 열효율을 갖기 때문에 열성능 및 전기성능을 통합한 전체 효율이 높은 것을 확인하였다. [8~10]

선행된 연구를 통해 기존 태양광 및 태양열 시스템과 비교하여 PVT시스템의 도입이 에너지 효율의 향상에 이점을 가져올 것을 확인하였지만, PVT시스템의 최적화 및 제품의 상용화를 위해서는 다양한 형태의 PVT모듈 제작을 통한 성능실험이 이루어져야 하며, 운전방법등에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

본 연구에서는 PVT시스템과 지열시스템을 융합한 하이브리드 시스템인 Geo-PVT시스템의 개발을 목적으로 Unglazed 액체식 PVT모듈을 시제작하고 솔라 시뮬레이터를 이용한 성능실험을 실시하였다. 성능실험은 일정한 양의 빛이 조사되는 조건에서 주변온도 및 순환수 온도변화를 통해 성능변화를 파악하였다. 또한 실험결과와의 비교를 위해 시스템 성능 예측식을 이용한 시뮬레이션을 실시하여 그 결과를 실험결과와 비교 검토하였다.

2. PVT 복합모듈

태양전지의 발전원리를 보면 태양전지는 p-type의 반도체와 n-type의 반도체를 접합시킨 P-N 접합 다이오드 형태이다. 태양광이 입사된 태양전지는 광전류(I_{ph})를 생산하게 되고, 태양전지의 전류(I)는 생성된 광전류에서 다이오드에 걸리는 전류(I_D)와 병렬저항에 걸리는 전류를 제외한 전류(I_{sh})와 같다.

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh}$$

$$I_d = I_s \left[\exp \frac{q(V + I \times R_s)}{n \times k \times T} \right]$$

$$I_{sh} = \frac{V + I \times R_s}{R_{sh}}$$

- q : 전하량(1.6×10^{-19}) [C]
- R_s : 직렬저항 [Ω]
- R_{sh} : 병렬저항 [Ω]
- k : 볼츠만상수(1.38×10^{-23}) [J/K]
- n : 다이오드지수

여기서 태양전지 이상조건에서의 단락전류 및 개방전압을 구하면 다음과 같다.

$$I_{sc} = I_{ph} \quad (\because V = 0)$$

$$V_{oc} = \left(\frac{n \times k \times T}{q} \right) \times \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_s} + 1 \right) \quad (\because I = 0)$$

$$I = I_{ph} - I_s \left[\exp \frac{q(V + I \times R_s)}{n \times k \times T} - 1 \right]$$

태양전지의 온도특성을 보면 개방전압은 20~100°C의 구간 사이에서 $2mV \cdot C^{-1}$ 씩 감소하게 되고 광전류는 온도가 상승함에 따라 $0.1\% \cdot C^{-1}$ 씩 증가하게 된다. 이에 따라 최대전력은 $0.35\% \cdot C^{-1}$ 감소되며, 최대효율은 지수 함수적으로 감소된다. [11] 즉 온도가 높아질수록 태양전지의 단락전류는 증가하지만 개방전압이 상대적으로 크게 감소하여 태양전지의 발전효율이 감소하게 된다.

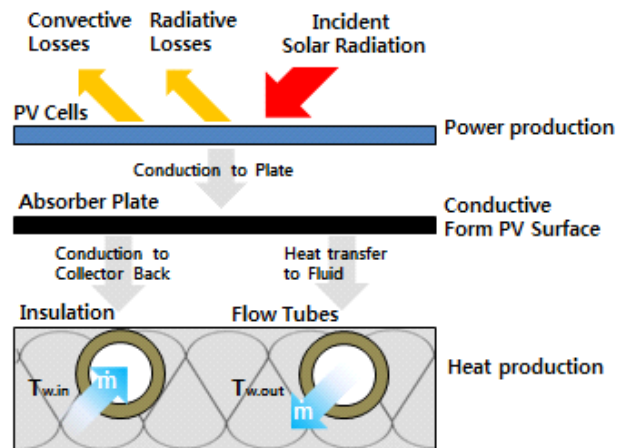


Fig. 1. PVT module definition

PVT모듈은 높은 일사량과 주변온도 등의 영향을 받아 모듈 표면의 온도가 상승하게 되면 PV모듈의 후면에 부착된 흡열판 및 열교환기에 의해 열이 회수되어 PV모듈은 냉각되기 때문에 표면온도가 감소하게 된다. 이로 인해 전기효율이 개선되고 회수한 열을 사용할 수 있어 에너지 이용효율이 증가한다. [12]

PVT모듈은 모듈 표면 전면부에 유리커버의 유무에 따라 Glazed 형과 Unglazed 형으로 구분되며, 사용하는 열매체의 종류에 따라 공기식과 액체식으로 구분된다. 모듈 전면부의 유리커버는 입사하는 일사량의 손실을 줄여 열 생산량을 높여주는 장

점이 있지만 PV모듈의 전기성능이 낮아지는 단점이 있다. 본 연구에서 실험을 위해 제작된 PVT모듈은 지열시스템과의 연계를 목적으로 개발하였으며, 시스템 운전을 위한 전력생산량 증대시키고, PVT모듈을 여름철 야간에 지중열의 방열 용도로 사용하기 위한 가능성 등을 고려하기 위해 Unglzaed 형태의 액체식 PVT를 제작하였다.

3. 연구방법

3.1. 실험개요

태양전지의 성능측정은 일반적으로 IEC규정에 명시된 태양전지의 성능평가 규정에 따라 표준시험조건(Standard test condition, STC)인 1000W/m²의 일사량, AM 1.5기준의 스펙트럼, 태양전지 온도 25°C에서 진행된다. 본 실험에서는 표준시험 조건에서의 시험성적을 바탕으로 주변온도 및 순환수 온도의 변화에 따른 전기성능 변화를 측정하기 위해 솔라 시뮬레이터를 이용하여 고정된 양의 조사강도를 유지하고, 주변온도 및 순환수 입구온도의 변화에 따른 전류-전압 성능변화를 측정하였다. 태양광 모듈의 전류-전압 특성곡선은 일사량 및 온도의 영향에 따라 비선형성을 가지며, 전류-전압곡선의 측정을 통해 태양전지의 단락전류(I_{sc}), 개방전압(V_{oc}), 최대출력(P_m), 충전률(F.F.) 등을 확인하였고, 출구온도를 측정하여 획득 열량을 확인하였다.

실험의 진행은 시제작된 PVT모듈을 이용하여 충청북도 테크노파크에 위치한 태양광기술센터에서 실험을 진행하였다. 실험 조건은 항온-항습의 챔버 내에서 1000W/m²의 고정된 일사량을 조사하고 챔버의 내부온도를 각 계절인 겨울, 봄, 가을, 겨울로 가정하여 5°C, 20°C, 35°C로 변화시키고 순환수온도를 실험조건 변화에 따라 5~20°C로 설정하면서 실험을 진행하였다. 실험에 사용한 모듈의 PV 제품 공칭규격 및 사양은 다음과 같다.

Table. 1. Photovoltaic module electrical characteristic

STC Nominal maximum output power(P _{max})	250 W
Open circuit voltage (V _{oc})	36.78 V
Short circuit current (I _{sc})	8.93 A
Nominal maximum output voltage (V _{max})	30.46 V
Nominal maximum output current (I _{max})	8.21 A
Maximum system voltage (V)	1000 V
Module size (mm)	1644 × 992 × 40
Module conversion efficiency	15.33 %
Cell type	Single crystal

제작된 PVT 모듈의 구성으로는 PV모듈 뒷면의 흡열판은 알루미늄판을 이용하였으며 열교환 파이프는 동관을 이용하여 제작하였다. 열교환을 위한 파이프는 2개의 주관과 14개의 지관으로 구성되어 있으며, 주관의 길이는 99.2cm로 직경 10mm, 지관은 135.2cm길이에 직경 8mm의 관을 사용하였다. 열교환기의 배관 형상 설계 및 제작사진은 그림과 같다. PVT모듈의 후면부에는 알루미늄 열반사 단열재를 이용하여 마감하였다.

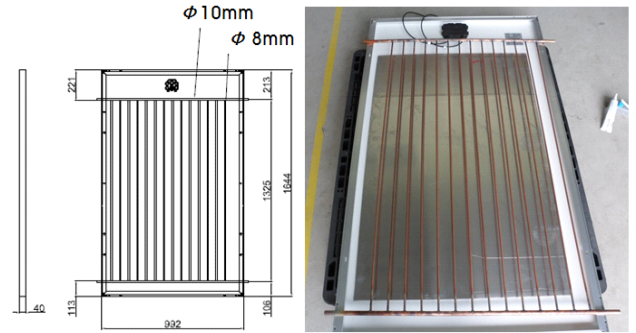


Fig. 2. Heat exchanger piping design

실험에서 사용한 항온항습 챔버는 ALISTA사에서 제작한 AL SEC4100을 이용하였으며, 광원으로는 발광스펙트럼을 조정 가능한 Metal halide lamp(Uniformity Class B)를 이용한 인공광원을 조사하였다. 전류-전압 성능의 측정에는 DS-100c I-V Curver tracer를 이용하였다. 모듈 표면온도의 측정은 모듈의 상단부, 중앙부, 하단부의 중앙에 열전대 온도계를 이용하여 측정하였으며, Graphtec사의 GL820 Data logger를 이용하여 데이터를 기록하였다.

순환수의 온도 설정은 항온수조를 이용하여 일정온도의 순환수가 PVT모듈로 유입될 수 있도록 설정하였고, 순환수의 유량 설정은 지열시스템과의 연계를 목적으로 지열시스템의 유량 및 평균생산열량을 고려하여 향후 두 시스템이 호환이 된다는 가정하에 5LPM으로 설정하였다.

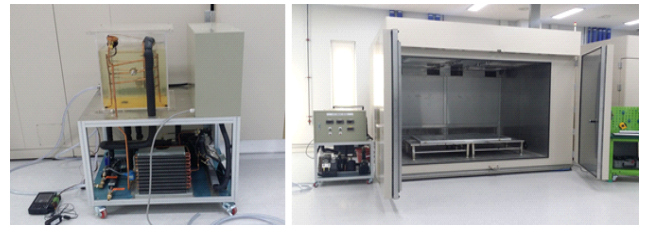


Fig. 3. Constant temperature water tank and thermohygrostat

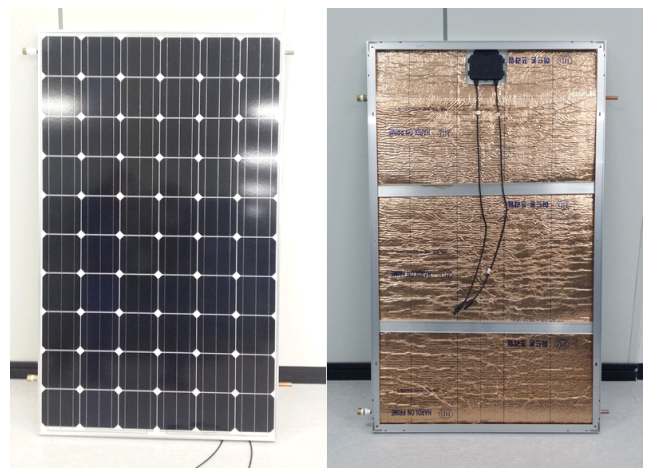


Fig. 4. PVT module for experiment

Table 2. Experimental condition

	Chamber Temperature (°C)	Inlet temperature (°C)	Solar radiation (W/m ²)
Case 1-1	5	5	1000
Case 1-2		10	
Case 1-3		15	
Case 2-1	20	10	
Case 2-2		15	
Case 2-3		20	
Case 3-1	35	10	
Case 3-2		15	
Case 3-3		20	

3.2. 시뮬레이션 개요

시스템의 성능예측식을 이용하여 산출한 결과를 실험결과와 비교분석 하기 위해 시뮬레이션을 이용한 모델링을 실시하였다. 시뮬레이션 툴은 TRNSYS17 프로그램을 이용하였으며, 실험조건과 동일하도록 일사조건, 외기조건, 순환수 온도 등을 설정하였다. 시뮬레이션에서 사용한 PVT모듈은 Unglazed형의 PVT모듈을 사용하였으며 시스템 설정 조건은 다음과 같다.

Table 3. PVT module design parameters in TRNSYS 17

Component	Description	Value
PVT collector	Collector length	1.644 m
	Collector width	0.992 m
	Absorber plate thickness	0.003 m
	Thermal conductivity of the absorber	238 W/mK
	Number of tubes	14
	Tube diameter	8mm
	PV efficiency at reference condition	15.33%

시뮬레이션을 통해 PVT모듈의 전력생산량 및 모듈 표면온도 등을 산출하였으며, 컴포넌트 내부에서 산출되는 생산전력량은 입사하는 일사량의 강도에 PV모듈의 전기효율을 곱하여 구할 수 있다.

Table 4. Experiment result

	Chamber set Temperature (°C)	Circulating set Temperature (°C)	inlet Temperature (°C)	Outlet Temperature (°C)	Power (W)	Isc (A)	Voc (V)	Ipeak (A)	Vpeak (V)	Fill Factor (%)
Case 1-1	5	5	5.9	6.2	225.4	8.2	36.6	7.7	29.3	74.8
Case 1-2		10	11.2	11.4	225.5	8.4	36.4	7.8	29.0	73.8
Case 1-3		15	16.1	16.4	227.0	8.4	36.4	7.9	29.2	73.8
Case 2-1	20	10	11.3	12.2	215.3	8.5	34.9	7.9	27.3	72.1
Case 2-2		15	16.0	16.8	214.3	8.5	34.9	7.8	27.5	71.9
Case 2-3		20	21.0	21.4	213.4	8.5	34.8	7.9	27.2	71.9
Case 3-1	35	10	11.7	13.6	204.1	8.6	33.7	7.8	26.0	70.4
Case 3-2		15	16.1	17.9	203.8	8.6	33.6	7.9	25.9	70.2
Case 3-3		20	20.8	22.2	202.7	8.6	33.5	7.9	25.8	70.1

$$Power = (\tau\alpha)_n IAM G_T Area \eta_{pv}$$

- τ : 유리커버 투과율
- α : 입사각에 따른 PV모듈의 흡수율
- GT : 모듈 표면의 총일사량
- IAM : 입사각 수정계수
- η_{pv} : PV모듈의 전기효율

여기서 PV모듈의 전기효율(η_{pv})은 입력한 전기효율 수치와 온도 및 입사하는 일사량에 따른 효율계수를 고려하여 구할 수 있으며, 다음과 같은 식을 통해 나타낼 수 있다.

$$\eta_{pv} = \eta_{nominal} X_{Cell Temp} X_{Radiation}$$

$$X_{Cell Temp} = 1 + Eff_T(T_{PV} - T_{ref})$$

$$X_{Radiation} = 1 + Eff_G(G_T - G_{ref})$$

이후 PVT모듈의 표면에 입사한 일사량 중 전력생산을 위해 사용한 양과 손실된 양을 제외한 태양에너지가 모듈의 흡열판으로 전달되며, 이 흡열판의 흡수열량(S)을 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다. 또한 흡열판의 흡수열량 및 주변과의 열손실을(U_L), PVT모듈의 열교환기 효율계수(F_R) 등을 고려하여 PVT모듈의 콜렉터에서 생산하는 취득열량(Q_u)을 구할 수 있다.

$$S = (\tau\alpha)_n IAM G_T (1 - \eta_{PV})$$

$$Q_u = Area F_R [S - U_L (T_{fluid, \in} - T_{amb})]$$

4. 연구결과

실험데이터의 결과는 전류-전압 측정기를 이용하여 동일 조건에서 3회를 측정 후 그 평균 수치를 나타내었다. 실험의 결과는 Table.4에 나타내었으며, 각 Case의 조건에 따른 PVT모듈의 표면온도는 Fig. 5와 같이 나타났다.

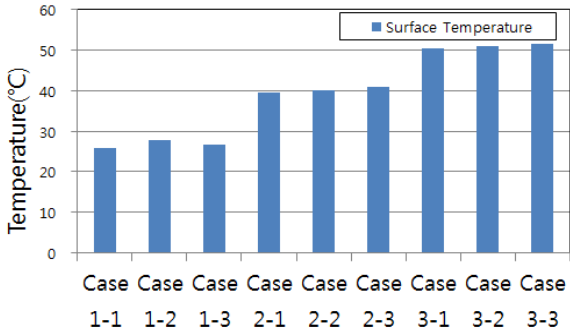


Fig. 5. Experiment result (Surface temperature of PVT module).

조건에 따른 주변온도 및 순환수 온도의 변화에 따라 모듈의 표면온도가 변화하는 것을 확인하였으며, 실험 결과를 통해 순환수의 온도보다는 주변온도의 변화에 더 큰 영향을 받는 것을 확인하였다. 표면온도와 전류-전압 측정 실험데이터를 분석해보면 모듈의 표면온도가 높아질수록 단락전류(I_{sc})는 소폭 증가하지만 개방전압(V_{oc})이 상대적으로 크게 감소하여 PV모듈의 발전량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 모듈의 표면온도가 가장 큰 차이를 보이는 Case 1-1과 Case 3-3을 비교해보면 Case 3-3을 기준으로 단락전류는 0.4A 증가하였지만, 개방전압이 3.1V 감소하여 전력량은 22.7W 감소하는 것을 확인하였다. Case 조건 변화에 따른 전력량은 약 11%의 차이를 보였다.

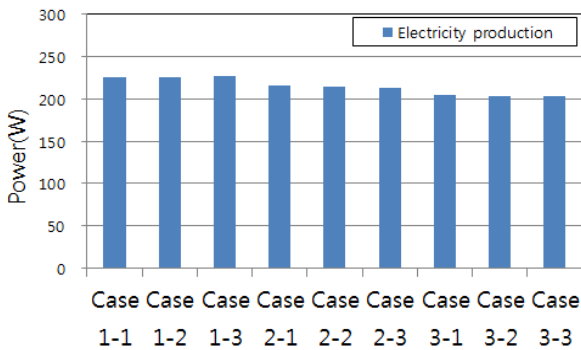


Fig. 6. Experiment result (Generated electricity of PVT module).

PVT모듈의 전력생산량을 나타낸 Fig. 6을 보면 PV모듈의 표면온도가 증가함에 따라 생산되는 전력량이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 표면온도의 영향을 받는 전력생산량 또한 실험조건 중 순환수의 온도변화 보다는 주변온도의 변화에 더 큰 영향을 받는 것을 확인하였다.

챔버온도 5°C, 순환수온도 15°C의 조건인 Case 1-3의 경우 모듈온도가 타 조건의 결과와 비교하여 낮게 측정된 것을 확인할 수 있다. 이는 실험조건 상태에서 정상상태까지 도달하도록 충분한 시간을 두고 실험을 진행하였는데 해당 조건에서는 이전 실험에서의 영향을 받아 온도 설정 이후 모듈의 온도가 정상상태까지 도달할 수 있는 시간이 부족했던 것으로 사료된다. 실험결과를 종합해 보면 열교환기 내부의 순환수의 순환을 통해 PV모듈의 온도감소 폭이 실험 전 예상수치보다 적게 나타났는데, 이는

모듈의 제작과정에서 PV모듈과 흡열판, 흡열판과 순환수 파이프 사이에서 열교환이 원활하게 이루어지지 않은 것으로 추측하였다.

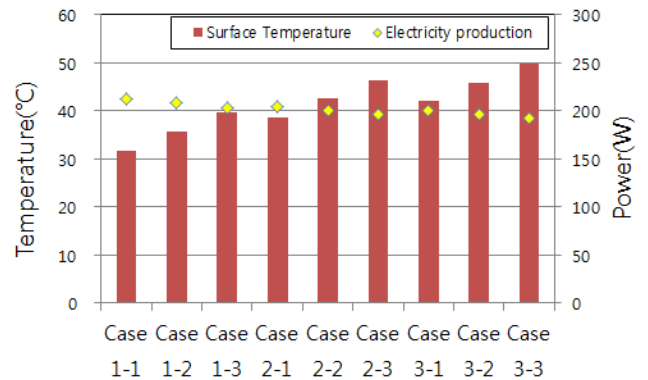


Fig. 7. Simulation result

시뮬레이션 결과를 보면 PVT모듈의 표면온도 및 전력생산량이 조건변화에 따라 실험결과와 유사한 형태로 거동하는 것을 확인할 수 있다. 모듈의 온도가 증가함에 따라 생산전력량이 감소한다. 실험결과와 비교하면 열교환기의 성능이 더 뛰어나 순환수의 온도변화에서도 전력생산량이 크게 변하는 것을 확인할 수 있다. 하지만 생산 전력량을 나타내는 결과수치는 실험결과와 시뮬레이션 결과에 차이가 있는 것을 볼 수 있다. 실험결과를 통해 나타난 전력생산량이 시뮬레이션 결과를 통해 나타난 전력생산량보다 높게 나타났는데 이는 시뮬레이션과 실험 결과수치의 모듈 표면온도 차이 및 솔라 시뮬레이터 내부 태양전지의 광조건이 시뮬레이션의 광조건과 다르기 때문에 나타나는 것으로 예측하였다. 또한 순환수 온도변화에 따른 결과차이는 실험결과를 통해 예측하였듯이 열매체의 순환을 통해 모듈의 열을 회수 할 때 시뮬레이션과 비교하여 효율이 적기 때문인 것으로 판단하였다. 향후 패널과 패널 뒷면 파이프와의 접촉 면적을 증가시킨다면 순환수의 유량 및 유체의 입구온도 같은 운전방법의 변화를 통해서도 PVT모듈의 전기 및 열효율 증진을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 실험과 시뮬레이션의 결과수치는 표면온도에서 평균 9.6%, 전력생산량에서 6.1%의 차이를 보였다.

한편 열 생산량 계산의 경우, 항온수조의 입·출구 온도차를 통해 취득열량을 계산하였으나 그 결과는 모델식에 의한 계산에 비해 Case1의 경우 평균 65% 감소하였고, Case2와 Case3에서 각각 10%와 83% 증가하였다. 이것은 항온수조와 PVT모듈 사이의 파이프가 충분히 단열되지 않은 것에 기인하여 열 생산량에 영향을 미친 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 PVT시스템과 지열시스템을 융합한 하이브리드 시스템인 Geo-PVT시스템의 개발을 목적으로 Unglazed 액체식 PVT모듈을 시제작하여 솔라 시뮬레이터를 이용한 성능실험을 실시하였다.

실험을 통해 모듈의 표면온도가 증가함에 따라 태양전지의 발전량에 주는 영향 및 열교환기의 순환수 온도 변화에 따른 영향을 확인할 수 있었다. 모듈의 표면온도가 높아질수록 단락전류는 증가하고 개방전압이 감소하여 PV모듈의 발전량은 감소하였다. 본 실험에서 PVT모듈의 전기성능은 순환수의 온도변화 보다는 주변온도의 변화에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

실험결과와 시뮬레이션의 결과를 비교해 보면 조건 변화에 따라 유사한 형태로 거동하지만 그 수치가 다른 것을 확인하였는데, 이는 태양전지의 분광조사각도, 스펙트럼 등이 시뮬레이션의 그것과 다르기 때문에 나타난 것으로 예측된다. 시뮬레이션과 실험결과의 비교검토 결과 표면온도에서 평균 9.6%, 전력생산량에서 6.1%의 차이를 보였다.

향후 높은 효율을 유지하면서 대량생산이 가능한 PVT모듈 제작방법을 개발하고 타 열원과의 연계된 시스템을 개발할 예정이다.

Acknowledgement

This work was supported by the New & Renewable Energy Core Technology Program of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP), granted financial resource from the Ministry of Trade, Industry & Energy, Republic of Korea. (NO. 20133030110900)

Reference

[1] 신·재생에너지 동향자료, 에너지관리공단 신·재생에너지 센터, 2014 // (Trend of new and renewable energy, energy management corporation New and Renewable Energy Center, 2014)Reference.

[2] 어승희, 이정빈, 최윤성, 김대현, "PVT 시스템의 PV 모듈 및 태양열 집열기 대비 성능 및 효율 비교분석", 한국태양에너지학회, vol. 32, No 2, 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, 2012, Vol. 32, No.2, pp. 1-10).

[3] 김진희, 김준태, "문헌고찰을 통한 태양광/열 복합 시스템의 유형별 성능특성 비교, 한국건축환경설비학회, vol. 1, No 2, 2007 // (The Performance Comparison of PVT System through Literature Review, Journal of KIAEBS, 2007, Vol. 1, No. 2, pp. 15-21).

[4] Kern EC, Russell MC, Combined Photovoltaic and Thermal Hybrid Collector Systems: Photovoltaic Specialists Conference, 1978.

[5] Y. Tripanagnostopoulos et al, Hybrid Photovoltaic/Thermal Solar Systems. Solar Energy. 2002. vol.72, pp.217-234.

[6] Zondag H.A, de Vries D.W, van Helden W.G.J, van Zolingen R.J.C, The yield of different combined PV-thermal collector designs, 2003 Vol. 74, No 3, pp. 253-269.

[7] 최정식, 고재섭, 정동화, "태양광 발전의 성능향상을 위한 PV/T 시스템 개발", 전력전자학회, Vol. 16, No. 2, 2010 // (Choi June-Sik, Ko Jae-Sub, Chung Dong-Hwa, Development of PV/T for Performance Improvement of Photovoltaic System, Journal of IKEEE, Vol. 16, No. 2, 2010).

[8] 김진희, 김준태, "액체색 Glazed PVT 복합모듈의 성능실험 연구", 대한설비공학회, Vol. 20, No. 4, 2008 // (Kim Jin-Hee, Kim Jun-Tae, An Experimental Study of a Water Type Glazed PV/Thermal Combined Collector Module, Korean Journal of Air Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 20, No. 4, 2008).

[9] 김진희, 강준구, 김준태, "실험에 의한 Glazed 형과 Unglazed형 액체색 PVT 집열기의 에너지 성능 비교분석 연구". 한국생태건축학회, Vol. 9, No. 4, 2009 // (Kim, Jin-Hee Kang, Jun-Gu Kim, Jun-Tae, Experimental Performance Comparison of Water Type Glazed and Unglazed PV-Thermal Combined Collectors, Journal of the KIEAE, Vol. 9, No. 4, 2009).

[10] 천진아, 김진희, 김준태, 조인수, 남승백, "전면 액체색 흡열판을 적용한 PVT 모듈의 성능실험", 한국태양에너지학회, Vol. 31, No 1, 2011 // (Chun Jin-Aha Kim Jin-Hee, Kim Jun Tae, Cho In Soo, Nam Seung Baeg, A Experimental performance of PVT module with fully wetted absorber, Journal of the Korean solar Energy Society, Vol. 31, No 1, 2011).

[11] 김승태, 강기환, 박지홍, 안형근, 유관중, 한득영, "태양전지의 전기적인 출력특성이 태양전지모듈에 미치는 영향", 한국태양에너지학회, 2008 // (Kim Seungtae, Kang Gi-Hwan, Ahn Hyungkeun, Han Deuk-Young, Yu Gwon-Jing, Electrical Characteristics for PV Module Application, Journal of the Korean Solar Energy Society, 2008).

[12] John A. Duffie, William A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, FOURTH EDITION, 2013, 4th Edition.