

## 태양광 발전의 성능향상을 위한 PV/T 시스템 개발

崔正植\*, 高在涉\*, 鄭東和†

## Development of PV/T for Performance Improvement of Photovoltaic System

Jung-Sik Choi, Jae-Sub Ko, and Dong-Hwa Chung

## 요 약

본 논문에서는 건물통합형 태양광 발전 시스템의 전기적·열적 성능을 얻기 위해 하이브리드 PV/T 모듈을 제시한다. 건물 외벽에 부착하는 BIPV 시스템은 태양광 발전 시 온도상승으로 인하여 시스템의 효율이 떨어진다. 이러한 문제점의 해결과 BIPV 시스템의 효율을 향상시키기 위해 수냉방식을 적용시키고 발생된 열은 온수 시스템에 사용된다. 수냉 냉각방식은 전력손실과 물의 온도를 고려한 유량제어 알고리즘을 이용하고 실증연구를 통하여 제시한 하이브리드 PV/T 모듈의 전기적·열적 성능을 확인하여 본 논문의 타당성을 입증한다.

## ABSTRACT

This paper proposes photovoltaic thermal hybrid module to get the electrical and thermal performance of building integrated photovoltaic(BIPV) system. BIPV system is decreased the system efficiency because output of PV is decreased by the thermal rising on generating. In order to improve the efficiency of BIPV module, water cooling system is applied and generated thermal is used the warm water system. Water cooling system uses the flux control algorithm considering water temperature and power loss. Electrical and thermal performance of proposed photovoltaic thermal hybrid module is confirmed through the actual experiment and hereby proved the valid of this paper.

**Key Words** : Photovoltaic, BIPV(Building Integrated Photovoltaic), Thermal control, Flux control, Efficiency

## 1. 서 론

국내 에너지의 부존자원이 부족하여 에너지의 해외 의존도가 97[%]에 달하고 있으며, 교토 의정서에 의한 기후변화 협약에 따라 2차 공약 기간 중 온실가스 감축 의무에 대한 부담이 가시화되고 있다. 현재 주로 사용되고 있는 화석에너지는 환경오염 및 지구 온난화의 주원인으로 인식되고 있으며 국제적으로 점차 규제가 구체화 되고 있어 친환경적인 신재생 에너지 개발

과 보급의 확대가 절실히 요구된다.<sup>[1]</sup> 이에 태양에너지를 이용한 태양광 및 태양열, 풍력 및 지열 시스템의 보급이 증가하고 있다. 그러나 무한청정 에너지원이며 연료의 보급이 불필요하고 유지 관리비가 저렴하며 수명이 길다는 장점을 가지고 있는 태양광 발전 시스템은 다른 에너지원에 비하여 상대적으로 변환 효율이 낮기 때문에 넓은 설치면적이 필요하고 초기 설치비가 많이 소요된다.<sup>[2]-[4]</sup>

또한 변환효율이 설치 방향과 각도, 전지의 온도에 영향을 받음으로서 규모선정, 설치장소 및 설치조건에 제약이 많아 전체 에너지 소비량 중 큰 부분을 차지하는 건축물의 에너지원으로서 보급의 확대가 용이하지 않다.

태양광 발전 시스템을 에너지 소비량이 많은 건축물에 원활하게 적용시키기 위해서는 건축물에서 외부와

†교신저자 : 정회원, 순천대 전기제어공학과 교수

E-mail : hwa777@sunchon.ac.kr

\*정회원, 순천대 전기공학과 박사과정

접수일자 : 2010. 8. 16 1차 심사 : 2010. 9. 10

2차 심사 : 2010. 10. 15 심사완료 : 2011. 1. 11

면하는 면적 중 가장 넓은 건축물의 외벽을 태양전지 모듈의 설치공간으로 활용할 수 있도록 하는 연구가 필요하다. 최근 태양에너지로부터 전기와 열에너지를 동시에 생산할 수 있는 하이브리드 시스템에 대한 연구와 건축물의 외벽에 태양전지 모듈을 설치하기 위한 건물일체형 태양광발전 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

태양에너지의 변환효율을 향상시키기 위한 방법으로 태양에너지를 동시에 전기와 열에너지로 변환시키는 복합시스템이 유리하다. 태양전지의 경우 입력에너지의 대부분은 열로서 다시 방출되고 있으며, 이러한 열을 흡수하여 열에너지로 활용할 수 있다면 전체 태양에너지 변환효율을 향상시킬 수 있다.<sup>[5]</sup> 하이브리드 시스템에 대한 연구는 주로 건축물의 지붕이나 외벽 면에서 태양전지 모듈과 건축물의 외피 사이에 일정거리를 이격시키고 태양전지 모듈과 외피 사이의 공간의 데워진 공기를 열에너지로 흡수하는 방식이 이루어지고 있다.<sup>[6][7]</sup> 태양전지 모듈은 온도가 1[°C] 상승함에 따라 0.5[%] 비율로 효율이 감소하며 벽면에 설치하는 모듈의 길이가 길어질 경우 설치 면과 태양전지 모듈과의 간격을 20[cm] 이상 이격시켜야 전력 생산량의 감소를 방지할 수 있다.<sup>[8]-[10]</sup>

그러나 건축물의 외벽과 이격시키는 방식으로 통풍 공간을 확보함으로써 모듈을 냉각시키는 기존의 방식은 입사하는 태양에너지의 일부만 전력생산에 이용되고 나머지는 불필요한 열로 변환되어 태양에너지를 낮은 효율로 사용하게 되는 문제점이 있다. 또한 데워진 공기를 통하여 열을 회수하는 종래의 하이브리드 시스템은 열에너지의 용도가 난방용에 한정되어 있어 회수한 열에너지를 다양한 열원으로 유용하게 사용하는데 한계가 있다.

따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 액체식 하이브리드 시스템을 제시한다. 액체를 열매체로 이용하여 열에너지를 회수하는 방식은 열에너지의 전송이 쉽고 열교환기의 이용 등 건축기계설비의 배관 시스템에 접목이 용이하므로 난방 외에 온수, 급탕 등 다양한 용도의 열원으로 활용할 수 있다. 열매체로 사용된 물은 데워진 상태로 축열 탱크로 저장되어 온수로 사용됨으로써 태양광 발전의 전기적 성능뿐만 아니라 열적 성능도 유지할 수 있다. 또한, HBPI (Hybrid PI) 제어기를 이용하여 물의 온도를 제어하며, 유량제어 알고리즘을 통해 물의 순환을 제어한다. 전기적 성능은 종래의 일반적인 BIPV 모듈과 제시한 PV/T 모듈의 발전량을 비교하고, 열적 성능은 물의

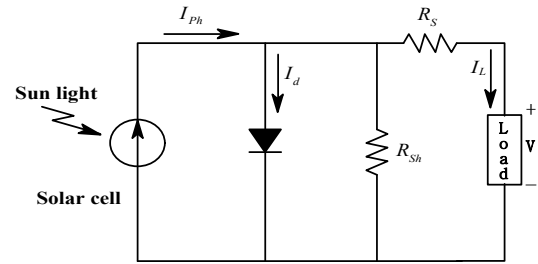


그림 1 태양전지의 등가회로

Fig. 1 Equivalent circuit of solar cell

온도를 측정하여 나타낸다. 측정된 발전량과 물의 온도를 통하여 본 논문에서 제시한 PV/T 모듈에 대한 효율성을 입증한다.

## 2. 태양전지 모델링

빛이 조사될 때 광기전력 효과를 이용한 태양전지의 등가회로를 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

여기서,  $I_{ph}$ 는 광전류,  $I_d$ 는 다이오드 포화전류이다.

태양전지의 등가회로부터 단락전류  $I_{sc}$ 는 이상적으로 광전류  $I_{ph}$ 와 일치하고, 다이오드 포화전류  $I_d$ 에 의해서 결정되는 태양전지의 개방전압은 다음 식과 같다.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left[ \frac{I_{ph}}{I_d} + 1 \right] \quad (1)$$

여기서,  $V_{oc}$ 는 개방전압,  $k$ 는 볼츠만 상수,  $q$ 는 전하[C],  $T$ 는 태양전지 동작온도[K]를 나타낸다. 또한, 온도변화에 따른 단락전류와 개방전압의 관계식은 다음과 같다.

$$I_{sc} = I_o \left[ \exp \left( \frac{qV_{oc}}{kT} \right) \right] \quad (2)$$

태양전지의 전류-전압 특성곡선을 얻기 위한 수식은 다음과 같이 표현된다.

$$I_{ph} = I_{sc} S_N + I_t (T_c - T_r) \quad (3)$$

$$I_d = I_o \left[ \exp \left( \frac{q(V_L + I_L R_s)}{AkT} \right) - 1 \right] \quad (4)$$

$$I_o = I_{or} \left[ \frac{T_c}{T_r} \right]^3 \cdot \exp \left( \frac{qE_g}{Bk} \left( \frac{1}{T_r} - \frac{1}{T_c} \right) \right) \quad (5)$$

$$I_L = I_{ph} - I_d - \frac{V_L + I_L R_s}{R_{sh}} \quad (6)$$

여기서,

$S_N$  : 단위 일사량

$T_r$  : 표면온도 1. C 상승 시 단락 전류 온도계수[A/K]

$T_c$  : 태양전지 온도[K]

$T_r$  : 태양전지 동작 기준온도[K]

$B$  : 제조상수

$I_{or}$  : 태양전지 동작 기준온도에서 역포화전류[A]

$E_g$  : 에너지 밴드 갭 (Si PN 접합 에너지 Gap, 1.12[eV])

식 (3)~(6)를 이용하면 태양전지 어레이의 출력특성을 얻을 수 있으며, 그림 2는 태양전지 어레이의 PSIM 모델과 DLL(Dynamic Link Library)을 이용하여 일사량과 온도의 영향을 고려한 회로도를 나타낸다.

그림 3은 온도에 따른 태양전지의 출력특성으로 온도를 25[°C]에서 75[°C]까지 25[°C]씩 증가하였을 때의 변화를 나타내고 있다. 개방전압  $V_{oc}$ 는 20~100[°C]사이에서  $2[mV^{\circ}C^{-1}]$ 씩 감소하고, 광전류는 온도가 상승함에  $0.1[\%^{\circ}C^{-1}]$ 씩 증가하고, 최대전력은  $0.35[\%^{\circ}C^{-1}]$ 씩 감소되며, 최대효율은 지수 함수적으로 감소한다. 그림에서는 셀 표면의 온도가 증가할 때 출력이 크게 변화되고 있음을 알 수 있다.

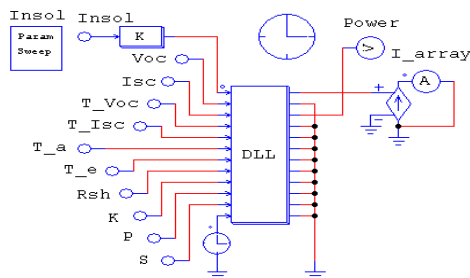


그림 2 태양전지 어레이의 PSIM 모델  
Fig. 2 PSIM model of solar cell array

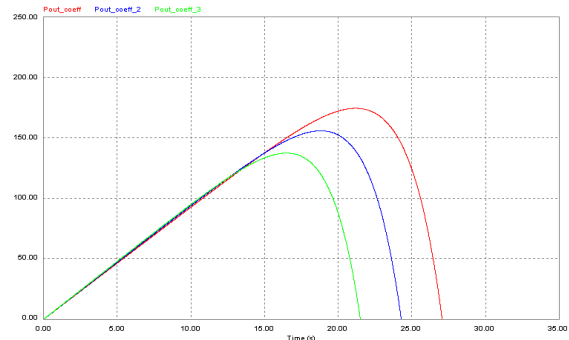


그림 3 온도에 대한 태양전지의 출력특성

Fig. 3 Output characteristics of solar cell by temperature

### 3. PV/T 하이브리드 모듈

PV에서 전기를 생산하는데 영향을 미치는 요인은 일사량, PV 설치각, 방향, 음영 및 PV 모듈 온도 등 다양하게 작용한다. 이 중 PV 경사각, 방향, 음영 등은 PV 시스템 설치 시 미리 정해지고, 일사량은 태양추적이 불가능하다면 설치 지역의 일사조건에 영향을 받는다. PV 모듈의 특성은 일사량이 증가할수록 전력생산량은 비례하여 증가한다.<sup>[6]</sup> 그러나 PV 모듈의 표면온도가 증가할수록 발전량은 1°C 상승할 경우 발전 성능의 약 0.5% 정도 감소하여 나타난다. 따라서 PV 모듈온도를 강제적으로 낮춰줌으로써 PV 모듈의 성능을 향상시킬 수 있다. PV/T 복합 모듈은 일반적으로 열을 흡수하는 흡수관이 PV 모듈 뒷면에 붙여진 형태로 구성되어 있다. 열 흡수관은 PV모듈을 냉각시켜 전기성능을 개선하고, 열에너지를 집열하는 두 가지의 기능을 한다. 따라서 낮은 효율과 높은 초기 투자비용으로 보급 활성화에 장애가 되고 있는 종래의 태양광 시스템에 부가적인 기능을 추가하여 전체 효율을 증가시킬 수 있다.

PV/T 복합 모듈은 공기식과 액체식 및 평판형 등으로 나눌 수 있다. 공기식 PV/T 복합모듈은 PV 모듈 후면에 공기층 및 채널을 두는 형태로, 열매체로 공기를 이용하는 것이다. 액체식의 경우는 PV 모듈 후면에 흡수관과 열매체 도관이 부착된 형태로 열매체를 물이나 부동액 등의 액체를 이용하는 것이다. 공기식은 건물 적용에 있어 좋은 열효율을 위해서 높은 공기 유량이 요구되어 큰 면적의 덕트가 요구되고 팬의 소음이 발생할 수 있다. 그러나 동결 및 과열에 의한 피해가 없고 누수에 대한 염려가 없는 장점이 있다. 액체식의 경우 종래의 태양열 집열기와 유사한 방법으로 손쉽게 건물에 적용이 용이하다. 그러나 공기식에 비

해 누수와 동결에 따른 문제가 발생할 수 있으며, PV 모듈과 집열기 유체 사이에 열적 저항이 적은 흡수판이 통합되어야 한다. 평판형 PV/T 복합모듈은 일반적으로 기존의 태양열 집열기와 매우 유사하며, 단지 금속 흡수판 위에 PV 모듈이 부착되는 차이가 있다. 일반적으로 PV/T 액체식 모듈의 경우 유리커버 유무에 따라 glazed 모듈과 unglazed 모듈로 분류할 수 있다. 평판형 PV/T 복합 모듈은 건물 입면 및 지붕에 일체화시켜 적용하는 것이 용이하며 기존 평판형 태양열 집열기와 유사한 형태로 적용된다. glazed 모듈은 공기층을 둔 유리커버 마감으로 PV/T 복합모듈의 열 손실을 줄임으로써 unglazed 모듈에 비해 열효율이 매우 우수하다. 그러나 열적 특성 및 유리커버의 일사반사율에 의해 PV 모듈의 전기성능이 낮아지는 단점이 있다.

#### 4. 제어 알고리즘 설계

##### 4.1 HBPI 온도제어 알고리즘

현대 제어이론의 눈부신 발전에도 불구하고 PI 제어기는 목표치의 추종, 외란 효과의 감쇄, 프로세서와 모델 계수의 불일치에 대한 강인성 등 제어계에 요구되는 제반 특성 면에서 우수한 기능을 보유하고 있기 때문에 산업현장에서 가장 널리 사용되고 있다. 그러나 PI 제어기가 갖는 중요한 문제점은 운전 중 공정 환경이 변화할 경우, 운전자가 파라미터 조정에 익숙하지 못할 경우 등 많은 경우에 만족할 만한 제어 성능을 얻을 수 없다. 이러한 문제점의 해결은 PI 제어기의 파라미터를 자동으로 조정하는 퍼지 로직을 이용한 자기 동조 알고리즘을 도입하는 것이다. 또한, 퍼지 제어는 언어적 제어 규칙만 적용함으로써 수학적 모델링이 불가능한 경우라도 제어가 가능하고, 초기 과도 시 응답특성이 양호한 장점을 지닌 반면, 부하변동에 따른 강인성 또는 정상상태의 잔류 편차 등이 발생하는 문제점이 있다. 이러한 문제점의 해결방안으로 프로세서가 미리 정해진 영역 내에 들어올 때 제어규칙 또는 스케일 백터를 조절하는 윈도잉 기법, 멤버쉽 함수의 중심값과 폭 등이 유연하게 최적인 값으로 자기 조정될 수 있는 파라미터 자기 조정 기법 등을 들 수 있다. 그림 5는 PI 제어기와 퍼지 제어기의 장점을 이용한 HB(Hybrid)PI 제어기의 구성도를 나타낸다. HBPI 제어기는 제어 대상의 특성이 변화되거나 부하 외란에 대한 적응성이 있는 제어기이다. PI 파라미터의 자기 동조 기법으로는 제어 대상에 대한 정확한 모델화 없이 제어 규칙을 이용하여 온라인으로 단시간에 제어

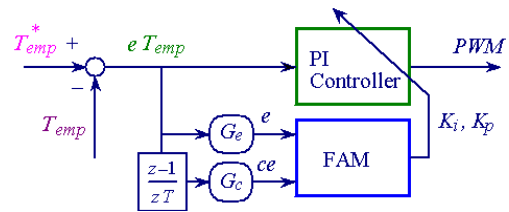


그림 5 HBPI 제어기의 구성도  
Fig. 5 Construction diagram of HBPI controller

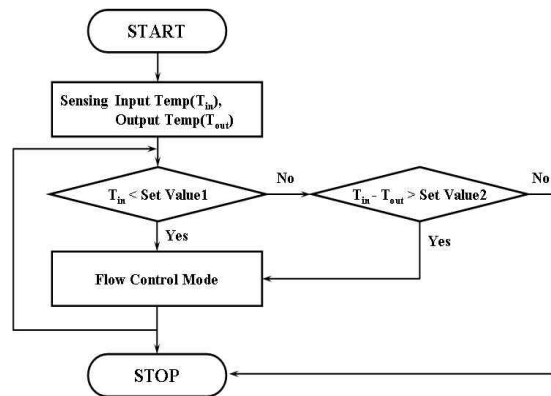


그림 6 유량제어 알고리즘의 순서도  
Fig. 6 Flowchart of flux control algorithm

입력을 결정할 수 있는 퍼지 추론 알고리즘을 기초로 한다.

그림 5에서 FAM(Fuzzy Adaptive Mechanism)은 퍼지제어와 적응제어를 혼합한 제어기로서 PI 제어기의 이득값을 출력한다. 또한 PI 제어기는 온도제어를 위한 스위칭소자의 제어를 위해 PWM을 출력한다.

여기서, 오차  $e$ 와 오차변화분  $ce$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$e(k) = T_{emp}^* - T_{emp} \tag{7}$$

$$ce(k) = e(k) - e(k-1) \tag{8}$$

여기에서,  $T_{emp}^*$ 은 지령온도,  $T_{emp}$ 는 실제온도를 나타낸다.

##### 4.2 유량제어 알고리즘

그림 6은 유량제어 알고리즘을 나타낸다. 축열 탱크의 입구와 출구 부분에 설치된 온도센서를 통해 유입되는 물의 온도와 유출되는 물의 온도를 입력받고, 유입되는 물의 온도가 설정 온도 보다 낮을 경우에 유입되는 물의 유량을 제어한다. 또한, 설정 온도보다 높을 경우에는 유입되는 물의 온도와 유출되는 물의 온도를

비교하여 온도차가 설정 값보다 큰 경우에는 축열 탱크의 온수 온도를 유지하기 위하여 유량제어를 수행한다. 유입되는 물의 온도가 설정 값보다 높고, 온도차가 설정 값보다 작을 경우 제어를 멈추게 되는 알고리즘이다.

## 5. 시스템 성능분석

표 1은 본 실험에 사용된 태양전지 모듈의 사양을 나타내고 있다.

표 1 PV 모듈의 사양  
Table 1 Specification of PV Module

Maximum power( $P_{max}$ )	[W]	200
NP	[수]	4
NS	[수]	16
셀 직렬 저항( $R_s$ )	[ $\Omega$ ]	0.00005
셀 shunt 저항( $R_{sh}$ )	[ $\Omega$ ]	$5 \times 1$
Max.power voltage( $V_{mp}$ )	[V]	24.5
Max.power current( $I_{mp}$ )	[A]	8.16
Open circuit voltage ( $V_{oc}$ )	[V]	30.8
Short circuit current( $I_{sc}$ )	[A]	5.57
Warranted minimum power( $P_{min}$ )	[W]	190.5
Output tolerance	[%]	+10/-5
Maximum system voltage	[V]	600
Temperature coefficient of $P_{max}$	[%]	-0.5
Temperature coefficient of $V_{oc}$	[V/ $^{\circ}C$ ]	-111
Temperature coefficient of $I_{sc}$	[mA/ $^{\circ}C$ ]	0.065
Standard Test Conditions : Air mass 1.5 Irradiance= $1000W/m^2$ , Cell temperature= $25^{\circ}C$		

그림 7은 본 논문에서 제시한 PV/T 복합 모듈의 실증 실험을 위한 실험세트를 나타내고 있으며, 먼저 수냉 냉각 방식을 적용한 태양광·열 복합 BIPV 패널과 성능비교를 위한 일반적인 BIPV 모듈의 두 개 세트를 설치하였다. PV/T 복합모듈은 수냉 냉각 방식을 적용한 것으로서 모듈 후면에 차가운 물이 흐를 경우 BIPV 모듈 후면의 온도특성 및 후면 열에 의해 데워진 물의 효과를 분석할 수 있으며, 비교 데이터를 얻을 수 있도록 제작하였다.



그림 7 PV/T 성능분석을 위한 실험 장치

Fig. 7 Experimental device for PV/T performance analysis

PV/T의 전기적인 성능은 PV 모듈 면적의 총 획득 에너지인 일사량에 대한 전력생산량의 비로 계산할 수 있으며 다음식과 같다.

$$\eta_{el} = I_m V_m / A_p G \quad (9)$$

$\eta_{el}$ 은 전기적 효율,  $I_m$ 은 최대전류,  $V_m$ 은 최대전압,  $A_p$ 는 집열 면적 및  $G$ 는 일사량을 나타낸다.

시스템의 열적 성능은 PV/T의 온도특성 결과를 바탕으로 일사량에 따른 집열량과 집열 효율을 분석하였으며, 다음 식으로 나타낼 수 있다. 따라서 집열량은 식(4)의  $Q_2$ 로 시간당 집열량(kcal/h)으로 나타낼 수 있으며 효율은 총 획득에너지인  $Q_1$ 에 대한 집열기 자체의 획득에너지  $Q_2$ 의 비율로서 산출하였다. 여기서 열매체 유량을 시간당 무게로 나타내기 위하여 공기의 체적  $1m^3$  당 약 1.2kg로 계산하였으며, 공기의 비열은  $0.24kcal/kg^{\circ}C$ 로 계산하였다.

$$\eta_{th} = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{m C_p (T_o - T_i)}{A_p \times G} \quad (10)$$

$A_p$ 는 집열기 전면적,  $T_i$ 는 입구온도(외기온도),  $T_o$ 는 출구온도,  $m$ 은 열매체 유량,  $C_p$ 는 공기의 정압비열 및  $G$ 는 일사량을 나타낸다.

그림 8은 축열 탱크 용량이 30[l]이고 지령온도를  $40^{\circ}C$ 로 설정했을 때 응답특성을 나타낸다. 그림 8(a)은 지령온도와 실제온도, 그림 8(b)과 그림 8(c)은

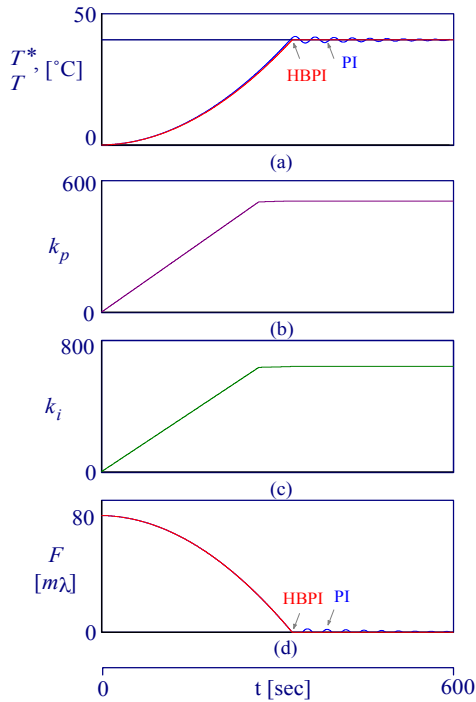


그림 8 스텝 지령온도에 대한 응답 특성  
 Fig. 8 Response characteristic with step command temperature

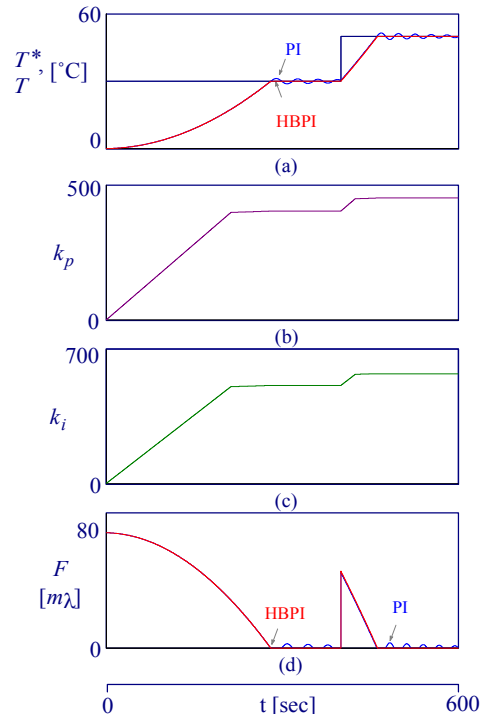


그림 9 스텝 지령온도 변화에 대한 응답 특성  
 Fig. 9 Response characteristic with step command temperature change

HBPI 제어기에서 출력되는  $k_p$ ,  $k_i$ 이고 그림 8(d)은 축열 탱크에 유입되는 유량을 나타낸다. 그림 8(d)에서 나타난 것과 같이 PI 제어기는 정확한 유량제어가 되지 않아 지속적인 제어가 이루어지고 있으며, 이에 따라 그림 8(a)의 실제온도도 같이 변화하고 있다. 그러나 HBPI 제어기는 그림 8(d)에 나타난 것과 같이 정확한 온도제어를 하고 있으며, 이에 따라 그림 8(a)의 실제온도는 지령온도에 매우 양호하게 추종하고 있다.

그림 9는 축열 탱크 용량이 30[ℓ]이고 지령온도를 30[°C]로 설정하고, 400[sec]에 지령온도를 50[°C]로 변화하였을 경우 응답특성을 나타낸다. 그림 9(d)에 나타난 것과 같이 지령온도가 변화하였을 경우에도 HBPI 제어기는 정확한 온도제어를 통해 PI 제어기에 비해 오버슈트가 작고, 빠르게 안정되고 있어 매우 양호하게 온도가 제어되고 있다.

그림 10은 그림 8과 같은 조건에서 축열 탱크 용량을 1/2로 감소시켜 15[ℓ]로 변화하였을 경우의 응답특성이다. 그림 11은 축열 탱크 용량을 2배 증가시켜 60[ℓ]로 변화하였을 경우의 응답특성을 나타낸다. 축열 탱크 용량이 1/2배로 감소하였을 경우 실제온도는 더욱 빠르게 증가하고 있으며, 축열 탱크 용량이 2배로 증가하였을 경우에는 실제온도는 느리게 증가하고 있다.

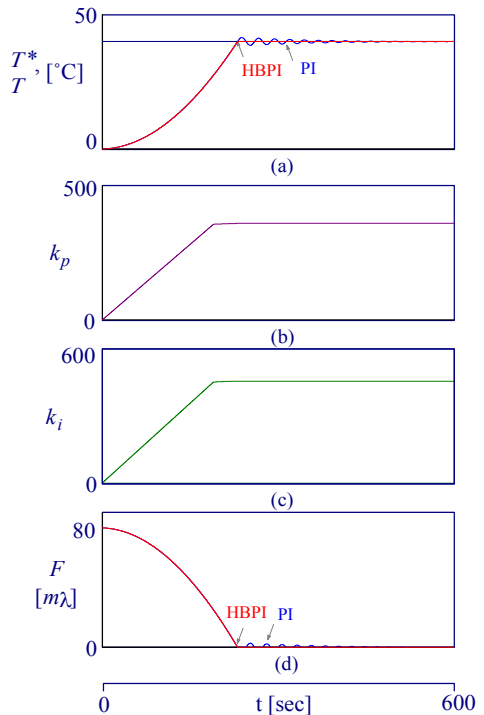


그림 10 스텝 지령온도 및 축열탱크 용량 변화에 대한 응답 특성  
 Fig. 10 Response characteristic with step command temperature and capacity change ( $F = 0.5F$ )



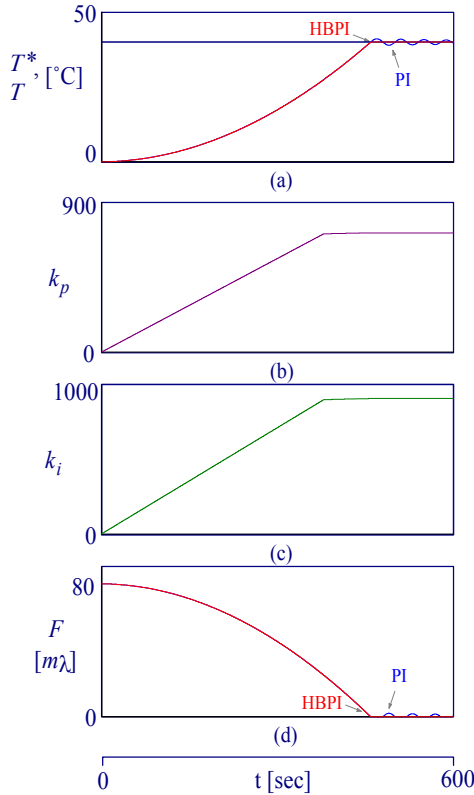


그림 11 스텝 지령온도 및 축열탱크 용량 변화에 대한 응답 특성  
 Fig. 11 Response characteristic with step command temperature and capacity change ( $F = 2F$ )

그림 12는 일사량 변화 및 외기온도 변화에 대한 태양광·열 복합의 PV/T 모듈과 일반모듈의 온도를 비교하여 나타낸 것이다. 실험당일의 일사량은 매우 높은 편이었으며, 외기온도는 22℃ ~ 30℃ 사이를 나타내고 있다. BIPV 모듈 후면에 냉각매체인 물이 흐르는 PV/T 모듈은 초기에 차가운 물이 유입되어 BIPV 모듈의 온도를 냉각시키는 효과를 나타내고 있고, 시간이 지나 저장탱크를 거쳐 순환된 물이 유입되는 오후 시간에는 냉각 효율이 저하되고 있음을 알 수 있다.

그림 13은 그림 12의 조건에서 PV/T 모듈과 일반 BIPV 모듈의 출력 직류전압을 비교하여 나타낸 것이다. 냉각 매체인 차가운 물이 유입된 PV/T 모듈의 직류전압이 일반 BIPV 모듈에 비해 평균 1.9[Vdc] 정도 높게 출력되고 있다.

그림 14는 PV/T 모듈과 일반 BIPV 모듈의 실험 당일 누적 전력량을 비교하여 나타낸 것이며, 냉각효과를 적용시킨 PV/T 모듈의 전력이 860[W]정도 높게 나왔으며, 약 4[%]정도의 효율을 개선하였다.

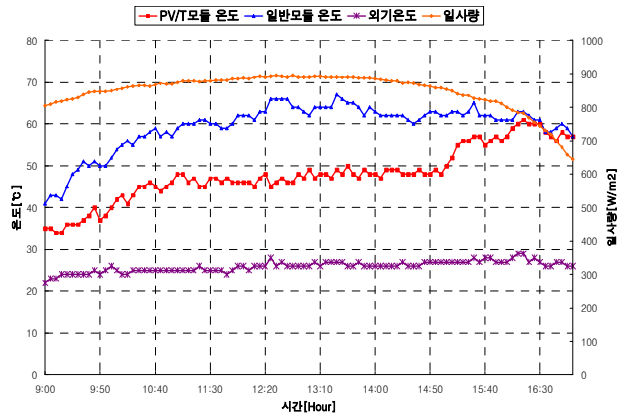


그림 12 환경조건 변화에 따른 모듈 온도 비교  
 Fig. 12 Comparison of module temperature with environment condition change

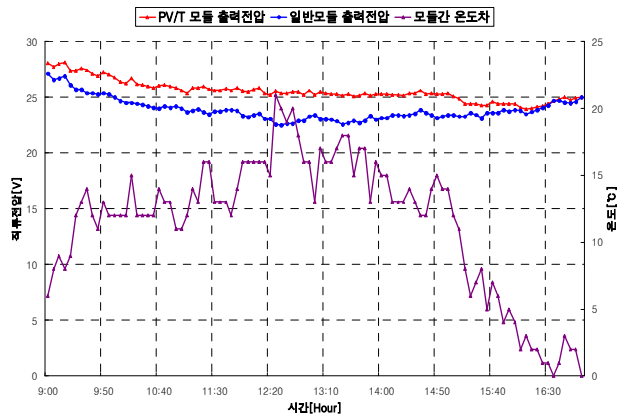


그림 13 환경조건 변화에 따른 출력전압 비교  
 Fig. 13 Comparison of output voltage with environment condition change

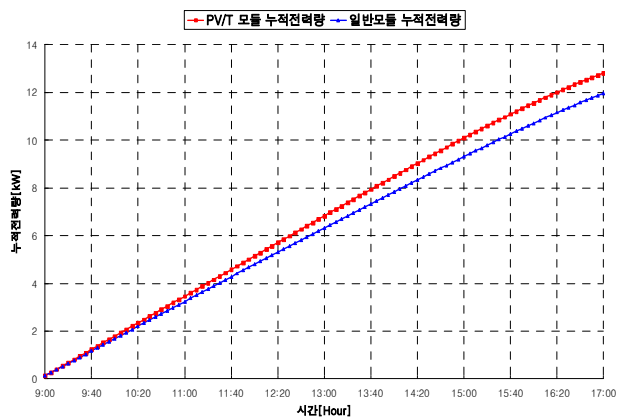


그림 14 누적 발전량 비교  
 Fig. 14 Comparison of accumulation generation volume

그림 15는 PV/T 모듈 온도변화에 따른 PV/T 내부의 유수 온도와 온수 저장 탱크의 온도를 비교하여 나

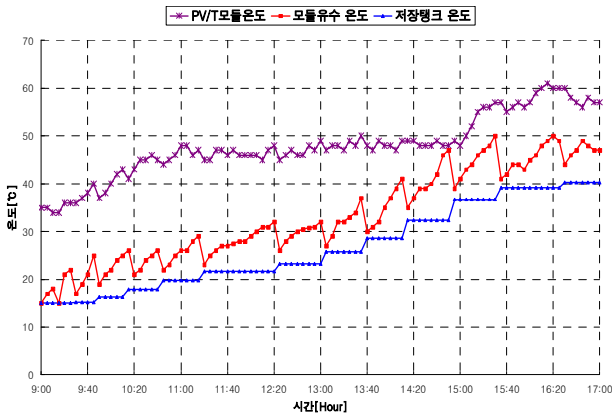


그림 15 PV/T 모듈에 의한 물의 온도 특성  
Fig. 15 Temperature characteristic of water with PV/T module

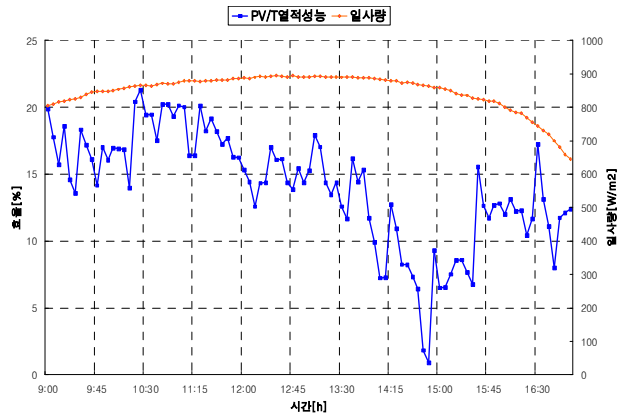


그림 17 PV/T 모듈의 열적 성능  
Fig. 17 Thermal performance of PV/T module

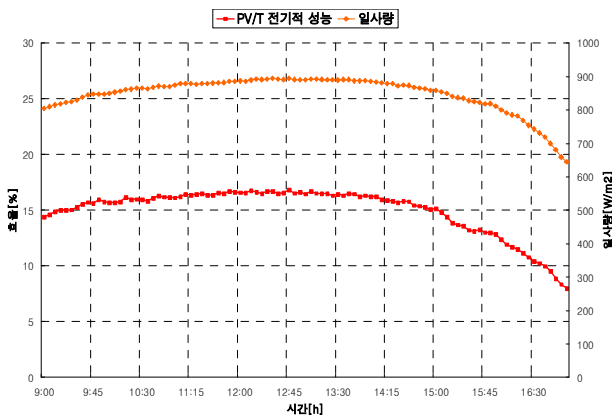


그림 16 PV/T 모듈의 전기적 성능  
Fig. 16 Electrical performance of PV/T module

타낸 것이다. 모듈 유수온도가 저장탱크 물의 온도의 50% 차이가 발생하며 펌프가 동작하여 PV/T 내부에는 새로운 저장탱크의 물이 유입되는 제어 알고리즘에 의해 최종적으로 저장탱크의 물이 데어지는 효과를 얻을 수 있다. 또한, 제어 알고리즘에 의해 일사량이 가장 높은 2시 ~ 3시 사이에 물의 온도가 가장 높게 데워지고 있으며, 4시 이후에는 물의 온도가 제어 값에 도달하여 순환이 없어 천천히 데워짐을 알 수 있다.

그림 16은 식(9)에 의한 PV/T 모듈의 전기적 성능을 나타낸 것이다. PV/T의 전기적 성능은 일사량과 거의 유사한 형태로 나타나며, 일반적인 모듈과 가장 큰 차이점은 온도가 높은 오후시간에서도 물에 의한 냉각으로 효율이 높게 나타남을 알 수 있다. PV/T의 전기적인 효율은 8% ~ 17% 정도 나타남을 알 수 있다.

그림 17은 식(10)에 의한 PV/T 모듈의 열적 성능을

나타낸 것이다. PV/T의 열적 성능은 물의 온도차가 가장 높은 오전시간에 높게 나타났으며, 물이 거의 데워진 상태인 오후에는 효율이 크게 떨어짐을 알 수 있다. PV/T 열적 성능 효율은 2% ~ 21% 정도로 나타남을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 BIPV의 전기적 성능과 열적성능의 하이브리드 효과를 얻을 수 있는 PV/T 모듈의 개발을 제시하였다. 또한 PV/T 하이브리드 모듈의 성능향상을 위해 HBPI 온도 제어 알고리즘과 유량제어 알고리즘을 적용하였다. BIPV 모듈은 건물 마감재로 사용되어 기류가 없게 되므로 보통 외기온도에 비해 약 40°C 정도의 차이로 상승될 수 있으며, 이러한 온도상승은 출력을 감소시켜 전체 시스템의 효율을 크게 떨어뜨린다. 이를 위해, BIPV 모듈의 수냉식 냉각시스템을 적용하여 모듈 후면의 온도를 하강시키며, 이 때 발생된 열을 또 다른 열원으로 사용하여 온수시스템에 적용하는 PV/T 복합 시스템을 제시하였다. 수냉 방식의 PV/T 모듈은 일반모듈에 비해 온도상승이 둔화되어 출력전압이 약 1.9[Vdc]정도 높게 나타남을 알 수 있다. 이러한 직류 전압의 상승은 PV/T 모듈의 발전량의 효율을 약 4[%]정도 개선할 수 있었다. 또한 PV/T의 전기적 성능은 일사량에 비례하여 나타남을 알 수 있으며, 열적 성능은 물의 온도차가 가장 높게 나타난 오전시간에 높게 나타났다. 따라서 본 논문에서 제시한 하이브리드 PV/T 모듈의 구현을 실현하였으며, 실험결과를 통하여 타당성을 입증하였다.



본 과제(결과물)는 교육과학기술부·지식경제부의 출연금으로 수행한 산학협력중심대학육성사업의 연구 결과입니다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김현일, 강기환, 이길송, 유권중, "발코니형 BIPV 시스템 개발", 한국태양에너지학회 춘계학술대회논문집, pp. 131~132, 2004. 5
- [2] C. H. Cox, III and P. Raghuraman, "Solar Energy", Vol. 35, No. 3, pp. 227~241, 1985.
- [3] H. P. GARD and R. S. ADHIKARI, "Transient Simulation of Conventional Hybrid Photovoltaic /Thermal (PV/T) Air Heating Collector", Internal Journal of Energy Research 22, pp. 547~562, 1998.
- [4] Takumi Takashima, Tadayoshi Tanaka, Takuya Doi, J. Kamoshida, Trans. Tani and T. Horigome, "Solar Energy", Vol. 52, No. 3, pp. 241~245. 1994.
- [5] V. Badescu, Pater T. Landsberg, A. De Vos, "Application to hybrid solar converters", Journal of Appl. Physics. Vol. 81, No. 8, pp. 15, 1997.
- [6] Takumi Takashima, Tadayoshi Tanaka, Takuya Doi, Tatu Tani, Takashi Horigome, "On the Consideration of Total Efficiency of Photovoltaic /Thermal Panel", Trans. IEE, Japan, Vol. 115-B, No. 4, 1995
- [7] 김용환, 강은철, 조일식, 이의준, 현명택. "열-전기 통합 생산을 위한 PV-Sola Thermal 시스템 실증평가 연구", 한국태양에너지학회 춘계학술대회 논문집, pp. 163~169, 2006.4
- [8] 서정훈, 허정호, "건물통합형 태양전지의 설치방식에 따른 발전 성능 분석", 한국태양에너지학회 춘계학술대회 논문집, pp. 132~137, 2003. 11
- [9] 김진희, 김준태, "PV 모듈 온도를 고려한 BIPV 시스템의 성능평가", 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 24, No. 2, pp. 53~58, 2004.
- [10] 김상진, 금종수, 최광한, 신병환, 정용현., "일사열 배제를 위한 통기벽체 적정 길이에 대한 검토", 한국태양에너지학회 논문집, Vol. 24, No. 2, pp. 33~38, 2004.

## 저 자 소 개



### 최정식(崔正植)

1980년 2월 9일생. 2005년 순천대 공대 전기제어공학과 졸업 2007년 2월 순천대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월 동 대학원 전기공학과 박사과정.



### 고재섭(高在涉)

1980년 2월 2일생. 2005년 순천대 공대 전기제어공학과 졸업 2007년 2월 순천대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 3월 동 대학원 전기공학과 박사과정.



### 정동화(鄭東和)

1955년 8월 15일생. 1979년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1981년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1988년~1989년 현대중전기(주) 기술연구소 책임연구원. 1989년~현재 순천대 정보통신공학부 전기제어공학과 교수.