

# 외기온도를 고려한 BIPV 시스템의 온도제어

(Temperature Control of BIPV system considering out air temperature)

백정우\* · 고재섭 · 최정식, 강성준, 장미금, 김순영, 정동화

(Jeong-Woo Baek\*, Jae-Sun Ko, Jung-Sik Choi, Sung-Jun Kang, Mi-Geum Jang, Soon-Young Kim, Dong-Hwa Chung)

## Abstract

This paper presents a cooling system using thermoelectron for improving the output of BIPV module. The temperature characteristic in regard to improving the output of BIPV system has rarely been studied up to now but some researchers only presented the method using a ventilator. The cooling system efficiency of BIPV module applied to a ventilator mainly depends on the weather such as wind, insolation etc. Because the cooling system of BIPV module using a ventilator is so sensitive, that is being set off by wind speed at all time but is unable to operate in the NOCT(Nominal Operating Cell Temperature) which is able to make the maximum output. The paper presents the cooling system using thermoelectron so as to solve such problems. The temperature control of thermoelectron can be controlled independently in the outside environment because that is performed by micro-controller. The temperature control of thermoelectron, also, can be operated around NOCT through algorithm of the temperature control. Therefore, outputs of the whole system increase and the efficiency rises. The paper demonstrates the validity of proposed method by comparing the data obtained through a experiment of the cooling method of BIPV using a ventilator and proposed thermoelectron.

## 1. 서론

BIPV시스템은 PV모듈이 건물에 부착되는 형태로 태양열과 벽면의 전도열에 의해 일반 태양광 시스템에 비해 PV모듈온도가 크게 상승하며 이는 현재 가장 많이 이용하고 있는 다결정질 실리콘 태양전지의 경우 PV모듈온도의 상승이 PV시스템의 성능을 저하시키는 주요 요인이 된다. 일반적으로 모듈온도는 25°C에서 1°C 상승할 때마다 약 0.5% 정도의 효율을 감소시키는 특성을 가지고 있다[1]. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 태양광 발전 선진국에서는 PV모듈온도 측정에 관한 연구 및 PV모듈 온도에 대한 영향을 최소화하기 위해 통풍간격을 결정한 연구 등과 같이 PV 모듈온도를 최소화시켜 PV 시스템의 성능을 최대화하기 위한 실험적 연구가 진행되고 있다[2-3]. 그러나 우리나라의 경우 BIPV 시스템에서 효율에 영향을 주는 PV모듈온도에 관한 연구도 부족하며, 실증운전에 대한 정확한 성능평가 또한 이루어지지 않은 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 BIPV 시스템 효율을 향상시키기 위하여 PV 모듈 온도에 관한 연구를 하였다. 모듈의 상승된 온도를 냉각하기 위해 열전소자를 이용하였으며, 외기 온도에 따라 모듈의 온도가 일정온도에서 항온을 유지하도록 하여 온도상승으로 인한 시스템 출

력 감소를 최소화 하였다. 또한 실증실험을 통하여 본 논문의 타당성을 입증한다.

## 2. BIPV 시스템 모델링

### 2.1. 태양전지 모델링

그림 1은 태양전지의 등가회로를 보여주며 단락전류  $I_{sc}$ 는 이상적으로 광전류  $I_{ph}$ 와 일치하고, 다이오드 포화 전류  $I_0$ 에 의해서 결정되는 태양전지의 개방전압은 다음 식과 같다[4-5].

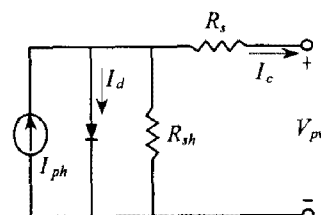


그림 1 태양전지 등가회로.  
Fig. 1 Equivalent circuit of PV array.

$$V_{oc} = \frac{kT}{q} \ln \left[ \frac{I_{sc}}{I_0} + 1 \right] \quad (1)$$

여기서,  $V_{oc}$ 는 개방전압,  $k$ 는 볼츠만 상수,  $q$ 는 전하,

$I_o$ 는 포화전류,  $T$ 는 태양전지 동작온도[K]를 나타낸다. 또한, 온도의 변화에 따른 단락전류와 개방전압의 관계식은 다음 식과 같다.

$$I_x = I_o \left[ e^{\left( \frac{qV_x}{kT} \right)} \right] \quad (2)$$

태양전지 모듈은 원하는 전압과 전류를 얻기 위하여 다수의 태양전지 셀을 직·병렬로 연결하여 구성하고, 또한 태양전지 어레이는 이러한 모듈을 다시 직·병렬로 연결하여 제작한다. 태양전지의 전류-전압 특성곡선을 얻기 위한 수식은 다음 식과 같이 표현된다.

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

$$I_d = I_o \left[ e^{\frac{q(V_{pv} + I_d R_s)}{kT}} - 1 \right] \quad (4)$$

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

$$I_c = I_{ph} - I_d - \frac{V_{pv} + I_c R_s}{R_{sh}} \quad (6)$$

여기서,  $I_{ph}$ 는 광전류,  $S_N$ 은 단위 일사량,  $I_l$ 는 단락전류 온도계수[A/K],  $I_d$ 는 다이오드 전류,  $R_s$ 는 직렬저항,  $R_{sh}$ 는 병렬저항,  $T_c$ 는 태양전지 온도[K],  $T_r$ 은 태양전지 기준온도[K],  $A, B$ 는 제조상수,  $I_{or}$ 은 역포화 전류,  $E_g$ 는 에너지 밴드갭을 의미한다.

## 2.2. BIPV의 온도특성

태양전지의 전압은 그림 2와 같이 일사량 변화에 거의 영향을 받지 않지만 온도변화에 대해서는 반비례하는 성질을 가지고 있다. 그림 3은 Design-Pro를 이용한 PV 모듈온도에 따른 발전량을 분석한 결과를 나타낸다. 주위 온도가 25[°C]에서 50[°C]까지 상승할 경우 25°C의 발전량보다 약 13%정도 출력이 감소하는 것으로 나타났다.

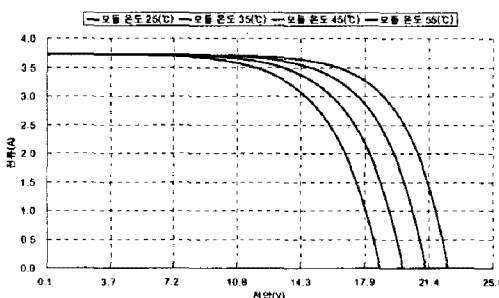


그림 2 온도에 따른 전류-전압 곡선.  
Fig. 2. I-V curves with various temperatures.

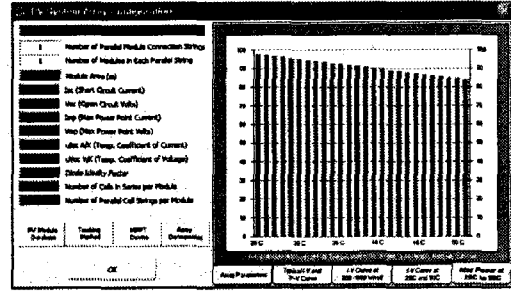


그림 3 PV 모듈온도 변화에 따른 전력량 변화(Design-Pro).  
Fig. 3 The power changes by various temperature of PV module.

## 3. 열전 냉각소자의 특성

P형, N형 반도체를 조합한 소자에 전류  $I$ 를 흘리면 Peltier effect에 의해서 상-하 접합부에 온도차를 발생하는데 Joule 열이 상-하로 나누어서 유입되고 아래로부터 열이 전도되어서 열적 평형상태에서는 상부가 저온  $T_c$  하부가 고온  $T_H$  라고 할 때 온도차 ( $\Delta T = T_H - T_c$ )가 된다.

이 때, 저온접합부의 흡열량  $Q_c$ 와 고온접합부의 발열량  $Q_H$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_c = \alpha T_c I - \frac{1}{2} I^2 R - C \Delta T \quad (7)$$

$$Q_H = \alpha T_H I - \frac{1}{2} I^2 R - C \Delta T \quad (8)$$

식 (7)에서 우변의 첫 번째 항은 Peltier 효과에 의한 흡열량, 두 번째 항은 Joule 효과에 의한 발열량, 마지막 항은 고온부에서 저온부로의 전도에 의한 열전달량을 나타낸다.

열전소자의 인가전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_m = \alpha I(T_c - T_H) + I^2 R \quad (9)$$

식 (9)에서 우변의 첫 항은 Seebeck 효과에 의한 전압강하량이고, 둘째 항은 전기 저항에 의한 전압강하량으로 이 두 항의 합이 소요전력량이다.

열전소자의 성적계수 COP(Coefficient of Performance)는 인가전력에 대한 흡열량의 비로 다음과 같다.

$$COP = \frac{Q_c}{P_m} \quad (10)$$

## 4. 온도 제어 알고리즘

건물에 통합된 PV 모듈은 높은 태양복사 조건에서 주변의 온도보다 20-40[°C] 이상 높아질 수 있고 일반적인

로 셀의 온도가 높아질수록 효율은 떨어진다. 그 이유는 온도가 높아질수록 전자의 흐름에 전기적 저항이 많아지기 때문이다. 따라서 건물에 통합된 PV 시스템의 디자인에서는 모듈의 높은 성능을 유지하기 위해서 모듈 뒷면에 자체 냉각효과를 가질 수 있는 방법이 필요하다[6].

그림 4는 본 논문에서 제시한 BIPV 냉각시스템의 제어 알고리즘을 나타낸다. 먼저 BIPV의 모듈 후면 온도와 외기온도를 DAQ 보드를 이용하여 센싱한다. 센싱된 데이터는 프로그램에서 설정한 값(NOCT, STC)과 비교하여, 모듈온도가 설정값보다 높으면 열전소자에 전압을 인가하여 냉각을 하게 된다. 또한 모듈온도가 설정값보다 낮을 경우에는 열전소자에 전압을 끊어 일반적인 동작모드에서 운전하게 된다. 이로서 태양전지 모듈은 일사량이 강한 낮 동안에도 제어 값의 부근에서 운전하게 되므로 태양전지의 출력을 향상시킬 수 있다.

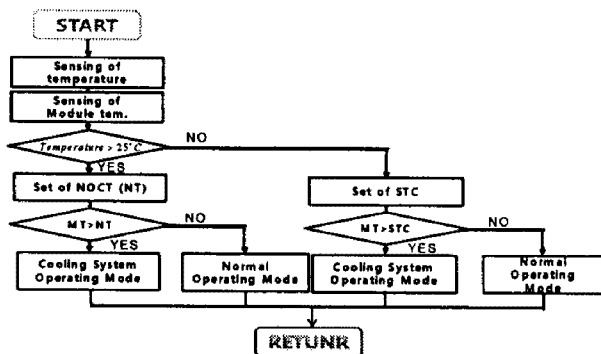


그림 4 BIPV 냉각시스템의 제어 알고리즘  
Fig. 4 Control algorithm of BIPV cooling system

## 5. 시스템 성능결과

그림 5~8은 열전소자의 동작온도를 25[°C]로 설정하였으며 열전소자를 이용한 BIPV 시스템과 통풍을 이용한 BIPV 시스템을 비교 분석하였다.

그림 5와 그림 6은 일사량이 급변하였을 경우 냉각 방식에 따른 발전량 비교, 시간에 따른 누적발전량 비교를 나타내고 있다. 열전소자를 이용한 BIPV 시스템의 발전량은 통풍을 이용한 BIPV 시스템의 발전량 보다 251.35[W] 높게 나왔다.

그림 7과 그림 8은 저 일사량에서 냉각 방식에 따른 발전량 비교, 시간에 따른 누적발전량 비교를 나타내고 있다. 열전소자를 이용한 BIPV 시스템의 발전량은 통풍을 이용한 BIPV 시스템의 발전량 보다 294.62[W] 높게 나왔다.

그림 9~12는 동작온도를 45[°C]로 설정하였을 때 시스템 성능을 비교 분석하였다.

그림 9와 그림 10은 일사량이 급변하였을 경우 냉각 방식에 따른 발전량 비교, 시간에 따른 누적발전량 비교를 나타내고 있다. 열전소자를 이용한 BIPV 시스템의

발전량은 통풍을 이용한 BIPV 시스템의 발전량 보다 102.8[W] 높게 나왔다.

그림 11과 그림 12는 일사량이 높았을 경우 냉각 방식에 따른 발전량 비교, 시간에 따른 누적발전량 비교를 나타내고 있다. 열전소자를 이용한 BIPV 시스템의 발전량은 통풍을 이용한 BIPV 시스템의 발전량 보다 432.12[W] 높게 나왔다.

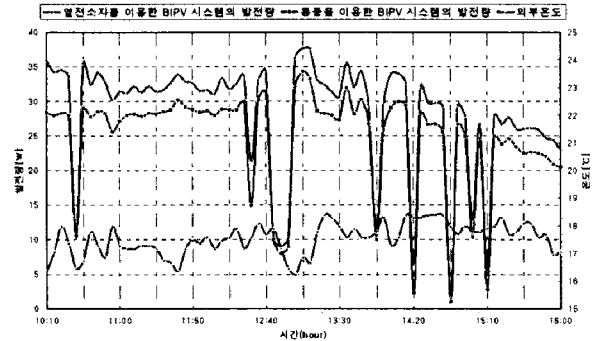


그림 5 냉각 방식에 따른 발전량 비교(STC : 일사량 급변시).  
Fig. 5 The comparison with powers by cooling methods (STC : rapidly changing radiation)

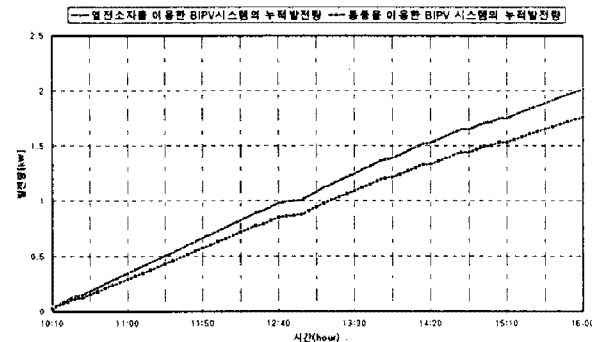


그림 6 냉각 방식에 따른 누적발전량 비교(STC : 일사량 급변시).  
Fig. 6 The comparison with the accumulated power of cooling methods (STC : rapidly changing radiation).

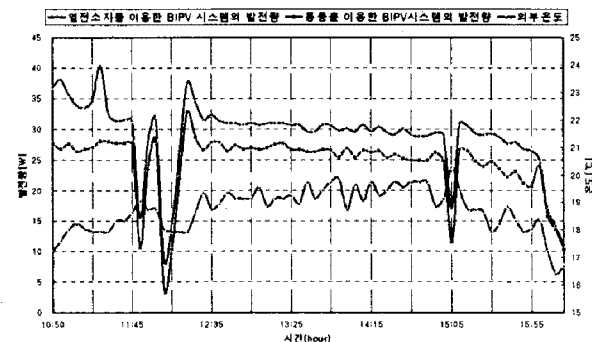


그림 7 냉각 방식에 따른 발전량 비교(STC : 저 일사량).  
Fig. 7 The comparison with powers by cooling methods (STC : low radiation).

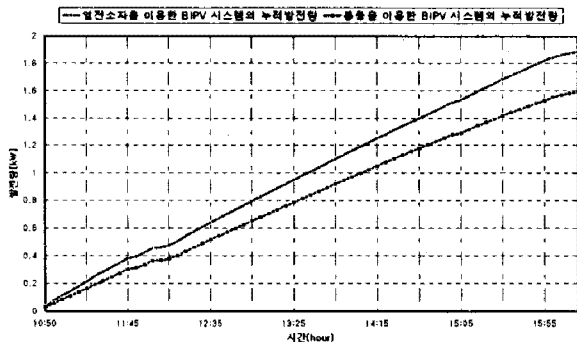


그림 8 냉각 방식에 따른 누적발전량 비교(STC : 저 일사량)  
 Fig. 8 The comparison with the accumulated power of cooling methods (STC : low radiation).

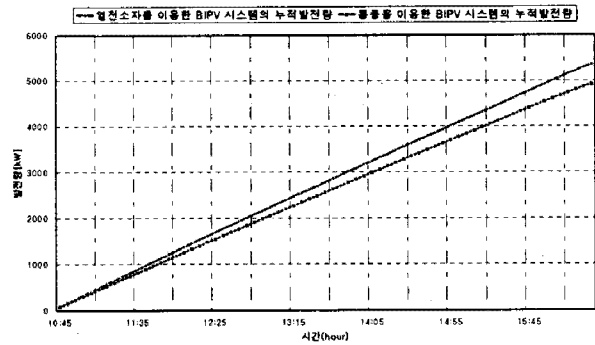


그림 12 냉각 방식에 따른 누적발전량 비교(NOCT : 고 일사량).  
 Fig. 12 The comparison with the accumulated power of cooling methods (NOCT : high radiation).

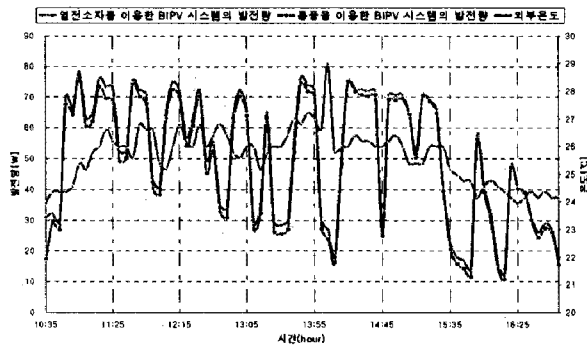


그림 9 냉각 방식에 따른 발전량 비교(NOCT:일사량 급변시)  
 Fig. 9 The comparison with powers by cooling methods (NOCT : rapidly changing radiation).

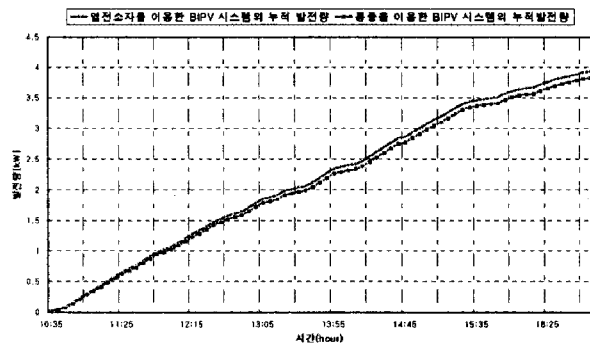


그림 10 냉각 방식에 따른 누적발전량 비교(NOCT: 일사량 급변시).  
 Fig. 10 The comparison with the accumulated power of cooling methods (NOCT : rapidly changing radiation).

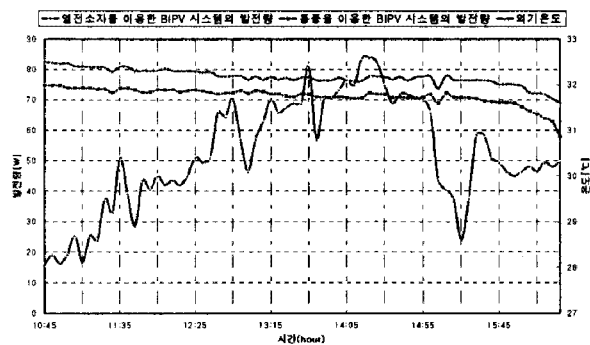


그림 11 냉각 방식에 따른 발전량 비교(NOCT : 고 일사량)  
 Fig. 11 The comparison with powers by cooling methods (NOCT : high radiation).

## 6. 결론

본 논문에서는 열전소자를 이용하여 BIPV 모듈의 효율 상승을 위한 냉각장치의 개발을 제시하였다. BIPV 모듈은 건물 마감재로 사용되어 기류가 없게 되므로 보통 외기온도에 비해 약 40[°C] 정도의 차이로 상승될 수 있다. 이러한 온도상승은 출력을 감소시켜 전체 시스템의 효율을 크게 떨어뜨린다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 제시한 열전소자에 의한 냉각시스템을 동작시킨 후 종래의 통풍방식의 냉각시스템과 비교하였다. 열전소자에 의한 냉각방법은 BIPV 모듈의 온도가 설정 온도값 이상이 될 경우 동작하여 일사량이 높은 낮 시간동안에도 제어값 부근에서 BIPV 모듈이 동작하였다. 이로써 제시한 냉각방법을 적용한 결과 시스템 출력이 종래의 방법보다 더 높게 나타나고 있으며, 효율이 증가됨을 알 수 있다. 또한 외부환경에 독립적으로 제어할 수 있기 때문에 시스템의 효율성 측면에서 큰 장점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서 제시한 열전소자를 이용한 BIPV 냉각시스템의 타당성을 입증할 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] Randall Thomas, Photovoltaics and Architecture, Sponpress, London, pp. 14, 2001.
- [2] M. Bazilian, "Thermoelectric Numerical Modelling and Experimental Testing of a Modular Building Integrated Photovoltaic Cogeneration System", Sydney, University of New South Wales, 2002.
- [3] B. J. Brinkworth, 2000, "Estimation of Flow and Transfer for the Design of PV Cooling Dusts", Solar Energy Vol. 69, No. 5, pp. 413-420.
- [4] 김형석, 박정민, 외 3인, "마이크로컨트롤러를 이용한 태양 광발전용 승압초퍼용 MPPT 제어기에 관한 연구"
- [5] Geoff Walker, "Evaluating MPPT converter Topologies using a Matlab PV model", IEAust, vol. 21, pp. 49-56, 2001.
- [6] O. Humm et al., op. cit., p.13