

BIPV 시스템의 효율성 향상을 위한 냉각시스템 설계

(Cooling system Design to improve efficiency of BIPV System)

최정식* · 고재섭 · 김도연 · 정병진 · 최정훈 · 정동화

(Jung-Sik Choi · Jae-Sub Ko · Do-Yeon Kim · Byung-Jun Jung · Jung-Hoon Choi · 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 algorism 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

BIPV 시스템을 효율적으로 건물에 적용하기 위해서는 시스템의 효율에 영향을 주는 요소를 분석하여 시스템 설계 시 이에 대한 고려가 필요하다. PV모듈이 건축 재료로 통합되면서 대두되는 문제 중 하나가 모듈의 온도이다. BIPV시스템은 PV 모듈이 건물에 부착되는 형태이어서 태양열과 벽체의 전도열에 의해 일반 PV 시스템에 비해 모듈 온도가 크게 상승하는 단점을 가지고 있다. 특히, 현재 가장 많이 이용하고 있는 결정질 실리콘 태양전지의 경우 PV 모듈온도의 상승이 PV 시스템의 성능을 저하시키는 주요 요인이 된다. 일반적으로 모듈온도는 25℃(NOCT, Nominal Operating Cell Temperature)에서 1℃상승할 때 마다 약 0.5% 정도의 효율을 감소시키는 특성을 가지고 있다. (1) BIPV 시스템의 고 효율화를 실현하기 위해 PV 모듈 온도 측정에 관한 연구 및 모듈의 냉각시스템에 대한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 BIPV 시스템 효율을 향상시키기 위하여 PV 모듈 온도에 관한 연구를 하였다. 모듈의 상승된 온도를 냉각하기 위해 열전소자를 이용하였으며, 모듈의 온도가 일정온도에서 항온을 유지하도록 하여 온도상승으로 인한 시스템 출력 감소를 최소화 하였다. 또한 실증실험을 통하여 본 논문의 타당성을 입증한다.

2. 태양전지 모델링

그림 1은 태양전지의 등가회로를 보여주며 단락전류 I_{sc} 는 이상적으로 광전류 I_{ph} 과 일치하고, 다이오드 포화전류 I_0 에 의해서 결정되는 태양전지의 개방전압은 다음 식과 같다(2)(3).

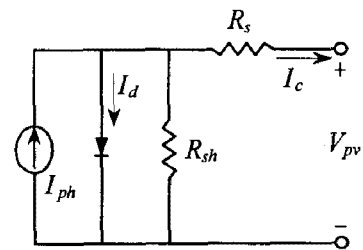


그림 1. 태양전지 등가회로.
Fig. 1. Equivalent circuit of PV array.

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

여기서, V_{oc} 는 개방전압, k 는 볼츠만 상수, q 는 전하, I_0 는 포화전류, T 는 태양전지 동작온도[K]를 나타낸다. 또한, 온도의 변화에 따른 단락전류와 개방전압의 관계식은 다음 식과 같다.

$$I_{sc} = I_0 \left[e^{\left(\frac{qV_{oc}}{kT} \right)} \right] \quad (2)$$

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.

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

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

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

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

여기서, I_{ph} 는 광전류, S_N 은 단위 일사량, I_i 는 단위 전류 온도계수[A/K], I_d 는 다이오드 전류, R_s 는 직렬 저항, 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.

3. 제어 시스템의 구성

3.1 BIPV의 온도특성 분석

Design pro 프로그램을 통해 PV 모듈의 주위온도에 따라 발전량의 변화가 나타남을 시뮬레이션 할 수 있고, 그림 2는 PV 모듈온도에 따른 발전량 변화를 나타내고 있으며 주위 온도가 25℃에서 1℃상승함에 따라 발전량이 떨어지게 된다. 50℃까지 상승할 경우 25℃일 때 보다 약 15%정도 출력이 감소하는 것으로 나타나, PV 모듈의 온도 상승이 발전효율에 영향이 큰 것으로 나타난다.

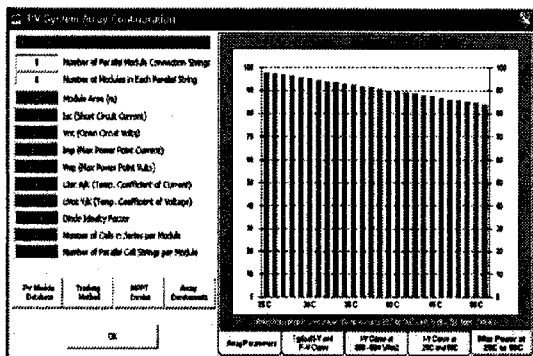


그림 2. PV 모듈온도에 따른 발전량 변화
Fig. 2. Change Power with PV Module Temperature

PV 모듈의 온도 특성 분석은 태양광 발전 설비의 인버터 선정에도 크게 영향을 미친다. 온도가 상승할 경우 발전 효율이 떨어지고, 온도가 너무 낮아질 경우에

는 인버터의 MPPT를 위한 Voc 범위를 벗어나게 되어 최대 전력점 운전을 할 수 없게 된다.

3.2 PI 제어를 이용한 온도제어 시스템

그림 3은 열전소자를 제어하기 위한 PI 제어기의 블록도를 나타낸다.

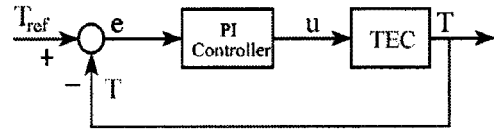


그림 3. PI 제어기의 블록도
Fig. 3. Block diagram of PI controller

여기서 T_{ref} 는 입력온도(NOCT), T 는 실제 모듈의 출력온도, e 는 입력온도 인 NOCT와 실제 모듈의 출력온도간의 오차를 나타내고 있다.

열전소자(TEC)의 전달함수를 $G_T(s)$, PI 제어기의 전달함수를 $G_P(s)$ 라고 할 때, 전체 폐 루프 시스템의 전달함수는 다음 식(7)과 같이 정의 될 수 있다.

$$G(s) = \frac{T}{T_{ref}} = \frac{G_T(s)G_P(s)}{1 + G_T(s)G_P(s)} = \frac{K(k_p s + k_i)}{s^2 + K(1 + k_p)s + Kk_i} \quad (7)$$

여기서, k_p 는 비례상수, k_i 는 적분상수를 나타낸다.

따라서, 열전소자의 전달함수 $G_T(s)$ 와 PI제어기의 전달함수를 이용하여 제어 입력 u 를 구하면 다음 식(8)과 같다.

$$u(t) = k_p \{T_{ref}(t) - T(t)\} + k_i \int_0^t \{T_{ref}(r) - T(r)\} dr \quad (8)$$

3.3 제어 알고리즘 설계

건물에 통합된 PV 모듈은 높은 태양복사 조건에서 주변의 온도보다 20-40℃ 이상 높아질 수 있고 일반적으로 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.[4]

그림 4는 본 논문에서 제시한 BIPV 냉각시스템의 제어 알고리즘을 나타낸다. 먼저 BIPV의 모듈 후면 온도를 DAQ 보드를 이용하여 센싱한다. 센싱된 데이터는 프로그램에서 설정한 NOCT와 비교하여, 모듈온도가 NOCT보다 높으면 열전소자에 전압을 인가하여 냉각을 하게 된다. 또한 모듈온도가 NOCT보다 낮을 경우에는 열전소자에 전압을 끊어 일반적인 동작모드에

서 운전하게 된다. 이로서 태양전지 모듈은 일사량이 강한 낮 동안에도 NOCT 부근에서 운전하게 되므로 태양전지의 출력을 향상시킬 수 있다.

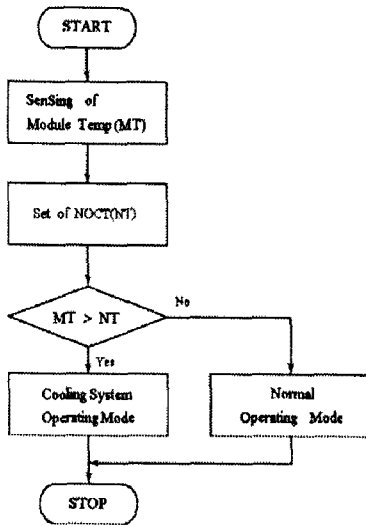


그림 4. BIPV 냉각시스템의 제어 알고리즘
Fig. 4. Control algorithm of BIPV cooling system

그림 5는 열전소자를 이용한 태양광 발전 냉각시스템의 전체 구성도를 나타낸다. PV 모듈의 후면에 그림과 열전소자를 부착하고 일사량계, 모듈온도계 및 외기온도계를 설치하여 냉각시스템을 제어하는 구성도이다.

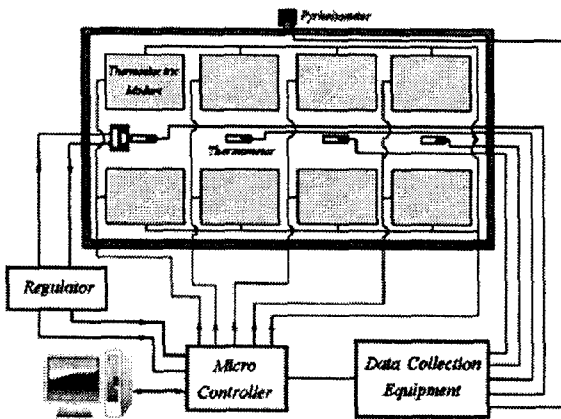


그림 5. BIPV 냉각시스템의 구성도
Fig. 5. Configuration of BIPV cooling system

4. 실험 및 결과

그림 6과 7은 전력전자의 시뮬레이션 Tool인 PSim을 이용하여 온도에 따른 BIPV 특성을 분석한 것으로서 그림 6은 일사량이 변할 때 모듈 온도에 따라 개방전압을 나타내고 있다. 개방전압은 일사량에 비례함을 알 수 있으며, 모듈의 온도가 상승함에 따라 전압이 하강함을 알 수 있다. 개방전압은 최대전력점 전압과 밀접한 관계가 있으며, 따라서 개방전압이 낮아질 수록

최대 전력점에서 떨어져 PV 출력이 감소한다. 그림 7은 온도변화에 따른 PV 모듈의 DC 출력 전압을 나타내고 있다. 온도가 55℃일 경우는 25℃일 경우에 비해 DC 출력전압이 약 3.5V 정도 감소함을 알 수 있다. 이는 온도가 상승할수록 모듈의 출력이 감소하여 결과적으로 효율이 떨어짐을 알 수 있다.

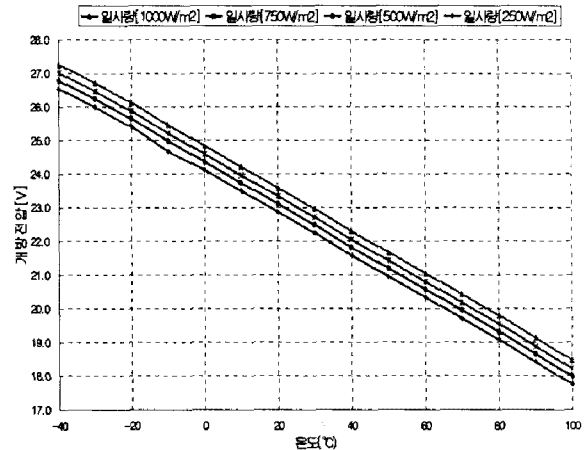


그림 6 온도에 따른 개방전압의 변화
Fig. 6. Change of open voltage by temperature

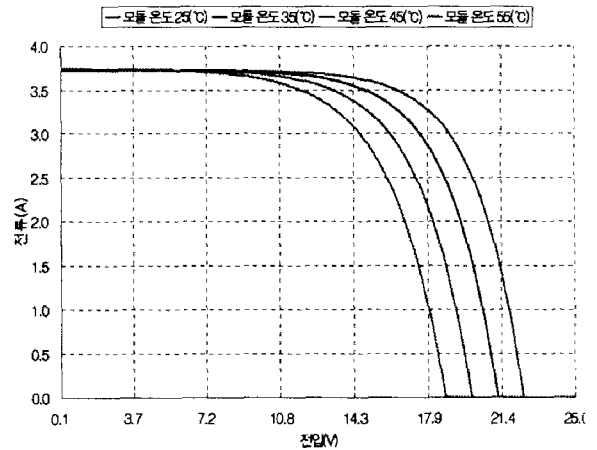


그림 7 온도변화에 따른 DC 출력 전압의 변화
Fig. 7. Change of DC output voltage by variable temperature

그림 8은 통풍구를 설치한 경우와 열전소자를 이용한 냉각시스템을 부착한 경우에 대해 비교한 것으로 열전소자를 부착한 PV 모듈은 외부환경 즉, 바람의 영향에 의존하지 않고 모듈의 온도가 일정 온도 이상이 되면 동작하여 냉각함으로써 종래의 방법에 비해 모듈온도가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 또한, 열전소자를 부착한 모듈의 경우에는 온도가 NOCT 이상으로 상승될 때, NOCT 부근에서 동작하도록 제어가 가능하여 종래의 외부환경에 의존적인 통풍 냉각방법에 비해 우수한 성능을 입증하였다.

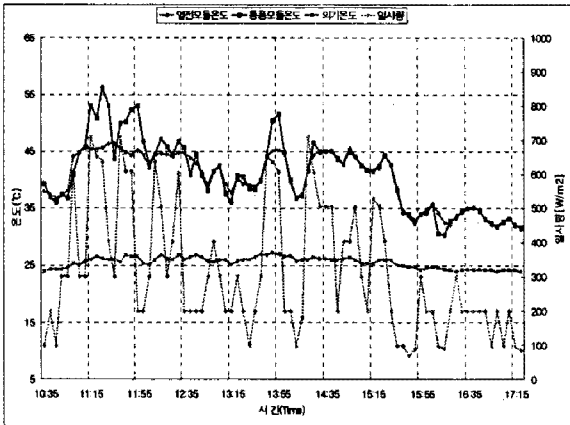


그림 8 PV 모듈 온도 비교 (열전모듈-통풍모듈)
Fig. 8. Comparison of PV Module Temperature (Thermoelectric - ventilator Module)

그림 9는 그림 8의 조건에서 PV 모듈에서 출력되는 전압을 나타내고 있으며, 모듈의 온도가 NOCT 이하 일 경우(즉, 열전소자가 동작하지 않은 경우)에는 종래의 냉각 방법과 모듈의 온도가 비슷하게 유지되나, 모듈의 온도가 NOCT 이상일 경우 열전소자를 부착한 모듈이 종래의 통풍구를 설치한 모듈의 전압에 비해 높게 나타나고 있다.

그림 10은 일반 모듈과 통풍구를 설치한 모듈 및 열전소자를 부착한 모듈에 대한 누적전력량을 비교한 것으로 통풍구를 설치한 모듈이 일반모듈에 비해 약 16W 정도 높게 나타나고 있고, 열전소자를 부착한 모듈은 종래의 통풍구를 설치한 모듈에 비해 약 40W 정도 높게 나타나고 있다.

따라서 본 연구에서 제시한 열전소자를 이용한 태양광 발전의 냉각시스템 개발에 대한 양호한 성능을 입증할 수 있다.

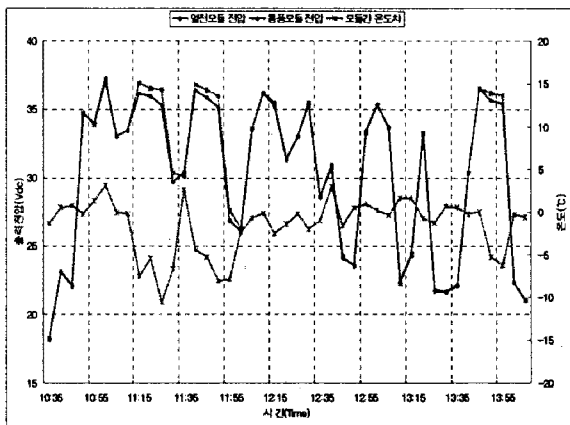


그림 9 PV 모듈 DC 출력전압 비교 (열전모듈-통풍모듈)
Fig. 9. Comparison of PV Module DC Output Voltage (Thermoelectric - ventilator Module)

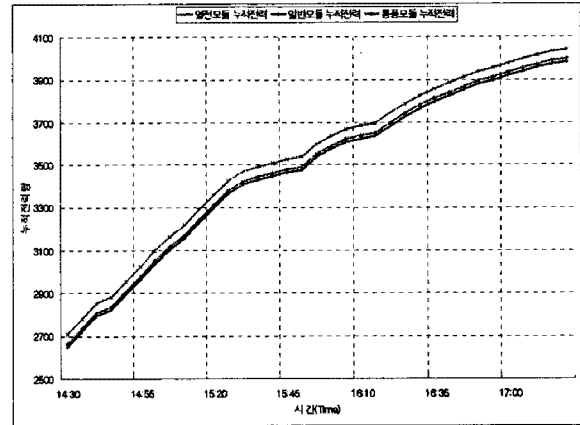


그림 10 PV 모듈 누적전력량 비교
Fig. 10. Comparison of PV Module Accumulation Power

5. 결론

본 논문은 열전소자를 이용하여 BIPV 모듈의 효율 상승을 위한 냉각장치를 개발하는 것이다. 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 NOCT 이상이 될 경우 동작하여 일사량이 높은 낮 시간동안에도 NOCT 부근에서 BIPV 모듈이 동작하였다. 이로서 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.

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구 결과임.

참고 문헌

- [1] Randall Thomas, Photovoltaics and Architecture, Sponpress, London, p.14, 2001
- [2] 김형석, 박정민, 외 3인, "마이크로컨트롤러를 이용한 태양광발전용 승압초퍼용 MPPT 제어기에 관한 연구"
- [3] Geoff Walker, "Evaluating MPPT converter Topologies using a Matlab PV model", IEAust, vol. 21, pp. 49-56, 2001.
- [4] O. Humm et al., op. cit., p.13