

BIPV 냉각시스템을 위한 자기동조 PI 온도제어

김도연, 고재섭, 최정식, 정병진, 백정우, 정동화
순천대학교

Self Tuning PI Temperature Control for BIPV Cooling System

Do-Yeon Kim, Jae-Sub Ko, Jung-Sik Choi, Byung-Jin Jung, Jung-Woo Baek, Dong-Hwa Chung
Sunchon National University

Abstract - This paper proposes a cooling system using self tuning PI controller for improving the output of BIPV module. The temperature characteristics 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 and 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 nominal operating cell temperature(NOCT) which is able to make the maximum output. The paper proposes the cooling system using thermoelectron by self tuning PI controller so as to solve such problems. The thermoelectron control of self tuning PI controller 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 an 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 건축재료로 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 온도측정에 관한 연구 및 모듈의 냉각시스템에 대한 연구가 필요한 실정이다. 또한 온도제어를 위해 종래에 사용되는 PI 제어기는 고정된 이득값을 사용하기 때문에 일반적으로 비선형과 불확실한 모델에 의해 복잡하고 시변이며 비선형일 경우에는 문제점이 나타난다.[2]-[3] 특히 외란, 온도 및 냉각용량 등의 파라미터가 변동할 경우 고성능 및 강인성 제어를 실현하기 어렵다. [4]-[5] 따라서 본 논문에서는 BIPV 시스템 효율을 향상시키기 위하여 자기동조 PI 제어기를 통해 PV 모듈의 온도를 제어하였다. 모듈의 상승된 온도를 냉각하기 위해 열전소자를 이용하였으며, 모듈의 온도가 일정온도에서 항온을 유지하도록 하여 온도상승으로 인한 시스템 출력감소를 최소화하였다. 또한 실증실험을 통하여 본 논문의 타당성을 입증하였다.

2. 태양전지 모델링

그림 1은 태양전지의 등가회로를 보여주며 단락전류 I_{sc} 는 이상적으로 광전류 I_c 와 일치하고, 다이오드 포화전류 I_o 에 의해서 결정되는 태양전지의 개방전압은 다음 식과 같다[6]-[7].

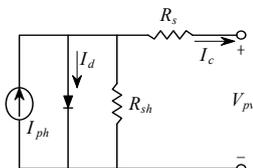


그림 1. 태양전지 등가회로.

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

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.

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

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 특성 곡선을 얻기 위한 수식은 다음 식과 같이 표현된다.

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

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

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

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

여기서, I_{ph} 는 광전류, S_N 은 단위 일사량, I_s 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.

3. 자기동조 PI제어기를 이용한 온도제어

BIPV 냉각시스템 온도제어를 위한 자기동조 PI 제어기는 그림 2와 같다.

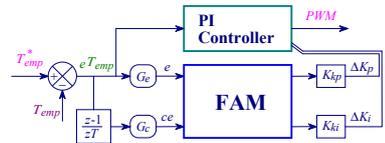


그림 2 온도제어를 위한 자기동조 PI 제어시스템의 블록도

FAM에서 입력은 온도 오차 e 와 온도 오차의 변화 ce 이고 출력은 두 개의 이득 K_p 와 K_i 이다. K_p 와 K_i 를 경신하기 위한 퍼지 룰은 표 1과 표 2에 나타난다. 퍼지집합은 같은 쪽으로 중복된 삼각형 함수를 사용한다.

표 1 이득 K_i 를 경신하기 위한 룰 베이스									표 2 이득 K_p 를 경신하기 위한 룰 베이스								
$\frac{ce}{\Delta T}$	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL		$\frac{ce}{\Delta T}$	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL	
NL	ZE	NS	NM	NL	NM	NS	ZE		NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	ZE	
NM	PS	ZE	NS	NM	NS	ZE	PS		NM	NL	NL	NL	NM	NS	ZE	PS	
NS	PM	PS	ZE	NS	ZE	PS	PM		NS	NL	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	
ZE	PL	PM	PS	ZE	PS	PM	PL		ZE	NL	NM	NS	ZE	PS	PM	PL	
PS	PM	PS	ZE	NS	ZE	PS	PM		PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PL	PL	
PM	NS	ZE	NS	NM	NS	ZE	PS		PM	NS	ZE	PS	PM	PL	PL	PL	
PL	ZE	NS	NM	NL	NM	NS	ZE		PL	ZE	PS	PM	PL	PL	PL	PL	

피지 동조기는 두 개의 출력 언어변수의 비피지화를 위하여 무게중심법을 사용하여 PI 제어기의 이득의 적절한 변화를 얻는다. 이 두 개의 이득은 다음과 같이 경신한다.

$$K_p(k) = K_p(k-1) + K_{kp}f_1(e_n, \Delta e_n) \quad (7)$$

$$K_i = K_i + K_{ki}f_2(e_n, \Delta e_n) \quad (8)$$

4. 시스템 성능결과

그림 3은 50[°C]에서 운전중 온도를 20[sec]에 30[°C] 변화하였을 경우 PI 제어기와 자기동조 PI제어기의 응답특성을 나타낸다.

그림 3(a)는 PI 제어기, 그림 3(b)는 자기동조 PI 제어기의 지령온도 및 실제온도, 그림 3(c) PI 제어기와 자기동조 PI제어기의 상대오차를 나타낸다. 자기동조 PI 제어기는 종래의 PI 제어기보다 오버슈트, 안정화 시간, 정상 및 과도상태 등 응답특성이 양호하게 나타나며, 그림 3(c)에서 나타난 것과 같이 PI 제어기의 오차가 자기동조 PI 제어기 보다 크게 나타나고 있다.

그림 4는 60[°C]에서 운전중 10[sec]에 40[°C], 30[sec]에 20[°C]로 온도를 변화시켰을 경우에 나타나는 응답특성을 나타낸다. 온도가 변화하였을 경우에도 자기동조 PI 제어기는 종래의 PI보다 응답특성이 양호하다.

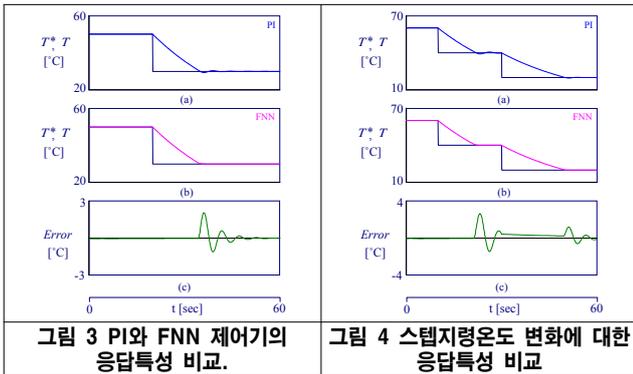


그림 3 PI와 FNN 제어기의 응답특성 비교.

그림 4 스텝지령온도 변화에 대한 응답특성 비교

그림 5~7은 저 일사량인 날에 열전소자의 동작온도를 25[°C]로 설정하였다. 그림 5는 냉각방식에 따른 모듈온도 비교를 나타내고 있다. 이날 열전소자를 이용한 BIPV 시스템의 평균 모듈온도는 24.4[°C], 통풍을 이용한 BIPV 시스템의 평균 모듈온도는 30.3[°C]이다.

그림 6은 냉각방식에 따른 누적발전량 비교를 나타내고 있다. 열전소자를 이용한 BIPV 시스템의 발전량은 통풍을 이용한 BIPV 시스템의 발전량 보다 294.62[W] 높게 나왔다.

그림 7~8은 고 일사량인 날에 열전소자의 동작온도를 45[°C]로 설정하였다. 그림 7은 냉각방식에 따른 모듈온도 비교를 나타내고 있다. 이날 열전소자를 이용한 BIPV 시스템의 평균 모듈온도는 45[°C], 통풍을 이용한 BIPV 시스템의 평균 모듈온도는 59.46[°C]이다.

그림 8은 냉각방식에 따른 누적발전량 비교를 나타내고 있다. 열전소자를 이용한 BIPV 시스템의 발전량은 통풍을 이용한 BIPV 시스템의 발전량 보다 432.12[W] 높게 나왔다.

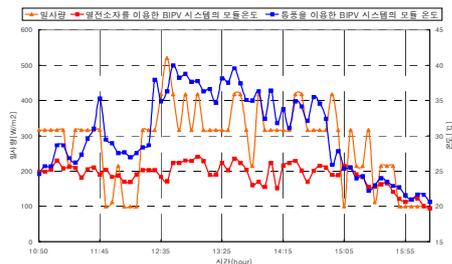


그림 5 냉각 방식에 따른 모듈온도 비교(저 일사량).

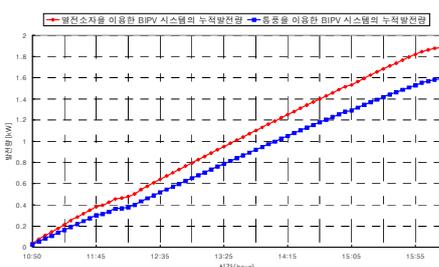


그림 6 냉각 방식에 따른 누적발전량 비교(저 일사량).

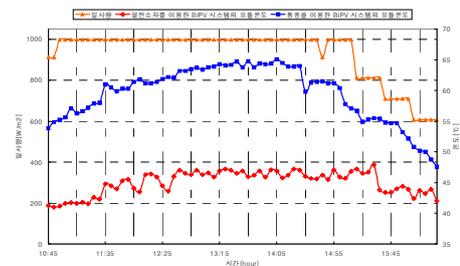


그림 7 냉각 방식에 따른 모듈온도 비교(고 일사량).

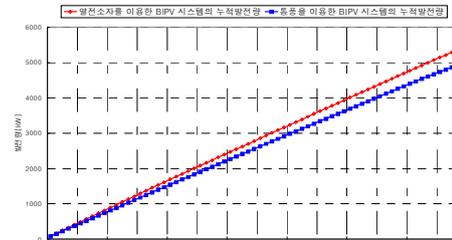


그림 8 냉각 방식에 따른 누적발전량 비교(NOCT : 고 일사량).

5. 결론

본 논문에서는 BIPV 냉각시스템을 위한 자기동조 PI 제어기를 제시하였다. 또한 종래의 BIPV 냉각방식인 통풍방식이 기후조건에 의존하는 문제점을 해결하기 위하여 냉각방식을 열전소자를 사용하였다. 자기동조 PI 제어기는 온도변화에 대하여 종래의 PI 제어기에 비하여 우수한 성능을 나타냈다. 자기동조 PI 제어기에 의한 열전소자 냉각방식은 설정온도 이상일 경우 동작하여 일사량이 높은 낮 시간 동안에도 설정온도 부근에서 BIPV 모듈이 동작하였다. 또한 종래의 통풍방식에 비하여 모듈온도가 현저하게 저감되었으며, 누적발전량도 높게 나타났다. 이로서 제시한 자기동조 PI 제어기에 의한 냉각방식이 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 자기동조 PI 제어기에 의한 냉각시스템의 타당성을 입증 할 수 있었다.

[참고 문헌]

- [1] Randall Thomas, Photovoltaics and Architecture, Sponpress, London, p.14, 2001
- [2] M. Ali Unar, D. J. Murray-Smith and S. F. Ali Shah, "Design and tuning of fixed structure PID controller - A survey," Technical Report CSC-96016, Faculty of Engineering, Glasgow University, Scotland, 1996.
- [3] Z. Ibrahim and E. Levi, "Comparative analysis of fuzzy logic and PI speed control in high performance AC drives using experimental approach," Proc. of IEEE IAS'2000, Rome, Italy, CD-ROM paper 46-3, 2000.
- [4] C. M. Ong, "Dynamic simulation of electric machinery using Matlab/simulink," Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1998.
- [5] M. A. Rahman and M. A. Hoque, "On-line adaptive artificial neural network based vector control of permanent magnet synchronous motors," IEEE Trans. EC, vol. 13, pp. 311-318, 1998.
- [6] 김형석, 박정민, 외 3인, "마이크로컨트롤러를 이용한 태양광발전용 승압초퍼용 MPPT 제어기에 관한 연구"
- [7] Geoff Walker, "Evaluating MPPT converter Topologies using a Matlab PV model", IEAust, vol. 21, pp. 49-56, 2001.