

# 4 [kW]급 발열유리 온도제어 시스템의 PI제어기 설계

이수형\*, 이창열\*, 김진영\*, 김인동\*, 노의철\*, 최창호\*\*  
 부경대학교 전기공학과\*, (주)정암안전유리\*\*

## Design of PI Controller for Heated-Glass Temperature Control System

S.H Lee\*, C.Y Lee\*, J.Y Kim\*, I.D Kim\*, E.C Nho\*, C.h Choi\*\*  
 Dept. of Electrical Eng., Pukong National University, Korea\*  
 Jeong-Am Safety Glass CO.,LTD, Korea\*\*

### ABSTRACT

겨울철 또는 온도가 낮은 지역에서는 선박과 건축용 등의 창유리에 결로, 결빙현상이 쉽게 발생하여 시야확보가 어렵다. 이 현상들은 창유리의 온도를 상승시킴으로써 방지가 가능하다. 하지만 창유리의 온도는 바람과 기온 및 기후 변화 등의 외란에 민감하므로 일정한 온도 유지가 어렵다. 따라서 민감한 창유리의 온도를 일정하게 유지하기 위한 제어기법이 필요하다. 본 연구에서는 산업현장에 많이 사용되고 있는 PI 제어 기법을 적용하여 4 [kW]급 발열유리 온도 제어 시스템의 제어기를 설계하고 실험을 통하여 제어기의 성능을 검증하였다.

### 1. 서론

겨울철이나 온도가 낮은 지역에서는 창유리에 결로, 결빙 현상이 쉽게 발생하고 쾌적한 시야확보 및 청결유지를 방해한다.<sup>[1]</sup> 이 현상은 발열유리를 사용함으로써 방지할 수 있다.<sup>[2]</sup>

기존의 아날로그 발열유리 온도 제어 시스템은 트리거 소자인 SBS로 위상 제어용 펄스를 발생시켜 TRIAC을 통해 온도를 제어한다. 이 시스템은 온도의 목표 설정치 보다 온도가 초과하게 되면 정특성 서미스터의 저항값이 증가하게 되고 TRIAC의 통전각은 감소하게 되어 온도가 제어된다.<sup>[3]</sup> 이처럼 위상제어 방식을 이용하는 아날로그 제어 시스템은 정확한 온도설정, 상태표시 및 고장검지가 어렵고 EMI/EMC 문제가 발생될 수 있다. 또한 창유리의 온도는 바람, 기온, 기후 변동 등 외란에 민감하므로 일정한 온도유지가 어렵다. 따라서 민감한 창유리의 온도를 일정하게 유지하기 위한 제어기법이 필요하다. 따라서 이와 같은 단점을 해결하기 위해 본 논문에서는 마이크로프로세서를 이용한 4.4 [kW]급 발열유리 PI제어시스템을 제안한다. 마이크로프로세서를 이용한 발열유리 PI제어시스템은 정확한 온도제어가 가능하며 외란에 대한 문제점을 하드웨어적 변경 없이 프로그램수정을 통해 해결이 가능하기 때문에 시스템이 유연해진다.

### 2. 온도 제어 시스템

#### 2.1 온도 제어 시스템

그림 1은 제안하는 PI제어기를 이용하는 발열유리 온도 제어 시스템이다. 시스템은 전력회로와 제어회로로 나뉜다. 전력

회로는 TRIAC를 통해 발열유리에 전력을 공급하는 회로이며, 제어회로에는 TRIAC제어를 위한 MCU 및 게이트 드라이버를 포함하고 있다. 표 1은 발열유리 온도제어 시스템에서 요구되는 시스템의 설계 사양이다.

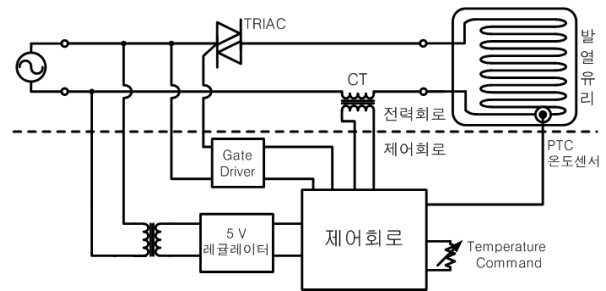


그림 1. 제안된 발열유리 온도 제어 시스템

표 1. 시스템의 설계 사양

항 목	설계 사양
최대전력	4.4 [kW]
정격전압	단상 AC220 [V], 50-60 [Hz]
최대전류	20 [A]
제어소자	MCU, TRIAC
제어방식	On / Off 제어

#### 2.2 제어 방식 및 알고리즘

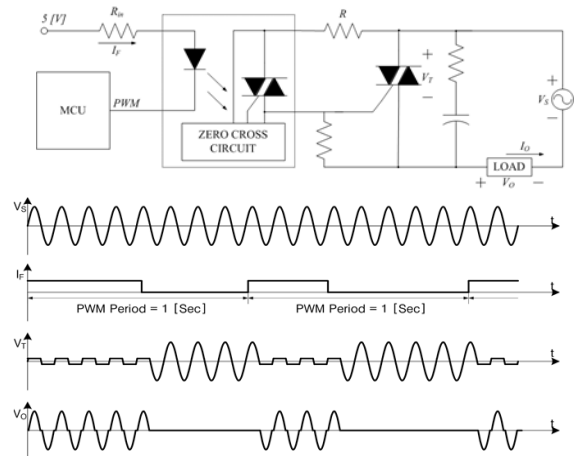


그림 2. 전력회로 및 Timing Diagram

그림 2는 전력회로 및 Timing Diagram을 나타낸다.  $I_T$ 의 주기는 1 [s]이므로 입력전압의 60 cycle의 제어범위를 갖는다. 하지만 TRIAC은 입력전압의 반주기마다 On/Off 제어가 가능하므로 온도제어의 범위는 120 단계로 제어가 가능하다.

### 2.3 PI제어기 설계

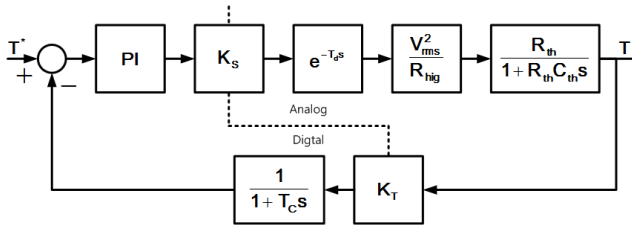


그림 3. PI제어기의 블록도

그림 3은 PI제어기의 블록도이다. 제어 대상인 발열유리의 특성치는 아래 표2와 같다.

표 2. 발열유리의 특성치

$R_{TH}$	0.03 [ $^{\circ}C/W$ ]
$C_{TH}$	46000 [ $W \cdot sec/^{\circ}C$ ]
$R_{HIG}$	25 [ $\Omega$ ]
$V_{rms}$	220 [V]

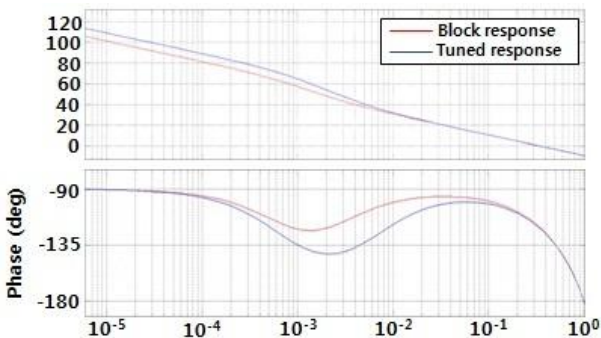
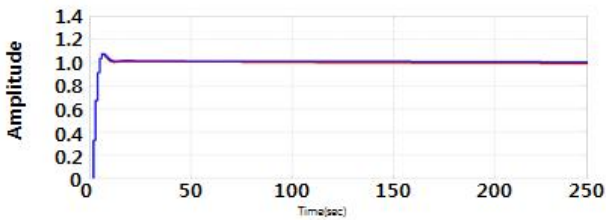


그림 4. PI 제어기의 Step reference tracking과 Open-loop bode plot

표 3. PI 제어기의 Control 파라미터

Block response		Tuned rspnse	
kp	4	kp	3.98
ki	0.01	ki	0.2446
Gain margin	9.23 [dB]	Gain margin	9.23 [dB]
Phase margin	59.1 [ $^{\circ}$ ]	Phase margin	58.7 [ $^{\circ}$ ]

그림 4는 Matlab의 simulink를 이용하여 설계된 PI 제어기의 Step reference tracking과 Open-loop bode plot을 나타낸

그래프이다. 시스템에 적용할 제어기의 파라미터는 표 3과 같다.

### 3. 실험 결과

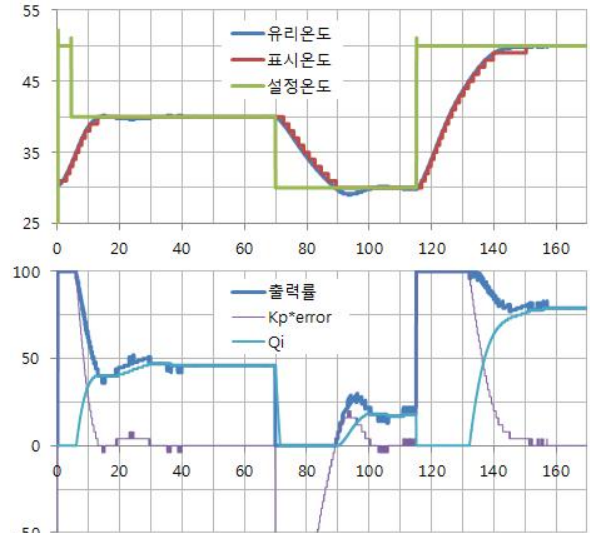


그림 5. 설정온도에 따른 발열유리의 온도 변화 및 시스템의 출력률

그림 5는  $K_p=4$ ,  $K_i=0.01$  일 때의 실험의 결과로써 설정온도에 따른 발열유리의 온도 변화 및 시스템의 출력률을 나타낸다. 출력률은  $K_p \cdot \text{error} + Q_i$ 이며 Duty는 출력률에 의해 결정된다. 시스템의 최초 구동 또는 급격한 온도변화로 인하여 100%의 출력률로 시스템이 동작할 때는 Overshoot가 발생하나 출력률이 100%가 요구될 때에는  $Q_i$ 값을 최소치인 0으로 제한을 줌으로써 해결된다.

### 4. 결론

본 논문에서는 PI제어기를 이용하는 발열유리 온도 제어 시스템을 제안하였다. PI제어기를 모델링하여 시뮬레이션을 통해 안정성을 검증하였고, 4 [kw]급 발열유리 온도 제어 시스템에 PI제어기를 적용하여 온도특성 실험을 하였다. 실험을 통해 PI제어기의 성능을 확인하였으며, 온도 제어가 정확하게 되는 것을 확인하였다.

이 논문은 (주)정암안전유리의 지원에 의하여 연구되었음

### 참고 문헌

- [1] 장철용, “단열성을 향상시킨 고효율 침단창호”, 설비저널 제 36권 제8호 2007년 8월호, pp. 19~25, 2007.
- [2] 안중곤, 유석희, 강범수, 권진, 임원석, 강주희, “철도 차량 유리창에 발열 유리 시스템 사용시 객실 온도 변화에 대한 연구”, 한국철도학회 2009년도 춘계 학술발표대회논문집, pp. 1109~1116, 2009.
- [3] 김상진, “메카트로닉스를 위한 사이리스터 제어회로”, pp. 132~134, 청문각, 1999.