

열전소자를 이용한 온도 환경시험기의 퍼지제어기 개발

황기현*

Development of Fuzzy Controller for Temperature Environment Tester Using Thermoelectric Module

Gi-Hyun Hwang*

Division of Computer Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

요 약

본 논문에서는 열전소자를 이용한 온도 환경 시험기에 적용할 수 있는 퍼지제어기를 개발하였다. 온도환경 시험기에 퍼지제어기를 구현하기 위해 마이컴기반의 온도제어시스템을 제작하였다. 안정적인 온도 유지 및 온도 변화 속도를 향상시키기 위하여 퍼지제어기를 내장한 온도환경 시험기를 개발하였다. 제안한 방법의 유용성을 입증하기 위하여, 일반적으로 널리 사용되고 있는 비례-적분-미분 제어기와 비교하였다. 실험결과 제안한 퍼지제어기가 기존의 비례-적분-미분 제어기보다 상승시간, 오버슈트 면에서 좋은 제어성능을 보임을 알 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, a fuzzy controller using thermoelectric for temperature environmental tester is developed. The new structure of fuzzy controller based temperature environmental tester is proposed and implemented to maintain a stable temperature and improve temperature change speed. In order to evaluate the efficiency, an experiment is setup to compare PID controller with our proposed controller. The experimental results, we proved that our proposed fuzzy controller has better performance than PID controller.

키워드 : 열전소자, 퍼지제어기, 온도 환경시험기, PID제어

Key word : Thermoelectric module, Fuzzy controller, Temperature environmental tester, PID control

Received 05 March 2015, Revised 09 April 2015, Accepted 22 April 2015

* Corresponding Author Gi-Hyun Hwang(E-mail:hwanggh@gdsu.dongseo.ac.kr, Tel:+82-51-320-2158)
Department of Computer Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2015.19.5.1228>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

최근에 ICT 기술이 발달하면서 다양한 형태의 스마트 기기가 개발되고 있다. 이러한 스마트 기기는 다양한 부품을 이용하여 제작하고 있고, 그 중에 하나인 발전기의 역할이 갈수록 증가되어 지고 있다[1-4]. 이에 발전기의 수요는 꾸준히 증가하고 있으며, 정확한 정보의 송수신 및 분석을 위해 고정밀도의 사양을 요구하고 있다. 따라서 보다 정확하고 정밀한 발전기의 구형과 신속한 생산을 위해서는 보다 정밀한 온도제어기가 내장된 온도환경 시험기가 필요하다. 최근에는 온도환경 시험기의 온도제어기로 지능제어기법을 적용한 사례가 있고, 관련업체에서는 우수한 경쟁력을 확보하기 위하여 이 분야에 많은 연구를 진행하고 있다[5].

다양한 환경에서 동작되는 전자부품의 신뢰성을 검증하기 위해 필요로 하는 온도환경 시험기는 날로 증가하고, 환경 문제에 따라 프레온 가스를 사용하지 않고, 저소음의 온도환경 시험기가 필요하게 되었다. 그리고 압축기 히터 제어 방식의 온도제어기는 정밀한 온도제어를 이룰 수 없고, 별도의 정밀 온도제어기가 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 열전소자를 이용한 온도환경 시험기에 적합한 퍼지제어기를 개발하였다. 개발한 퍼지제어기의 유용성을 입증하기 위해, 온도환경 시험기를 제작하였고, 기존에 널리 사용되고 있는 PID (Proportional-Integral-Derivative) 제어기와 성능을 비교 분석하였다.

II. 온도환경시험기의 설계

2.1. 온도환경시험기의 구성

열전소자는 직류전원을 사용하며 온도 분극이 생긴다. 또한 극성을 바꾸게 되면 온도 분극도 따라서 변화하게 된다. 이로써 냉각과 가열을 시킬 수 있게 된다.

그림 1은 온도환경 시험기의 구조를 나타내었다. 그림 1과 같이, 열전소자를 알루미늄 함체 외벽에 부착하고 그 외벽은 폐열을 배출할 수 있는 냉각수 함체로 둘러싼 후 보온제로 마무리하였고, 내부에는 공기 순환용 팬을 장착한다. 그림 2는 온도환경시험기의 하드웨어 구성을 나타내었다. 그림 2와 같이, 전기적인 장치로는 가변형 직류전원장치를 구성하고 극성을 전환할 수 있

는 MOS FET Bridge 회로를 구성하여 열전 소자에 공급 되도록 설계하였다.

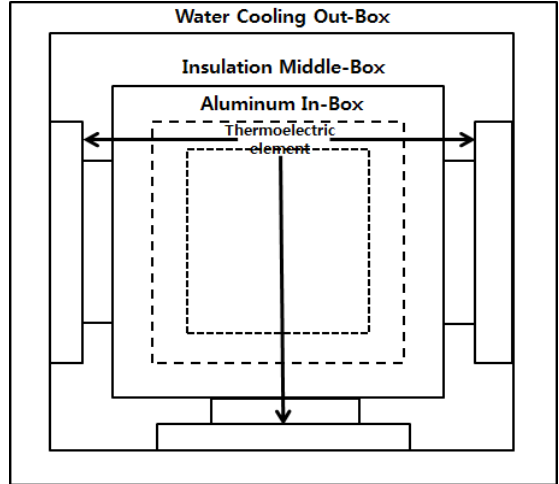


그림 1. 온도환경시험기의 구조
Fig. 1 Structure of temperature environment tester

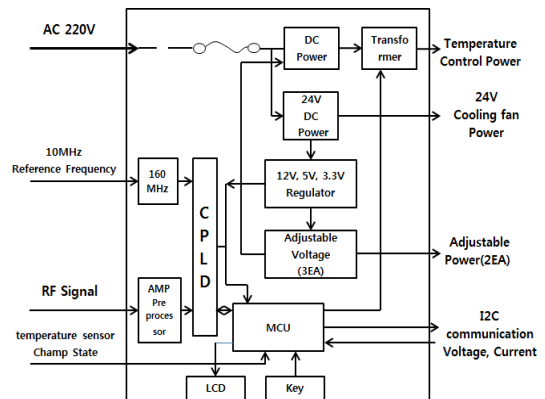


그림 2. 온도환경시험기의 하드웨어 구성
Fig. 2 The configuration of hardware for temperature environment tester

2.2. 온도환경 시험기의 전달함수 개발

온도환경 시험기에 대한 전달함수를 구하기 위해 그림 3과 같이, 온도환경 시험기에 대한 제어계통도를 구성하였다. 그림 3에서 보는 것처럼, 설정 온도 $R(S)$ 는 설정 값에 의하여 제어가 시작되므로 $R(S) = T$ (설정온도)가 된다. 온도 대 전압 변환 함수 $V(S)$ 설정 값과 온도 센서에서 획득한 값에 대하여 제어기에서

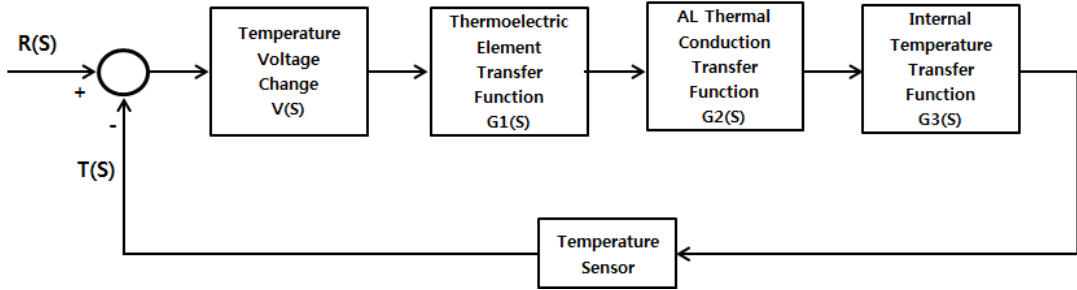


그림 3. 온도환경시험기의 블록선도
Fig. 3 The block diagram of temperature environment tester

발생할 전압 함수이다. 위의 과정은 1초미만의 짧은 시간에 진행되기 때문에 시간 지연이 없는 것으로 보고 $V(S) = K(T_r(S) - R(S))$ 함수로 본다.

평상조건에서 열전 소자 전달 함수 $G_1(S)$ 의 열전 소자의 흡열 효율은 약 70%이며 발열 성능을 자체 발열을 포함하여 130%정도 된다.

$$Q_T(T) = \frac{4.1828 V(T)^2}{RT} \quad (1)$$

여기서, $Q_T(T)$: 열전 소자의 흡발열량
 $V(T)^2$: 열전 소자에 공급되는 전압
 RT : 열전 소자의 흡발열 저항

$$Q_{HT} = 1.3 Q_T(T) \quad (2)$$

여기서, $Q_{HT}(T)$: 발열측 열량

$$Q_{LT}(T) = 0.7 Q_T(T) \quad (3)$$

여기서, $Q_{LT}(T)$: 흡열측 열량

제어시스템에 가해지는 열량은 저장열과 손실열을 합한 것과 같다.

$$Q_h = Q_c - Q_l \quad (4)$$

여기서, Q_h : 공급되는 열
 Q_c : 세라믹 열판에 저장된 열량
 Q_l : 단열재에 의해서 손실되는 열량

세라믹 열판에 저장된 열량은 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$Q_c = C \frac{dT_t}{dt} \quad (5)$$

여기서, C : 세라믹 열판의 비열
 T_t : 세라믹 열판의 현재 온도

단열재에 의해서 손실되는 열량은 식 (6)과 같이 쓸 수 있다.

$$Q_l = \frac{T_t - T_e}{R} \quad (6)$$

여기서, R : 단열재 열저항
 T_e : 외부 온도

식 (4)의 계통에 가해지는 열량은 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_h = C \frac{dT_t}{dt} - \frac{T_t - T_e}{R} \quad (7)$$

초기상태에서는 외부온도와 열전소자의 온도가 같으므로 식 (7)은 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_h = C \frac{dT_r}{dt} - \frac{T_r}{R} \quad (8)$$

식 (8)에 Laplace 변환을 적용하면 식 (9)와 같다.

$$Q_h(S) = CS T_r(S) - \frac{T_r(S)}{R} \quad (9)$$

식 (9)에서 전달 함수를 구하면 식 (10)과 같다.

$$\frac{T_r(S)}{Q_h(S)} = \frac{1}{CS - \frac{1}{R}} \quad (10)$$

전압에 따른 전달 함수는 식 (11)과 식 (12)와 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{T_r(S)}{V_h(S)} = \frac{1.3 Q_T(T)}{CS - \frac{1}{R}} \quad (11)$$

$$\frac{T_r(S)}{V_L(S)} = \frac{-0.7 Q_T(T)}{CS - \frac{1}{R}} \quad (12)$$

방열 구조식을 해보면, 열전도 열전달 함수는 열전 소자의 전달과 같은 방법으로 구할 수 있다.

$$\frac{T_r(S)}{V_L(S)} = \frac{-0.7 Q_T(T)}{C_c S - \frac{1}{R}} \frac{1}{C_{AL} S - \frac{1}{R}} \quad (13)$$

여기서, C_c : 세라믹 소자의 비열

C_{AL} : 알루미늄의 비열

내부 열전달 함수는 식 (14)와 같이 표현할 수 있다.

$$G(S) = \frac{T_r(S)}{V_L(S)} = \frac{-0.7 Q_T(T)}{C_c S - \frac{1}{R}} \frac{1}{C_{AL} S - \frac{1}{R}} \frac{1}{C_{AIR} S} \quad (14)$$

여기서, C_{AIR} : 공기의 비열

온도 센서는 현재 온도를 표시만 하는 것으로 이득이 1인 실시간 소자로 본다. 도출된 전달함수를 모두 결합하여 하나의 전달 함수로 보고 이를 간략 도식으로 표현하면 그림 4와 같이 구성할 수 있다. 그림 4에서 R(S)는 설정온도이고, T(S)는 감지된 온도이다.

위에서 정의한 전달함수는 PID제어에서는 제어 계수를 산출하는데 사용하였고, 퍼지제어기에서는 퍼지 소속함수를 구성하는데 사용하였다. 전달함수에 일정 값을 대입하여 퍼지 소속함수의 구성요소를 정한다. 즉 단위 시간에 공급되는 전압에 따라 전달 계수를 통하여 입력량 및 출력량을 예측하여야 한다.

전달함수 없이 퍼지 소속함수를 구성할 경우 많은 시행착오를 거쳐야 퍼지 소속함수를 구성할 수 있다. 하지만 완벽한 전달함수를 가지고 있다고 해도 시행착오를 겪지 않을 수 없다. 전달함수에 단위 시간의 입력을 인가하였을 경우, 단위 시간의 변화량을 바탕으로 낮을 경우 높을 경우 유지할 경우의 입력 상태 변화를 결정한다.

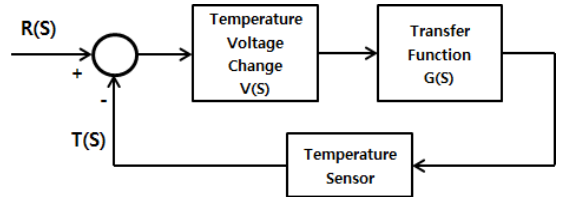


그림 4. 간략화된 온도환경시험기의 블록선도
Fig. 4 The block diagram of temperature environment tester

III. 퍼지제어기 설계

3.1. 퍼지 소속함수 구성

실시간으로 온도환경 시험기를 제어해야 하기 때문에 퍼지제어기의 소속함수는 그림 5 ~ 그림 7에서 보는 것처럼, 일반적으로 널리 사용되는 이등변 삼각형을 사용하였다.

퍼지제어기를 설계하기 위하여 다음과 같은 조건으로 퍼지집합을 구성하였다. 그림 5와 같은 온도오차($\Delta t = t - t_0$, 여기서, t 는 감지된 온도, t_0 는 설정온도)에 대해서 퍼지 소속함수를 구성하기 위해 다음과 같은 퍼지명제를 제시하였다.

- Δt 가 -5 보다 작으면 온도가 매우 낮다.
- Δt 가 -10 보다 크고 0보다 작으면 온도가 낮다.
- Δt 가 -5 보다 크고 5보다 작으면 온도가 알맞다.
- Δt 가 0 보다 크고 10보다 작으면 온도가 높다.
- Δt 가 5 보다 크면 온도가 매우 높다.

그림 6과 같은 온도오차의 변화분($\Delta s = \Delta t / \Delta T$, 여기서, Δt 는 온도편차, ΔT 는 시간편차)에 대해서 퍼지 소속함수를 구성하기 위해 다음과 같은 퍼지명제를 제시하였다.

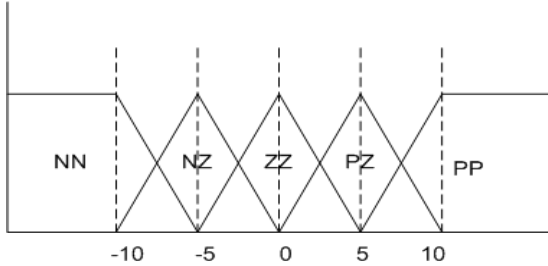


그림 5. 온도오차에 대한 퍼지 소속함수
 Fig. 5 The fuzzy membership function for temperature error

- Δs 가 -2 보다 작으면 온도가 하강으로 빠르게 변화한다.
- Δs 가 -5 보다 크고 0보다 작으면 하강으로 느리게 변화한다.
- Δs 가 -2 보다 크고 1보다 작으면 변화속도가 알맞다.
- Δs 가 0 보다 크고 4보다 작으면 상승으로 느리게 변화한다.
- Δs 가 1 보다 크면 상승으로 빠르게 변화한다.

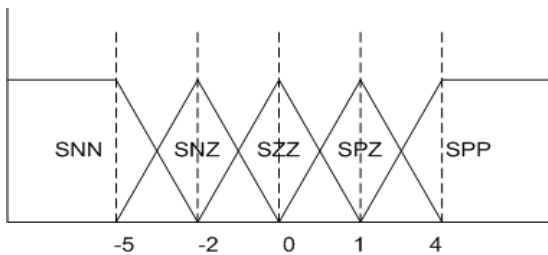


그림 6. 온도오차의 변화분에 대한 퍼지 소속함수
 Fig. 6 The fuzzy membership function for temperature error rate

등간격이 되지 않는 이유는 2장에서 전개된 전달함수에서 상승온도 속도가 빠름을 확인하였다. 이에 대응하고자 간격 조정이 필요하게 되었다. 출력부에 대한 퍼지 소속함수를 구성하기 위하여 다음과 같이 퍼지명제를 제시하였다. 여기서, F는 Fuzzy 산출량이다.

- F가 -50 보다 작으면 빠른 속도로 냉각시켜라
- F가 -80 보다 크고 0보다 작으면 냉각시켜라
- F가 -50 보다 크고 50보다 작으면 유지하라
- F가 0보다 크고 80보다 작으면 가열하라
- F가 50보다 크면 빠른 속도로 가열하라

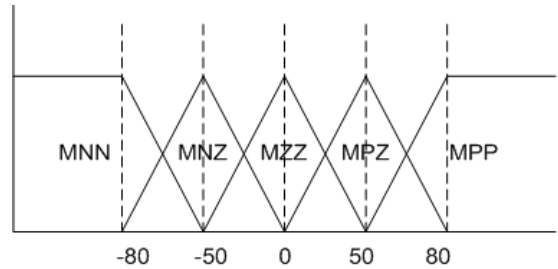


그림 7. 출력부에 대한 퍼지 소속함수
 Fig. 7 The fuzzy membership function for output signal

3.2. 퍼지규칙 설계

표 1은 3.1절의 입·출력 퍼지 소속함수에 대한 퍼지 규칙을 나타내었다. 온도오차와 온도오차의 변화분에 대하여 각각의 퍼지규칙을 정의하였다. 이는 전달함수에 의하여 얻어진 온도제어 정도를 이용하여 유추되었고, 실험을 통하여 교정하였다. 추론방법으로는 Min-Max법을 이용하였고, 비퍼지화 방법으로 무게 중심법을 이용하기 위한 제어신호를 생성하였다.

표 1. 퍼지 규칙

Table. 1 Fuzzy rule

	NN	NZ	ZZ	PZ	PP
SNN	CPP	CPP	CPP	CPZ	CZZ
SNZ	CPP	CPZ	CPZ	CZZ	CNZ
SZZ	CPP	CPZ	CZZ	CNZ	CNN
SPZ	CPZ	CZZ	CNZ	CNZ	CNN
SPP	CZZ	CNZ	CNN	CNN	CNN

IV. 사례 연구

그림 8은 본 논문에서 실제 제작된 온도환경 시험기에 대한 실제 실험장치를 나타내었다. 그림 8에서 보는 것처럼, 온도 변화의 결과 값은 MCU에 전달되어 화면에 표시되고 PC로 전송되어진다. 자동화 장비를 구현하

기 위하여 PC에서 RS-232C 115200bps로 제어하여 2개의 가변 전원장치의 전압 전류를 설정하고 전압 전류를 읽어드린다. 또한 퍼지 온도제어를 통해 -40~85℃ 사이의 온도를 설정 제어한다. 그리고 1개의 고정 전압을 On/Off 제어를 하며, 50개의 MUX를 제어한다.

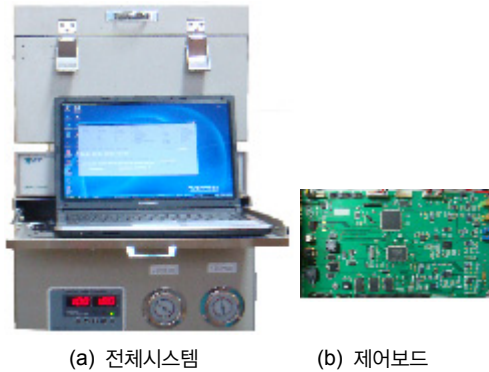


그림 8. 실제 제작된 온도환경시험기
Fig. 8 Temperature environment tester

PID 제어기의 이득(Kp, Ki, Kd)은 전달함수를 이용하여 1차적으로 설계하였고, 실험을 통하여 PID 제어기의 이득을 시행착오법으로 최적화하였다. 그림 9와 같이 온도변화속도가 상승 3℃/min 정도이고 하강 -2℃/min의 속도로 변화한다. 그림 9에서 보는 것처럼, PID제어는 온도 도달 후에도 Overshoot를 없앨 수 없으며, 이에 따라 안정화 시간도 오래 걸리는 것을 알 수 있다.

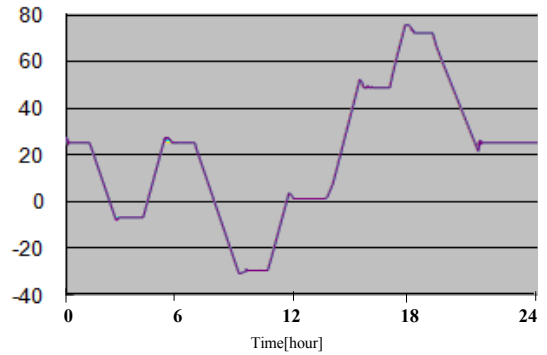


그림 9. PID 제어기의 온도 측정 결과
Fig. 9 The results of temperature measurement for PID controller

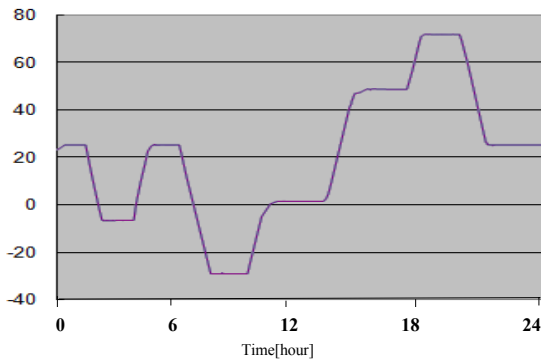


그림 10. 퍼지제어기의 온도 측정 결과
Fig. 10 The results of temperature measurement for fuzzy controller

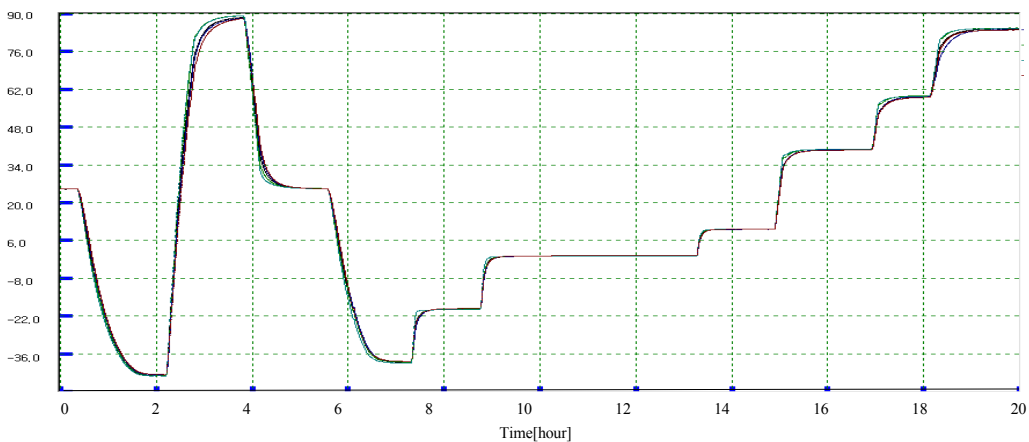


그림 11. 온도변화에 따른 퍼지제어기 성능
Fig. 11 The performance of fuzzy controller with temperature change

그림 10은 본 논문에서 제안한 퍼지제어기를 이용한 경우에 대한 실험결과를 나타내었다. 그림 10에서 보는 것처럼, 제안한 퍼지제어기는 상승 4°C/min. 하강 -4°C/min로 온도변화에 대해서 균형적으로 변화하며, Overshoot 및 Undershoot가 전혀 나타나지 않아 안정적임을 알 수 있었다.

실험결과, 퍼지제어가 온도의 변화 속도 및 안정화 시점이 우수하게 나타났다. 하지만 온도 유지에서는 PID 제어가 우수하게 나타남을 알 수 있다.

그림 11은 제안한 퍼지제어기에 대한 강인성을 평가하기 위하여 다른 형태의 온도변화에 대한 성능을 나타내었다. 그림 11에서 보는 것처럼, 다른 형태의 온도변화에 대해서도 Overshoot 및 Undershoot가 없이 정상상태에 도달함을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 열전소자를 이용한 온도환경 시험기를 위한 퍼지제어기를 개발하였고, 온도환경 시험기를 제작하여 제안한 방법에 대한 우수성을 검증하였다. 실험결과, 퍼지제어기가 온도의 변화 속도 및 안정화 시점이 우수하게 나타났다. 하지만 온도 유지에서는 PID 제어가 우수하게 나타남을 알 수 있다.

결과적으로 퍼지제어기가 설계가 용이하고 파라미터의 설정을 도식화 할 수 있는 장점을 가지고 있어 조정이 용이하다. PID 제어의 장점과 퍼지제어의 장점을 잘 조합하여 개선된 FPID(Fuzzy PID Controller) 제어를 한다면 우수한 성능의 제어계를 도출 할 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

본 논문은 산업통상자원부, 부산광역시에서 지원하는 동서대학교 유비쿼터스 어플라이언스 지역 혁신센터에서 지원받았음(과제번호. B0008352). 2015년도 동서대학교 학술연구조성 지원과제의 연구결과로 수행되었음.

REFERENCES

- [1] Kim T. H , “A Design of Single Pixel Photon Counter for Digital X-ray Image Sensor”, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, pp.322-329, Vol. 11, No. 2, 2007.
- [2] Shin Y. H, Im Y. S, “Design and Fabrication of a Active Resonator Oscillator for Local Oscillator in ISM Band(5.8GHz)”, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, pp.886-893, Vol. 8, No.4, 2004.
- [3] Kil B. T, “A New Switchable Dual Mode Voltage Controlled Oscillator ”, *Proceedings of the Korean Institute of Information and Commucation Sciences Conference*, pp.869-872, 2005.
- [4] Kang M. K, “The Hardware Implementation of Chua's Oscillator ”, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, pp.553-561, Vol. 5, No. 3, 2001.
- [5] Hwang G. H, “A Study on Development of Oscillator Measurement Device Using Double Edge Time Interval Frequency Counter”, *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, pp.1386-1392, Vol. 13, No. 7, 2009.



황기현(Gi-Hyun, Hwang)

1996년 부산대학교 전기공학과 석사 졸업
2000년 부산대학교 전기공학과 박사 졸업
2003년 현재까지 동서대학교 컴퓨터정보공학부 교수
※관심분야: RFID/USN, 임베디드 시스템, 영상처리, 진화연산, 지능제어