

온도제어를 위한 단상용 Fuzzy TPR 개발에 관한 연구

*홍 성 훈, 강 문 성
청주대학교 전자공학과

Development of Single-phase Fuzzy TPR
for temperature control

Sung Hun Hong, Moon Sung Kang
Dept. of Electronic Engineering, Chongju Univ.

ABSTRACT

This paper proposes a Fuzzy TPR having the control function to a TPR used for the conversion of electricity in industrial field.

The Fuzzy TPR based on the Fuzzy Logic Control technique is composed of the parts to calculate the low-level value and the high-level value.

These values are calculated by error and change in error which are refer to the look-up table. To show the usefulness of the proposed Fuzzy TPR, it is applied to industrial temperature control system. In the results of experiment, we see that the system is able to fast reach steady-state, and for our approach to be robust to external disturbance than the method using the conventional TPR.

I. 서론

대부분의 산업프로세스에서 이용되는 온도제어시스템은 고정 밀도가 요구되고 있어 PI 또는 PID 제어방식이 채용되고 있다. 그런데 제이기가 설계시 기본이 되는 프로세스의 수확모델로서는 근사화 모델을 사용하는 경우가 대부분으로 모델링되지 않는 미지의 요소가 다수 존재하게 된다. 이러한 미지 요소는 외란 입력과 더불어 PID 제이기의 성능 및 안정도를 악화시키는 요인이 된다[1,2].

1965년 Zadeh에 의해 제안된 퍼지이론은 이러한 문제점을 보완할 수 있는 기법중 하나로서 근사적 접근방식으로 특징지어질 수 있는 인간적 접근방식과 유사한 과정을 모델링하고 분석하는데 매우 유용한 개념적 토대를 제공함으로써 수학적 모델링이 어려운 실제 프로세스의 제이에 유용하게 적용할 수 있고 특히 외란에 강인함을 보이는 특징이 있다[3,4].

본 논문에서는 기존의 PID 온도조절기와 단순한 전력변환장치에 불과한 TPR(Thyristor Power Regulator)로서 온도제어시스템을 구현하던 것을 탈피하여 온도편차발생기와 퍼지이론을 도입한 제이성능을 갖는 Fuzzy TPR로서 온도제어시스템을 구성하였다. 이 때 Fuzzy TPR의 입력으로서 온도편차발생기에서 출력되는 기준온도와 오차량 및 오차변화량을 이용하였는데, 오차변화량은 Fuzzy TPR 내부에서 계산토록 하였다. 그리고, 출력은 단상전력(60Hz)을 반주기당 2¹⁰의 분해능으로 Thyristor

를 이용하여 위상을 트리거 시키는 위상제이 방식을 적용하여 발생시켰다.

II. 온도제어 시스템

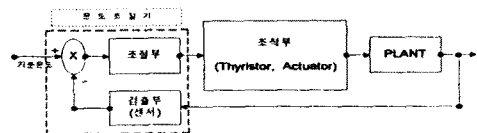
제이방식은 Feed back제이와 시퀀스제이가 있고 온도제어는 Feed back제이의 하나이다.

온도제어에서 최적 제어를 하기 위해서는 제이대상이 열적으로 어떠한 특성을 가지고 있는지를 알고 있어야 한다. 제이대상의 특성으로는 가열속도를 표현하는 열용량, 가열능력을 표현하는 정특성, 가열초기 과도응답현상을 나타내는 동특성, 그리고 온도 변화의 원인이 되는 외란에 대한 특성이 있다[5].

온도제어의 종류와 특징을 표1에 나타내었으며, 온도제이계의 블록선도는 그림1과 같다.

표1. 온도제어의 종류와 특징

제어의 종류	장 점	단 점
ON/OFF 제이	• 제이가 간단하다 • off set이 발생하지 않는다.	• 오버슈트, 헌팅이 일어난다.
비례동작	• 오버슈트와 헌팅이 작다.	• 정정시간이 길다. • off set이 발생한다.
적분동작	• off set을 소멸 시킨다.	• 정정시간이 매우 길다.
미분동작	• 응답속도가 빠르다	• 단독으로 사용하지 않고 비례동작과 같이 사용한다.
PID동작	• 제이특성이 양호하다.	• PID파라미터의 설정이 필요하다.



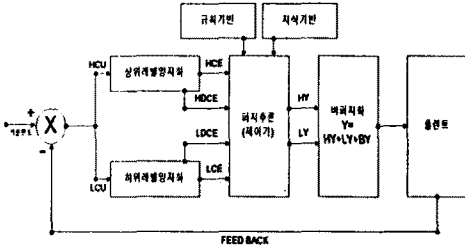
<그림1> 온도제이계의 블록선도

III. 제이알고리즘의 설계

3.1 제안된 퍼지제이기의 형태

퍼지제이기는 입력값을 받아 양자화하는 입력부분, 규칙기반 및 지식기반에 따라 추론을 하는 제이부분, 추론된 값을 비퍼

지화하는 출력부분으로 이루어진다. 본 논문에서는 시스템 구성 상 단일칩프로세서의 제한된 메모리 공간과 계산 능력을 고려하여 오차량 또는, 오차변화량이 큰 경우에는 상위레벨제어로, 작은 경우에는 하위레벨제어로 구분하여 제어를 설계하였다. 그림2에 제어기의 제어구조 블럭선도를 나타내었다.



<그림2> 퍼지제어기의 제어구조 블럭선도

여기서

- Y = 플랜트의 입력량
- HY = 제어기의 상위레벨 출력량
- LY = 제어기의 하위레벨 출력량
- BY = 플랜트의 이전 입력량
- HCU = 상위레벨 입력량
- LCU = 하위레벨 입력량
- HCE = 상위레벨 오차량
- LCE = 하위레벨 오차량
- HDCE = 상위레벨 오차 변화량
- LDCE = 하위레벨 오차 변화량

3.2 양자화

퍼지제어기의 오차량의 양자화는 다음식에 의한다.

$$HCE = HCU/16 \quad (\max:63 \quad \min:0) \quad (1)$$

$$LCE = (LCU-255)*31 \quad (\max:63 \quad \min:0) \quad (2)$$

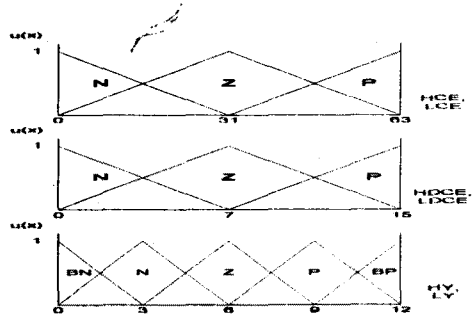
$$HDCE = (HCU-HCU^{-1})/2*7 \quad (\max:15 \quad \min:0) \quad (3)$$

$$LDCE = (LCU-LCU^{-1})*2*7 \quad (\max:15 \quad \min:0) \quad (4)$$

여기서 HCU^{-1} 은 이전 상위레벨 입력량을 나타내고 LCU^{-1} 은 이전 하위레벨 입력량을 나타낸다.

3.3 퍼지화

규칙에서 사용되는 언어적 변수들의 애매함을 정량적으로 표현하기 위하여 이산적인 삼각형의 멤버쉽함수를 사용하였다. 본 논문에서 사용된 언어적 값에 대응되는 멤버쉽함수는 그림3과 같다.



<그림3>멤버쉽함수

3.4 제어규칙과 추론

'IF ~ THEN' 형식으로 제어규칙은 표2와 같으며 추론방식으로서 max-min규칙을 사용하였다.

표2. 제어규칙

HCE,LCE / HDCE,LDCE	N	Z	P
N	Z	P	BP
Z	N	Z	P
P	BN	N	Z

3.5 비퍼지화

추론값을 플랜트의 입력으로 사용하기 위해 본 논문에서는 무게중심법(Center of Gravity)을 이용하여 비퍼지화 하는데, 이때 16*64 크기의 배열로 구성된 Look-up Table을 바탕으로 다 음식과 같이 제어기의 출력량을 구하였다.

$$LY = (\text{look-up table})-6 \quad (5)$$

$$HY = ((\text{look-up table})-6)*16 \quad (6)$$

$$Y = LY+HY+BY \quad (\max:1023 \quad \min:0) \quad (7)$$

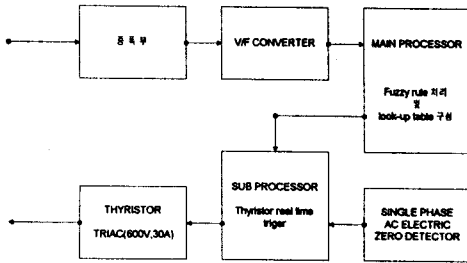
IV. 실험 및 결과

제안된 제어알고리즘을 이용하여 그림4와 같이 Fuzzy TPR을 제작하여 백열등으로 PLANT인 BOX(600*300*150mm³)의 내부를 가열하는 방식으로 PID 온도조절기와의 비교 실험을 거쳤다.

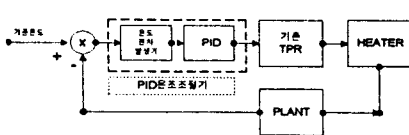
그림5 및 그림6과 같이 구성된 온도제어시스템에 대한 실험에서, PID온도조절기의 경우에 PID상수는 Auto tuning기능으로 설정하였고 제안된 Fuzzy TPR의 경우에 하위레벨제어의 샘플링 시간을 1초, 상위레벨제어의 샘플링 시간을 5초로 정의하였다. 또한, TPR 출력값으로는 기존 TPR과 Fuzzy TPR 모두 전 원전압을 단상전력 220V를 입력으로 하여 위상을 제어하는 방식을 사용하여 플랜트의 입력값을 0~220V로 가변토록 하였다.

그림7은 PID온도조절기 및 제안된 Fuzzy TPR에 의한 실험결과이며 시간 t(=3500)에 제어대상 BOX를 선풍기로서 100초간 냉각 시키는 방식으로 외란을 부과하였다.

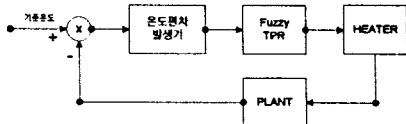
그 결과 지연시간과 상승시간이 각각 PID의 경우에 431(sec), 556(sec)이었고 Fuzzy TPR은 413(sec), 548(sec)이었다. 그리고 PID은도조절기의 경우에 낮은 오버슈트를 보이고 있는 반면에 긴 상승시간과 외란에 큰 영향을 받고 Auto tuning으로 인한 PID 상수값의 적절치 못한 계산으로 정상상태에서 목표(설정온도)에 수렴하지 못함을 알 수 있으며 제안된 Fuzzy TPR의 경우에 높은 오버슈트를 보이고 있으나 빠른 상승시간과 외란에 강인함을 알 수 있다. 특히 외란에 대한 강인함은 금형물의 온도제어등과 같이 외란이 항시 존재하는 시스템에는 대단히 유리한 특성이 된다.



<그림4> Fuzzy TPR 구성도



<그림5> PID온도조절기에 의한 시스템 블록선도



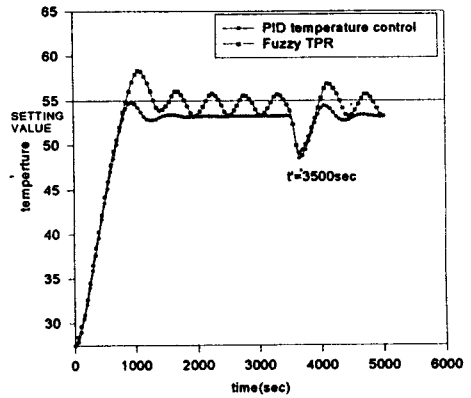
<그림6> Fuzzy TPR에 의한 시스템 블록선도

V. 결론 및 추후과제

단인칩프로세서에 퍼지제어를 적용하기 위하여 추론값을 Look-up Table화 하고 정상상태의 응답특성을 개선하기 위하여 하위레벨제어를, 속응성의 향상 및 외란에 대한 강인함을 부여하기 위해 상위레벨제어를 채택한 제안된 Fuzzy TPR은 오버슈트에서 PID온도조절기보다 크게 나타났으나 속응성, 외란에 대한 강인성 및 정상상태 편차특성에서 우수함을 보였다. 여기서 제안된 Fuzzy TPR의 오버슈트, 정상상태에서의 지속 진동을 개선할 수 있는 퍼지제어기의 구현을 위한 연구가 계속되어야 할 것이다.

[참고문헌]

- [1] 深承眞, 미지 시변 지연시간을 갖는 프로세서의 퍼지 예측 제어, 충북대학교 대학원 석사학위 논문, 1993.
- [2] P.B. Deshpande, R.H.Ash, Element of Computer Process Control with Advanced Control Applications, Instrument Society of America, 1981.
- [3] 김도현의 6인, 핵심 퍼지시스템, pp.147-156, 에드텍
- [4] 菅野道夫, 박민용, 최함식. 퍼지 제어 시스템, pp.70-135, 대영사
- [5] 자동제어기기 종합 카다로그, pp.12-25, 한영, 93.
- [6] 김현정, 이상부, 임영도, 퍼지와 비례제어기를 결합한 HYBRID 제어기의 성능 향상에 관한 연구.



<그림 7> 실험 결과