

온도 제어를 위한 퍼지 제어기의 설계 및 구현

서강면*, 박상선**, 강문성**

* 주성전문대학, ** 청주대학교

A Design and Implementation of Fuzzy Controller for Temperature Control

Seo Kang-Myun*, Park Sang-Sun**, Kang Moon-Sung**

* Juseong College, ** Chongju University

Abstract - This paper describes the design and implementation of a fuzzy temperature control system to control the water temperature in plant.

For evaluating the performance of a fuzzy controller, the experiment results of a fuzzy controller are compared with these of a conventional PID controller which provides an auto-tuning function.

The experiment results show that the proposed controller has a good control performance and is robust to external disturbance.

동조정(auto-tuning)기능을 갖춘 기존 PID제어기를 채용한 경우와 비교하였다.

2. 온도 제어시스템 구조 및 제어기 설계

2.1 온도 제어 시스템 구조

퍼지 온도제어시스템은 그림1과 같이 검출부, 제어부, 구동부 및 제어대상 플랜트로 구성되었고, 각 부분의 구조 및 기능은 다음과 같다.

1. 서 론

대부분의 산업프로세스에서 이용되는 온도 제어 시스템은 고정밀도가 요구되고 있어 PI 또는 PID 제어방식이 채용되고 있다.^[1] 그러나, PID제어기는 제어대상 시스템의 정확한 수학적모델이 없는 경우, 전문가의 경험에 의하여 P,I,D 파라미터를 설정해야 하므로 일반인들이 제어기를 조작하기에는 어려운 점들이 있다. 또한, 수학적으로 근사화된 모델을 사용하는 경우에 모델링되지 않은 미지의 요소가 다수 존재한다. 이러한 미지요소는 자동화 생산라인에서 불규칙적으로 발생하는 외란과 더불어 PID 제어기의 성능 및 프로세스의 안정도를 악화시키는 요인이 된다.^[2-4]

따라서, 본 연구에서는 프로세스 운용자의 경험적 지식 및 제어 전문가의 지식을 Rule-base 또는 Data-base로 활용하는 인공지능 제어기법인 fuzzy 제어 이론을 도입하여 비선형적인 동특성을 가지며 수학적 모델링이 어려운 수온제어를 위한 실제의 온도제어장치를 설계·구현하여 타당성을 검증하고자 하였다.

구현된 제어시스템의 성능을 검증하기 위해, 플랜트내의 수온의 설정값을 60℃에서 90℃까지 가변시켰을때의 추종특성과 설정값을 60℃로 하고 정상 상태에서 외란을 첨가하였을 때의 출력특성을, 자

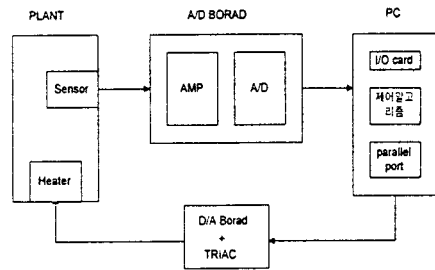


그림 1. 온도 제어시스템 구조

2.1.1 검출부

검출부는 플랜트내의 수온을 측정하는 부분으로 Pt-100Ω 센서, 증폭기 그리고 A/D변환기로 구성된다. 검출부에서는 센서로부터 검출된 미약한 신호를 증폭회로를 통해 증폭한 다음, 이 신호를 A/D변환기에서 이산값으로 변환시켜 제어부의 I/O카드로 데이터를 전송하는 기능을 수행하며, 이때 측정가능한 온도범위는 -204.75℃ ~ 204.75℃이다.

2.1.2 제어부

제어부로는 PC를 이용하였으며 퍼지이론을 도입하여 구현된 제어알고리즘을 포함하고 있다. 제어부에서는 PC의 I/O카드를 통해 검출부에서 읽어들이는 데이터를 토대로 플랜트의 현재온도와 설정온도 사이의 오차 및 오차변화량을 구한 다음 퍼지추론하여 병렬포트를 통해 구동부의 출력량을 가변시키

는 기능을 수행한다.

2.1.3 구동부

Heater를 구동하는 장치로 D/A변환기와 TRIAC으로 구성하였으며, 퍼지추론된 디지털 출력량을 아날로그값으로 변환하여 TRIAC을 구동한다.

TRIAC은 단상전원을 위상제어하여 Heater입력을 0~220V사이에서 가변시켜 플랜트내의 수온을 조절하는 기능을 수행한다.

2.1.4 제어대상 플랜트

플랜트는 구현된 제어기의 성능실험을 위해 제작되었으며, Pt-100Ω센서 2개, 1.5kW와 2kW 용량의 히터가 부착되어 있고 $\pi \times (10.5cm)^2 \times 45cm$ 의 크기를 사용하였다. 그림2.는 실험을 위하여 제작한 플랜트의 외형을 보여준다.

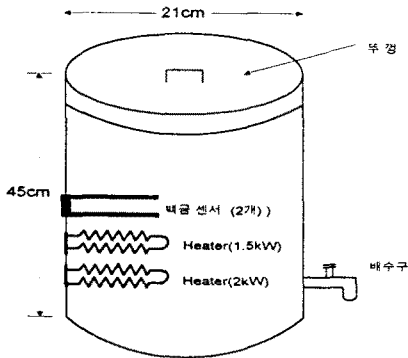


그림 2. 제어대상 플랜트의 구조

2.2 퍼지 제어기 설계

퍼지제어기는 일반적으로 입력값을 받아 양자화하는 퍼지화부, 제어규칙을 이용하여 추론하는 추론부, 추론된 값을 비퍼지값으로 변환하는 비퍼지화부로 구성된다.

2.2.1 퍼지화부(Fuzzification)

퍼지제어기를 구성하기 위해서는 먼저 입·출력 변수와 제어규칙에서 사용되는 언어적 변수들의 애매함을 정량적으로 표현하기 위해 소속함수에 대한 정의가 필요하다. 본 논문에서는 입력변수로서 오차(E)와 오차변화량(CE)을, 출력변수로는 플랜트의 제어입력변화량(Δu)으로 설정하여 그림3.과 같이 소속함수를 구성하였다.

그림 3.에서 오차와 오차변화량 및 제어입력은

$$e(k) = R(k) - Y(k) \quad (1)$$

$$ce(k) = e(k-5) - e(k-15) \quad (2)$$

$$u(k) = u(k-1) + \Delta u(k) \quad (3)$$

으로 계산되며, $R(k)$ 는 플랜트의 설정온도, $Y(k)$ 는 플랜트의 현재온도, $e(k)$ 는 오차, $ce(k)$ 는 오차의 변화량, $e(k-1)$ 는 한 샘플링 이전의 오차, 그리고 샘플링 시간은 1초로 설정하였다. 여기에서, 오차가 입력범위 $-6.2^\circ C > e$ 이거나 $e > 6.2^\circ C$ 인 경우 각각 최대값과 최소값의 출력을 내도록 하였다. 그리고 오차변화량은 시스템의 지연시간을 고려하여 식(2)와 같이 계산하였다.

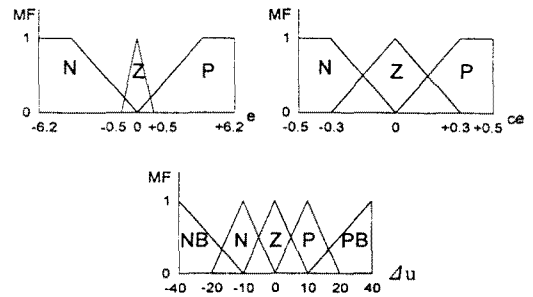


그림 3. 입·출력 변수의 소속함수

2.2.2 추론부(Inference)

표1.에 퍼지제어기에서 사용된 제어규칙을 나타내었다. 여기에서 Z, P, N, PB, NB등은 언어적 변수로 각각 입·출력변수에 대한 퍼지 집합을 나타내며, 퍼지추론 방법으로는 E. H. Mamdani에 의해 제안된 Max-Min 합성법이 사용되었다.

표 1. 제어규칙

ce \ e	N	Z	P
N	PB	P	Z
Z	P	Z	N
P	Z	N	NB

그리고, 추론결과를 비퍼지화하기 위해 무게중심법(Center of Gravity)을 사용하였다.

3. 실험 및 고찰

퍼지제어기의 성능 실험을 위해 퍼지 이론을 도입한 제어알고리즘이 C언어로 구현되었으며, PC와 외부보드와의 인터페이스를 위해 8255 I/O카드를 사용하였다.

그리고, 플랜트에 13ℓ의 물을 붓고 1.5kW 용량의 히터를 사용·가열하여 설정온도를 추종하기까지의 동특성을 관측하였다. 이때 설정온도는 60°C에서 90°C까지 15°C씩 변화시켰다. 그림4.에는 상용화된 기존 PID 제어기를 사용했을 때의 응답특성을

나타내었고, 그림5.는 제안된 퍼지제어기를 사용하였을때의 응답특성을 나타낸다.

또한, 외란실험을 위해 설정값을 60℃로 하고 물의 온도가 정상상태에 도달했을 때 22℃의 냉수 2ℓ를 첨가하여 출력특성을 관찰하였다. 그 결과를 그림6.과 그림7.에 나타내었다.

그림에 나타난 것과 같이, 제안된 퍼지제어기를 사용한 온도 제어시스템은 PID제어기를 사용한 경우에 비해 정상상태 특성이 우수하며, 특히 외란에 강인함을 보였다.

4. 결 론

본 논문에서는 지능제어 기법인 fuzzy제어 이론을 도입하여 미지의 지연시간을 갖는 플랜트의 수온제어를 위한 온도 제어기를 설계·구현하여 그 성능을 검증하였다.

실험결과 제안된 제어기는 비선형적인 동특성을 가지며, 또한 수학적 모델링이 어려운 온도 제어시스템에 적합함을 알 수 있었다.

향후, PC에서 구현된 알고리즘을 One-chip processor에 탑재하여 Fuzzy 제어기를 개발하고자 한다.

{참 고 문 헌}

- [1] 이영노, 김태완, 서일홍. "록업 테이블을 이용한 자동학습 퍼지제어기의 설계". 전자공학회 논문집, 제 29권, B편, 9호, pp723- 734, 1992
- [2] Kosko. B. "Neural Network and Fuzzy System". Prentice Hall, pp45-62, 1991
- [3] Mamdani. E. H. "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant", IEEE Proc. Control and Science, V.121 N.2. pp 1585 -1588.
- [4] Jang MJ, Chen CL," Fuzzy successive modeling and control for time-delay system", International Journal of Systems Science, V.27 N.12, pp1483-1490, 1996

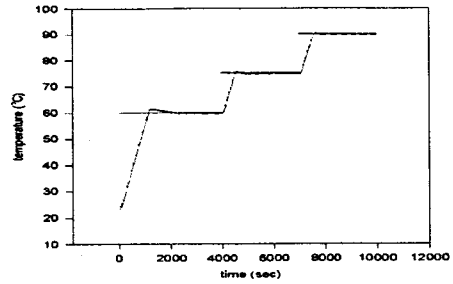


그림 4. PID제어기를 사용했을 때의 추종특성

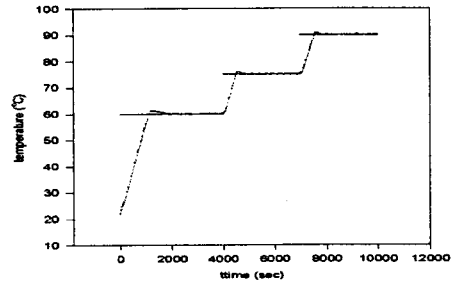


그림 5. 퍼지제어기를 사용했을 때의 추종특성

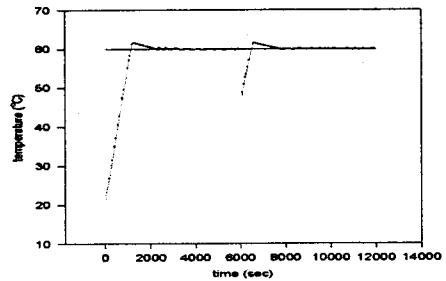


그림 6. PID제어기에 의한 출력특성(외란첨가)

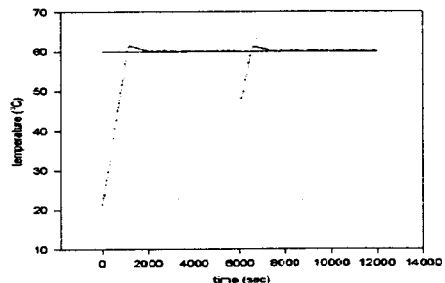


그림 7. 퍼지제어기에 의한 출력특성(외란첨가)