

퍼지규칙과 신경회로망을 이용한 전기로 온도제어

이문석우, 강민구, 이종호, 허옥열, 이봉국

인하대학교 공과대학 전기공학과

Temperature Control of Electric Furnace Using Fuzzy Rules and Neural Net

Seok-Woo Moon, Min-Goo Kang, Chong Ho Lee, Uk Youl Huh, Bong Kuk Lee

Dept. of Electrical Engineering
Inha University

Abstract

This paper presents the composite control method using fuzzy and neural network theory. Fuzzy theory is applied to make control rules and neural net is used to learn them and to generate proper control signals. The electric furnace is controlled to maintain the desired temperature and to minimize the fluctuation of the temperatures in various locations inside the furnace. This controller consists of three neural nets which deal with the average of the temperatures, variances of them and the temperature stabilizing mechanism. Experiments are performed with the target temperatures of 70°C and 80°C. Test results show that this simple method is very effective.

1. 서론

1965년 캘리포니아 대학의 Zadeh 교수에 의해 퍼지집합이 제안되어 정성적인 언어를 정량적으로 표현하는 것을 가능하게 했으며[1], 이러한 퍼지방법을 사용하여 스티븐진의 퍼지제어를 1974년 영국의 Mamdani 교수에 의해 연구되어 실용가능성을 보였고[2], 1977년 덴마크의 Ostergaard는 열교환기[3]와 시멘트용융로[4]의 퍼지제어에 대한 연구결과를 발표, 1980년 상용화 하였다. 이러한 역사적 배경을 갖는 퍼지제어는 1980년대에 들어서면서 응용분야가 다양화되는 추세를 보이고 있으며[5], 인간의 뇌신경 구조를 모델화한 신경회로망은 음성인식, 영상인식, 공장자동화, 전력계통 및 로봇 공학등과 같은 분야에서 연구, 응용되고 있다[6]. 퍼지이론은 언어적 표현에 의해 전문가의 판단능력을 수용할 수 있는 특징을 갖고 있으나, 퍼지추론에서 소속함수 미세조정이라는 매우 어려운 과제가 필요하다. 이러한 문제점을 보완하고자 퍼지이론에 학습능력이 있는 신경회로망을 합성하는 연구[7][8]와 불확실하고 부정확한 환경에서의 변화에 대하여 적용하기 위해 신경회로망을 합성하는 연구[9]가 진행되고 있다. 본 논문은 퍼지추론에서 소속함수 미세조정과정을 피하기 위해 Rummelhart에 의해 개발된 역전파학습모델 신경회로망을 사용한다.

전열기에 의해 열을 발생시켜 원하는 온도로 상승, 유지하는 전기로는 주위의 온도와 동작점에 따라 플랜트의 계수와 응답 지연시간이 변하는 편미분 방정식으로 주어지는 시스템에서 정확한 모델링과 제어가 어려운 시스템 중의 하나이다. 전기로 제어에 대한 기존의 제어기는 시간지연을 갖는 시변시스템으로 간주하여 모델링하여 선형제어 방식을 도입한 제어기, 인공지

능과 퍼지논리방법을 사용한 제어기[10] 및 Sugeno의 퍼지추론법을 이용한 제어기[11]등이 있으며 대부분의 제어기는 전기로 내 일정장소의 온도유지만을 제어대상으로 하고 있을 뿐만 아니라, 퍼지제어기에서의 소속함수 결정과 미세조정에 많은 시간의 필요, 또는 후건부에 사용된 선형함수의 계수획득의 어려움등의 문제점이 발생한다. 본 논문에서는 전기로내 무개(無蓋)용기와 같은 피가열체를 삽입한 후 피가열체의 주위에 고온 온도분포를 갖도록 제어하는 다변수 시스템을 구성하여 경험에 의해 얻은 퍼지제어규칙과 해당된 소속함수를 역전파학습 신경회로망의 학습에 의해 얻음으로써 소속함수결정의 문제점과 계수획득의 문제점등을 개선할 수 있음을 실험하여 보인다.

2. 퍼지제어기

지능제어기(intelligent controller)의 주요부분으로서 퍼지제어기는 언어적 표현으로 제어기능을 제공하며, 구성요소는 fuzzification interface, 지식베이스(규칙베이스), 의사결정 logic 과 defuzzification interface로 이루어진다[12]. 일반적으로 퍼지제어기에서 사용되는 지식베이스는 퍼지제어규칙의 집합으로 이루어 진다. 예를들면 「전기로내 피가열체 내부온도와 외부온도의 평균온도가 기준온도보다 낮고 피가열체 외부온도가 내부온도보다 낮으면, 전기로에 매우 많은 전력을 인가한다」와 같으며 이러한 규칙들은 본 논문에서 제안된 방법에 의해 신경회로망에 학습된다. fuzzication interface는 제어대상 시스템으로부터 상태를 수신하는 동시에 퍼지제어규칙에 적용하여 입력과 규칙의 전제부 사이의 소속정도를 표현하게 된다. 의사결정 logic은 근사추론[1]에 의해 인간의 의사결정 과정을 모방한다. defuzzification interface는 의사결정 logic에서 결정된 퍼지제어정도를 취하여 non-fuzzy값으로 변환하며, 무게중심법[12][13]에 의해 구현된다. 퍼지제어기에서 전형적인 추론과정은 그림2.1과 같으며 사용된 규칙은 다음과 같다.

- R1: T_e is PO and ΔT_e is ZR $\Rightarrow p$ is PO
- R2: T_e is ZR and ΔT_e is ZR $\Rightarrow p$ is ZR
- R3: T_e is ZR and ΔT_e is NE $\Rightarrow p$ is NE (2-1)

* PO:Positive
 ZR:Zero
 NE:Negative

온도오차 T_{e0} 와 오차변화분 ΔT_{e0} 를 측정에 의해 얻어진다면, 위의 3개의 규칙으로 부터

$$\mu_{Ci}(\Delta p) = \mu_{Ai}(T_{e0}) \wedge \mu_{Bi}(\Delta T_{e0}) \wedge \mu_{Ci}(p) \quad (2-2)$$

에 의해 C_1 가 구해진다. 이렇게 구한 C_1, C_2, C_3 는

$$\mu_{C'}(p) = \mu_{C_1}(p) \vee \mu_{C_2}(p) \vee \mu_{C_3}(p) \quad (2-3)$$

에 의해 조작량 p 에 대한 퍼지집합 C' 를 구한다. 무게중심법

$$p_0 = \frac{\int p \mu_{C'}(p) dp}{\int \mu_{C'}(p) dp} \quad (2-4)$$

에 의해 실제 조작량 p_0 가 결정된다. 식(2-2)에서 식(2-4)까지 일련의 과정은 비선형함수 F 에 의해

$$p_0 = F(T_{e0}, \Delta T_{e0}) \quad (2-5)$$

로 표시될 수 있다. 비선형함수 F 는 본 논문에서 사용되는 신경회로망에 의해 학습된다.

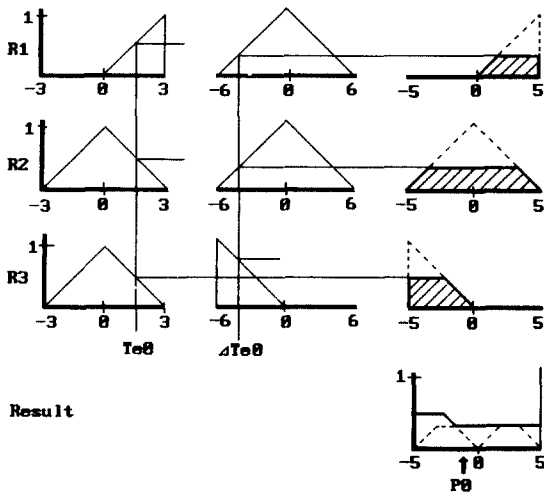


그림 2.1 퍼지규칙에 의한 추론과정

3. 신경망을 이용한 퍼지제어기

본 논문에서 사용되는 역전파학습 신경회로망의 학습 단계는 주어진 입력값에 대한 출력을 생성하는 순방향 처리와 지도출력과 순방향처리시 생성된 실출력사이에서 발생하는 오차를 되먹임하여 이 오차를 최소화하는 방향으로 중간 가중치를 바꾸는 역방향처리로 구성된다. 입력층을 제외한 중간층과 출력층은 sigmoid의 비선형전달함수를 통해 다음층 또는 실출력값으로 생성된다[14][15][16]. 입력데이터와 지도출력은 하나의 쌍으로 구성되며 0에서 1 사이의 값을 사용하기 때문에 퍼지제어규칙표에서 사용된 관측데이터와 조작량등을 정규화하여 사용한다.

2절 퍼지제어기에서 언급한 것과 같이 퍼지추론법이란 대표적인 제어규칙을 설정하고 그러한 규칙으로부터 관측데이터를 적용하여 대상시스템에 인가될 조작량을 결정하게 된다. 물론 규칙으로 설정되지 않은 관측데이터에 대해서는 퍼지 소속수와 관련된 규칙간의 보간에 의해 해당된 조작량을 얻게된다. 한편 신경회로망은 충분한 학습과정을 통하여 비선형 함수를 표현할 수 있으며, 결론 데이터 또는 미학습 데이터에 대해서

도 우수한 재생능력을 갖는다. 이와같은 능력을 이용하여 역전파학습 신경회로망에 설정한 제어규칙의 전건부에 해당된 변수를 입력패턴으로, 후건부에 해당된 변수를 출력패턴으로 하여 학습과정을 거친다면 퍼지제어기에서의 퍼지추론법과 같은 효과를 얻게된다.

퍼지제어기에 신경회로망의 적용은 퍼지제어규칙설정, height(A)에 해당된 변수값 추출, 정규화 및 신경회로망 학습이라는 4개의 과정으로 구성되며, 첫번째 과정인 퍼지제어규칙 설정은 전절에서와 같이 대상 시스템에 대한 입력변수와 출력변수를 정한다. 대개 입력변수로는 목표값에서 현재값을 뺀 오차성분과 오차의 변화량으로 정하고, 출력변수로는 플랜트에 가하는 조작량 또는 조작량의 변화분으로 정한다. 정해진 변수에 대한 제어규칙을 출력변수에 따라 일반형(출력변수가 조작량인 경우)

$$R: T_e \text{ is } P0 \text{ and } \Delta T_e \text{ is } ZR \Rightarrow p \text{ is } PS \quad (3-1)$$

또는 가속형(출력변수가 조작량의 변화분인 경우)

$$R: T_e \text{ is } P0 \text{ and } \Delta T_e \text{ is } ZR \Rightarrow \Delta p \text{ is } PS \quad (3-2)$$

으로 설정하며 퍼지집합의 형태를 결정한다. 다음 단계인 height(F)에 의한 변수값 추출은 변수별 개개의 퍼지집합 P0, ZR, PS등으로부터

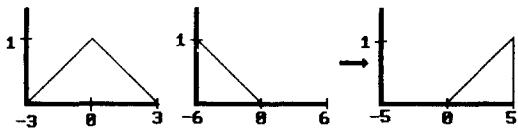
$$\begin{aligned} height(P0) &= \sup_{T_e \in T_E} \mu_{P0}(T_e), \\ height(ZR) &= \sup_{T_e \in T_E} \mu_{ZR}(T_e) \end{aligned} \quad (3-3)$$

를 구하고 height에 해당된 변수

$$\begin{aligned} T_e(P0) &= \mu_{P0}^{-1}(height(P0)), \\ T_e(ZR) &= \mu_{ZR}^{-1}(height(ZR)) \end{aligned} \quad (3-4)$$

얻는다. 세번째 과정인 정규화는 식(3-4)에 의해 얻어진 변수값들을 신경회로망에서 학습데이터로 사용하기 위해 0~1 사이의 값으로 정규화한다.

Fuzzy Rule :



height(F)에 의한 변수값 추출

$$0 \quad -6 \quad \rightarrow \quad 5$$

Normalization :

$$0.5 \quad 0.8 \quad \rightarrow \quad 1.0$$

Neural Net :

$$\text{input data}(2) \quad \text{desired output}(1)$$

그림 3.1 퍼지규칙으로부터 신경망 학습데이터 추출 과정

$T_e(PO).norm$

$$= \frac{T_e(PO) - T_e(PO).min}{T_e(PO).max + T_e(PO).min} \quad (3-5)$$

정규화된 전건부와 후건부의 변수값을 학습패턴으로 하여 충분한 학습을 실시하여

$$pr_{e0} = NN(T_{e0}, \Delta T_{e0}) \quad (3-6)$$

와 같은 기능을 갖도록 신경회로망을 학습시킨다. 그림3.1은 하나의 규칙에 대한 학습데이터 추출과정을 나타낸다. 그림과 같은 퍼지규칙에 대하여 전건부 및 후건부의 퍼지집합은 normal이기 때문에 모든 height는 1이며, 각각의 변수값은 0, -6 과 5 이다. 구한 변수값은 개개의 퍼지집합에 대해 정규화를 하여 0.5, 0.0 과 1.0 을 얻은 후 신경회로망의 학습패턴으로 사용한다.

4. 전기로 시스템에 적용된 퍼지규칙과 신경회로망

- 전기로

전기로는 노내에 장착되어 있는 열선에 110V 전원을 인가함에 의해 열을 발생시키는 장치로 일반적으로 원하는 온도로 상승시켜 그온도를 유지하는 기능을 갖는다. 전기로내의 열원은 노내 바닥에 위치하고 있으며, 이 열원으로 부터 발생한 열을 대류시키기 위해 노바닥에 환풍기가 설치되어 있다. 본 논문에서 다루는 전기로 제어는 원하는 온도로의 상승 및 유지 뿐만 아니라, 전기로내 피가열체로서 무개용기를 삽입한 상태에서 무개용기 내부의 온도와 무개용기 외부의 온도차 즉, 전기로내의 온도분포편차를 줄임으로써 고른 온도로 가열하는 것을 목적으로 한다. 물론 피가열체의 재질 및 형태에 따라 제어방식에 다소 차이가 있으나, 본 논문에서는 무개용기만을 대상으로 사용하여 제어하였다.

- 제어 하드웨어

그림4.1에서와 같이 제어 하드웨어는 전기로로부터 온도를 읽어 들이는 온도입력부, 제어된 조작량을 전기로에 가하는 전원인가부와 제어알고리즘에 의해 제어신호를 발생하는 개인용 컴퓨터로 크게 구분할 수 있으며, 온도입력부는 전기로내 무개용기 내부의 온도와 외부의 온도를 측정하기 위해 두개의 백금측온저항체(PT 100Ω), 온도감지회로 및 A/D변환기(변환시간: < 30μs)로 구성된다. 백금측온저항체는 0°C ~ 500°C 사이의 온도 변화에 따라 정해진 저항값을 출력하고 온도감지회로는 이러한 저항변화를 제어에 용이한 0 ~ 5V사이의 전압으로 변환한 후, A/D변환기(변환시간: < 30μs)에 의해 0에서 2047사이의 2진수로 개인용 컴퓨터에 입력한다. 개인용 컴퓨터는 온도입력부에서 입력된 관측데이터로부터 후에 기술할 제어알고리즘

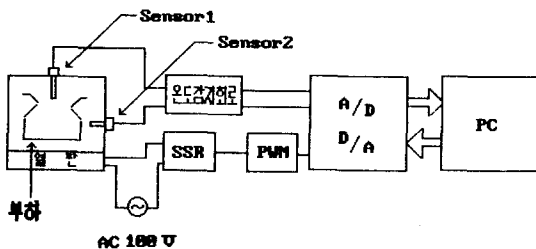


그림4.1 전기로 시스템 구성도

에 의해 0 ~ 255사이의 2진수 제어신호를 발생한다. 전원인가부는 제어신호를 수신하여 0 ~ 5V사이의 연속치로 D/A변환한 후 PWM(Pulse Width Modulation)회로에 입력, 무접전 릴레이(SSR)를 개폐함으로써 전기로 공급전원을 인가 혹은 차단한다.

- 퍼지규칙과 신경회로망에 의한 제어기

전기로 온도제어를 위한 퍼지제어규칙의 생성을 위해 기준온도와 평균온도의 오차($T_e = T_{ref} - T_a$)와 온도차($T_d = T_{in} - T_{out}$)라는 두개의 변수를 정하고 각각에 대한 규칙을 얻는다. 온도오차에 대한 제어규칙은 온도오차가 양이면 가열하고 음이면 냉각하는 원리에 의해 다음과 같이 정할 수 있고 제어규칙표는 표4.1과 같다. 본 논문에서 사용된 전기로는 냉각장치가 설치되어 있지 않기 때문에 냉각은 단지 가열하지 않는 자연냉각에 의한다.

- R1 : T_e is PO and ΔT_e is PO \Rightarrow p is PB
- R2 : T_e is PO and ΔT_e is ZR \Rightarrow p is PS
- R3 : T_e is PO and ΔT_e is NE \Rightarrow p is ZR
- R4 : T_e is ZR and ΔT_e is PO \Rightarrow p is PS
- R5 : T_e is ZR and ΔT_e is ZR \Rightarrow p is ZR
- R6 : T_e is ZR and ΔT_e is NE \Rightarrow p is NS
- R7 : T_e is NE and ΔT_e is PO \Rightarrow p is ZR
- R8 : T_e is NE and ΔT_e is ZR \Rightarrow p is NS
- R9 : T_e is NE and ΔT_e is NE \Rightarrow p is NB

- * T_{in} : 무개용기의 내부온도
- T_{out} : 무개용기의 외부온도
- T_{ref} : 기준온도
- $T_e = T_{ref} - T_a$
- $T_d = T_{in} - T_{out}$
- $T_a = (T_{in} + T_{out})/2$
- NE : NEgative
- PO : POsitive

표4.1 T_e 에 의한 p1 생성 퍼지제어규칙표

		PO	ZR	PS	PB
ΔT_e	ZR		NS	ZR	PS
	NE		NB	NS	ZR
	/	NE	ZR	PO	
			$T_e \rightarrow$		

온도차에 대한 제어규칙은 전기로를 가열할 때 무개용기내부의 온도상승속도보다 무개용기외부의 온도상승속도가 빠르고, 냉각시에는 무개용기외부가 무개용기내부보다 온도하강속도가 빠르다는 원리에 의해 정해지며 퍼지제어규칙표는 표4.2와 같다.

표4.2 T_d 에 의한 p2 생성 퍼지제어규칙표

		PO	ZR	PS	PB
ΔT_d	ZR		NS	ZR	PS
	NE		NB	NS	ZR
	/	NE	ZR	PO	
			$T_d \rightarrow$		

위에서 정한 2개의 퍼지제어규칙표에 의해 발생하는 출력 p1, p2에 의해서 전기로에 가해지는 하나의 조작량 p를 산출하기 위한 퍼지제어규칙표는 온도제어방식에 의하여 다음과 같이 나타난다. 두점간의 온도차이를 줄이면서 기준온도에 도달시키

는 경우와 전이상태에서 발생하는 두점간의 온도차는 무시하고 기준온도부근에 도달한 후 온도분포제어를 하는 경우에 따라서 두가지의 제어방식이 있을 수 있으나, 본 논문에서는 전이상태에서 발생하는 온도차는 무시하고 기준온도부근에 도달한 경우에 두점간의 온도차이를 줄여 균일한 항온가열을 제어목적으로 하기 위하여 다음과 같은 규칙

- R1 : T_e is PO \Rightarrow p is p_1 ($= FC(T_e, \Delta T_e)$)
- R2 : T_e is ZR \Rightarrow p is p_2 ($= FC(T_d, \Delta T_d)$)
- R3 : T_e is NE \Rightarrow p is p_1 ($= FC(T_e, \Delta T_e)$)

* FC : 퍼지제어기

을 설정, 출력을 배정하여, 평균온도가 원하는 온도보다 높거나 낮은 경우에는 온도차이에 의해 생성된 조작량보다 우선하여 적용하고, 평균온도가 원하는 온도 근방인 경우에는 온도차에 의한 조작량을 우선적용하여 전기로내 온도를 원하는 온도 부근까지 상승시킨 다음 온도차이를 감소하는 제어를 수행하게 된다.

작성된 퍼지제어규칙표를 제한한 알고리즘에 의해 학습패턴으로 하여 역전파학습 신경회로망에 적용하면 그림4.3과 같은 구조를 갖는다. 그림4.3에서 신경회로망1은 신경회로망2와 신경회로망3에서 발생하는 출력을 배정하는 기능을 하며 학습시 사용된 학습데이터는 표4.3과 같으며, 신경회로망2는 T_e 를 위한 퍼지제어기의 기능을 그리고 신경회로망3은 T_d 를 위한 퍼지제어기의 기능을 담당하게 된다. 신경회로망1은 $1 \times 8 \times 2$ (입력층 \times 중간층 \times 출력층)의 3층구조를, 신경회로망2,3은 $2 \times 3 \times 1$ (입력층 \times 중간층 \times 출력층)의 3층 구조를 가지며, 학습을 위해 사용된 학습률과 모멘텀은 각각 0.9, 0.9이고 오차허용범위는 0.001이다. 이와같은 구조와 파라미터를 가지고 학습과정을 거

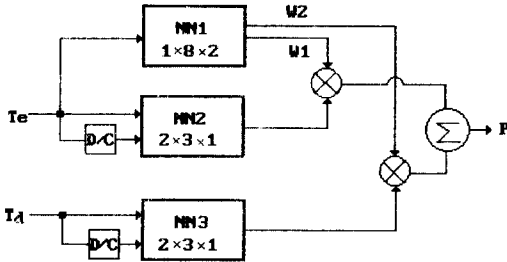


그림4.2 퍼지규칙을 수행하는 신경회로망 제어기

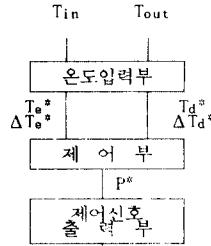
표4.3 신경회로망1 학습에 사용된 데이터

온도오차 T_e	지도출력 W_1	지도출력 W_2
0.0	1.0	0.0
0.1	1.0	0.0
0.2	1.0	0.0
0.3	1.0	0.0
0.375	0.5	0.5
0.45	0.0	1.0
0.5	0.0	1.0
0.55	0.0	1.0
0.625	0.5	0.5
0.7	1.0	0.0
0.8	1.0	0.0
0.9	1.0	0.0
1.0	1.0	0.0

친 후 생성된 중간 가중치들을 제어에 사용한다. 물론 신경회로망에서는 중간층 뉴런수, 학습률 및 모멘텀등에 따라 학습정도가 달라지고 수렴여부 및 수렴속도도 결정되나 본 논문에서는 이러한 문제들을 다루지 않았으며, 실험을 통해 학습에 용이한 위와 같은 구조와 계수를 선택 사용했다.

- 제어 소프트웨어

전기로 온도를 읽어들이는 온도입력부, 제어신호를 발생하는 제어신호출력부와 퍼지규칙과 신경회로망에 의해 학습된 중간 가중치로 이루어진 제어부로 구성되며 온도입력부 모듈은 온도 감지기와 A/D변환기로 부터 연속 온도정보 20개를 60초주기 또는 10초주기로 읽어서 백급속온저항체및 온도감지회로에서 발생한 잡음에 의해 발생하는 약 $\pm 2^\circ\text{C}$ 정도(때때로 그 이상의 값도 자주 발생)의 오차를 줄이기위해 온도크기별로 나열한 후 상위와 하위6개를 제거하고 나머지 8개 데이터를 평균을 취하여 개개의 온도를 얻는다. 이로부터 제어부에 필요한 T_e , ΔT_e , T_d 와 ΔT_d 를 생성한 다음 정규화하여 제어부로 출력한다. 제어부는 학습과정에서 얻은 중간 가중치에 의해 온도입력부로부터 수신한 정규화된 입력데이터에 대한 재생과 연산을 거쳐 정규화된 제어신호를 출력한다. 제어신호출력부는 제어부에서 받은 정규화된 제어신호를 비정규화 한후 D/A 변환기로 출력한다.



- * T_e^* : 정규화된 T_e
- ΔT_e^* : 정규화된 ΔT_e
- T_d^* : 정규화된 T_d
- ΔT_d^* : 정규화된 ΔT_d
- P^* : 정규화된 P

그림4.3 제어 소프트웨어의 구성과 신호흐름도

5. 실험및 고찰

4절에서와 같은 과정을 통해서 얻은 신경회로망의 재생과정을 통하여 전기로 온도제어를 수행한다. 본논문에서 사용된 전기로는 냉각을 위한 부가장치가 없으므로 냉각을 위한 출력신호에는 자연냉각에 의해 수행된다. 그림5.1은 제어기와 피가열체가 없는 상태에서의 전기로내 온도를 나타낸 것으로 전기로내 온도분포가 거의 균일하다고 할 수 있다. 그림5.2는 무개용기를 피가열체로 사용하여 특별한 제어방법을 사용하지 않고 단수히 약2,500초 동안 가열하고 약1,500초 동안 냉각한 경우의 두점간 온도를 나타낸 것이다. 이 경우 두점간의 온도차이는 약18°C까지 벌어짐을 알 수 있으며, 가열하는 동안에는 용기의 부의 온도가 내부보다 높고 냉각시에는 용기내부가 높음을 알 수 있다. 특히 전기로가 가열 시작 약1000초 후까지는 용기내부와 외부의 온도차가 벌어지며 냉각전까지는 약18°C를 유지하고, 냉각개시 약600초 후에 용기내부온도와 외부온도가 같아지

는 결이 발생한다. 그림5.3과 그림5.4는 본 연구에서 설계한 퍼지-신경회로망 제어기에 의한 로제어의 실험결과이다. 그림 5.3은 기준온도(T_{ref})를 70°C에 둔 경우로 외부온도의 오버슈트는 5°C 정도가 발생하나 내부온도의 오버슈트는 발생하지 않는다. 기준온도에 이르는 반응시간은 내부온도가 기준온도에 도달하는 시간인 약4000초가 걸리며, 기준온도에서 약2°C이내의 온도차로 수렴한다. 그림5.4는 제어기준온도를 80°C로한 경우로 그림5.3과는 달리 외부온도에서 오버슈트와 약2000초 동안 감쇄를 갖는 진동이 발생하며, 기준온도 2°C내로 수렴하기까지는 약6000초 정도가 걸린다. T_e 와 ΔT_e 의 범위는 주로 기준온도에 도달하는 응답시간에 영향을 미치며 T_d 와 ΔT_d 의 범위는 주로 기준온도로 수렴되는 정도에 영향을 미친다. 기준온도를 70°C와 80°C로 한 실험에 사용된 계수들은 표5.1과 같다.

표5.1 그림5. 과 5.4에 사용된 계수

변수 \ 온도	$T_{ref} = 70^\circ\text{C}$	$T_{ref} = 80^\circ\text{C}$
$T_{e, max}$	3	3
$T_{e, min}$	-3	-3
$\Delta T_{e, max}$	6	6
$\Delta T_{e, min}$	-6	-6
$T_{d, max}$	3	2
$T_{d, min}$	-3	-2
$\Delta T_{d, max}$	6	4
$\Delta T_{d, min}$	-6	-4
온도 입력주기	10 (sec)	60 (sec)

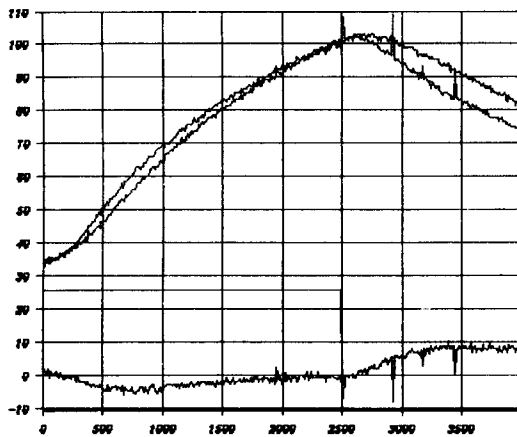


그림5.1 피가열체가 없을 때 전기로내 온도변화

6. 결론

본 논문에서 다룬 피가열체로서 무개용기를 가진 전기로내 균일온도 유지 제어는 두개의 출력변수와 한개의 입력변수를 갖는 다변수 시스템으로써 적응제어 또는 PI제어에서 다루기 어려우나 퍼지제어기에서는 언어적 제어규칙만을 설정함으로써 간단히 제어가능함을 알 수 있고 퍼지제어기에 신경회로망을 결합함으로써 퍼지제어시 설정키 어려운 소속함수 결정 문제 및 퍼지추론법 결정문제등을 실험에서 얻은 데이터를 사용함으로써 극복할 수 있었다. 그러나 피가열체의 형태와 재질의 변화 및 제어중 기준온도의 변화와 같은 적응제어에는 많은 문제점을 안고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 궁극적으로는 제어와 학습을 동시에 하는 on-line 학습구조가 필요하며, 앞으로 지속적인 연구가 필요하다고 하겠다.

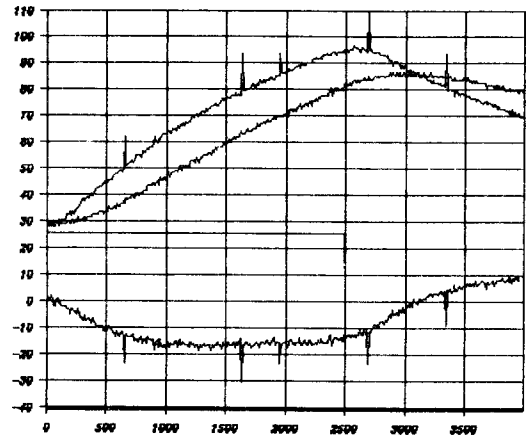


그림5.2 무개용기 삽입시 전기로내 온도변화

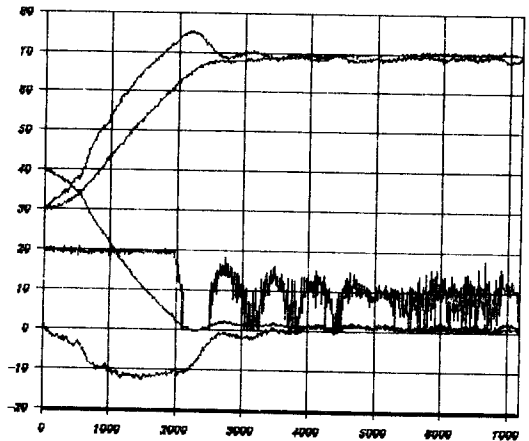


그림5.3 70°C로 제어한 경우의 온도변화

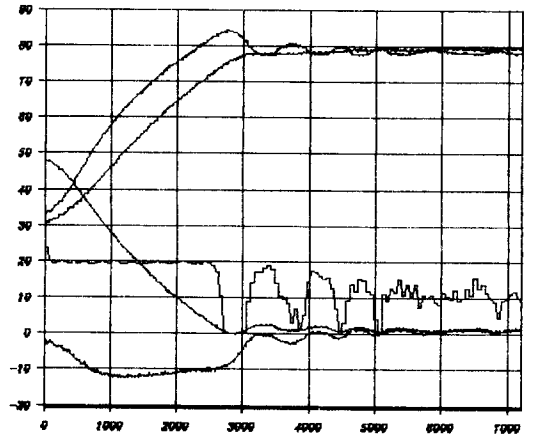


그림5.4 80°C로 제어한 경우의 온도변화

7. 참고문헌

- [1] L.A.Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis complex systems and decision processes", IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, vol. SMC-3, pp.28-44, 1973.
- [2] E.H.Mamdani, "Applications of Fuzzy Algorithms for Control of Simple Dynamic Plant", Proc. IEE, Vol.121, No 12, pp.1585-1588, 1974.
- [3] J.J.Ostergaard, "Fuzzy Logic Control of a Heat Exchanger Process", in Fuzzy Infomation and Decision Processes, North-Holland,1977.
- [4] L.P.Holmbland and J.J.Ostergaard, "Control of a Cement Kiln by Fuzzy Logic", in Fuzzy Infomation and Decision Processes, North-Holland,1982.
- [5] Michio Sugeno, "Industrial Applications of Fuzzy Control", North-Holland, 1985.
- [6] "제6세대 신경컴퓨터의 원리및 응용", 포항공대 신경회로 연구센터, 1990.
- [7] Shin-ichi Horikawa, Takeshi Furuhashi, Shigeru Okuma, Yoshiki Uchikawa, "Composition Methods of Fuzzy Neural Networks", Proc. of IECON'90, vol. no.2, pp.1253-1258, 1990.
- [8] 林勳, 野村博義, 若見昇, "ニューラルネット駆動型ファジィ推論ルールの獲得", 日本ファジィ學會誌, vol.2, no.4, pp.585-597,1990.
- [9] C.C.Lee, "Intelligent Control Based on Fuzzy Logic and Neural Net Theory", Proceedings of the International Conference on Fuzzy Logic & Neural Networks, pp.759-764, 1990.
- [10] N.R.Sripada, D.G.Fisher, A.J.Morris, "AI application for process regulation and servo control", IEE proceedings, vol.134, no.4, 1987.
- [11] 명로직, "전기로 제어를 위한 전문가 시스템에 관한 연구", 인하대학교 석사학위논문, 1991.
- [12] C.C.Lee, "Fuzzy logic in control systems:Fuzzy logic controller - Part I and Part II", IEEE Trans.on Systems, Man, and Cybernetics, vol.SMC-20, no.2, 1990.
- [13] 水本雅晴, "わかりやすいファジィ理論III", コンピュータロ-ル, vol.28, pp.32-45, 1989.
- [14] D.E.Rumelhart, James L. McClelland and the PDP Research Group, "Parallel Distributed Processing" vol.1, MIT press, 1986.
- [15] 노종래, 이종호, "신경회로망을 이용한 종합주가지수의 변화율 예측", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.896-899, 1991.
- [16] Russell C. Eberhart and Roy W. Dobbins, "Neural Network PC Tools", Academim Press, Inc., 1990.