

퍼지 로직 제어를 이용한 냉장고 온도 제어 방법

Temperature Control Method of Refrigerator Using Fuzzy Logic Controller

°최병준*, 한상완**, 홍석교***

*대우전자주식회사(Tel:+82-32-880-5428;E-mail:bjchoi@madang.ajou.ac.kr)

**아주대학교 대학원 제어계측공학과(Tel:+82-331-219-2489;E-mail:swhan@madang.ajou.ac.kr)

***아주대학교 전기전자공학부(Tel:+82-331-219-2478;E-mail:skhong@madang.ajou.ac.kr)

Abstract This paper describes the quick and precise controlling method for home-applied refrigerator. The proposed controller is based on the fuzzy logic control method and is designed for better performance in maintaining the constant temperature of the refrigerator. The temperature of the refrigerator is controlled by the cooling air blowing fan motor which is put on, off according to fuzzy logic controller. Finally, I study the performance of the proposed controller through the computer simulation about the approximated model of the refrigerator.

Key words Refrigerator, Fuzzy Logic Control, On-Off Control, Constant Temperature Control, Fan Motor.

1. 서론

냉장고는 현재 다른 어떤 가전제품 보다도 그 필요성이 절대적인 가전 제품으로 자리를 잡고 있다. 따라서 식품의 신선도를 최대한 유지하기 위한 냉장고의 제어에 대한 관심이 그 어느때 보다도 높다고 할 수 있다. 또 냉동, 공조 시스템의 제어에 관한 연구로써 많은 엔지니어들이 소형 가정용 냉장고를 대상으로 하여 PWM(Pulse Width Modulation) 제어 방식의 인버터를 이용하여 압축기의 RPM제어(회전수 제어)를 행하고, 단속운전(On-Off)시와 인버터 제어에 의한 연속 운전시의 냉각 속도, 냉장고내의 온도 및 효율 등에 대해서도 비교 연구, 검토하여왔다. 단속운전 제어의 경우는 냉장고의 효율운전(성에너지)과 냉장고내의 일정 온도(정온) 유지에 문제가 발생할 수 있으며, 인버터 제어의 경우는 인버터 제어를 구현하기 위한 재료비등 원가의 상승과 개발에 어려움이 있어 쉽게 소형 가정용 냉장고[1]에 적용하기 어렵다.

본 논문에서는 단속운전 제어에서 많이 발생하는 냉장고의 사용환경, 외기온도의 변화 또는 식품보관량의 증가에 따른 냉장고내의 온도편차, 특히 온도 변화에 민감한 식품을 저장하는 냉장실의 온도편차 발생을 퍼지 로직 제어로 최대한 억제하도록 하는 제어 알고리즘을 구현하는 것을 제안한다. 퍼지논리 제어를 기반으로 한 시스템은 기존의 시스템보다 성능면에서 우월하며, 퍼지논리 제어의 응용 예는 로봇제어, 위성비행제어, 전동차 속도제어와 같은 산업용 뿐만 아니라 세탁기, 캠코더등 가전제품에 이르기까지 그 응용 예는 무수히 많다[2]. 본 논문에서 퍼지 제어기의 설계 방향은 사용환경에 따른 퍼지 상태변수를 설정하고 이에 따른 퍼지 제어기의 소속함수를 구분하여 냉장고의 효율향상 뿐만아니라 냉장고의 온도를 최대한 정온이 유지되도록 퍼지 로직 제어를 설계하였다. 또 냉장고의 근사화된 모델을 해석과 실험에 의해 제안하였다. 본 논문의 2장은 냉장고의 제어 구조와 모델화로 구성으로 되어있고, 3장은 퍼지 제어기의 설계 및 제어 알고리즘, 4장은 모의실험 및 결과 검토, 마지막으로 결론을 설명한다.

2. 냉장고 제어구조와 모델화

2.1 냉장고 제어구조

그림1은 가정용 냉장고의 측면 개략도와 냉기 흐름을 도시 하였다[3]. 냉장고에 주로 사용되는 냉매는 주로 R12, R22가 사용되나 요즘 환경보호를 고려하여 non-CFC 계열인 R-134a도 많이 사용되는 추세이다. 압축기에서 압축된 냉매는 응축기의 역할을 하는 방열 파이프와, 모세관을 거쳐 증발기에서 증발되며, 흡입 파이프를 통과하여 다시 압축기로 다시 되돌아 간다[4].

증발기에서 증발된 냉매는 증발기의 온도를 떨어뜨려 냉각기의 역할을한다. 증발기 앞면에 부착된 냉기 순환 팬을 이용하여, 증발기의 찬 냉기를 냉동실 또는 냉장실로 냉기를 강제 순환시켜 냉장고 안에 보관된 식품을 냉각시킨다. 냉장고 내의 온도는 써미스터에 의해 감지되며, 이 값이 제어기로 입력되어 냉기 순환 팬을 설정된 규칙에 따라서 단속운전 제어 한다. 그림2는 일반적인 냉장고 제어의 전체 블록선도를 나타낸다.

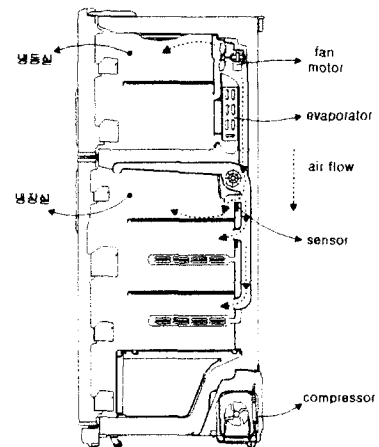


그림1. 냉장고 구조개략도(측면도)

냉장고의 제어 블록선도는 입력부인 온도센서와 기능선택 스위치, 제어부와 출력부로 되어 있다. 출력부는 송풍 팬, 콤퓨레서등의 전장품들과 표시를 위한 디스플레이로 구성되어 있다.

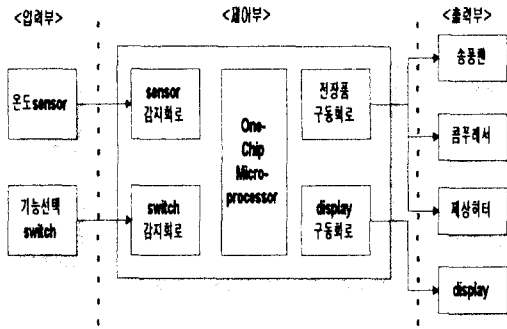


그림2. 냉장고 제어 블록선도

2.2 냉장고의 모델화

실험적으로 냉장고 모델은 축소된 차수의 모델 형태인 순 시간 지연과 1계 적분의 결합으로 표현될 수 있다. 따라서 냉장고 시스템의 전달 함수는 아래와 같이 근사화된 형태로 표현될 수 있다[5][6].

$$G(s) = \frac{K}{1 + T_s} e^{-\tau s} \quad (1)$$

여기서 정상상태 이득 K는 열전달 효율로 간주할 수 있다. 시정수 T는 설정온도1(팬 온) 상태에서 설정온도2(팬 오프) 상태까지 도달할 때까지의 시간인 시정수를 나타낸다.

또 시간지연 τ 는 팬 온 또는 팬 오프후 온도 센서의 온도가 상승에서 하강, 또는 하강에서 상승으로 변화되기 시작될 때까지의 시간 지연을 나타낸다.

3. 퍼지 제어기의 설계

기존의 냉장고 온도 제어 방법인 냉기 순환 팬에 의한 단속 운전 제어 방법을 아래 그림3에 나타내었다. 기존의 냉장고 제어 방법은 냉장고의 출력신호와 기준설정 온도(입력3)를 비교기에서 비교하여 이것을 스위치로 입력시켜고, 다시 문턱점과 비교하여 냉장고에 입력1, 또는 입력2를 입력시킬 것인가를 판단한다. 이렇게 입력된 신호에 따라서 냉장고는 동작되고, 출력은 다시 피드백되어 스위치에 의해 입력1 또는 입력2가 냉장고로 입력된다.

이와같이 냉장고의 내부 온도가 스위치의 단속에 의해 제어되므로 온도 변화 폭이 크고 외부 사용환경, 즉 냉장고 외부의 온도변화 또는 저장식품의 증,감동에 능동적으로 대응하는데 어려움이 있었다. 다음 절에서는 이를 개선하기 위한 퍼지 로직 제어기에 대해 설명한다.

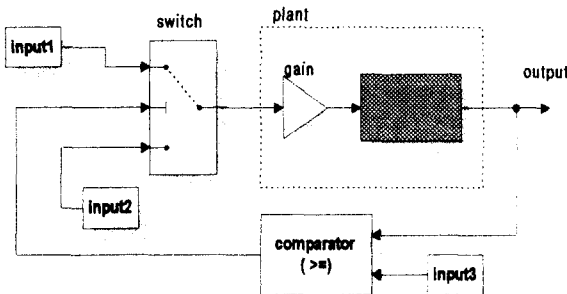


그림3. 냉장고 단속운전 블록선도

3.1 퍼지 로직 제어기

일반적인 퍼지 로직 제어기는 지식기반을 근거로하며 그림4는 본 논문에서 제안한 퍼지 제어의 블록선도를 나타낸다. 제어대상은 냉장고의 온도로, 냉장고의 냉장실 온도를 출력으로 하여 제한시켜 기준온도와 비교하여 오차와 오차의 변화율이 퍼지 제어기의 입력으로 사용된다. 오차는 퍼지 제어기의 입력으로 바로 입력되고, 오차의 변화율은 퍼지 로직 제어기에서 퍼지화, 규칙 기초에 의한 퍼지추론 결과 이에 따른 상태를 설정한 후 비퍼지화된 출력이 기역장치의 자료표를 참조한 후 다시 퍼지 제어기의 입력으로 사용된다.

따라서 이 제어기의 핵심은 퍼지 제어규칙을 따르는 문맥의 집합이다. 본 연구에서는 두개의 별개의 규칙 블록이 정의된다. 하나는 냉장고의 온도를 실제로 제어하기 위한 것이고, 다른 하나는 냉장고의 사용 환경변화를 인지하기 위한 것으로 이것이 상태변수를 결정하는데 활용된다. 제어에서 사용되는 퍼지화 과정은 개념적으로 대집합 X에 있는 수치적인 값 x_0 를 하나의 퍼지 집합 A'로 사상하는 것이다. 즉, $A' = \text{fuzzifier}(x_0)$ 이고 퍼지 집합 A'의 소속함수는 $\mu_{A'}(x) : X \rightarrow [0,1], x \in X$ 와 같이 나타낼 수 있다[5]. 그림4는 대표적인 소속함수의 값과 형태를 나타낸다. 본 논문에서 퍼지 로직 제어기는 삼각형 형태의 소속 함수를 갖는다.

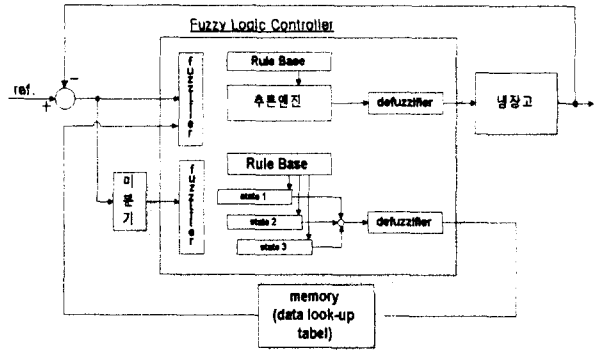


그림4. 퍼지 제어 블록선도

$$\mu_{tri}(x) = \begin{cases} 0 & : x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & : a \leq x \leq b \\ \frac{(a-x)}{(b-a)} & : b \leq x \leq c \\ 0 & : x > c \end{cases} \quad (2)$$

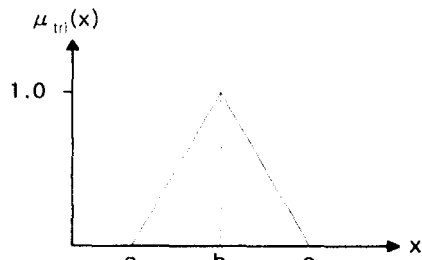


그림5. 소속함수의 식과 형태

3.2 제어규칙(지식기반)의 설계

각 $a, b \in \mathbb{R}, a < b$ 이고, $\mu_{a,b} : \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}, \mu_{a,b}(x) \neq 0$ if $x \in [a,b]$ 인 소속함수라 하고, T1, T2를 t-norm으로 설정하고, I를 $I(a,0)$ if $a \neq 0$ 을 증명하는 퍼지암시라 한다(예를 들면, R-암시 또는 $I(a,b) = T3(a,b)$ 인 t-norm을 나타낸다.).

끝으로 G를 t-conorm, S를 비퍼지화 방법으로 설정한다. 6개의 요소들은, FRBS = (T1,T2,I,G,S, μ_{ab}), 아래 ① -- ⑥항과 더불어 FRBS(Fuzzy Rule Based System)의 단위를 이루고 있다.

① 퍼지 제어 규칙은 아래의 형태와 같은 유한한 k개의 규칙들로 구성되어 있다.

$$R_j : \text{IF } x_1 \text{ is } A_{1j} \text{ and } \dots x_n \text{ is } A_{nj} \text{ THEN } y \text{ is } B_j \quad (3)$$

$j = 1, \dots, k$

② 각 A_{ij} 에 대한 소속함수는 $a_{ij}^1 < a_{ij}^2$, $a_{ij}^1, a_{ij}^2 \in R$ 에 대해 $\mu_{a_{ij}^1, a_{ij}^2}$ 의 형태를 갖는다. 즉,

$$A_{ij}(x) = \mu_{a_{ij}^1, a_{ij}^2}(x) \quad (4)$$

③ 각 B_{ij} 에 대한 소속함수는 $a < b$, $a, b \in R$ 인 구간에서 $\mu_{a,b}$ 인 형태이다. 즉,

$$B_j(x) = \mu_{a_j, b_j}(x) \quad (5)$$

④ T1은 퍼지 결합작용이다. 일반화된 고평준법(modus ponens)은 다른 t-norm T2와 암시 I와 함께 만들어진다.

⑤ 모든 제어규칙의 구성은 아래와 같이 t-conorm인 G로 만들어진다.

$$B'(y) = G\{[B'(y)']\}, \quad j = 1, \dots, k \quad (6)$$

⑥ 비퍼지화 방법 S는 무게중심법(Center Of Gravity method)를 사용한다. 무게 중심법은 규칙에 의한 추론결과 u의 퍼지값이 B이고 $\mu_B(u)$ 의 무게중심값을 B의 비퍼지화 값으로 정의하는 방법이다.

$$u^* = \text{defuzzifier}(B) = \frac{\int_U \mu_B(u) u du}{\int_U \mu_B(u) du} \quad (7)$$

3.3 냉장고 제어 알고리즘

그림6은 제어 알고리즘의 동작 흐름도를 나타낸다. 시스템의 출력 신호인 냉장고의 냉장실 온도의 변화율을 계산하고, 사전 설정된 상태변수와 비교하여 오차와 오차의 변화율을 계산한다. 이 오차와 변화율을 사전 실험에 위해 설정된 값(A, B)와 비교하여 이에 따른 각 상태변수를 재설정한다. 이 상태변수와 냉장고 온도의 변화율과의 오차가 퍼지 로직 제어기의 입력으로 입력된다. 퍼지 제어기의 출력이 제어 대상인 냉장고로 입력되고, 제어입력에 대한 냉장고의 출력이 온도 센서로 측정되어 기준 온도와 비교되기 위하여 제환된다.

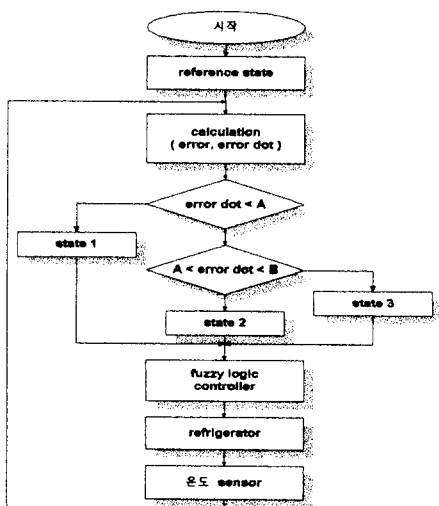


그림6. software 동작 flow chart

4. 모의실험 및 결과검토

근사화된 냉장고 모델의 파라미터들의 값은 실제의 냉장고에서 실험에 의해서 구해졌다. 정상상태 이득 $K = 0.5$, 시정수 $T = 160\text{sec}$, time delay $\tau = 60\text{sec}$ 이다. 결과적으로 근사화된 냉장고의 모델은 아래와 같이 표현된다.

$$G(s) = \frac{1}{1+Ts} e^{-\tau s} = \frac{1}{1+165s} e^{-60s} \quad (8)$$

4.1 제어규칙(지식기반)의 설정

제어규칙은 다음과 같이 설정되었다.

규칙1 : IF (FSV[rate] is MEDIUM) and (error is NB) THEN (output is MONB).

규칙2 : IF (FSV[rate] is MEDIUM) and (error is NM) THEN (output is MONM).

규칙3 : IF (FSV[rate] is MEDIUM) and (error is NS) THEN (output is MONS).

규칙4 : IF (FSV[rate] is MEDIUM) and (error is Z) THEN (output is MOZ).

규칙5 : IF (FSV[rate] is MEDIUM) and (error is PS) THEN (output is MOPS).

규칙6 : IF (FSV[rate] is MEDIUM) and (error is PM) THEN (output is MOPM).

규칙7 : IF (FSV[rate] is MEDIUM) and (error is PB) THEN (output is MOPB).

여기서, FSV[rate]는 상태변수로 사전 설정된 값으로 LARGE, MEDIUM, SMALL 등으로 구분되며, PB=Positive Big, PM=Positive Medium, PS=Positive Small, Z=Zero, NS=Negative Small, NM=Negative Medium, NB=Negative Big을 나타내며, MOPB=Medium Output Positive Big이다. 기준에 따라서 상태변수를 설정하고, 시스템 출력의 변화율과 상태변수로 설정된 값과 비교하여 오차를 계산한다. 이 오차가 퍼지 제어기의 입력이 된다. 표1.은 퍼지제어규칙 표이다. 각, 상태변수별로 7개 총21개의 제어규칙이 만들어졌다. 그림7.은 퍼지로직 제어기의 입,출력 소속함수를 나타낸다[8].

표1 퍼지제어규칙 table

state \ e	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
SMALL	SONB	SONM	SONS	SOZ	SOPS	SOPM	SOPB
MEDIUM	MONB	MONM	MONS	MOZ	MOPS	MOPM	MOPB
LARGE	LONB	LONM	LONS	LOZ	LOPS	LOPM	LOPB

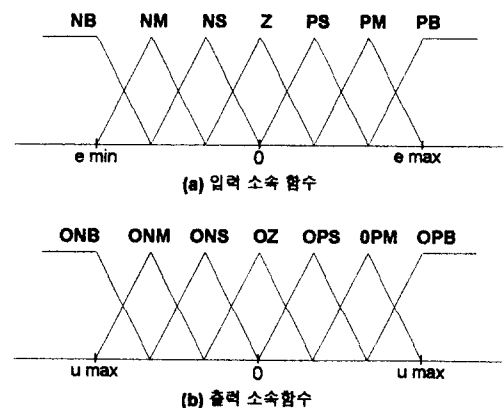


그림7. 입, 출력소속함수

4.2 모의실험 결과

모의실험은 냉장고의 통상적인 사용 조건일 때와 냉장고의 사용조건이 변할 경우를 설정하여 실험하였다. 냉장고 사용조건 변화는 시스템에 대해서 외란으로서 외부온도의 변화, 또는 저장 식품량의 증감이 있는 경우이다. 특히 외부온도의 변화가 있는 경우에 대해서 모의실험을 하였다. 그림8은 기존 냉장고의 냉장실 온도 출력 그래프를 나타낸다. 냉장고 외부의 온도는 30°C이고 냉기 송풍 팬의 단속 운전 동작 온도 포인트는 팬 온 1°C, 팬 오프 0°C를 기준으로 한다. 상태변수는 MEDIUM 이다. 그림9는 냉장고 외부온도가 15°C 이하일 때, 기존의 상태와 퍼지 로직 제어기를 사용했을 경우를 비교하였다. 냉장고 외부온도가 낮고 식품의 저장량이 적을 경우 냉기 송풍 팬의 동작온도를 퍼지 로직 제어기의 출력값에 따라서 온, 오프 포인트를 상향 조정한다. 모의실험에서의 변경 값은 약 0.2°C이다(사선). 이렇게 함으로써 냉장고를 효율적으로 운전하여 소비전력등의 감소가 예상된다. 그림10은 냉장고의 외부온도가 35°C 이상일 때를 기존의 상태와 퍼지 로직 제어기를 사용했을 때를 비교하였다. 이것은 외부온도가 기준이상으로 높거나 저장식품의 양이 많을 경우를 고려한 것으로 이때의 퍼지 로직 제어기의 출력값은 약 0.2°C로 통상 설정된 송풍 팬의 온, 오프 온도보다 약 0.2°C 낮은 온도에서 송풍 팬을 온, 오프시킨다. 이렇게 함으로써 냉장고 내부의 온도가 외부 사용조건에 의해서 열화되는 것을 사전에 방지할 수 있다.

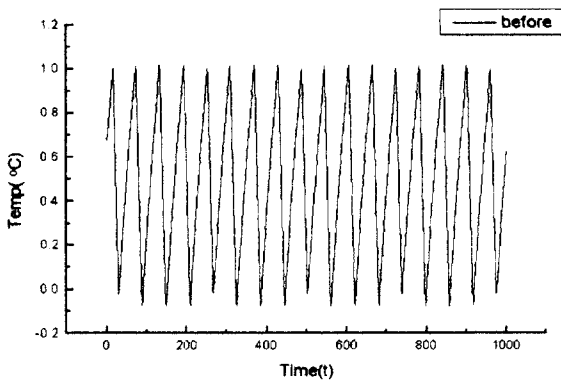


그림8. 기존 시스템

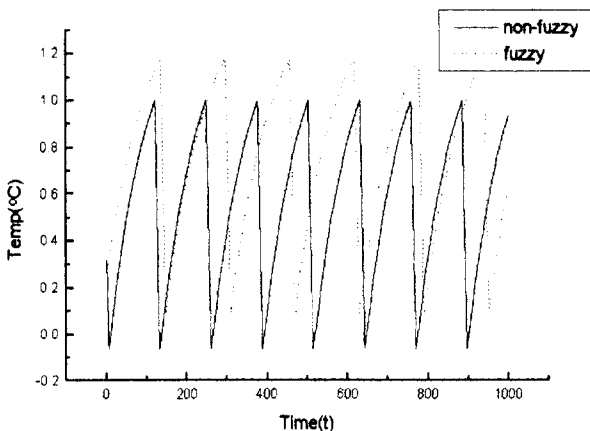


그림9. 외부온도 변화시(저온)

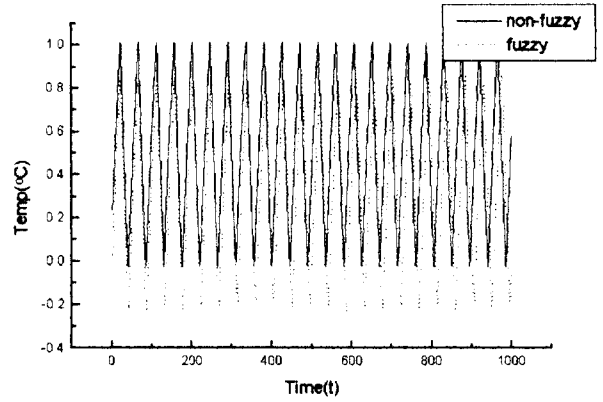


그림10. 외부온도 변화시(고온)

6. 결론

본 논문에서는 가정용 소형 냉장고의 온도제어에 대한 방법을 제시하였다. 제시된 전략은 냉장고 사용환경의 변화에 대하여 습득된 지식과 경험을 바탕으로 한 퍼지 로직 제어기의 구현을 통하여, 기존의 단속운전에서 발행하는 온도편차를 줄이는 것을 보였다. 채택된 퍼지 제어 기술은 유연하고, 빠른 제어입력을 제공한다. 부가적으로 도입된 상태변수의 도움으로 냉장고의 여러 환경변화 상황들이 인지되었다. 냉장고의 근사화된 모델을 제안하였고, 시스템의 모델링과 퍼지 로직 제어기의 검증은 실험과 모의 실험에 의하여 이루어졌다.

추후로는 냉장고의 모델에 대한 보다 정확한 모델링이 필요할 것으로 판단되며, 상태변수 설정을 위한 퍼지 제어 규칙의 개선 뿐만 아니라 소속함수의 정밀한 튜닝을 위하여 집중적으로 연구하여야 할.

참고문헌

- [2] C.T. Lin, and C.S.G. Lee, "Neural Fuzzy Systems" Prentice-Hall, pp. 1-4, 1996.
- [6] X.H. Ma, H.A. Preisig, and R.M. Wood, "On The Modelling of Heat Exchangers For Process Control" Proc. of the 1992 American Cont. Conf. pp. 1441-1442, 1992.
- [5] Lin Ruisen, Xu Yaoliang, Wang Ruhua, Gao Li, and Lu liang, "A New Type of Adaptive Temperature Programming Control" Proc. of the 1996 IEEE IECON, pp. 365-367, 1996.
- [8] 이광형, 오길록, "퍼지이론 및 응용" 홍릉과학출판사, pp. 5_1-5_91, 1997.
- [4] 박영무, 박경근, 장호명 공저, "공업열역학" 회중각, pp. 359-427, 1995.
- [7] 채석, 오영석, "퍼지이론과 제어" 청문각, pp. 207-251, 1995
- [1] 한국산업규격(KS), "전기냉장고 및 전기냉동고(Household Electric Refrigerators, Refrigerator-Freezers and Freezers)", KSC 9305, 1997.
- [3] 대우전자주식회사, "대우전기냉장고 일반제품규격", EJA-C-R001, 1994.