

# 인버터형 에어컨의 온도 제어를 위한 퍼지 전단 보상된 PI 제어기 (Fuzzy Precompensated PI Controller for Inverter-type Air-Conditioner)

장보인, 이선우, 정문중, 유장현, 김상권, 박윤서

삼성 전자 기술총괄 생활시스템연구소  
442-742 수원시 팔달구 매탄3동 416

Tel: +82-331-200-3280, Fax: 3298, E-mail: bijang@secns.sec.samsung.co.kr

**Abstract:** In this paper, a fuzzy precompensated PI controller for inverter-type air-conditioner is presented. The presented control scheme is composed of a fuzzy logic precompensator and PI controller, in which two control schemes are serially connected. The rules of the fuzzy precompensator is designed to improve the performance by considering the nonlinear characteristics of a temperature dynamics. The experimental results show the effectiveness of the proposed controller.

**Keywords:** Fuzzy logic controller, precompensator, PI control, Air-conditioner

## 1. 서론

실제 많은 시스템은 비선형성을 가지나, 제어기로 많이 이용되는 PI 제어기의 경우 선형 시스템이라는 가정하에 설계되었기 때문에 제어기 성능이 만족스럽지 않음을 알 수 있다. 본 논문에서는 이러한 비선형 특성에 대하여 적절한 보상을 하는 퍼지 전단보상기와 PI 제어기로 구성된 제어 알고리즘에 대해서 다루고자 한다. 이러한 형태의 제어기의 성능과 특징은 참고문헌[1,2,3]에 이미 기술되어 있다.

인버터형 능력 가변 에어컨은 인버터 제어 기술을 이용하여 부하에 따라 능력을 가변할 수 있는 에어컨으로써, 안정적인 실내온도 및 습도를 유지할 수 있고 소비 효율 측면에서 유리한 효과를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 이러한 인버터형 에어컨의 온도 제어를 위해 퍼지 전단 보상된 PI제어기를 적용하였다. 제안된 퍼지 전단 보상기는 온도 시스템의 비선형성에 대해 보다 빠른 냉방과 온도 유지를 위해 고안되었다. 제안된 제어기의 성능은 9평형 인버터 에어컨의 주택환경 실험을 통해 검증하였다.

그림1에서 알 수 있듯이 제안된 제어 구조는 퍼지 논리에 기반을 둔 전단 보상기와 기존의 PI제어기로 구성 되어 있다. 이는 PI 제어기의 비례항이 가지는 빠른 제어 응답 속도 특성과 적분항에 의한 정상 상태 오차 제거 능력을 주로 이용하고, 더 나아가 전체 시스템 (에어컨과 실내 환경을 포함하는 시스템)의 비선형 특성에 대하여 퍼지 전단 보상기에 의한 적절한 보상을 이용한 것이다.

퍼지 전단 보상기는 설정 온도( $T_{set}$ )와 설정온도와 실내온도의 온도 오차( $e = T_{in} - T_{set}$ )를 입력으로 하여 뒷 단에 연결되는 PI 제어기의 입력으로 사용될 보상항( $N_c$ )을 만들어 낸다.

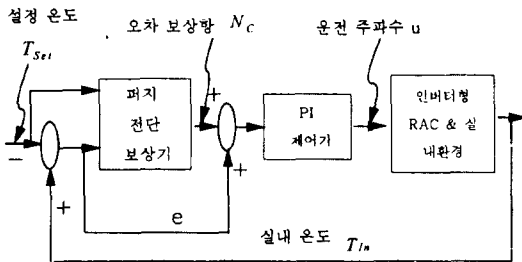
이런 입력에 대한 언어 변수는 다음과 같이 정의하였고 적합도 함수는 그림 2, 그림3에 도시하였다. 또한 실제 퍼지 추론부에 적용할 퍼지 제어 규칙은 다음 표 1에 나타내었다.

$$T_s = \{ Low, Med, High \}$$

$$e = \{ NEG, ZE, PS, PB \}$$

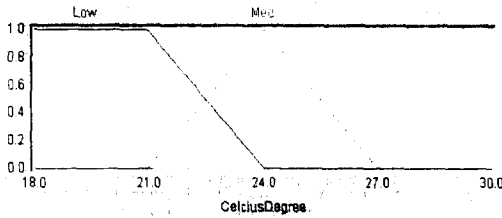
이와 같이 결정한 이유는 먼저 설정온도( $T_{set}$ )에 대해서는 사용자가 리모콘으로 결정할 수 있는 온도 범위가 18 ~ 30 °C로 정해져 있으므로 이에 따라 범위를 정하였고, 3개로 균등하게 나누어서 Low, Med, High로 정하였다. 삼각형 형태의 적합도 함수를 사용했으며 각 중심값은 온도 특성에 따라 그림과 같이 21, 24, 27 °C로 정하였다. 온도 오차의 경우는 현재 실내기 마이콤에 프로그램되어 있는 퍼지 제어 모드보다 상위인, 즉, 우선 순위가 더 높은 "THERMO ON/OFF 제어"라는 제어 모드를 고려하여 결정하였다. 이 제어 모드는 실내 온도가 설정 온도보다 1 °C 이상 낮을 경우, 즉 온도오차가 -1 °C 이하일 경우에는 압축기를 정

## 2. 제어기 구조

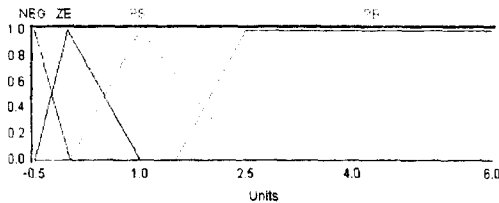


(그림1) RAC 운전주파수 제어기 전체 구성도

지시키도록 되어 있다. 따라서 운전 주파수 제어기에서는  $-1^{\circ}\text{C}$  이하의 온도오차에 대해서는 고려할 필요가 없는 것이다. 출력 변수 보상항( $N_c$ )에 대한 범위는 PI 제어기의 특성을 고려하여 설정한 것이다.



[그림 2] 설정온도에 대한 멤버십 함수



[그림 3] 온도오차에 대한 멤버십 함수

E	Ts	Low	Med	High
NE		0	-0.5	-1
ZE		0	0	0
PS		2	1	0.5
PB		3	2	1

[표 1] 퍼지 전단 보상기의 제어 규칙

이와 같은 제어 규칙은 이미 언급한 바와 같이 온도 변화 속도가 실내 온도와 실외 온도의 차이에 따라 크게 다르므로 이를 고려하여 구성된 것이다. 제어 규칙은 전체 시스템의 온도 특성을 고려하여 기본적으로 다음과 같은 규칙에 의거하여 설계되었다.

- ▶ 실내 온도가 낮으면, 즉, 실외와 온도차가 크면 에어컨의 운전을 급격하게 변화시킨다.
- ▶ 실내 온도가 높으면, 즉, 실외와 온도차가 크지 않으면 에어컨의 운전을 보통으로 변화시킨다.

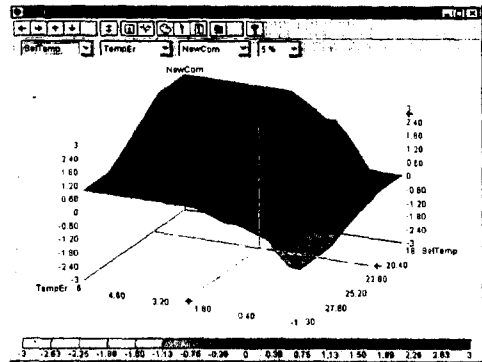
에어컨의 운전을 급격하게 변화시킨다는 것은 제어기의 이득을 증가하는 방법 등을 통해 구현할 수 있으나, 본 개발안에서는 설정 온도와 실내 온도와의 오차(e)에 퍼지 전단 보상기의 출력( $N_c$ )값을 더하는 방법을 사용하였으므로, 규칙표에 나타난 것과 같이 설정 온도가 낮고 오차가 존재하면 큰 값을 더하여 준다라는 것을 나타낸다. 반대로 설정 온도가 높을 경우에는 온도의 변화 속도가 증가할 때와 감소할 때 비슷하므로 작은 값을 더한다는 방식으로 퍼지 제어 규칙이 설정되었다.

입력의 퍼지화 방법은 singleton 방법을 이용했으며, 퍼지 추론 방법은 가장 널리 사용되는 Min-Max 방법을 사용하였다. 비퍼지화 방법은 계산 시간이 작고 특성이 비교적 우수한 간략화된 비퍼지화 방법(height defuzzification method)을 사용하였다. Height defuzzification 방법은 출력부의 퍼지 집합이 기존의 삼각형 형태가 아닌 싱글 톤이라는 점이 다르며, 따라서 다음의 식으로 최종 출력 값을 구할 수 있다

$$N_c = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i y_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \quad i = 1, \dots, 12 \quad (1)$$

여기서  $N_c$ 는 퍼지 전단 보상기의 출력이고,  $\omega_i$ 는 각 제어 규칙에서의 적합도 값으로, 각 제어 규칙의 전건부에서 주어진 2개의 입력에 대해 각 적합도 함수로부터 얻어지는 적합치(compatibility)의 minimum 값을 나타내며,  $y_i$ 는 표3의 제어 규칙에서 출력부의 싱글 톤 값이다.

이와 같은 추론 방법을 통해 얻은 제어특성(Control surface)를 그림4에 나타냈다.



[그림4] 퍼지 전단 보상기의 제어 특성 표면

위와 같이 설계된 퍼지 전단 보상기가 도입된 이유 중 하나는 전체 시스템의 온도 특성-에어컨과 주변 환경을 포함하는 전체 시스템-이 비대칭적이고 비선형이라는 것이다. 비대칭성은 실외의 열 유입에 따른 실내 온도의 상승 속도와 에어컨 동작에 의한 온도 하강 속도가 다르다는 것을 뜻하며, 비선형성은 전체의 온도 특성(전체의 열적 동특성)이 비선형성이라는 것을 나타낸다. 부연하여 설명하면 현재 실내 온도가 낮을 수록 외부에서 유입되는 열의 양이 많아지므로 실내 온도가  $21^{\circ}\text{C}$  정도로 낮을 경우에는 온도의 증가(예로 에어컨이 꺼졌을 경우) 속도는 매우 빠르지만, 감소 속도(에어컨ON)는 느리다. 이와 반대로 실내온도와 외부 온도의 차이가 크지 않을 경우에는 증가와 감소의 속도가 비슷하다. 이와 같은 특성을 제어기에 반영하도록 퍼지 전단 보상기는 설정 온도를 하나의 입력으로 사용

하여 이에 따라 보상항을 결정한다.

그림 1의 전체 구성도에 나타난 바와 같이 퍼지 전단 보상기에 의해 보상된 오차 ( $e' = e + N_c$ )를 입력으로 하여 에어컨의 운전 주파수를 결정하는 PI제어기에 대해 자세히 살펴보겠다. 운전 주파수를 결정하는 식은 다음과 같다.

$$Freq = K_p e'(t) + K_i \sum_{\tau=t_0}^t e'(\tau) + Min\_Hz \quad (2)$$

여기서  $t_0$ 는 제어기가 동작한 초기 시간,  $t$ 는 현재 시간, Min\_Hz는 30이다.

샘플링 시간은 30초이고, PI제어기 파라미터는 비례 이득(Kp)와 적분 이득(Ki)으로써, 시행착오법을 이용하여 시스템에서는 Kp는 8, Ki는 0.2로 정하였다.

압축기 특성상 30~62Hz의 제한범위를 가지므로, 범위 내에 제어기의 출력이 나오도록 제한함수(Limited Function)를 도입하였다. 이에 따른 Windup 문제를 해소 하기 위해 최종 운전 주파수 값이 제한 범위를 넘게 되면 현재의 오차를 누적하지 않도록 하였다. 또한 전체 운전 주파수의 크기가 하한 값(30)보다 작을 경우(정지 또는 Thermo Off)에는 누적치의 값을 0으로 설정하도록 하였다.

### 3. 주택환경 실험결과 및 고찰

#### 3.1 주택환경 실험 설비 및 실험실 구조

주택환경 시험실은 크기를 가변시킬 수 있는 내실(최대 12평, 39 m<sup>2</sup>)과 외기환경을 제어할 수 있는 외실(73.1 m<sup>2</sup>)로 구성되어 있다. 이 실험실은 외실온도는 -20(°C)에서 +50(°C)까지 조절할 수 있고 외실 습도는 건, 습구식 습도계로 조절하여 건구온도 25(°C)에서 상대습도 10(%)에서 90(%) 까지 가능하게 하는 공조능력을 갖고 있다.

측정 장치로는 건, 습구식 습도계와 Vaisala 식 습도계, 온도측정을 위한 K-type 열전대(224 개소), T-type 열전대(30 개소)와 공조기 전력 측정용 Watt 미터(1 EA), 공기유속 측정기(TSI-8470-50M, 3EA, 무지향성, ~2.5m/s), 복사온도 측정용 흑구 온도계(2 EA)가 구비되어 측정에 쓰인다.

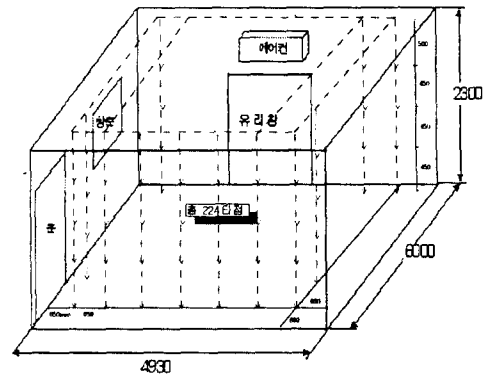
그림 5는 주택환경 실험실 구조를 도시하고 있다. 실내온도는 Model house 내 온도타점용 방 가로축 650cm, 세로축 660cm, 높이 450 cm 단위마다 온도센서를 달아 감지된 224타점의 온도들의 평균으로 구해진다.

#### 3.2 실험 방법

실험은 건구 온도 33°C, 습구 온도 24.5°C의 실외환경과 실내창문과 출입문은 닫고 환기 팬을 작동한 실내 환경에서 이루어진다. 실험항목은 27°C 온도 특성 실험

과 외란 회복성능 실험이다. 27°C 온도 특성실험은 초기온도 32.5°C에서 수동 냉방/강풍모드로 설정온도 27°C까지 60분간의 온도제어 성능실험으로 이루어지고 외란 회복 성능실험은 27°C 평형 상태에서 외부 열 유입(5분간 창문 open)에 대한 회복 성능평가로 이루어진다.

실험을 통해 주택환경 실험 설비를 이용한 외기 건구/습구 온도, 실내 방의 벽면부의 온도, 224포인트에서의 실내 온도, 이를 평균한 실내 평균 온도, 실내 상대 습도, 실내 복사 온도, 실내 에어컨 전방부에서의 2/3/4m 거리에서의 풍속과 소비 전력의 측정값을 얻을 수 있고 개발 JIG 시스템을 통해 실내기 명령 주파수와 실외기가 결정한 실제 주파수, 실내기에 부착된 센서에 의한 실내 온도, 실내기 및 실외기 fan의 회전 속도가 측정되고 이 밖에도 실내-외기 간 통신에 의해 주고 받는 모든 데이터를 얻을 수 있다.



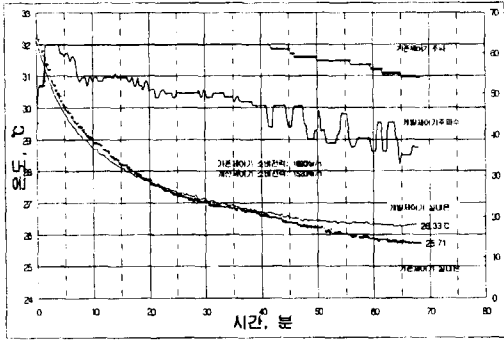
[그림 5] 주택환경 실험실 구조

#### 3.3 실험 결과

본 절에서는 기존에 사용되는 적분형 퍼지 제어기와 제안된 제어기의 성능을 비교, 고찰하고자 한다. 기존 제어기는 온도 오차 및 오차 변화량에 따라 운전주파수의 변화량을 퍼지 추론에 의해 개선하고, 이를 적분하여 운전 주파수를 결정하는 적분형 퍼지 제어 알고리즘이다.

다음 표2 및 그림6에서 알 수 있는 바와 같이 냉방속도 측면에서는 기존제어기가 약간 빠름을 알 수 있다. 그 이유는 제어기 특성상 개선제어기가 비례항(P제어기)에 의해 온도오차가 줄어들때 따라 그 운전주파수를 감소시키는 반면, 기존의 적분형 Fuzzy 제어기는 온도 오차가 -0.5°C 이하가 될 때까지 그 운전주파수를 감소시키지 않기 때문에 26.5°C 이상의 구간에서는 최대 운전주파수(62Hz)로 동작을 하게 된다. 따라서 기존제어기는 냉방속도 측면에서 약간 유리한 반면 많은 전력을 소비하며 평형 상태에 도달하는 시간도 느리고 정상

상태 오차도 매우 커지게 된다. 개선제어기는 정상상태 오차와 소비전력에서 매우 뛰어난 성능을 가짐을 알 수 있다.

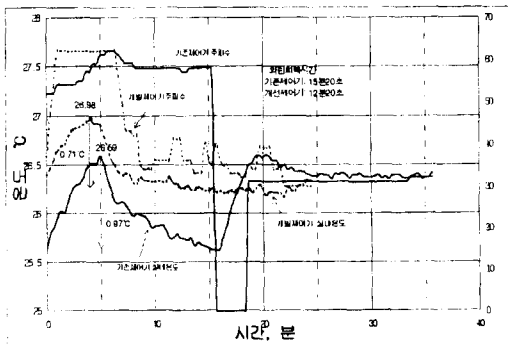


[그림6] 27°C 온도 특성

평가항목 \ 제어기	개발제어기	기존제어기
냉방속도(분.초)	21.20	20.20
정상상태 오차(°C)	-0.67	-1.29
소비전력(wh)	1,520	1,890

[표2] 27°C 온도 특성 비교

다음 표3 및 그림7은 27°C 평형상태에서 외란 인가 시 그 회복특성을 나타내고 있다. 개발제어기는 외란 인가 시 신속한 운전주파수의 상승으로 인해 외란으로 인한 온도편차가 기존제어기에 비해 적어 그 회복시간 역시 빨랐다. 반면 기존제어기는 느린 응답특성으로 인해 실내온도가 설정온도보다 1°C 이상 낮을 때 발생하는 Thermo off 현상(Compressor Off)이 발생하였다. 이러한 현상은 개발제어기가 기존 제어기에 비해 외부의 갑작스런 열 충격에 강인함을 나타낸다.



[그림7] 27°C 외란회복 특성

평가항목 \ 제어기	개발제어기	기존제어기
외란온도 편차(°C)	0.71	0.97
회복시간(분.초)	12.20	15.20

[표3] 27°C 외란 회복 성능 비교

#### 4. 결론

인버터형 능력 가변 에어컨의 온도 제어 성능 개선을 위해 퍼지 논리 전단 보상기와 PI 제어기를 결합한 새로운 형태의 제어기를 적용하였다. 제안된 제어기의 성능이 기존의 퍼지 적분형 제어 알고리즘에 비해 보다 정확한 온도 추종 성능(tracking performance)과 소비전력, 그리고 외란에 대한 회복특성 측면에서 우수함을 실험 결과를 통해 검증하였다.

#### 5. 참고문헌

- [1] J.-H. Kim, J.-H. Park, S.-W. Lee, E. K. P. Chong, "A Two-Layered Fuzzy Logic Controller for Systems With Deadzones," *IEEE Trans. on Ind. Elec.*, vol. 1, no. 2, pp. 125-133, May, 1993.
- [2] J.-H. Kim, J.-H. Park, S.-W. Lee, E. K. P. Chong, "Fuzzy Precompensation of PD Controllers for Systems with Deadzones," *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, vol. 1, no. 2, pp. 125-133, Aug., 1993.
- [3] S.-W. Lee, J.-H. Kim, E. K. P. Chong, "Some Experiments with a Fuzzy Precompensated PD Controller," *Proc. of 1994 American Control Conference*, June, 1994.
- [4] 이선우, 박종환, 김종환, "사구간이 존재하는 시스템을 위한 새로운 퍼지 논리 제어기", 대한 전기 공학회 논문지, 3월, 1994.
- [5] 김종환, 박종환, 이선우, E. K. P. Chong, "Fuzzy Precompensation of PD controllers for Systems with Deadzones", 한국 퍼지 학회 1993년 춘계 학술 대회 논문집, vol. 3, no. 1, 3월, 1993.