

## 멀티형 냉방시스템의 압축기 제어

한 도 영, 권 형 진\*

국민대학교 기계·자동차공학부, \*(주)신성이엔지 기술연구소

### Compressor Control of a Multi-type Air Conditioning System

Doyoung Han, Hyungjin Kwon\*

Department of Mechanical Engineering, Kookmin University, Seoul 136-702, Korea

\*Institute of Technology Shinsung ENG, (B8-62) 824-4 Wonshi-Dong, Ansan-Si, Kyounggi-Do 425-852, Korea

(Received January 9, 2001; revision received May 28, 2001)

**ABSTRACT:** For the compressor speed control of a multi-type air conditioning system, a fuzzy control algorithm was developed. The sum of zone temperature errors and its derivative were used as input variables, and the compressor speed was selected as the output variable. To test the effectiveness of the control algorithm, one outdoor environmental chamber and four indoor environmental chambers were used. In the chambers the zone temperature step change test and the indoor unit changeover test were performed. Test results showed that, for the control of compressor speed, the fuzzy control algorithm was more effective than the conventional proportional control algorithm for the energy conservation.

**Key words:** Multi-type air conditioning system(멀티형 냉방시스템), Fuzzy control algorithm (퍼지 제어 알고리즘), Compressor speed control(압축기 회전수 제어), Experimental verification(실험 검증), Energy conservation(에너지 절약)

#### 기 호 설 명

$b_i$  : 멤버십 함수 면적 중심값

$U^{crisp}$  : 압축기 회전수 [Hz]

$\mu(i)$  : 추론값

#### 1. 서 론

사계절이 뚜렷한 국내의 기후 조건하에서 냉동·공조기기는 쾌적한 실내 환경을 유지하기 위한 필수적인 요소로 인식되어 보급이 확대되고 있으며, 최근 개발되고 있는 냉동·공조기기는 에

너지 절약과 보다 나은 쾌적 공간의 창조라는 목표를 동시에 만족시키기 위하여 개별 제어능력을 고려한 개별 분산공조방식으로 설계되고 있다. 기존 냉방시스템의 압축기 제어는 사용자가 설정한 설정온도와 실내 온도에 따라 압축기를 단속 제어함으로써 가동 및 정지시의 손실로 인하여 시스템의 효율이 저하되는 단점이 있다. 이와 같은 효율 저하를 개선하기 위하여 압축기의 속도를 변화시킬 수 있는 인버터를 사용한 압축기 제어 알고리즘이 개발되고 있다. 인버터 방식은 설정온도와 실내 온도의 운전조건에 따라 압축기의 회전속도를 가변시킴으로써 최적의 사이클 조건으로 연속 운전을 가능하게 하며 시스템의 효율, 신뢰성, 쾌적성 등을 향상시킬 수 있다. 인버터를 사용한 압축기 가변 제어의 연구는 인버터를 사용한 열펌프의 경우 일반 열펌프에 비하여 약 7% 정도의 에너지 소비가 감소<sup>(1)</sup>되는 것으로 발

† Corresponding author

Tel.: +82-31-495-4047; fax: +82-31-491-6684

E-mail address: kwonhj@shinsung.co.kr

표되었으며, 특히 최근 각광을 받고 있는 멀티형 냉방시스템의 경우 부하변화에 따른 압축기의 가변 제어는 필수적인 제어 요소로 인식되고 있다. 멀티 시스템에 대한 기존의 연구를 살펴보면 정적 시뮬레이션 프로그램 개발을 통한 멀티형 히트펌프 시스템의 성능 예측<sup>(2)</sup>과 멀티형 히트펌프 시스템의 동적 시뮬레이션 프로그램 개발을 통한 동적 성능에 대한 연구<sup>(3)</sup>가 진행되었으며 전자팽창밸브의 제어<sup>(4)</sup>에 관한 연구도 진행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 가변형 압축기를 사용한 대의 실외기에 4대의 실내기를 접속한 공냉식 멀티형 냉방시스템을 대상으로 퍼지 알고리즘을 사용한 압축기 제어 알고리즘을 개발한 후 실험을 통하여 개발된 제어 알고리즘의 타당성을 확인하였다.

2. 멀티형 냉방시스템

멀티형 냉방시스템은 Fig. 1에서 보듯이 5RT 용량의 가변형 압축기, 유분리기, 전열면적 1.2619 m<sup>2</sup>의 핀-튜브형 응축기, 수액기, 액분리기 등을 포함한 실외기 한 대와 전자팽창밸브, 전열면적 0.3337 m<sup>2</sup>의 핀-튜브형 증발기 등을 포함한 네 대의 실내기로 구성<sup>(5)</sup>되어 있으며, 멀티형 냉방시스템의 정적 시뮬레이션 프로그램을 사용하여 설계, 제작하였다.

3. 제어 알고리즘

멀티형 냉방시스템은 복수대의 실내기가 가동됨에 따라 각 존의 서로 다른 운전상태로 인하여 다른 존의 운전상태에 영향을 미치는 비선형성이 큰 시스템<sup>(6)</sup>으로 부하 변동에 따른 적절한 존 온

도 제어와 압축기 제어가 요구된다.<sup>(7)</sup>

멀티형 냉방시스템의 존 온도 제어 알고리즘은 어느 한 존에서 실내기를 가동시키고 10초 이상 존 온도가 설정온도보다 0.5℃ 이상 높은 경우에만 압축기 제어 알고리즘을 통한 압축기 가변 제어로써 존의 내부를 냉방하게 된다. 압축기 제어 알고리즘을 통하여 연산된 압축기 회전수는 상용화된 인버터를 사용하여 압축기를 가변하게 되며, 모든 존의 온도가 10초 이상 설정온도보다 0.5℃ 이상 낮은 경우나 모든 냉방기가 정지된 경우 존 온도 제어를 종료한다.

Fig. 2는 퍼지 제어기의 구조를 나타내었다.<sup>(8)</sup> 퍼지 제어기는 제어기로 들어오는 일반적인 숫자 형태의 입력을 퍼지 제어기에 적용하기 위해 언어변수와 언어값으로 변환시켜 주는 퍼지화부, If 조건 Then 결과의 형태로 구성된 데이터 베이스부, 의사결정을 행하는 추론부, 프로세스에 대한 실제 입력으로 추론에 의한 결론을 일반적인 숫자 형태로 변환하는 비퍼지화부로 구성된다. 퍼지 제어기는 멀티형 냉방시스템과 같이 비선형 특성을 갖는 시스템, 그리고 선형화된 모델이라 할지라도 프로세스의 제어 변수가 많은 경우의 시스템에 대해 제어규칙을 언어적인 형태로 기술하여 고전적인 제어방법으로는 어려운 것을 수학적 모델링이 필요 없이 쉽게 전문가의 지식으로 대체하여 제어가 용이하도록 하는 방법이다.

퍼지 알고리즘을 사용한 압축기 제어 알고리즘의 입력변수와 출력변수는 연속 삼각형 멤버십 함수를 사용하여 퍼지화하였다. 입력변수 중에서 에러합 e는 각 존의 설정온도에서 측정온도를 뺀 후 측정온도가 설정온도보다 낮은 경우 0으로 대체한 후 모두 합한 것을 의미하며, 이 에러합이 -12℃ 이하일 경우를 최대 부하로 가정하여 Fig. 3과 같이 에러합의 크기에 따라 NL, NM, NS, ZERO로 구분하여 사용하였으며, 에러합의

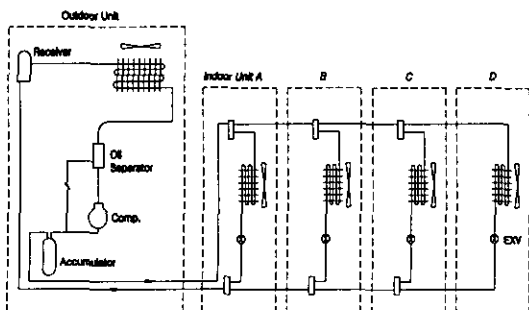


Fig. 1 Multi-type air conditioning system.

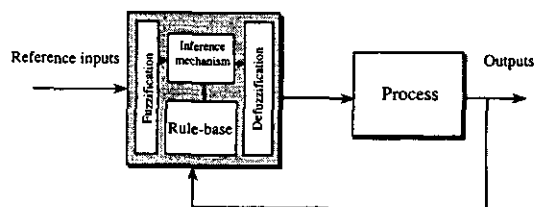


Fig. 2 Fuzzy controller.

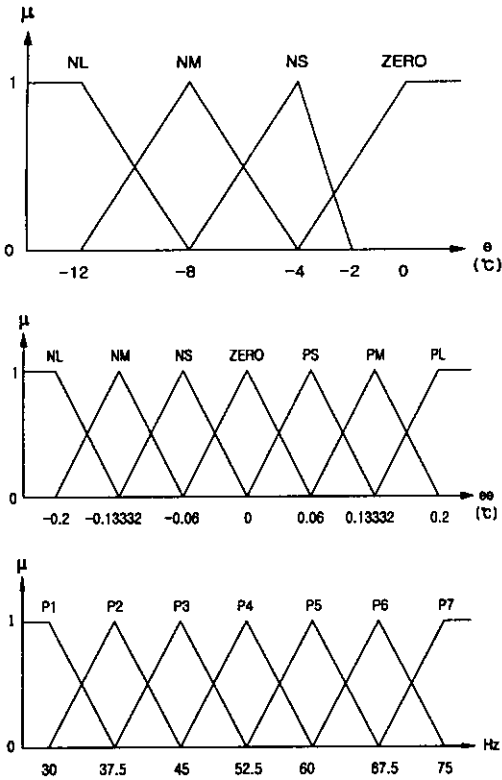


Fig. 3 Membership functions for e, ee, and Hz.

시간에 따른 변화율 ee는 에러함의 변화추세를 판단하여 NL, NM, NS, ZERO, PS, PM, PL로 구분하여 사용하였다. 출력변수로 사용한 압축기 회전수 Hz는 그림에서 보는 바와 같이 압축기에서 실제 사용 가능한 회전수로 최소 30 Hz부터 최고 75 Hz 사이에서 P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7로 구분하여 사용하였다.

입력변수들과 출력변수 사이의 퍼지 제어 규칙은 다양한 실험을 바탕으로 Table 1과 같이 사용하였으며, 퍼지 제어기의 입력값에 대한 제어값을 추론하기 위하여 조건부 적합도 중에서 최소값을 선택하여 각 제어규칙의 적합도를 구하고 결과부의 퍼지 집합에 반영하여 각각 제어규칙들의 추론 결과를 구한 후 이 추론 결과 중에서 최대값을 선택하여 최종적인 추론 결과  $\mu(i)$ 로 사용하는 최소-최대법<sup>(8)</sup>을 사용하였으며, 추론기로부터 연산된 최종 추론 결과값을 수치값으로 변환하는 비퍼지화 과정에서는 무게중심법<sup>(8)</sup>을 사용하였다.

Table 1 Fuzzy rules

Hz		ee						
		NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
e	NL	P7	P7	P6	P6	P6	P6	P6
	NM	P6	P5	P4	P4	P4	P4	P3
	NS	P5	P4	P3	P3	P2	P2	P2
	Z	P2	P2	P2	P1	P1	P1	P1

4. 실험장치

개발된 압축기 제어 알고리즘의 성능실험은 동적환경조성챔버<sup>(9)</sup> 내에서 실시하였으며, 실험시 각종 데이터를 측정하고 분석하기 위한 데이터 처리시스템과 제어 알고리즘의 구현을 위한 제어 시스템을 Fig. 4와 같이 구축하였다. 데이터 처리 시스템은 아날로그 디지털 변환기를 내장한 HP 3852A와 컴퓨터를 연결하여 측정 데이터를 실시간으로 모니터링과 동시에 파일 형태로 저장되도록 구성하였다. 각 존의 온도측정을 위하여 Pt 1000  $\Omega$ 을 사용하여  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  내로 측정하였고, 0~3.4 MPa 측정범위를 가진 전자압력센서를 사용하여 멀티 시스템의 고압과 저압을  $\pm 3.4\text{kPa}$ 의 정확도로 측정하였으며, 상대 습도는 5~95% 측정범위와  $\pm 2\%$ 의 정확도를 가지는 트랜스미터 습도센서를 사용하였다. 냉매 유량은 사용 온도  $-50\sim 180^\circ\text{C}$ , 500 bar 이하의 압력에서 최대 유량 1,000 kg/h까지 측정 가능한 질량유량계를 사용하여  $\pm 1.5\text{ kg/h}$ 의 정확도로 측정하였으며, 0~600 kW 측정범위와  $\pm 0.5\text{ kW}$ 의 정확도를 가진 다기능 파워미터를 사용하여 소비전력과 적산전력을 측정하였다. 제어 알고리즘을 구현하기 위한 제어 시스템은 릴레이 작동 카드와 입출력이 가능한

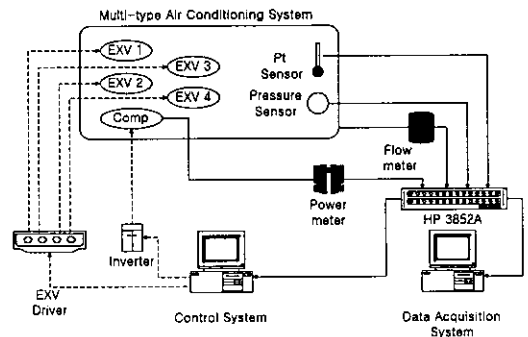


Fig. 4 Data acquisition and control system.

다기능 아날로그/디지털 변환카드를 컴퓨터에 내장하여 C<sup>++</sup>을 사용하여 제어 알고리즘을 프로그래밍하였으며 제어 알고리즘을 통해 연산된 압축기의 회전수는 상용화된 인버터를 사용하여 압축기를 구동하였다. 또한 각 실내기의 전자팽창밸브는 컴퓨터와 연결된 전자팽창밸브 드라이버를 통하여 밸브의 개도를 조절하였다.

**5. 실험결과 및 분석**

개발된 압축기 제어 알고리즘을 확인하기 위하여 설정온도 변경과 부하 변경, 그리고 실내기 운전대수 변경에 대한 실험을 실시하였다. 실험시 챔버 내의 상대 습도는 50%로 유지하였으며, 실제 상황과 유사한 조건을 조성하기 위하여 한대의 실내기는 송풍모드, 세대의 실내기는 냉방모드로 가동하여 운전조건에 따른 압축기 제어 알고리즘의 타당성을 실험하였다.

**5.1 설정온도 변경 및 부하 변경 실험**

실의 온도를 35℃로 유지하고 실험 시작시 실내 온도를 B실과 C실은 28℃, D실 27℃로 조성하고 각각의 실내에 1,700 kcal/h의 열 부하를 지속적으로 공급하였으며, 각 존의 처음 설정온도는 B실 25℃, C실과 D실은 24℃로 선정된 후 실험 시작 후 570초에 B실과 C실의 설정온도를 각각 23℃와 22℃로 변화시켰으며, 또한 1,240초에 C실의 부하를 2,400 kcal/h로 증가시켰을 경우 압축기 제어 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 압축기 회전수는 초기 70 Hz로 가동되어 존의 온도가 설정온도에 도달할수록 부하가 감소하여 최소 30 Hz까지 점차적으로 감소하였으며, 570초에 각 존의 설정온도를 변경하였을 경우 압축기 회전수는

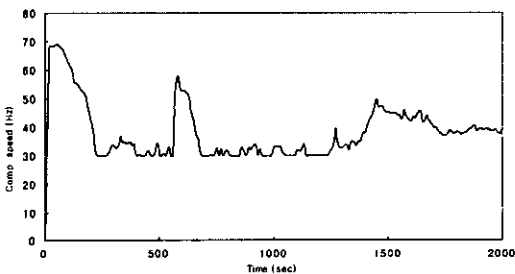


Fig. 5 Compressor speed.

부하가 증가함에 따라 58 Hz로 증가하였다가 회전수가 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 C실의 부하를 2,400 kcal/h로 증가시킨 1,240초 이후는 압축기의 회전수가 50 Hz로 상승하였다가 존의 온도가 설정온도에 도달할 경우 40 Hz로 안정적으로 가동되는 것을 볼 수 있었다. 존의 온도변화는 Fig. 6에서 보듯이 설정온도를 중심으로 ±0.5℃ 내로 제어되었으며, C실의 경우 1,240초에 부하가 증가됨에 따라 온도가 상승하였으나 압축기 회전수가 증가함에 따라 다시 설정온도로 제어되는 것을 볼 수 있다.

**5.2 실내기 운전 대수 변경 시험**

사용자가 냉방을 필요로 하지 않아 실내기를 정지할 경우를 가정하여 실험을 실시하였다. 실험조건은 실의 온도를 35℃로 유지한 후 실험 시

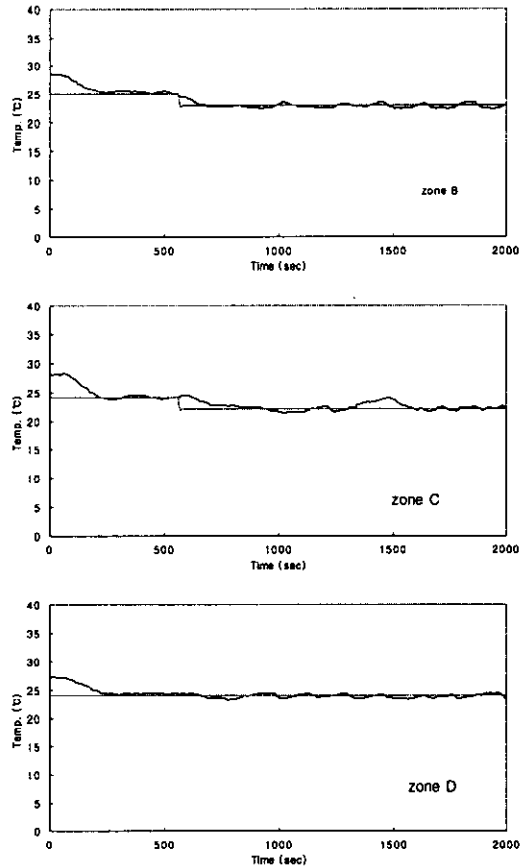


Fig. 6 Zone temperature.

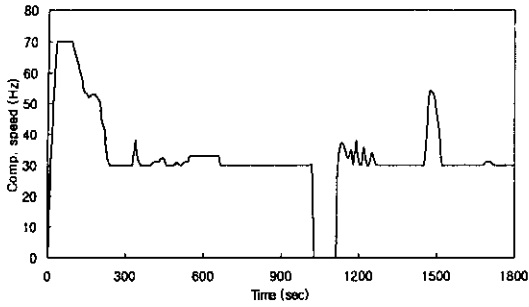


Fig. 7 Compressor speed.

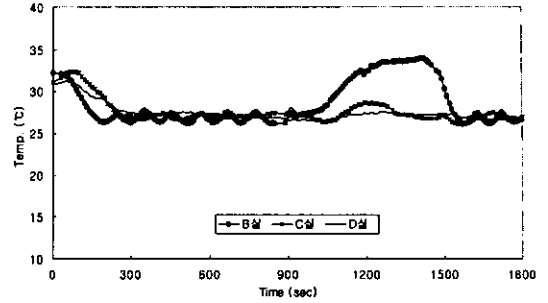


Fig. 8 Zone temperature.

작시 실내 온도를 B실과 C실 32℃, D실 30℃로 조성하고 각각의 실내에 2,000 kcal/h의 열 부하를 지속적으로 공급하였으며, 각 존의 설정온도는 27℃로 선정하였다. 실험 시작 후 850초에 실내기 B를 정지하였다가 1,450초에 재가동하였을 경우 압축기 제어 결과와 존의 온도변화를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 850초에 실내기 B를 정지하였을 경우에도 존 C와 D의 온도와 압축기 회전수는 안정적으로 제어되었으며, 존 B의 온도는 챔버 내의 열 부하로 인하여 온도가 점차 상

승하였다. 1,450초에 실내기 B를 재가동할 경우 전체적으로 부하가 상승함으로써 압축기 회전수는 증가함을 볼 수 있으며 이 경우에도 모든 존의 온도는 설정온도로 잘 제어되었다.

### 5.3 설정온도 변경 실험

개발된 퍼지 제어 알고리즘의 타당성을 확인하기 위하여 비례 제어 알고리즘을 사용한 경우와 비교 실험하였다. 비례 제어 알고리즘은 각 존의

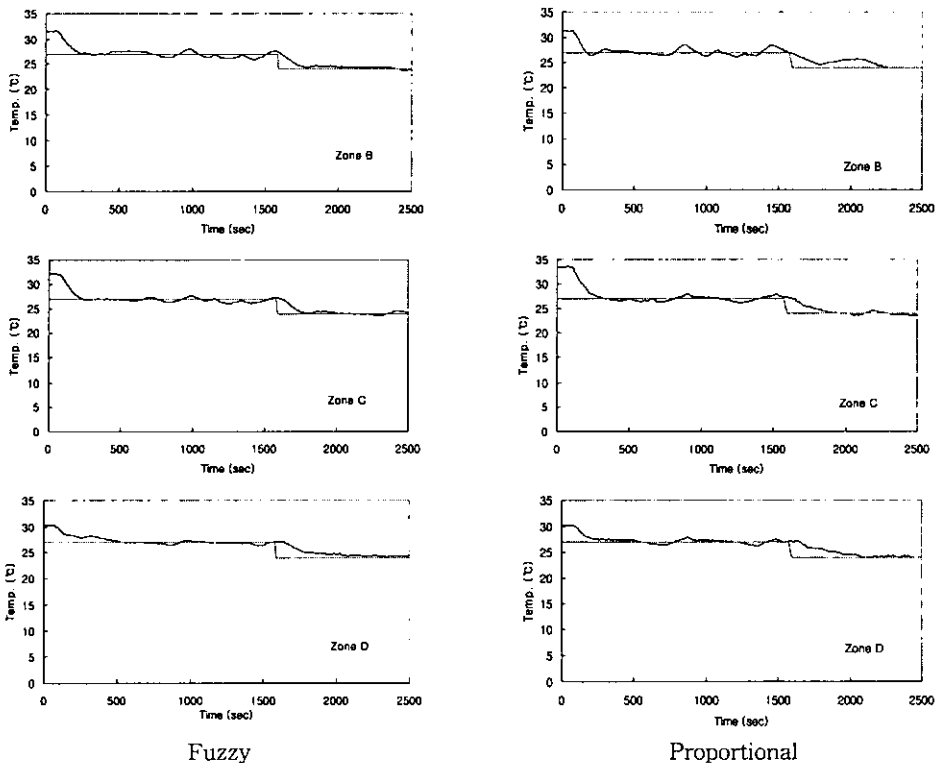


Fig. 9 Zone temperature.

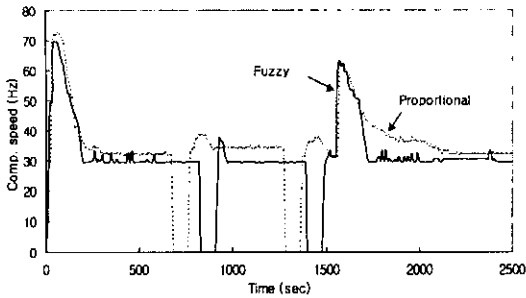


Fig. 10 Compressor speed.

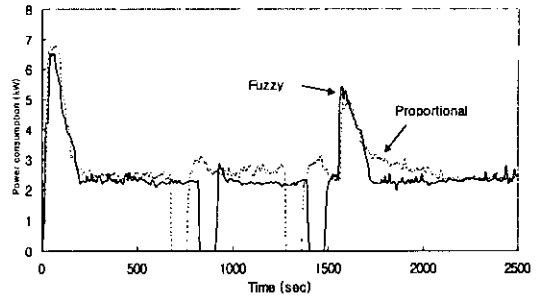


Fig. 11 Power consumption.

설정온도에서 측정온도를 뺀 에러들을 합하여  $-12^{\circ}\text{C}$  이하를 최대 부하로 가정하여  $-12^{\circ}\text{C}$ 부터  $0^{\circ}\text{C}$  사이를 75 Hz부터 30 Hz 사이로 선형화하여 부하변화에 따라 압축기의 회전수를 제어하는 방법을 사용하였다. 실외 온도를  $35^{\circ}\text{C}$ 로 유지하고 실험 시작시 실내 온도는 B실과 C실  $33^{\circ}\text{C}$ , D실  $30^{\circ}\text{C}$ 로 조성한 후 각각의 실내에 1,700 kcal/h의 열 부하를 지속적으로 공급하였다. 각 존의 설정 온도는 모두  $27^{\circ}\text{C}$ 로 선정된 후 실험 시작 후 1,600초에 모든 존의 설정온도를  $24^{\circ}\text{C}$ 로 변화시켜 각 존의 부하변화에 따른 온도 제어 결과를 Fig. 9에, 압축기 제어 결과를 Fig. 10에, 소비전력의 변화를 Fig. 11에 나타내었다.

그림에서 보듯이 각 존의 온도변화는 설정온도를 중심으로  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  내로 제어되었으며, 비례 제어 알고리즘과 퍼지 제어 알고리즘의 압축기 제어 결과는 부하변화에 따라 안정적으로 제어되는 것을 볼 수 있으나 비례 제어 알고리즘의 경우 퍼지 제어 알고리즘에 비하여 다소 높은 회전수로 제어되는 경향을 볼 수 있으며, 특히 1,600초에 설정온도를  $24^{\circ}\text{C}$ 로 변화시켰을 때 비례 제어 알고리즘을 사용한 경우 퍼지 제어 알고리즘에 비하여 장시간 높은 회전수로 제어되는 것을 볼 수 있었다.

그림에서 압축기 회전수가 0 Hz로 제어된 부분은 모든 존의 온도가 설정온도보다  $0.5^{\circ}\text{C}$  이하로 하강하여 압축기 가동이 정지된 상황으로 챔버내의 열 부하로 인하여 90초 후 존의 온도가 상승하여 부하가 증가함에 따라 다시 압축기 제어 알고리즘에 의해 압축기가 제어되는 현상을 의미한다.

시험기간 동안의 총소비전력은 2,500초 동안의 적산소비전력을 비교한 결과 퍼지 제어의 경우 1.647 kWh, 비례 제어의 경우 1.797 kWh로 측정

되어 퍼지 제어 알고리즘을 사용할 경우 8.35%의 에너지 소비가 감소함을 알 수 있었다.

## 6. 결론

입력변수로 에러합과 에러합의 변화율, 그리고 출력변수로 압축기 회전수를 선택하여 퍼지 알고리즘을 사용한 멀티형 냉방시스템의 압축기 제어를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 멀티형 냉방시스템의 다양한 부하변화에 따라 압축기 회전수를 적절히 제어할 수 있는 퍼지 알고리즘을 사용한 압축기 제어 알고리즘을 개발하였다.

(2) 퍼지 제어 알고리즘을 사용하여 설정온도 변경과 부하 변경, 그리고 실내기 운전대수 변경 실험을 수행한 결과 부하의 갑작스런 변화에 대해서도 퍼지 알고리즘을 사용한 압축기 제어로써 적절한 제어가 가능함을 확인하였다.

(3) 개발된 퍼지 알고리즘을 사용한 압축기 제어 알고리즘을 확인하기 위하여 설정온도 변경 실험을 수행한 결과 퍼지 알고리즘을 압축기 제어에 적용한 경우 비교 기준으로 선정된 비례 제어 알고리즘을 사용한 경우보다 8.35%의 에너지 소비가 감소하는 것을 볼 수 있었다.

## 참고문헌

1. Jeon, B. C., 1999, Performance comparison between inverter and non-inverter heat pumps using a model house, Proceedings of SAREK, pp. 209-213.
2. Han, D. and Kwon, H. J., 1999, Design and performance prediction of the multi-type heat pump system, Proceedings of SAREK,

- pp. 515-520.
3. Han, D. and Chung, M. Y., 2000, Multi-type heat pump system computer simulation and experimental verification, *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 12, No. 1, pp. 12-19.
  4. Han, D. and Lim, B. K., 2000, Dynamic model of the electronic expansion valve for the development of superheat temperature control algorithm, *Proceedings of SAREK*, pp. 1343-1347.
  5. Han, D. and Kwon, H. J., 1999, The development of multi type air conditioning system, Final report, Ministry of Commerce, Industry and Energy, 1996-E-ID02-P-08.
  6. Shirotagoro Sekuya, 1991, Development of fuzzy control system for multi air conditioner, *Mitsubishi*, Vol. 28, No. 2, pp. 119-123.
  7. Han, D. and Kwon, H. J., 1999, Zone temperature control of the multi type heat pump system, *Proceedings of the SAREK*, pp. 611-616.
  8. Passino, Kevin M. and Yurkovich Stephen, 1998, *Fuzzy control*, Addison-Wesley, pp. 39-46.
  9. Han, D. and Kim, K. H., 1998, Design and control of dynamic environmental chamber, *Proceedings of the SAREK*, pp. 656-661.