

탠덤형 냉방시스템의 압축기와 전자팽창밸브 제어

한도영[†] · 정남철^{*}

[†] 국민대학교 기계·자동차공학부, ^{*} 국민대학교 기계공학과 대학원

Control of Compressor and Electronic Expansion Valve for a Tandom-type Air-conditioner

Doyoung Han[†], Namchul Jung^{*}

ABSTRACT: Capacities of a tandom-type air-conditioner may be modulated by turning on/off multiple compressors and adjusting positions of a electronic expansion valve. In this study, control algorithms for compressors and a electronic expansion valve were developed by using fuzzy logics. There algorithms were implemented in a test lab and proved to be effective for the control of indoor air temperature and superheat temperature.

Key words: Tandom-type air-conditioner(탠덤형 냉방시스템), Compressor control algorithm(압축기 제어알고리즘), Electronic expansion valve control algorithm(전자팽창밸브 제어알고리즘), Indoor air temperature control(실내온도제어), Superheat temperature control(과열도제어), Fuzzy logic(퍼지로직)

기 호 설 명

- SH* : 과열도 [°C]
- e* : 실내온도와 설정온도의 차이 [°C]
- stage* : 압축기운전단계 [stage]
- step* : 전자팽창밸브 개도량 [step]

그리스 문자

- Δ : 변화율

1. 서론

지속적이 국내 경제성장으로 인해 생활 수준의 꾸준한 향상은 좀 더 쾌적한 생활공간에 대한 끊임없는 요구로 이어지고 있다. 이에 가정용 및 상업용 냉방기의 사용이 증가함에 따라 해마다 전체 전력소비에서 냉방기가 차지하는 비중이 증가하고 있으며 이로 인해 냉방기의 구성부품들의 최적 설계에 관한 연구^(1,2) 및 효율적인 시스템 운영에 관한 연구^(3,4)가 활발히 진행되고 있다. 냉방시스템의 부분부하에 따른 용량제어를 위해 인버터 압축기^(5,6)를 사용한 경우 에너지 절감 효과를 얻을 수 있으나 제조원가가 상승하는 결과를 초래하며 이를 보완하기 위해 다수의 정속형 압축기를 사용한 탠덤형 냉방시스템⁽⁷⁾의 연구가 진행되고 있다. 그러나 실제 탠덤형 냉방시스템은 팽창장치로서 대부분 모세관을 사용하고 있어 부분부하에 적절히 대응하기 어려운 실정이다.

[†] Corresponding author

Tel.: +82-2-910-4675; fax: +82-2-910-4839

E-mail address: dyhan@kookmin.ac.kr

따라서 본 논문에서는 전자팽창밸브를 사용한 탠덤형 냉방시스템의 제어알고리즘을 부분부하에 효과적으로 대응할 수 있도록 개발한 후 실험을 통해 확인하는 것을 목적으로 한다.

2. 탠덤형 냉방시스템

탠덤형 냉방시스템은 Fig. 1과 같이 용량이 다른 두 대의 압축기와 실외 열교환기, 실외팬으로 구성된 실외기와 실내열교환기, 실내팬, 전자팽창밸브로 구성된 실내기로 이루어져 있으며 Table 1에는 각 부품의 선택된 사양을 보여준다.

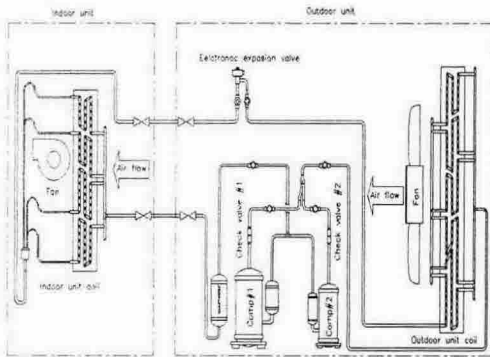


Fig. 1 Tandem-type air-conditioning system.

Table 1 Specification of tandem system

Component		Specification
Outdoor unit	Compressor	#1 4.4 kW, Rotary type
		#2 2.6 kW, Rotary type
	Fan	43.6 m ³ /min, Axial type
	Coil	φ9.52*3row*34step Sine-waved type
Indoor unit	Fan	15 m ³ /min, Sirocco type
	Coil	φ6.4*3row*14step Sine-waved type
	EEV	1-2 phase, 480 pulse

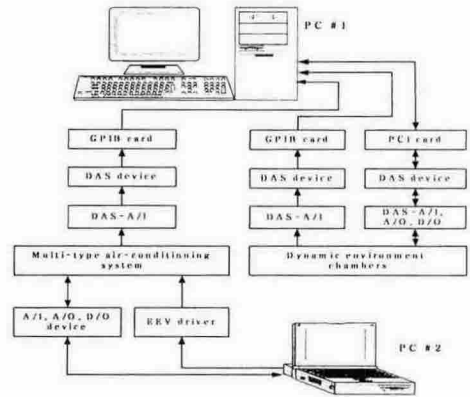


Fig. 2 Data acquisition and control system.

탠덤형 냉방시스템을 실험하기 위해 실외 온습도조건을 $-5 \sim 40^{\circ}\text{C} \pm 1.0^{\circ}\text{C}$, $20 \sim 90\% \pm 2.0\%$ 로, 실내 온습도조건을 $15 \sim 40^{\circ}\text{C} \pm 1.0^{\circ}\text{C}$, $20 \sim 90\% \pm 2.0\%$ 로 제어할 수 있는 실외 환경조성챔버와 실내 환경조성챔버를 사용하였으며, 탠덤형 시스템과 환경조성챔버의 각종 데이터를 수집하고 제어하기 위하여 Fig. 2와 같은 데이터 수집 및 제어 시스템을 사용하였다. PC #1을 통하여 탠덤형 시스템의 온도, 습도 등의 각종 계측 데이터를 수집하였고 환경조성챔버의 온도, 습도 등을 측정하여 제어를 수행하였다. PC #2를 통하여 탠덤형 시스템의 온도, 압력, 전력, 냉매유량 등 각종 데이터를 측정하여 탠덤형 시스템의 압축기와 전자팽창밸브를 제어하였다. 온도측정을 위해 T형 열전대를, 압력측정을 위해 4~20 mA 출력의 압력 변환기를 사용하였다.

3. 탠덤형 냉방시스템 제어알고리즘

탠덤형 냉방시스템의 제어알고리즘은 압축기 제어알고리즘과 전자팽창밸브 제어알고리즘으로 구성되었으며, 시스템을 점검하고 초기화를 실시한 후 각종 데이터를 수집하여 압축기와 전자팽창밸브를 조절하였다.

3.1 압축기 제어알고리즘

Table 2에서 보듯이 압축기 운전단계는 4가지 운전단계로 구별하였다. 압축기 제어알고리즘으로 e 와 Δe 입력변수로 하고 $\Delta stage$ 를 출력변수로

한 퍼지 알고리즘을 사용하였다. Fig. 3, Fig. 4에 입력변수의 멤버십을, Table 3에 출력변수의 멤버십을, Table 4에 룰베이스를 나타내었으며 추론방법으로는 Takagi-Sugeno⁽⁸⁾ 알고리즘을 사용하였으며, 추론과정은 식(1), (2)에 비퍼지화 과정은 식(3)에 나타내었다.

$$w_i = f_1(e) \times f_2(\Delta e) \quad (1)$$

$$z_i = Rules(e, \Delta e) \quad (2)$$

$$\Delta stage = \frac{\sum_{i=1}^4 [w_i \times z_i]}{\sum_{i=1}^4 w_i} \quad (3)$$

Table 2 Compressor stage

stage	Compressor	
	#1	#2
0	off	off
1	off	on
2	on	off
3	on	on

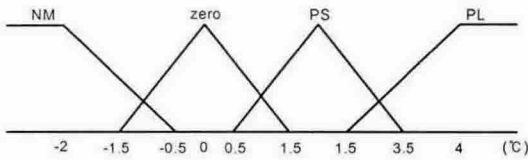


Fig. 3 Membership for e (f_1).

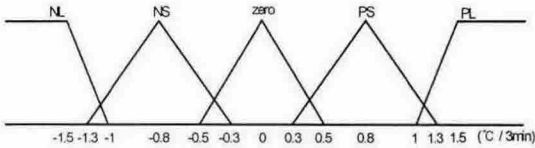


Fig. 4 Membership for Δe (f_2).

Table 3 Membership for $\Delta stage$

NM	-1
zero	0
PS	1
PL	2

Table 4 Rule-bases for compressor control algorithm ($Rules$)

$\Delta stage$	Δe					
	NL	NS	zero	PS	PL	
e	NM	NM	NM	NM	NM	zero
	zero	NM	NM	zero	zero	PS
	PS	zero	zero	PS	PS	PL
	PL	PS	PS	PS	PS	PL

3.2 전자팽창밸브 제어알고리즘

전자팽창밸브 제어알고리즘은 Fig. 5에서 보듯이 일정한 과열도 범위 내에서 설정온도를 추종하는 실내온도 제어알고리즘과 실내온도 제어 알고리즘에서 설정된 밸브 스텝의 변화에 따라서 과열도의 급격한 변화를 방지하기 위한 과열도 제어알고리즘으로 구성되어 있다. 실내온도 제어 알고리즘에서 계산된 밸브 스텝변화율과 합하여 전자팽창밸브를 제어하도록 구성되어 있다.

실내온도 제어알고리즘은 실내온도와 설정온도 차이인 e 와 과열도 SH 를 입력으로하며 밸브 스텝변화율을 출력으로 하는 퍼지 알고리즘을 구성하였다. 사용된 퍼지알고리즘의 추론방법으로는 최소-최대법을 사용하였으며 비퍼지화방법으로는 무게중심법을 사용하였다. Fig. 6, Fig. 7에 입력 변수의 멤버십 함수를, Fig. 8에 출력 멤버십 함수를, Table 5에 룰베이스를 나타내었다.

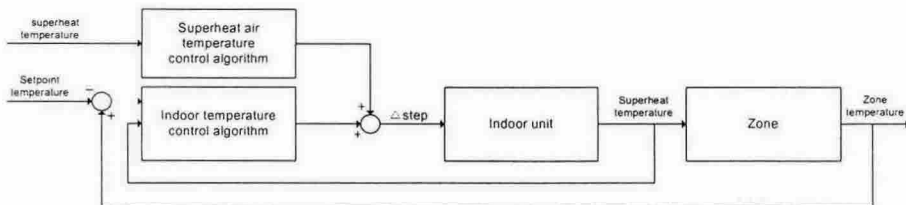


Fig. 5 EEV control algorithm.

과열도 제어알고리즘은 ΔSH 를 입력으로하며 밸브 스텝변화율을 출력으로 하는 비례 제어알고리즘을 사용하였다.

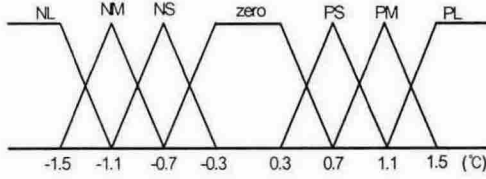


Fig. 6 Membership for e .

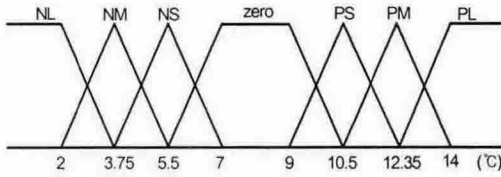


Fig. 7 Membership for SH .

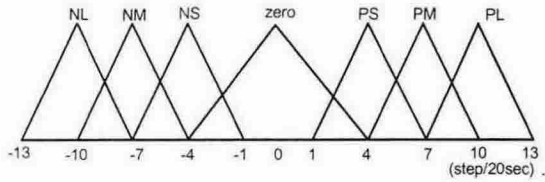


Fig. 8 Membership for $\Delta step$.

Table 5 Rule-bases for indoor air temperature control algorithm

$\Delta step$	SH							
	NL	NM	NS	zero	PS	PM	PL	
e	NL	NL	NM	NM	NS	NS	PS	PL
	NM	NL	NM	NS	NS	NS	PS	PL
	NS	NL	NS	NS	NS	NS	PS	PL
	zero	NL	NS	zero	zero	zero	PS	PL
	PS	NL	NS	zero	PS	PS	PM	PL
	PM	NL	NS	zero	PS	PM	PM	PL
	PL	NL	NS	zero	PS	PL	PL	PL

4. 실험결과

개발된 제어알고리즘의 성능을 검증하기 위해 한국산업규격 KSC 9306⁽⁹⁾에 제시된 표준조건을

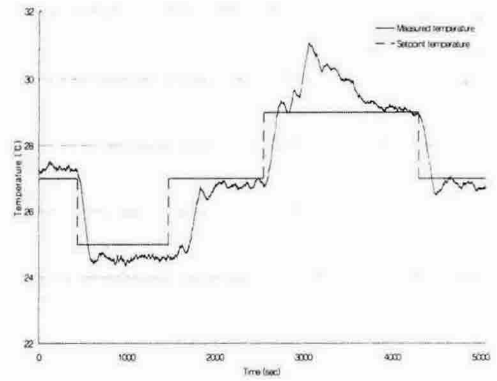


Fig. 9 Indoor air temperature control.

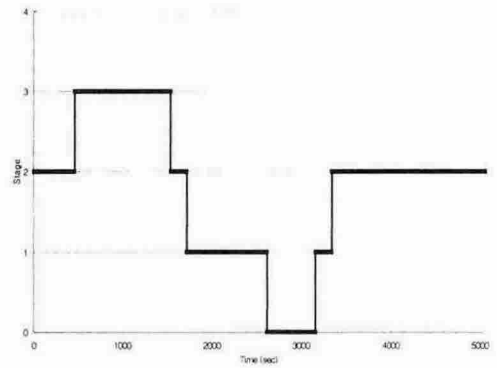


Fig. 10 Compressor control.

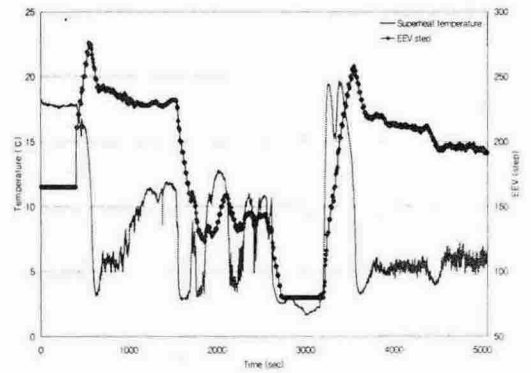


Fig. 11 EEV control.

기준으로 실외온도를 35°C로 유지하고 실내기에 전기히터를 사용하여 5kW의 고정부하를 제공하면서 초기에 실내온도를 27°C로 설정하여 유지하

다가, 실험이 시작된 후 450초, 1500초, 2550초, 4300초에 실내설정온도를 25℃, 27℃, 29℃, 27℃로 변화시키면서 계단변화 실험을 실시하였다. Fig. 9, 10, 11에는 실험결과를 보여준다.

Fig. 9에서 보듯이 실내설정온도를 계단변화시켰을 경우 실내온도는 다소의 과도기를 거친 후 설정온도의 $\pm 0.7^\circ\text{C}$ 에서 안정하게 제어되었으며 그때의 압축기는 Fig. 10에서 보듯이 급격한 단계의 변화없이 순차적으로 안정되게 제어되었음이 확인되었다.

Fig. 11에서 보듯이 전자팽창밸브는 급격한 변화없이 안정되게 제어되었으며 과열도는 압축기 단계변화 후 과도기에 일부 높은 구간이 있었으나 일반적으로 4.5℃에서 12℃ 사이에서 적절히 안정되게 제어 되었음이 확인되었다.

5. 결론

탠덤형 냉방시스템의 효율적인 제어를 위한 제어알고리즘을 개발한 후 개발된 제어알고리즘의 성능을 평가하기 위해 실험을 실시하였으며 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 실내온도와 설정온도 차이인 실내온도편차와 실내온도편차의 변화율을 입력변수로 하고 압축기 운전단계의 변화율을 출력으로 하는 퍼지로그직을 사용한 압축기 제어알고리즘을 개발하였다.
- 2) 실내온도편차와 과열도를 입력으로 하고 전자팽창밸브 스텝변화율을 출력으로 하는 퍼지로그직을 사용한 실내온도제어알고리즘과, 과열도 변화율을 입력으로 하고 전자팽창밸브 스텝변화율을 출력하는 비례 알고리즘을 사용한 과열도 제어알고리즘을 개발한 후 이를 사용한 전자팽창밸브 제어알고리즘을 개발하였다.
- 3) 개발된 제어알고리즘을 사용하여 제어 성능실험을 실시한 결과 압축기와 전자팽창밸브의 안정된 제어를 통해 실내온도는 설정온도의 $\pm 0.7^\circ\text{C}$ 범위에서 안정되게 제어되었고 과열도는 4.5℃~12℃ 사이에서 적절히 안정되게 제어됨이 확인되었다.

따라서 본 연구에서 개발된 압축기 제어알고리즘과 전자팽창밸브 제어알고리즘은 탠덤형 냉방시스템의 제어를 위해 적절히 사용할 수 있다고 판

단된다.

참고문헌

1. Han, D. and Park, K., 2003, Characteristics of a multi-type air-conditioning system on superheat controls at indoor units, Proceedings of the SAREK, pp. 123-129.
2. Park, J. B., Kim, S. Y. and Cho, K. C., 2003, Performance characteristics of a refrigeration system, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 13, pp. 187-195.
3. Han, D. and Lee, S., 2003, The EEV control of the multi-type air-conditioning system by using a fuzzy logic superheat temperature setpoint reset algorithm, Korean Journal of the Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 15, No. 5, pp. 382-388.
4. Han, D. and Pyo, S., 2002, EEV superheat control of a multi-type heat pump by using dither signal, Korean Journal of the Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 11, pp. 948-963.
5. Han, D. and Kwon, H., 2001, Compressor control of a multi-type air conditioning system, Korean Journal of the Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 13, No. 8, pp. 780-787.
6. Han, D. and Park, K., 2004, The integrated control algorithm for effective operations of a multi-type air-conditioning system, Proceedings of the SAREK, pp. 457-463.
7. Han, D. and Kim, J., 2005, A study on the compressor failure of a tandem-type air conditioning system, Proceedings of the SAREK, pp. 908-913.
8. Passino, K. and Yurkovich, S., 1998, Fuzzy control, Addison-Wesley, pp. 30-109.
9. Korean Standards, 1999, Room air conditioners, KSC9306, Korean Standards Association.