대한설비공학회 2008 동계학술발표대회 논문집 pp. 393 ~ 398

08-W-067

CO_2 에어컨 시스템을 위한 고압재설정알고리즘의 성능분석

한 도 영†, 노 희 전*

국민대학교 기계·자동차공학부, 국민대학교 기계공학과 대학원*

Performance Analysis of the High-side Pressure Reset Algorithm for a CO_2 Air-conditioning System

Doyoung Han†, Heejeon Noh*

ABSTRACT: In order to protect the environment from the refrigerant pollution, the CO_2 may be regarded as one of the most attractive alternative refrigerants for an automotive air-conditioning system. Control methods for a CO_2 system should be different because of the unique property of a CO_2 as a refrigerant. Especially, the high-side pressure of a CO_2 system should be controlled for the efficient operation.

The high-side pressure algorithm being composed of the pressure setpoint algorithm and the pressure setpoint reset algorithm was developed. The pressure setpoint algorithm, by using a least square method, was developed. The pressure setpoint reset algorithm, by using a fuzzy logic and by using a proportional logic, was also developed and compared. Simulation results showed that a proportional logic was more practical than a fuzzy logic for the pressure setpoint reset algorithm.

Key words: CO_2 air-conditioning system(이산화탄소 냉방시스템), High-side pressure control(고압측 압력제어), Least square(최소제곱법), Fuzzy logic(퍼지로직), Proportional logic(비례로직)

기 호 설 명

COP	:	성능계수
P	:	압력 [bar]
Rpm	:	압축기 속도 [rpm]
T	:	온도 [℃]

하첨자

e	:	오차
in	:	실내
out	:	실외
reset	:	재설정
set	:	설정

† Corresponding author
Tel.: +82-2-910-4675; fax: +82-2-910-4839
E-mail address dyhan@kookmin.ac.kr

1. 서론

현재의 자동차에어컨시스템은 지구온난화를 유

발하는 HFC-134a를 냉매로 사용하고 있다. 그러나 지구오존층 보존 등의 환경문제가 전 세계적으로 대두되고 있으며 2005년 2월 교토의정서가 발효됨에 따라 HFC-134a의 사용이 어려운 실정이다. 또한 유럽공동체 위원회에서는 플루오르화 온실가스에 대한 규제 제정이 추진되어 2011년부터 생산되는 형식승인차량과 2017년부터 생산되는 모든 신차에 대해서 HFC-134a 시스템 탑제가 전면 금지된다. 이에 따라 환경조건이 우수한 천연물질의 냉매로 대체하는 연구가 절대적으로 필요하며 그중 이산화탄소는 가장 유력한 대체냉매로 주목받고 있다.(1,2)

하지만 이산화탄소 냉매를 이용한 냉방시스템은 HFC-134a 냉매 사이클과 달리 작동 온도, 압력 범위가 다르고 아임계 상태에서 초임계상태로 변화하는 특성을 갖는다. 따라서 기존의 에어컨 시스템은 과열도를 제어하지만 이산화탄소 냉매를 이용한 에어컨 시스템은 시스템 효율을 고려한 시스템고압 제어방식과 같은 새로운 제어방법이 요구된다.(3)

본 연구에서는 효율과 동시에 냉방능력을 고려한 운전이 요구되는 경우 냉방능력도 고려하여 최대효율고압을 재설정할 수 있는 고압재설정알고리즘을 개발한 후 성능을 확인하는 것을 목적으로 한다.

2. CO_2 에어컨 시스템 모델

CO_2 에어컨 시스템은 Fig. 1과 같이 CO_2용 압축기, 가스쿨러, 증발기, 내부열교환기, 전자팽창밸브, 어큐뮬레이터 등으로 구성되어있다. 에어컨 시스템의 동적성능을 예측하기 위하여 압축기, 전자팽창밸브, 열교환기 등으로 구성된 에어컨 시스템의 동적모델을 개발하여 사용하였다. 성능시험을 통해 얻은 각종 성능 데이터를 이용하여 보정된 모델을 사용하여 동적시뮬레이션 프로그램을 개발한 후 이를 바탕으로 에어컨 시스템의 동적성능을 예측하였다.(4)

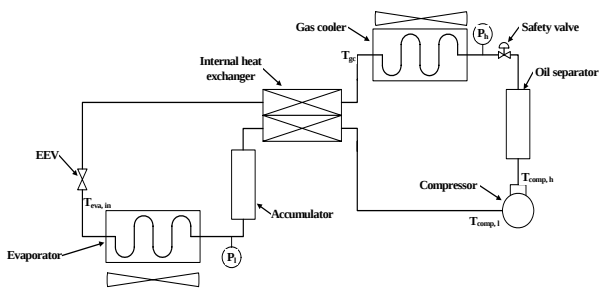

Fig. 1 CO_2 automotive air-conditioning system.

3. 고압설정알고리즘

실험을 통해 시스템의 고압측 특성을 파악하기 위하여 실내온도 T_{in}, 실외온도 T_{out}, 압축기 속도 Rpm을 선택한 후 전자팽창밸브 개도량을 440스텝에서 100스텝으로 10스텝씩 감소시켜 고압측 압력을 증가시키면서 시스템의 효율이 최대가 되는 최대COP고압 P_{set}을 얻은 후 그 결과를 고압설정알고리즘 개발에 사용하였다.

주어진 T_{in}, T_{out}에 대하여 식(1), 식(2), 식(3)을 사용하여 $P_{set,1}$을 계산한 후 주어진 Rpm에 대해서 보간하여 P_{set}으로 사용하였으며

$$P_{set,1} = A\,T_{in} + B \tag{1}$$

$$A = a_1 {T_{out}}^2 + a_2 T_{out} + a_3 \tag{2}$$

$$B = b_1 {T_{out}}^2 + b_2 T_{out} + b_3 \tag{3}$$

여기서 상수 a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3를 얻기 위해 최소제곱법을 사용하였다. Table 1에는 750, 1000, 1250, 1500, 1750rpm과 같은 각각의 Rpm에 대해서 T_{out} 30, 32, 34, 36, 38, 40℃ 중 하나, T_{in} 20, 22.5, 25, 27.5, 30℃ 중 하나의 온도를 각각 선정하여 주어진 조건에서 실시된 시험결과를 사용하여 최소제곱법을 통해 얻은 상수를 보여준다.

Table 1 Coefficients obtained from the least square method

Rpm (*rpm*)	a_1	a_2	a_3	b_1	b_2	b_3
750	-0.007536	0.503043	-8.954000	0.270027	-17.22770	389.53850
1000	-0.002692	0.147352	-2.240649	0.126937	-7.022453	200.47268
1250	0.000183	-0.022369	0.105732	0.063759	-3.248067	144.95195
1500	-0.002888	0.141273	-1.925247	0.156402	-8.525669	214.63755
1750	-0.002951	0.166048	-2.466748	0.144286	-8.066655	204.09596

4. 고압재설정알고리즘

고압설정알고리즘으로부터 산출된 고압 설정값은 COP가 최대가 되는 고압값으로서 효율만 고려하였으나, 효율과 동시에 냉방능력을 고려한 운전이 요구되는 경우 시스템 고압을 재설정하는 고압재설정알고리즘이 필요하다.[5] 이를 위해 퍼지로직을 이용한 고압재설정알고리즘과 비례로직을 이용한 고압재설정알고리즘을 각각 개발하였다.

4.1 퍼지로직을 이용한 고압재설정알고리즘

퍼지로직을 이용한 고압재설정알고리즘으로 실내온도 T_{in}과 설정온도 T_{set}의 차이인 T_e와 P_{set}을 입력으로 하고 P_{reset}을 출력하는 퍼지로직을 이용한 알고리즘을 선정하였다. 입력과 출력은 Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4와 같은 맴버쉽을 사용하였으며 Table 2와 같은 룰베이스를 사용하였다. 추론방법으로는 MIN-MAX 방법을 사용하였으며 역퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다.[6]

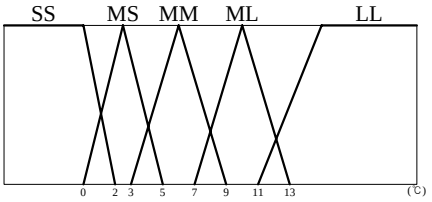

Fig. 2 Membership for input T_e.

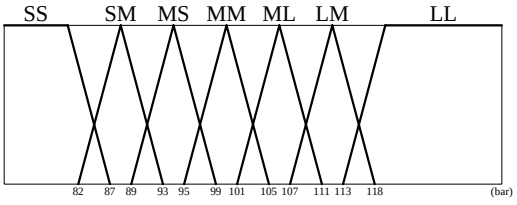

Fig. 3 Membership for input P_{set}.

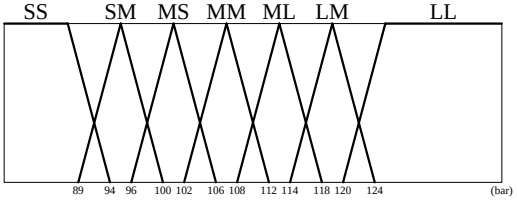

Fig. 4 Membership for output P_{reset}.

Table 2 Rule base for the reset algorithm

Preset [bar]		Pset [bar]						
		SS	SM	MS	MM	ML	LM	LL
Te [℃]	SS	SS	SS	SS	SM	MS	MM	ML
	MS	SS	SS	SM	MS	MM	ML	LM
	MM	SS	SM	MS	MM	ML	LM	LL
	ML	SM	MS	MM	ML	LM	LL	LL
	LL	MS	MM	ML	LM	LL	LL	LL

4.2 비례로직이용 고압재설정알고리즘

비례로직이용 고압재설정알고리즘으로 식(4)와 같은 다항식을 사용하였으며

$$P_{reset} = k_p T_e + P_{set} \tag{4}$$

여기서 비례게인 k_p는 1.5752, 데드밴드는 ±1.0℃로 선정하였다.[7]

5. 시스템 제어알고리즘

시스템 제어알고리즘은 전자팽창밸브 제어알고리즘, 압축기 제어알고리즘, 실내팬 제어알고리즘, 실외팬 제어알고리즘으로 구성되어있다.[8]

전자팽창밸브 제어알고리즘은 시스템고압을 설정된 압력으로 유지하기 위한 알고리즘으로써 설계된 압력과 측정압력과의 오차를 입력변수로 하고 비례게인 3, 적분게인 0.0001, 데드밴드 0.05bar인 비례적분 알고리즘을 사용하였다.

압축기 제어알고리즘은 압축기를 단속 제어하여 실내온도를 설정된 온도로 유지하는 것을 목적으로 하며 실내 설정온도와 측정온도의 차를 입력으로 하고 비례게인 2, 적분게인 0.0001, 데드밴드 ±0.5℃인 비례적분 알고리즘을 사용하였다.

실내팬 제어알고리즘은 설정된 실내온도와 센서에 의해 측정된 실내온도와의 차를 입력으로 하여 실내팬의 단수를 출력하는 비례게인 3, 적분게인 0.001, 데드밴드 ±1.0℃인 비례적분 알고리즘을 사용하였다.

실외팬 제어알고리즘은 실외팬을 단속 제어하여 시스템고압을 90~140bar로 유지하는 것을 목적으로 하며 115bar를 기준으로 데드밴드가 40bar인 단속 알고리즘을 사용하였다.

6. 고압재설정알고리즘의 제어성능

고압재설정알고리즘의 제어성능을 분석하기 위하여 압축기속도 900rpm에 Table 3과 같은 실외온도, 실내온도, 실내습도를 가정한 후 Test 1, 2에는 고압재설정알고리즘을 적용하지 않은 경우, Test 3, 4는 퍼지로직을 이용한 고압재설정알고리즘을 적용한 경우, Test 5, 6은 비례로직을 이용한 고압재설정알고리즘을 적용한 경우로 구분하여 시뮬레이션하였다.

Table 3 Test conditions

Test No.	T_{out} [℃]	T_{set} [℃]	Indoor humidity [%]	High-side pressure reset algorithm
1	35	27	50	Not applied
2	43	32	60	
3	35	27	50	Applied fuzzy logic algorithm
4	43	32	60	
5	35	27	50	Applied proportional logic algorithm
6	43	32	60	

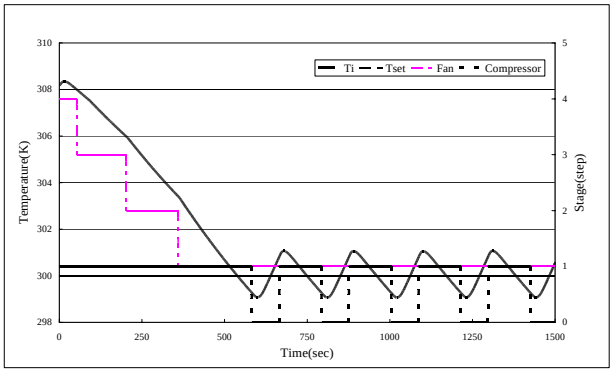

Fig. 5 Temperature, fan and compressor (Test 1).

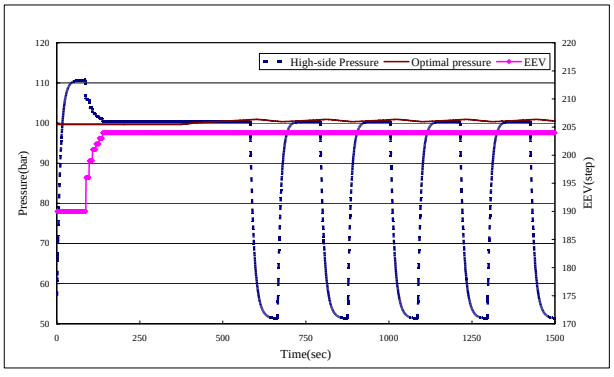

Fig. 6 Pressure and EEV step (Test 1).

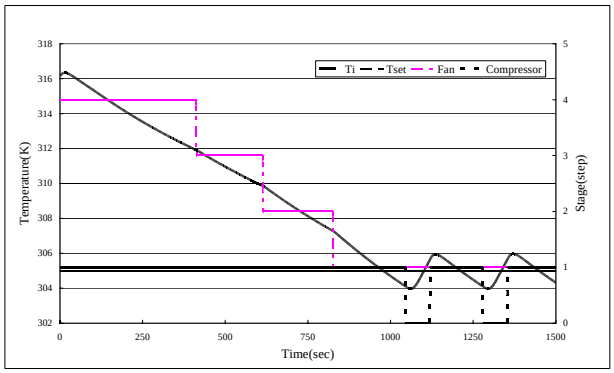

Fig. 7 Temperature, fan and compressor (Test 2).

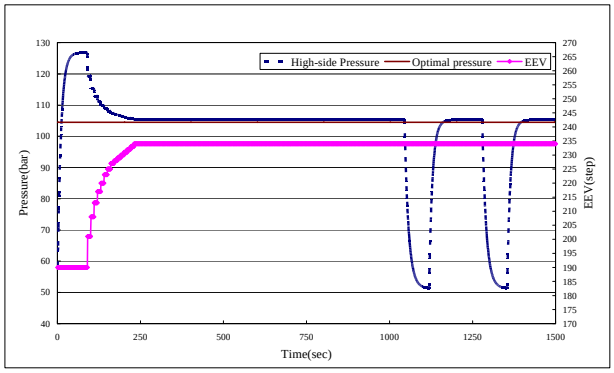

Fig. 8 Pressure and EEV step (Test 2)

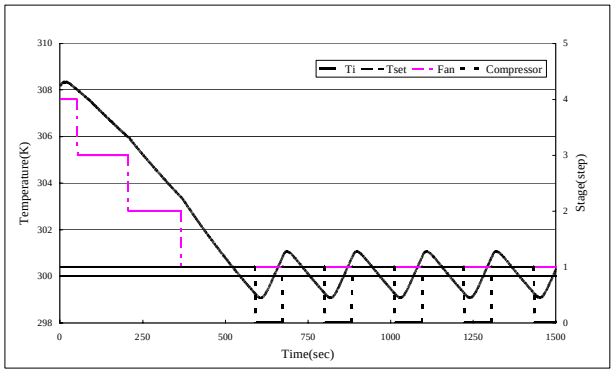

Fig. 9 Temperature, fan and compressor (Test 3).

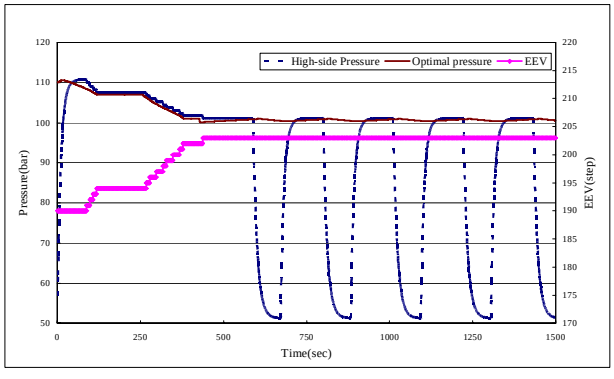

Fig. 10 Pressure and EEV step (Test 3).

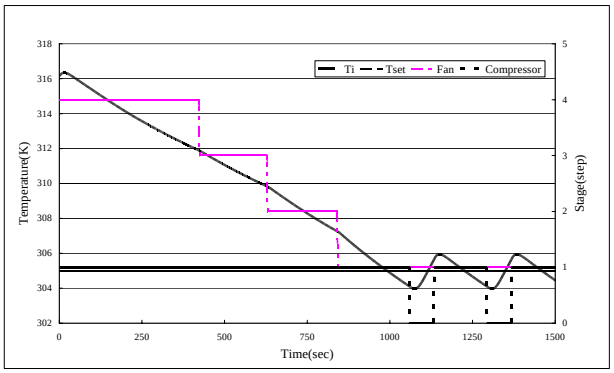

Fig. 11 Temperature, fan and compressor (Test 4).

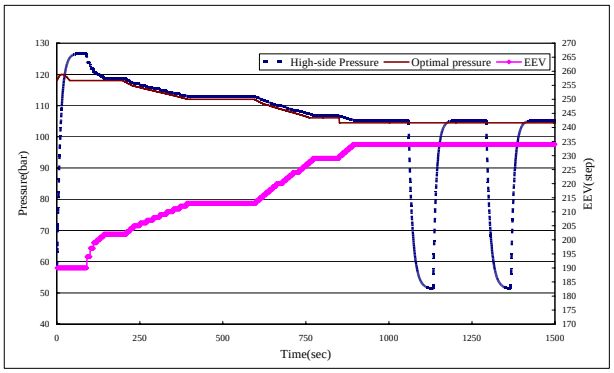

Fig. 12 Pressure and EEV step (Test 4).

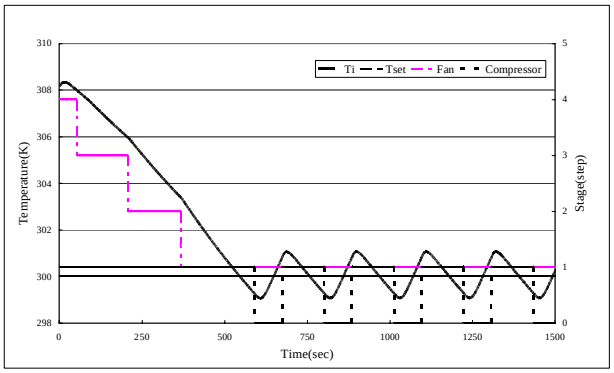

Fig. 13 Temperature, fan and compressor (Test 5).

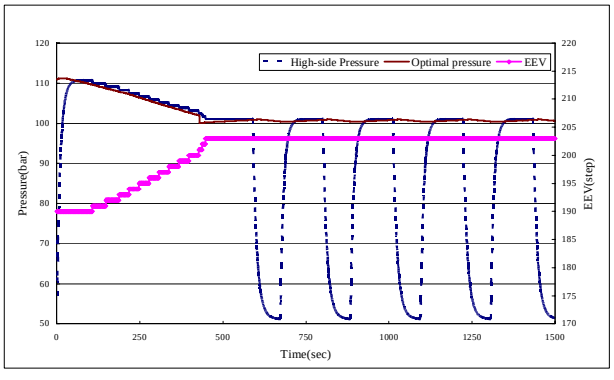

Fig. 14 Pressure and EEV step (Test 5).

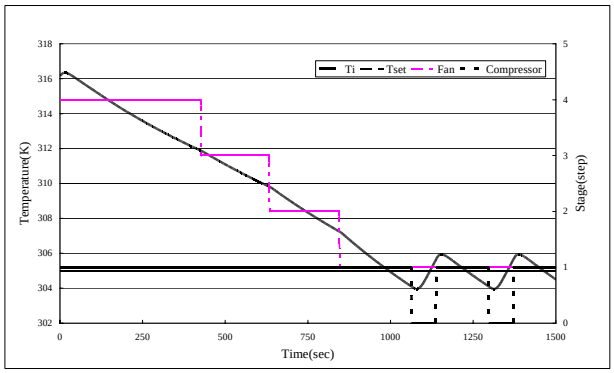

Fig. 15 Temperature, fan and compressor (Test 6).

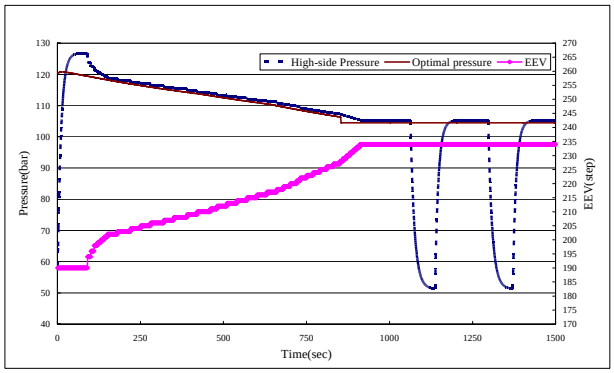

Fig. 16 Pressure and EEV step (Test 6).

Fig. 5, 6, 7, 8은 고압재설정알고리즘을 적용하지 않은 Test 1, 2의 결과를, Fig. 9, 10, 11, 12는 퍼지로직 고압재설정알고리즘을 적용한 Test 3, 4의 결과를, Fig. 13, 14, 15, 16은 비례로직 고압재설정알고리즘을 적용한 Test 5, 6의 결과를 보여준다.

Fig. 5, 7, 9, 11, 13, 15에서 보듯이 모든 시험에서 실내온도가 설정온도로 적절히 제어되었고 그때의 실내팬과 압축기도 안정적으로 제어되었다. 또한 Fig. 6, 8, 10, 12, 14, 16에서 보듯이 모든 시험에서 시스템고압은 설정된 압력으로 적절하게 제어되었고 그때의 전자팽창밸브도 안정적으로 제어되었다.

Table 4 Test results

Test No.	Average COP	Compressor On time(sec)	Tset reaching time(sec)
Test 1	2.86	1093	545
Test 2	2.53	1352	992
Test 3	2.81	1101	539
Test 4	2.44	1353	978
Test 5	2.79	1102	538
Test 6	2.43	1353	975

Table 4에는 Test 1~6에서의 평균COP와 압축기 가동시간, 설정온도 도달시간을 각각 나타내었다. Test 1, 2를 Test 3, 4와 비교했을 때 퍼지로직을 이용한 경우 압축기 가동시간이 각각 8, 1초 증가하였고 설정온도 도달시간은 6, 14초 단축되었으며, Test 1, 2를 Test 5, 6과 비교했을 때 비례로직을 이용한 경우 압축기 가동시간이 각각 9, 1초 증가하였고 설정온도 도달시간은 7, 17초 단축되었음을 알 수 있었다. 따라서 고압재설정알고리즘을 적용하지 않은 경우에 비해 퍼지로직과 비례로직을 이용한 고압재설정알고리즘을 적용한 경우 모두 예측한대로 COP는 다소 낮았으나 냉방능력의 증가로 실내온도가 설정온도로 빠르게 도달함을 알 수 있었다.

7. 결론

CO_2 에어컨 시스템의 동적성능을 예측하기 위하여 압축기, 전자팽창밸브, 열교환기 등으로 구성된 동적모델을 사용하였고, 효과적인 운용을 위하여 고압설정알고리즘, 고압재설정알고리즘, 시스템 제어알고리즘을 사용하였다.

시스템효율이 최대가 되는 고압측 압력을 설정하기 위해 최소제곱법을 이용한 고압설정알고리즘을 개발하였다. 그리고 효율과 냉방능력을 동시에 고려하여 시스템고압을 재설정하기 위하여 비례로직을 이용한 고압재설정알고리즘과 퍼지로직을 이용한 고압재설정 알고리즘을 개발한 후 성능을 분석하였다. 두 경우 모두 고압재설정알고리즘을 적용하지 않았을 경우에 비해 평균효율은 감소하였고 압축기 동작시간은 늘어났지만 증가된 냉방능력으로 인해 설정온도로의 도달시간이 단축되었음을 알 수 있었다.

또한 비례로직과 퍼지로직을 이용한 고압재설정알고리즘의 성능은 비슷하였지만, 프로그래밍의 용이성과 계산시간 등을 고려할 때 비례로직을 이용한 고압재설정알고리즘이 보다 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Culter, B., and Hwang, Y. H., 2000, Comparison of automotive air-conditioning with CO_2 and R134a, Center of Environmental Energy Engineering, Department of Mechanical Energy Engineering, University of Maryland.
2. Hirao, T., Mizukami, H., Takeuchi, M., and Taniguchi, M., 2000, Development of air conditioning system using CO_2 for automobile, Mistubishi Heavy Industries, Nagoya R&D Center.
3. Han, D., and Jung, J., 2004, High-side pressure setpoint algorithm for a CO_2 automotive air-conditioning system by using fuzzy logics, Proceedings of SAREK, pp. 481-486.
4. Han, D., and Jung, J., 2004, Effective dynamic models of a CO_2 automotive air-conditioning system for the control algorithm development, Proceedings of SAREK, pp. 813-818.
5. Han, D., and Jang, 2005, K., High-side pressure reset algorithm for a CO_2 automotive air conditioner, Proceedings of SAREK, pp. 926-931.
6. Han, D., and Jang, K., 2006, Dynamic models and intelligent control algorithms for a CO_2 automotive air conditioning system. KSAE, Vol. 14, No. 4, pp. 49-58.
7. Han, D., and Noh, H., 2008, The high-side pressure algorithm by using a least square method and a proportional logic, Proceedings of SAREK, pp. 16-21.
8. Han, D., and Noh, H., 2007, Control performances of a CO_2 automotive air-conditioning control system, Proceedings of KATECH, pp. 111-117.