

# 자동차 CO<sub>2</sub> 냉방시스템의 고압과 실내온도의 효과적인 제어를 위한 지능알고리즘

한도영<sup>†</sup>, 장경창<sup>\*</sup>

국민대학교 기계·자동차공학부, 국민대학교 기계공학과 대학원<sup>\*</sup>

## Intelligent Algorithms for the Effective Control of High-side Pressure and Indoor Air Temperature of a CO<sub>2</sub> Automotive Air Conditioner System

Doyoung Han<sup>†</sup>, Kyungchang Jang<sup>\*</sup>

**ABSTRACT:** In the respect of the environmental protection viewpoint, the CO<sub>2</sub> may be regarded as one of the most attractive alternative refrigerants for an automotive air-conditioning system. Control methods for a CO<sub>2</sub> system should be newly developed, because properties of CO<sub>2</sub> are different compared with those of classical refrigerants. Especially, high-side pressure of a CO<sub>2</sub> system should be controlled for the effective operation of the system. In this study, intelligent control algorithms for a CO<sub>2</sub> system were developed. These are a high-side pressure control algorithm and an indoor air temperature control algorithm. These algorithms were analysed by using dynamic models of a CO<sub>2</sub> system.

**Key words:** CO<sub>2</sub> refrigerant(CO<sub>2</sub> 냉매), Dynamic model(동적모델), Intelligent control algorithm(지능제어알고리즘), High-side pressure control(고압측압력 제어), Indoor air temperature control(실내온도 제어)

### 기 호 설 명

*COP* : 성능계수  
*EEV* : 전자팽창밸브  
*T<sub>out</sub>* : 실외온도 [°C]  
*T<sub>in</sub>* : 실내온도 [°C]  
*T<sub>r</sub>* : 실내 설정온도차 [°C]  
*rpm* : 압축기 회전수 [*rpm*]

$\Delta T_{error}$  : *T<sub>error</sub>*의 변화율 [°C/*min*]

*P<sub>set</sub>* : 최대COP고압 [*bar*]

*P<sub>reset</sub>* : 재설정고압 [*bar*]

### 1. 서론

인류는 과학기술을 비약적으로 발전시켜왔으나 이로 인해 화석연료의 고갈과 지구환경오염이 초래되어 이를 보완하기 위해 21세기에 들어 효율적인 자원이용과 환경보존을 위한 친환경적 기술에 초점을 맞추어 기술개발을 진행하여왔다. 이에 따라 환경문제가 생활에 미치는 영향이 높아져 냉방시스템에 사용되는 냉매에 대한 관심도 높아지

<sup>†</sup> Corresponding author

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

E-mail address [dyhan@kookmin.ac.kr](mailto:dyhan@kookmin.ac.kr)

고 있다. 특히 기존의 CFC/HCFC 계열의 냉매가 오존층 파괴 및 온실효과의 원인 물질로 밝혀진 이후 대체 냉매에 대한 연구가 다각적으로 이루어지고 있다. 그중 CO<sub>2</sub>는 열역학적 물성치가 우수하고 특히 친환경적인 대체 냉매로 주목받고 있다. 그러나 CO<sub>2</sub>를 냉매로 사용할 경우 시스템 특성상 고효율 운전을 위한 최대COP고압이 존재하며<sup>(1)</sup> 이는 과열도를 사용하여 제어하는 기존 냉매 시스템과 구별된다. 따라서 이러한 CO<sub>2</sub>자동차냉방기의 특성을 고려한 제어알고리즘에 관한 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 자동차CO<sub>2</sub>냉방기의 특성을 살펴 시스템고압과 실내온도의 지능형 제어알고리즘을 개발한 후 동적시뮬레이션을 통해 그 효율성을 확인하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 자동차냉방시스템의 동적모델

Fig. 1과 같은 압축기, 가스쿨러, 증발기, 내부 열교환기, 전자팽창밸브로 구성된 자동차CO<sub>2</sub>냉방기의 제어알고리즘을 개발하기 위하여 자동차냉방기의 냉방용량, COP, 고압측압력과 자동차의 실내온도를 예측할 수 있는 자동차냉방시스템의 동적시뮬레이션 프로그램<sup>(2)</sup>을 사용하였다.

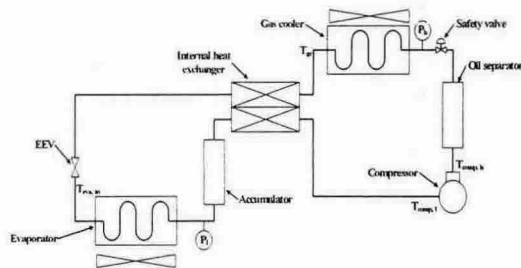


Fig. 1 CO<sub>2</sub> automotive air-conditioning system.

### 2.1 자동차냉방기

제어알고리즘 개발을 위해 필요한 냉방기의 냉방용량, COP, 고압측압력의 동적성능을 예측하기 위하여 Fig. 2와 같은 정적성능을 예측할 수 있는 정적모델과 정적성능을 동적성능으로 변환할 수 있는 시간지연을 갖는 일차 시스템으로 가정한 동적모델을 사용하였다.

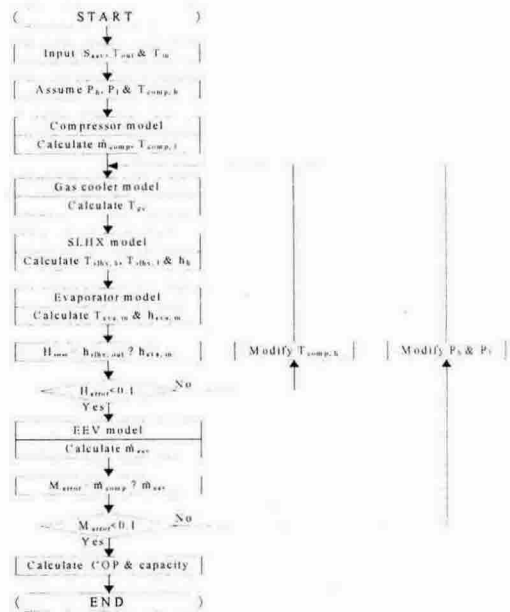


Fig. 2 Steady-state simulation of a CO<sub>2</sub> automotive air-conditioner.

### 2.2 자동차실내

자동차 실내로 유입되는 유입열을 냉방에서 덕트를 통해 전달되는 냉방량, 일사에 의해 침투되는 침입열, 실내외 온도차에 의해 전달되는 전달열, 실내에서 발생된 발생열, 환기에 의해 투입되는 환기열 등으로 가정하였으며 이를 사용하여 자동차 실내온도를 예측할 수 있는 동적모델을 개발하여 사용하였다.

## 3. 자동차냉방기의 특성

일반 냉매 냉방기와는 달리 CO<sub>2</sub> 냉매 자동차냉방기에서는 고압측냉매가 초임계상태에서 운전되어 Fig. 3에 나타나 있듯이 시스템 고압측압력에 따라 최대COP고압점과 최대냉방용량고압점이 따로 존재하며 최대냉방용량고압점이 최대COP고압점 보다 보통 20±5% 정도 높게 형성됨을 알 수 있었다.<sup>(3)</sup> 따라서 어떤 주어진 환경에서 최대COP고압점에서의 용량보다 큰 냉방용량이 요구될 경우 고압 설정압력을 최대COP고압점보다 높게 설정하여 냉방기를 운전함으로써 실내부하를 보다 신속히 제거할 수 있음을 알 수 있었다.

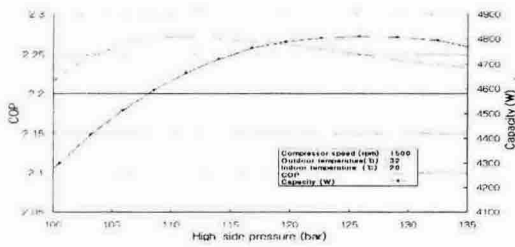


Fig. 3 COP and cooling capacity.

#### 4. 자동차냉방시스템의 지능제어알고리즘

자동차CO<sub>2</sub>냉방시스템의 제어알고리즘은 전자 팽창밸브를 사용하여 시스템고압을 제어하는 시스템고압 제어알고리즘과 압축기와 팬을 사용하여 실내온도를 제어하는 실내온도 제어알고리즘으로 구성되어 있다.

##### 4.1 시스템고압 제어알고리즘

시스템고압을 제어하기 위하여 Fig. 4와 같이 고압 설정알고리즘, 고압 재설정알고리즘, 고압 제어알고리즘으로 구성된 시스템고압 제어알고리즘을 개발하였다. 그림에서 보듯이 고압 설정알고리즘에서 최대COP고압인  $P_{set}$ 이 설정되고 고압 재설정알고리즘에서 재설정 고압  $P_{reset}$ 이 재설정되며 고압 제어알고리즘에 의해 시스템고압이  $P_{reset}$ 으로 유지되도록 전자팽창밸브가 제어된다.

최대COP고압을 산출하기 위한 고압 설정알고리즘은 Fig. 5와 같이  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ ,  $rpm$ 의 정규화값을<sup>(4)</sup> 입력변수로 한  $3 \times 8 \times 1$  구조의 다층신경망으로 구성되어 있으며 입력층, 은닉층, 출력층의 활성화함수로 탄젠트 시그모이드함수, 로그 시그모이드함수, 선형함수가 선정되었다. 신경망을 학습시키기 위해 20, 22.5, 25, 27.5, 30°C의  $T_{in}$ , 32, 33.5, 35, 36.5, 38°C의  $T_{out}$ , 1000, 1250, 1500,

1750, 2000, 2250, 2500rpm의  $rpm$  중 각각 하나씩 선정하여 시뮬레이션을 수행한 후 그 결과를 정규화 시킨 후 보정하여 입력데이터로 사용하였으며 학습알고리즘으로 역전파알고리즘을 사용하였다.

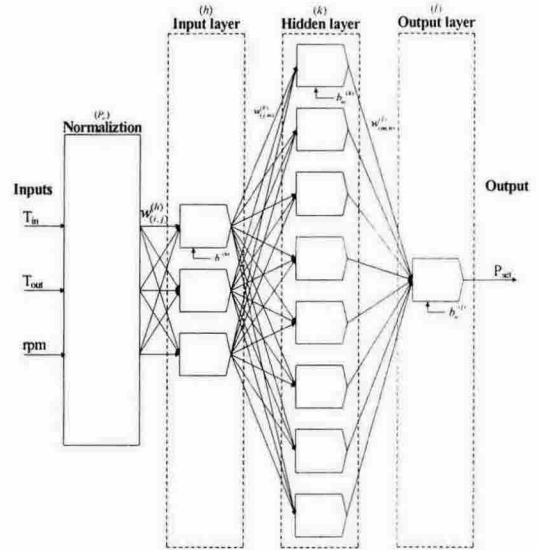


Fig. 5 Neural network.

고압 설정알고리즘으로부터 산출된  $P_{set}$ 은 효율만을 고려하였으나, 효율과 동시에 냉방능력을 고려한 운전이 요구되는 경우 냉방능력도 고려하여 시스템고압이 재설정하는 것이 요구되며 이를 위해 고압 재설정알고리즘을 개발하였다. 고압 재설정알고리즘은 고압 설정알고리즘에서 계산된  $P_{set}$ , 실내온도와 설정온도차인  $T_e$ 를 입력으로 하고  $P_{reset}$ 을 출력하는 퍼지 알고리즘으로 구성되어 있다. 추론방법으로 최소최대법을 사용하였고 역퍼피화 방법으로 무게중심법을 선택하였다. Fig. 6, 7, 8에는 입력과 출력의 멤버십을 보여주며 Table 1은 사용된 룰베이스를 보여준다.

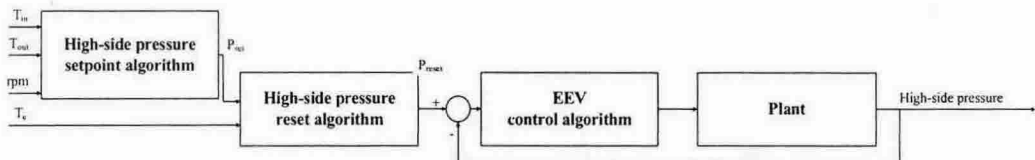


Fig. 4 System high-side pressure control algorithm.

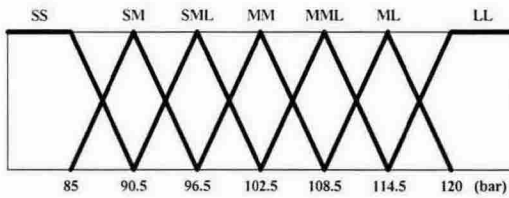


Fig. 6 Membership for  $P_{set}$ .

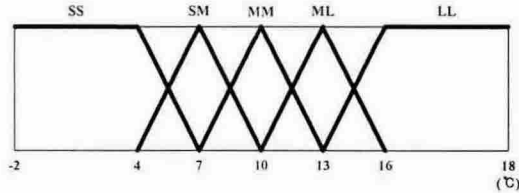


Fig. 7 Membership for  $T_e$ .

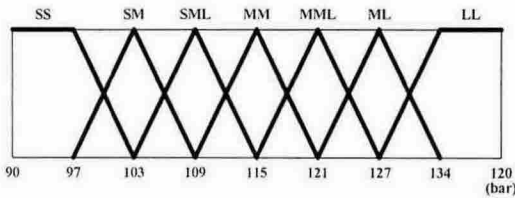


Fig. 8 Membership for  $P_{reset}$ .

Table 1 Rule base for  $P_{reset}$ .

$P_{reset}$	$P_{set}$							
	SS	SM	SML	MM	MML	ML	LL	
$T_e$	SS	SS	SM	SM	SML	MM	MM	MML
	SM	SM	SM	SML	SML	MM	MML	MML
	MM	SML	SML	SML	MM	MML	MML	ML
	ML	SML	MM	MML	MM	MML	ML	LL
	LL	MM	MM	MML	MML	MML	ML	LL

설정된 고압값으로 시스템고압을 제어하기 위한 고압 제어알고리즘으로 설정압력과 측정압력의 차인  $P_{error}$ 를 입력으로 한 비례게인이 3인 비례 제어알고리즘을 사용하여 전자팽창밸브를 제어하였다.

#### 4.2 실내온도 제어알고리즘

압축기를 단속제어하여 실내온도를 설정된 실내온도로 유지하기 위하여  $T_e$ 를 입력으로 한 비

례게인과 적분게인이 2와 0.0001이고 데드밴드가 설정온도를 중심으로  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 이며 제어주기가 10초인 수정된 비례적분 제어알고리즘을 사용하였다.

실내팬 제어를 위해  $T_e$ 와  $T_e$ 의 변화를  $\Delta T_e$ 를 입력으로 하고 실내팬의 단수  $F_{in}$ 을 출력으로 하는 퍼지 알고리즘을 사용하였으며, Fig. 9, 10, 11에는 입력과 출력의 멤버십을 보여주고 Table 2에는 사용된 룰 베이스를 보여준다. 추론 방법으로 최소최대법, 역퍼지화 방법으로 무게중심법을 사용하였다.

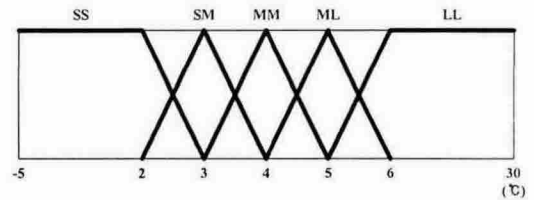


Fig. 9 Membership for  $T_e$ .

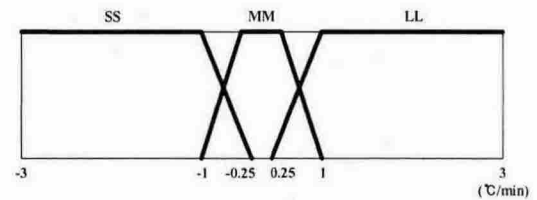


Fig. 10 Membership for  $\Delta T_e$ .

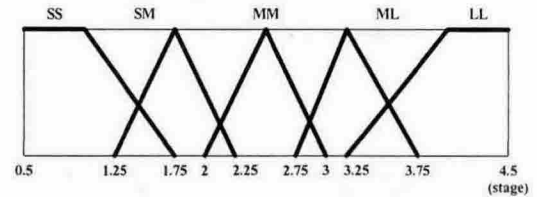


Fig. 11 Membership for  $F_{in}$ .

Table 2 Rule base for  $F_{in}$ .

$F_{in}$	$T_{error}$				
	SS	SM	MM	ML	LL
$\Delta T_{error}$	SS	SS	SM	MM	ML
	MM	SS	SM	MM	ML
	LL	SS	SS	SM	MM

## 5. 지능제어알고리즘의 성능평가

개발된 고압 재설정알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 실외온도를 35℃, 실내설정온도를 27℃, 압축기 회전수를 2000rpm으로 가정하였다. Test 1에서는 개발된 제어알고리즘 중 고압 재설정알고리즘을 제외한 모든 알고리즘을 사용한 결과를 보여주고 있고, Test 2에서는 개발된 제어알고리즘 모두를 사용한 결과를 보여준다. Fig. 12와 Fig. 13에는 Test 1의 결과를 Fig. 14와 Fig. 15에는 Test 2의 결과가 나타나있다. 그림에서 보듯이 Test 1과 Test 2의 경우 모두 시스템 고압 제어알고리즘에 의해 시스템고압이 전자팽창밸브에 의해 설정된 고압값으로 적절히 제어되었고, 실내온도 제어알고리즘에 의해 실내온도가 실내팬과 압축기에 의해 설정된 실내온도로 적절히 제어되었으며 그때의 전자팽창밸브, 압축기, 실내팬도 과도한 움직임 없이 안정되게 제어되었다. 그러나 Test 2의 경우 고압재설정 알고리즘을 사용함으로써 정상상태 COP가 2.49에서 2.40으로 다소 감소되었으나, 보다 큰 용량의 선택사용으로 압축기 가동률이 60.08%에서 59.30%로 다소 감소되었고 실내설정온도 도달시간이 420초에서 393초로 27초 감소되었으며 실내팬 1단 사용시작 시간이 266초에서 246초로 20초 단축되어 재설정알고리즘의 적용으로 실내부하를 보다 신속히 제거할 수 있음을 알 수 있었다.

또한 다른 조건에서의 성능평가결과도 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었으므로 개발된 시스템 고압 제어알고리즘과 실내온도 제어알고리즘으로 구성된 지능제어알고리즘의 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.<sup>(5)</sup>

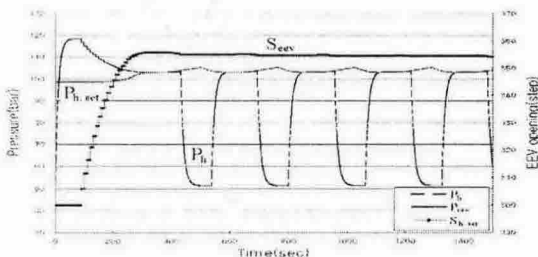


Fig. 12 High-side pressure and EEV opening (Test 1).

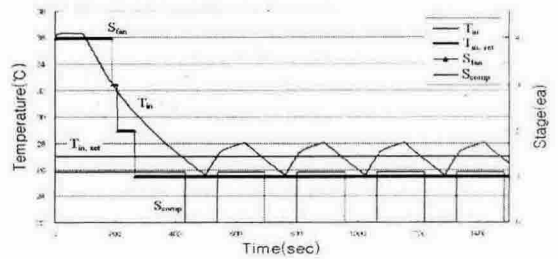


Fig. 13 Indoor temperature, indoor fan stages and compressor stage (Test 1).

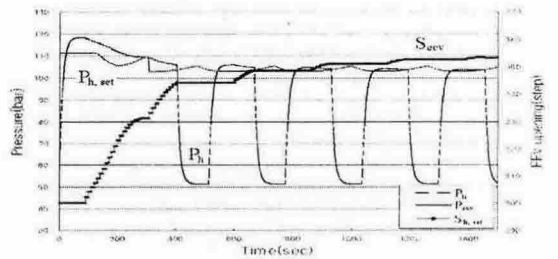


Fig. 14 High-side pressure and EEV opening (Test 2).

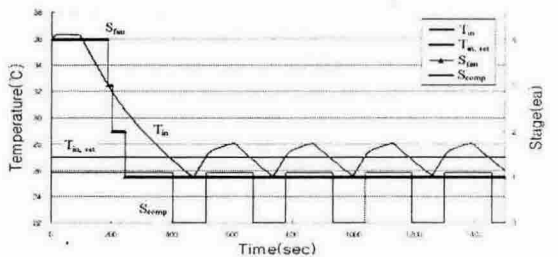


Fig. 15 Indoor temperature, indoor fan stages and compressor stage (Test 2).

## 6. 결론

시스템고압 제어알고리즘과 실내온도 제어알고리즘으로 구성된 자동차CO<sub>2</sub>냉방시스템의 제어알고리즘을 개발하였다.

시스템고압 제어알고리즘은 고압 설정알고리즘, 고압 재설정알고리즘, 고압 제어알고리즘으로 구성되어 있다. 고압 설정알고리즘으로  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ , rpm을 입력으로 하고  $P_{set}$ 를 출력으로 하는 3×8×1 구조의 다층신경망을 개발하였고, 고압 재설정알고리즘으로  $P_{set}$ ,  $T_c$ 를 입력으로 하고 재설

정 고압을 출력으로 하는 퍼지 알고리즘을 개발하였으며, 고압 제어알고리즘으로 시스템고압을 입력으로 하는 비례 제어알고리즘을 개발한 후 이를 사용하여 전자팽창밸브를 제어하였다.

실내온도 제어알고리즘은 압축기 제어알고리즘과 실내팬 제어알고리즘으로 구성되어 있다. 압축기 제어알고리즘으로 데드밴드를 이용한 비례적분 제어알고리즘을 개발하였고, 실내팬 제어알고리즘으로  $T_r$ 와  $\Delta T_r$ 를 입력으로 하고  $F_{in}$ 을 출력으로 하는 퍼지 제어알고리즘을 개발하였다.

개발된 제어알고리즘을 냉방기와 실내모델로 구성된 자동차냉방시스템의 동적모델을 사용하여 성능을 분석하였으며 평가 결과 자동차CO<sub>2</sub>냉방시스템 제어에 효과적으로 사용할 수 있음을 확인하였다.

### 참고문헌

1. Hirao, T., Mizukami, H., Takeuchi, M., and Taniguchi, M., 2000, Development of air conditioning system using CO<sub>2</sub> for automobile, Mistubishi Heavy Industries, Nagoya R&D Center.
2. Han, D., and Jung, J., 2004, Effective dynamic models of a CO<sub>2</sub> automotive air-conditioning system for the control algorithm development, Proceedings of SAREK, pp. 813-818.
3. Han, D., and Jung, J., 2004, High-side pressure setpoint algorithm of a CO<sub>2</sub> automotive air-conditioning system by using fuzzy logics, Proceedings of SAREK, pp. 481-486.
4. Han, D., and Hwang, J., 2003, The partial fault detection of an air-conditioning system by the neural network algorithm using normalized input data, Korean Journal of the SAREK, Vol. 15, No. 3, pp. 159-165.
5. Han, D., 2005, Development of carbon dioxide mobile A/C system, Report of Ministry of Commerce, Industry and Energy.