

# 라그랑즈 보간법과 신경망을 이용한 CO<sub>2</sub> 자동차에어컨시스템의 고압설정알고리즘

한도영<sup>†</sup>, 노희전<sup>\*</sup>

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

## The High-side Pressure Setpoint Algorithm of a CO<sub>2</sub> Automotive Air Conditioning System by using a Lagrange Interpolation Method and a Neural Network

Doyoung Han<sup>†</sup>, Heejeon Noh<sup>\*</sup>

**ABSTRACT:** In order to protect the environment from the refrigerant pollution, 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 different because of CO<sub>2</sub>'s unique properties as a refrigerant. Especially, the high-side pressure of a CO<sub>2</sub> system should be controlled for the effective operation of the system. In this study, the high-side pressure setpoint algorithm was developed by using a neural network and a Lagrange interpolation method. These methods were compared. Simulation results showed that a Lagrange interpolation method was more effective than a neural network in the respect of its easiness of programming and shorter execution time.

**Key words:** Automotive air-conditioning system(자동차 냉방시스템), CO<sub>2</sub> refrigerant(이산화탄소 냉매), High-side pressure control(고압측압력 제어), Neural network(신경망), Lagrange interpolation(라그랑즈 보간법)

### 기호 설명

COP : 성능계수  
 $P_{set}$  : 최대효율고압 [bar]  
 $Q$  : 열전달량 [W]  
 $Rpm$  : 압축기 회전수 [rpm]  
 $T$  : 온도 [°C]  
 $W$  : 일 [J]

### 하첨자

comp : 압축기  
 eva : 증발기  
 ihx : 내부열교환기  
 in : 실내  
 out : 실외

### 1. 서론

환경오염에 따른 환경친화적인 자연냉매에 대한 관심이 높아지고 있으며 그중에서 이산화탄소는 환경친화적이고 열역학적 물성치가 우수하여

<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)

대체냉매로서 주목받고 있다.<sup>(1)</sup> 이산화탄소 냉매를 이용한 냉방 시스템은 냉매 특성상 냉방 사이클의 고압측이 초임계 상태에서 운전되어 일반냉매 냉방 사이클과 달리 시스템의 효율이 최대가 되는 고압측 운전조건이 존재한다.<sup>(2)(3)</sup>

따라서 본 논문에서는 실험을 통해 이산화탄소 냉방시스템의 최대효율고압측 데이터를 획득하여 실험데이터를 기반으로 한 고압설정알고리즘을 개발한 후 알고리즘의 효용성을 확인하는 것을 목적으로 한다.

## 2. 최대 효율 고압

### 2.1 시스템 고압 변화에 따른 시스템 효율

Fig. 1은 Table 1과 같은 시험조건에서 시스템 고압의 변화에 따른 CO<sub>2</sub> 자동차에어컨시스템의 정적성능시험 결과를 보여준다.

그림에서 보듯이 시스템고압이 90에서 110 bar로 증가함에 따라  $Q_{gc}$ ,  $Q_{eva}$ ,  $Q_{ihx}$ 와  $W_{comp}$ 는 감소하다가 감소의 폭이 줄었으며, 시스템의 효율은 102 bar에서 최대효율값을 갖는 것을 확인하였다. 따라서 시스템효율이 최대로 되는 최대효율 고압이 존재함을 알 수 있다.

Table 1 Experimental conditions used for a system high-side pressure test

	Outdoor air condition	Indoor air condition
Velocity	1 ~ 5 m/s	-
Flow rate	-	7 cmm
Temperature	35°C	25°C
Relative humidity	-	50%

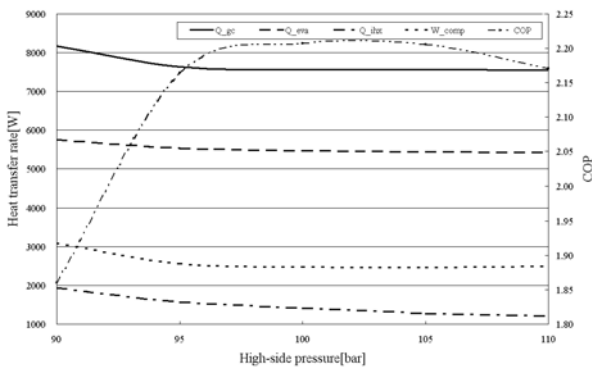


Fig. 1 Results from a system high-side pressure test.

### 2.2 최대 효율 고압의 주요 변수

시스템의 고압측 특성을 파악하기 위하여 Rpm,  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ 을 고정시킨 후 전자팽창밸브 개도량을 440에서 100스텝으로 10스텝씩 감소시켜 고압측 압력을 증가시키면서 시스템의 효율이 최대가 되는  $P_{set}$ 을 실험을 통해 얻은 후,<sup>(4)</sup> 그 결과 중 일부를 Fig. 2과 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 2에는 Rpm이 1500 rpm이고  $T_{in}$ 이 20, 25, 30°C일 때  $T_{out}$ 의 변화에 따른  $P_{set}$ 을 보여주며, Fig. 3은  $T_{out}$ 이 36°C이고  $T_{in}$ 이 20, 25, 30°C일 때 Rpm의 변화에 따른  $P_{set}$ 을 보여준다. 그림에서 알 수 있듯이  $P_{set}$ 은  $T_{out}$ 의 감소와  $T_{in}$ , Rpm의 증가에 따라 감소함을 알 수 있으며 특히  $P_{set}$ 의 주요변수로  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ , Rpm을 선정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

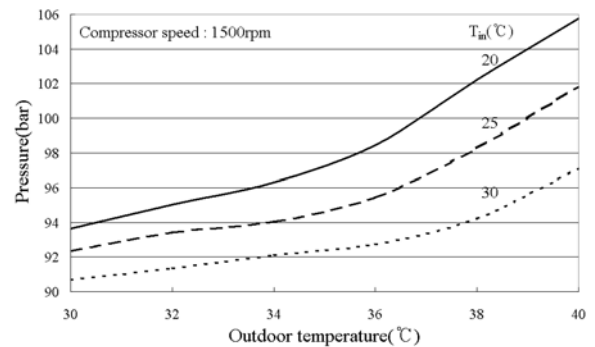


Fig. 2 Maximum COP high-side pressure. (Rpm = 1500 rpm)

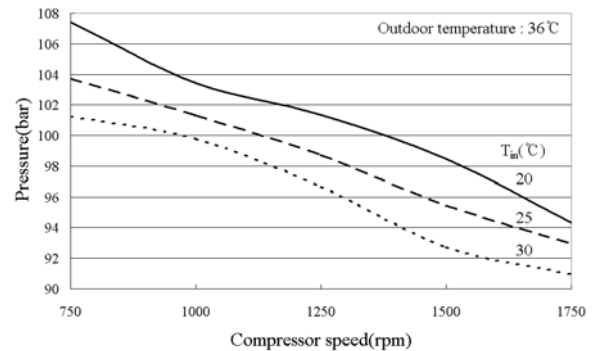


Fig. 3 Maximum COP high-side pressure. ( $T_{out} = 36^\circ\text{C}$ )

### 3. 신경망을 이용한 고압설정 알고리즘

입력변수  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ , Rpm으로부터 출력변수인  $P_{set}$ 을 산출하기 위하여 Fig. 4와 같은  $3 \times 8 \times 1$  구조의 다층신경망을 사용하였다.<sup>(5)(6)</sup> 입력층, 은닉층, 출력층의 활성화함수로 탄젠트 시그모이드함수, 로그 시그모이드함수, 선형함수를 사용하였고 학습알고리즘으로 역전파알고리즘을 사용하였다.

신경망을 학습시키기 위해 Table 2에 보여준 각각의 Rpm,  $T_{out}$ ,  $T_{in}$  조건에서 얻어진 Pset의 값을 사용하였으며 Table 3, Table 4, Table 5에는 그 결과인 신경망의 각종 가중치(Weighting factor)를 나타낸다.

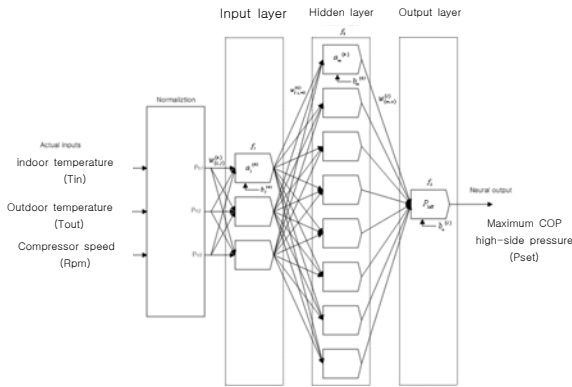


Fig. 4 Neural network.

Table 2 Simulation conditions

Rpm (rpm)	$T_{out}$ (°C)	$T_{in}$ (°C)	Rpm (rpm)	Rpm (rpm)	Rpm (rpm)	$T_{out}$ (°C)	$T_{in}$ (°C)	
750	30	20	1000	...	1500	1750	20	
		22.5					22.5	
		25					25	
		27.5					27.5	
		30					30	
	32	⋮					40	⋮
	34	⋮						
	36	⋮						
	38	⋮						
	40	⋮						

Table 3 Weighting factors for a input layer

$j$	$w_{(1,j)}^{(h)}$	$w_{(2,j)}^{(h)}$	$w_{(3,j)}^{(h)}$	$b_j^{(h)}$
1	-0.0296	-0.0388	-1.3550	-0.2732
2	-0.0289	-0.2479	0.2092	1.4050
3	0.0151	0.2261	-0.2149	-1.8489

Table 4 Weighting factors for a hidden layer

$m$	$w_{(1,m)}^{(k)}$	$w_{(2,m)}^{(k)}$	$w_{(3,m)}^{(k)}$	$b_m^{(k)}$
1	229.5835	-82.8651	-132.3402	-270.7501
2	-3.3027	1.4420	56.5713	-5.9887
3	-2.1884	-30.7911	-81.6345	-50.6612
4	257.3151	-153.6290	-84.2962	-158.2107
5	10.1130	52.7252	137.3081	88.6869
6	-9.5169	10.2966	48.3509	24.5157
7	164.9761	-38.2626	-35.0270	-157.1273
8	-4.7001	-74.7180	-193.4684	-117.1784

Table 5 Weighting factors for a output layer

$n$	$w_{(1,n)}^{(l)}$	$w_{(2,n)}^{(l)}$	$w_{(3,n)}^{(l)}$	$w_{(4,n)}^{(l)}$	
1	111.1050	-0.4418	-45.8638	-2.2979	
$n$	$w_{(5,n)}^{(l)}$	$w_{(6,n)}^{(l)}$	$w_{(7,n)}^{(l)}$	$w_{(8,n)}^{(l)}$	$b_n^{(l)}$
1	-9.8023	72.2720	-48.4757	22.9401	15.0769

### 4. 라그랑즈 보간법을 이용한 고압설정 알고리즘

주어진 Rpm에 대하여 입력변수  $T_{in}$ ,  $T_{out}$ 으로부터 출력변수  $P_{set}$ 을 산출하기 위하여 식(1), 식(2), 식(3)과 같은 라그랑즈 보간법을 이용한 2차 다항식을 사용하였다.<sup>(7)</sup> 다항식 알고리즘에서 요구되는  $c_{ij}$ 를 얻기 위해 Table 2와 같은 조건에서 얻어진 시험결과를 사용하였고, Table 6,

Table 7, Table 8에는 Rpm이 1000, 1250, 1500 rpm 일 때의 계산된  $c_{ij}$  값을 보여준다. 그 외의 Rpm에 대해서는 보간법을 사용하여  $P_{set}$  값을 계산하였다.<sup>(8)</sup>

$$P_{set} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m c_{ij} K_i(T_{in}) L_j(T_{out}) \quad (1)$$

$$K_i(T_{in}) = \prod_{\substack{k=0 \\ k \neq i}}^n \frac{T_{in} - T_k}{T_i - T_k} \quad (2)$$

$$L_j(T_{out}) = \prod_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^n \frac{T_{out} - T_l}{T_j - T_l} \quad (3)$$

Table 6  $c_{ij}$  for 1000rpm

$c_{ij}$ ( $\times 10^{-4}$ )	$j$						
	1	2	3	4	5	6	
$i$	1	-0.2750	1.3918	-2.8397	2.8728	-1.4785	0.3047
	2	1.0944	-5.5275	11.2056	-11.3756	5.8292	-1.2006
	3	-1.6335	8.2317	-16.5783	16.8900	-8.6167	1.7740
	4	1.0817	-5.4453	10.9956	-11.1739	5.6753	-1.1643
	5	-0.2686	1.3507	-2.7347	2.7719	-1.4015	0.2865

Table 7  $c_{ij}$  for 1250rpm

$c_{ij}$ ( $\times 10^{-4}$ )	$j$						
	1	2	3	4	5	6	
$i$	1	-0.2687	1.3619	-2.7658	2.8150	-1.4351	0.2968
	2	1.0637	-5.3878	10.9344	-11.1167	5.7072	-1.1792
	3	-1.5787	7.9917	-16.2083	16.4600	-8.5108	1.7568
	4	1.0411	-5.2767	10.6750	-10.8594	5.5778	-1.1513
	5	-0.2574	1.3064	-2.6361	2.6864	-1.3704	0.2829

Table 8  $c_{ij}$  for 1500rpm

$c_{ij}$ ( $\times 10^{-4}$ )	$j$						
	1	2	3	4	5	6	
$i$	1	-0.2601	1.3197	-2.6758	2.7347	-1.4194	0.2937
	2	1.0333	-5.2350	10.5767	-10.7728	5.5683	-1.1531
	3	-1.5393	7.7867	-15.6750	15.9100	-8.1883	1.6970
	4	1.0169	-5.1328	10.3422	-10.4556	5.3467	-1.1053
	5	-0.2519	1.2686	-2.5586	2.5761	-1.3086	0.2698

## 5. 고압설정알고리즘의 성능평가

신경망을 이용한 고압설정알고리즘과 라그랑즈 보간법을 이용한 고압설정알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 Rpm은 1500 rpm,  $T_{in}$ 은 20, 25, 30°C,  $T_{out}$ 은 30 ~ 40°C인 조건을 사용하였다. 신경망을 이용한 고압설정알고리즘에서의 출력과 시험데이터를 비교평가한 결과를 Fig. 5에 나타내었고, 라그랑즈 보간법을 이용한 고압설정알고리즘에서의 출력과 시험데이터를 비교평가한 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 신경망과 라그랑즈 보간법을 사용한 경우 모두 평균오차가 0.11 bar 이하로 매우 작아 시스템제어에 적절히 적용할 수 있음이 확인되었다.

신경망을 이용한 고압설정알고리즘의 경우 개발된 신경망 프로그램을 사용하여 알고리즘을 쉽게 구현할 수 있지만 제어기를 새로 개발할 경우 프로그램이 복잡하고 크기가 커서 실제 시스템에 적용하기에는 무리가 있는 반면에 라그랑즈 보간법을 사용한 고압설정알고리즘은 프로그램의 구현이 간단하여 실제 시스템에 적용하기에 상대적으로 유리하였다. 또한 Matlab을 기반으로 한 계산시간을 비교한 결과 신경망을 사용할 경우 0.203초, 라그랑즈 보간법을 사용할 경우 0.001초로 라그랑즈 보간법을 사용할 경우 계산시간을 대폭 축소시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

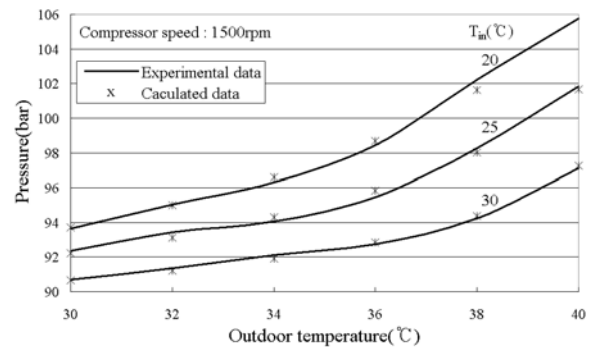


Fig. 5 Maximum COP high-side pressure from a neural network.

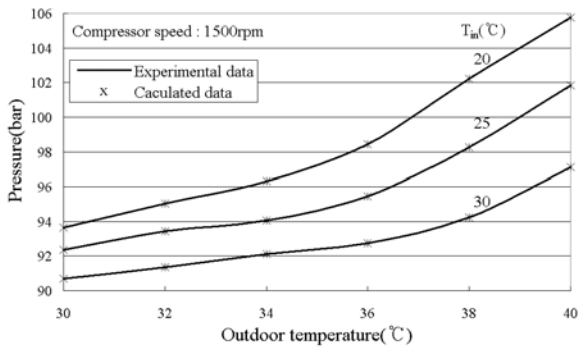


Fig. 6 Maximum COP high-side pressure from a Lagrange interpolation.

## 6. 결론

자동차 이산화탄소 냉방시스템의 효율이 최대 로 되는 고압측 압력을 설정하기 위해 신경망과 라그랑즈 보간법을 이용한 고압설정알고리즘을 개발한 후 상호 비교평가하였다.

신경망을 이용한 고압설정알고리즘에서는 실내 온도, 실외온도, 압축기속도를 입력변수로 하고 최대효율고압을 출력변수로 하는 입력층, 은닉층, 출력층으로 구성된 3×8×1 구조의 다층신경망을 사용하였고, 라그랑즈 보간법을 이용한 알고리즘에서는 실내온도, 실외온도를 입력변수로 하고 최대효율고압을 출력변수로 하는 2차다항식을 사용한 후 압축기속도에 대해서는 보간법을 사용하여 보간하였다.

신경망과 라그랑즈 보간법을 사용한 경우 모두 평균오차가 0.11 bar 이하로 자동차 이산화탄소 냉방 시스템제어에 적절히 적용될 수 있으나, 라그랑즈 보간법을 이용한 경우에는 신경망을 이용한 경우에 비해 프로그램이 용이하고 계산시간이 단축되어 시스템 제어에 보다 효과적으로 이용될 수 있음이 확인되었다.

## 참고문헌

1. Culter, B., and Hwang, Y. H., 2000, Comparison of automotive air-conditioning with CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> for automobile, Mistubishi Heavy Industries, Nagoya R&D Center.
3. Han, D., and Jang, K., 2006, Control algorithms for the effective operation of a CO<sub>2</sub> automotive air-conditioning system, Proceedings of SAREK, pp. 19-30.
4. 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.
5. Han, D., and Jang, K., 2006, Dynamic models and intelligent control algorithms for a CO<sub>2</sub> automotive air conditioning system. KSAE, Vol. 14, No. 4, pp. 49-58.
6. Han, D., and Jang, K., 2005, Intelligent algorithms for the effective control of high-side pressure and indoor air temperature of a CO<sub>2</sub> automotive air conditioner system, Proceedings of SAREK, pp. 480-485.
7. Han, D., and Jang, K., 2006, High-side pressure setpoint algorithm by using Lagrange interpolation, Proceedings of SAREK, pp. 33-37.
8. Steven, C., Raymond, C., 1998, Numerical methods for engineers, McGraw-Hill, pp. 485-490.