

## HFC152a, HFC134a, 프로판을 포함한 자동차용 대체/보충 냉매의 성능 평가

강 남 구, 배 근 환, 박 기 정\*, 정 동 수\*\*  
인하대학교 대학원 기계공학과, \*인하대학교 기계공학과

### Performance of HFC152a, HFC134a and HC290 Mixtures as Alternative Refrigerants for HFC134a

Namkoo Kang, Guenhwan Bae, Ki-Jung Park\*, Dongsoo Jung\*\*  
Graduate School, Inha University, Incheon 402-751, Korea

\*Department of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

(Received March 2, 2010; revision received April 1, 2010)

**ABSTRACT:** In this study, HFC152a, HFC134a/HFC152a and HC290/HFC134a/HFC152a mixtures are studied for the supplementary and alternative refrigerants for HFC134a used in automobile air-conditioners. Due to the high global warming potential of HFC134a, it has to be phased out in the long run. Thermodynamic performance of these refrigerants are measured in a bench tester of 3.5 kW capacity with an open type compressor under both summer and winter conditions. Test results show that the coefficient of performance (COP) and capacity of pure HFC152a and HFC134a/HFC152a mixture are 9.1~12% and 7% higher than those of HFC134a. As for the HC290/HFC134a/HFC152a, the COP is up to 9.5% higher than that of HFC134a with 1~2% of HC290 while that is up to 6.1% lower than that of HFC134a with 5% HC290. The capacity of the ternary mixture, however, is 8.6% higher than that of HFC134a at all compositions tested. The compressor discharge temperatures of all refrigerants tested are 6~10°C higher than that of HFC134a. For all refrigerants, the amount of charge is reduced up to 32% due to the decrease in liquid density. Overall, these refrigerants provide good performance with reasonable energy savings with less environmental problem and thus can be used as long term alternatives for automobile air-conditioners.

**Key words:** Alternative refrigerant(대체냉매), Automobile air conditioner(자동차 공기조화기), COP(성능계수), Capacity(냉동용량), HFC152a(냉매 152a), HC290(프로판)

#### 기 호 설 명

*COP* : 성능계수  
*GWP* : 지구 온난화 지수

*m* : 질량유량 [g/s]  
*ODP* : 오존층 파괴 지수  
*Q* : 냉동 능력 [W]  
*T* : 온도 [°C]

† Corresponding author

Tel.: +82-32-860-7320; fax: +82-32-868-1716

E-mail address: dsjung@inha.ac.kr

하첨자

*c* : 응축기

$e$  : 증발기  
 $w$  : 2차 유체  
 $dis.$  : 압축기 토출 부분

## 1. 서 론

지난 반세기 동안 냉동/공조기의 냉매로 널리 사용되어 온 염화불화탄소(CFC)들이 성층권의 오존층 붕괴의 주원인으로 밝혀짐에 따라, 1987년에 오존층 붕괴 물질의 생산 및 사용을 규제하기 위한 몬트리얼 의정서가 체결되었다.<sup>(1,2)</sup> 이 의정서에 따라 선진국들은 1996년 1월 1일부터 CFC를 전면 폐기하게 되었고 한국과 같이 개발도상국으로 분류된 국가들은 2010년 1월부터 전면 폐기하게 되었다.

이 같은 CFC 전폐로 인한 공백을 메우기 위해 지난 몇 년간 냉동/공조 산업계는 오존층 붕괴 지수(Ozone Depletion Potential, ODP)가 매우 낮거나 전혀 없는 단일 성분 냉매들을 개발하는데 주로 초점을 맞추어 연구 및 개발을 수행해 왔다. 그 결과 중압용 설비에는 HFC134a라는 대체냉매가 등장하게 되었는데 이 냉매는 증기압 및 성능 면에서 기존의 CFC12 냉매와 비슷해 큰 문제없이 현재까지 새로 생산되는 자동차 공조기나 냉장고 등의 설비에 적용되어 왔다.<sup>(3)</sup>

그러나 HFC134a는 지구 온난화 지수(Global Warming Potential, GWP)가 1430으로 매우 높아서 1997년도의 교토의정서에서 지구온난화가스로서 분류되어 규제를 받게 되었다.<sup>(4-6)</sup> 그러다가 최근에 유럽 연합은 2011년부터 신규 차량의 공조기에는 지구 온난화 지수가 150이하의 냉매만 사용할 수 있도록 법규를 제정하였고<sup>(7,8)</sup> 그 결과 전 세계 모든 자동차 공조기 업체들은 지구온난화지수가 150이하인 대체냉매를 발굴하기 위해 애를 쓰고 있다. 또한 중장기적으로 환경 보호를 위해 기존의 HFC134a용 자동차 공조기의 경우에도 가능하면 HFC134a보다 GWP가 낮은 보충냉매를 발굴하는 것이 필요하다.

HFC134a 냉매의 보충냉매나 대체냉매로 유용하려면 무엇보다도 기존의 압축기를 크게 개조하지 않고도 적용할 수 있어야 한다.<sup>(9)</sup> 이를 위해서는 대체냉매나 보충냉매가 HFC134a와 비슷한 증기압과 성능계수(Coefficient of Performance, COP)를 지녀야만 한다. 성능계수란 냉동효과를 압축기에서 필요로 하는 일로 나누어 준 수치이다. 성능계수가 클수록 냉동/공조기의 에너지 효율이 높은 것을 뜻하므로 대체냉매나 보충냉매의 성능계수가 높으면 지

구온난화를 완화시킬 수 있다. 한편, 공조기 설계 시 성능계수와 더불어 가장 중요하게 고려해야 할 변수는 체적능력(Volumetric Capacity, VC)이다. 체적능력은 단위 체적 당 냉동 효과를 의미하는데 이것은 증기압에 비례하며 압축기의 크기를 나타내 주는 변수이다. 대체냉매나 보충냉매가 기존 HFC134a 냉매의 냉동 능력을 낼 수 있다면 즉 체적능력이 비슷하다면 압축기를 바꾸지 않고도 공조기를 제조할 수 있어 매우 유리하다 할 수 있다.

최근 연구 동향을 살펴보면 HFC134a의 적절한 대체냉매로서 HFC134a와 비슷한 증기압과 체적능력을 가지고 동시에 GWP가 낮은 'HFC 순수냉매 및 혼합냉매'가 많이 연구되고 있다. 특히 HFC152a는 가연성 냉매이지만 자동차 공조기를 최적으로 설계한다면 가연성 냉매로 인한 위험성을 크게 감소시킬 수 있으며<sup>(10)</sup> GWP가 140으로 낮고 HFC134a와 비슷한 특성을 가지고 있어 환경 및 성능 측면에서 많은 관심을 받고 있다. Shin et al.<sup>(11)</sup>은 기존의 HFC134a를 작동유체로 사용한 공냉식 자동차 에어컨 시스템에 HFC152a를 적용하여 성능 평가를 수행하였다. 그 결과 HFC152a는 성능계수와 냉동용량이 HFC134a보다 각각 27~42%와 20~41% 증가함을 보였고 HFC134a를 사용하는 자동차 공조기의 윤활유 Polyalkylene glycol(PAG)와도 호환성이 높아 HFC134a의 대체 혹은 보충 냉매로 적당하다고 밝혔다. Baker et al.<sup>(12)</sup>은 실제 차량 에어컨 시스템에서 냉매 주입량을 HFC134a의 64% 정도로 줄여서 HFC152a의 성능을 측정하였다. 그 결과 HFC152a는 HFC134a를 사용한 자동차 에어컨 시스템에 비해 2~3% 정도 압축기 토출 온도 및 압력이 낮게 나타났으며 성능계수가 20% 정도 향상됨을 확인했다. Lee et al.<sup>(13)</sup>은 HFC134a를 대체하기 위해 HFC152a, HFC152a와 CF<sub>3</sub>I 혼합냉매를 선정된 후 자체 제작한 벤치시스템을 이용하여 실험을 수행하였고 그 결과 두 냉매의 최적의 냉매량, 압축기 회전속도, 외기온도 등을 밝히고 동시에 시스템의 성능계수 및 냉동 용량의 우수성을 밝혔다.

이와 같이 현재 순수 HFC152a를 HFC134a의 대체냉매로 사용하려는 시도는 이미 많이 이루어져왔다. 뿐만 아니라 HFC152a의 경우에는 Lee et al.<sup>(13)</sup>이 제시한 것처럼 순수 냉매로 HFC134a를 대체하는 한계를 극복하기 위해 다른 냉매와의 혼합을 통한 새로운 혼합 냉매들의 개발과 연구에도 이용될 것으로 사료된다. 특히 최근에 탄화수소 냉매인 프로판(HC290)의 환경적 우수성이 널리 알려지면서

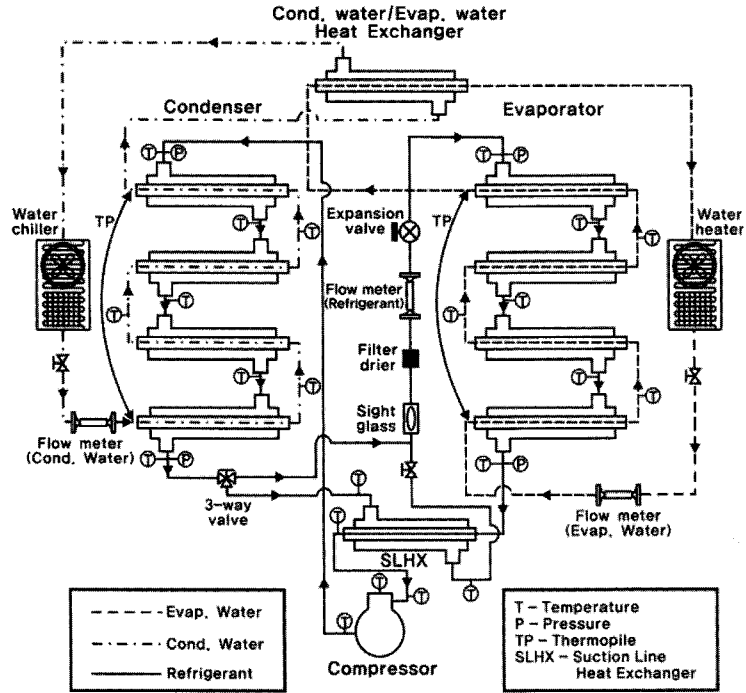


Fig. 1 Schematic diagram of the bench tester.

여러 공조기 작동유체의 혼합물의 한 성분으로 HC290 (Propane)을 사용하는 것이 제안되고 있다.<sup>(14-16)</sup> HC290 과 이를 혼합한 혼합냉매들의 우수성은 이미 많은 연구를 통해 증명된바 있다. Purkayastha and Bansal<sup>(17)</sup> 은 HC290을 작동유체로 한 15kW급 히트펌프에서 실험을 수행하여 HC290이 기존 냉매보다 성능계수가 18% 정도 향상됨을 보였고 Jung et al.<sup>(15,18)</sup>은 기존 공조용 냉매들을 대체하기 위한 연구를 수행하여 HC290의 혼합물이 그 냉매들을 대체할 수 있는 좋은 냉매임을 밝힌바 있다.

하지만 이러한 혼합냉매들이 성능 및 환경 측면에서 우수함에도 불구하고 여러 참고 문헌을 살펴 보면 아직까지 HFC134a 대체냉매로서 HFC152a와 HC290을 이용한 새로운 혼합 냉매를 적용하여 냉동 및 히트펌프 성능 및 HFC134a 대체 가능성을 살펴본 연구 사례는 거의 없다.

이에 본 연구에서는 지금까지 자동차 공조기의 냉매로 사용되어 온 HFC134a의 보충냉매와 대체냉매로 활용 범위와 연구 사례가 증가하고 있는 HFC152a와 '다량의 HFC152a에 소량의 HFC134a를 혼합한 2원 혼합냉매' 그리고 'HFC134a/HFC152a 2원 혼합냉매에 소량의 HC290을 섞은 3원 혼합냉매'를 선정하여 이것들의 성능을 살펴보고자 한다. 2원 혼합냉매를

실험하면 기존의 HFC134a 시스템에서 냉매를 제거하거나 혹은 HFC134a가 소량 남아 있는 상태에서 HFC152a를 충전하는 경우의 시스템 성능을 알 수 있다. 또 HC290을 소량 넣을 경우 냉매와 윤활유의 호환성과 용량의 증대를 이룰 수 있다. 앞으로는 자동차 에어컨 시스템이 겨울에도 난방을 감당할 필요가 있으므로 본 연구에서는 여름철 냉방조건과 겨울철 난방조건 하에서 이 냉매들의 성능을 측정하여 HFC134a의 대체 가능성 여부와 특성 등을 비교/분석하려 한다.

## 2. 실험장치

### 2.1 벤치 테스터 설계 및 제작

위의 연구 목표를 달성하기 위해 본 연구에서는 냉매와 물이 대향류를 이루며 흐르면서 외부조건을 균일하게 맞추어 줄 수 있는 벤치 테스터 장비를 설계하고 제작하여 여러 가지 대체냉매의 냉동용량, 성능계수, 압축기 토출 온도 등을 측정하고 비교, 분석 하였다. Fig. 1은 대체 혼합냉매를 실험하기 위해 Mulroy et al.<sup>(19)</sup>이 사용한 것과 비슷하게 설계한 벤치 테스터를 개략적으로 보여 준다. 본 실

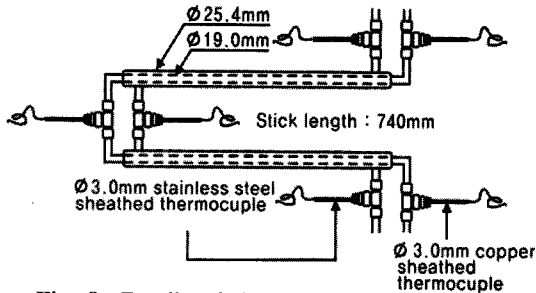


Fig. 2 Details of the evaporator connection.

험에서는 3.5 kW의 냉동용량의 벤치 테스트를 설계, 제작하였다.

Fig. 2는 본 실험에서 증발기로 사용한 열교환기를 보여 준다. 사용된 이중관 열교환기의 내관으로 2차 유체가 흐르도록 하였으며, 냉매는 내관과 외관 사이의 환상공간으로 흐르게 하였고, 열교환을 극대화시키기 위하여 대향류가 되도록 제작하였다. 한편 응축기는 상용 열교환기인 FW 1(미국 Doucette industries사 제작)을 사용하였다.

본 실험 장치의 압축기로는 실제 자동차 공조기용 압축기인 개방형 왕복동식 압축기(HCC/FORD의 FS10)를 전기 모터와 인버터에 연결하여 사용하였다. 응축기를 통과한 냉매가 완전히 과냉 되었는지 확인하기 위해 유리로 된 가시화 장치(Sight glass)를 설치하였으며 팽창밸브 전에 필터 드라이어를 설치하여 냉매 속에 있을지도 모르는 불순물이나 수분 등을 제거하였다. 그리고 미세조절이 가능한 수동식 팽창 밸브를 사용하여 증발기로 들어가는 냉매의 양과 압력을 조절하였다.

증발기의 2차유체로는 에틸렌글리콜이 혼합된 물/에틸렌글리콜 혼합물을 사용하였고, 응축기에는 물을 사용 하였다. 물의 온도를 일정하게 맞추기 위해 응축기와 증발기에는 칠러와 히터를 사용하였다.

## 2.2 데이터 측정

Table 1은 본 연구에서 적용된 측정 장치의 불확실도를 나타낸다. 증발기 및 응축기 내에서 냉매 및 물의 온도를 측정하기 위해 각각 20개 이상의 T-type 열전대를 열교환기 연결 부위의 냉매 및 물이 흐르는 관속에 삽입하였고, 모든 열전대들은 사용에 앞서 정도  $\pm 0.01^\circ\text{C}$ 의 정밀 온도계로 보정하였다. 증발기 및 응축기의 용량을 결정하기 위해서는 각 열교환기로 흐르는 2차 유체 측의 온도차를 정확히 측정해야 한다. 2차 유체 측의 온도차를 정확히 측정하

Table 1 Uncertainties of experimental parameters

Parameters	Uncertainty
Temp(RTD)	$\pm 0.01^\circ\text{C}$
Temp(Thermocouple)	$\pm 0.1^\circ\text{C}$
Pressure	$\pm 3.4\text{ kPa}$
Mass flow rate	$\pm 0.2\%$
Work(Wattmeter)	$\pm 0.5\%$

기 위해 입·출구의 열전대를 정밀 온도계로 보정한 뒤 물 측 입·출구에 삽입하여 직접 온도차를 측정하였다. 압축기의 안정성과 냉매의 혼합비에 따른 성능 변화를 살펴보기 위하여 압축기의 흡입 온도와 토출 온도도 측정하였다. 한편 증발기와 응축기의 입·출구에는 모세관을 삽입하여 압력 측정포트를 만들었고 정도가  $\pm 0.1\%$  미만인 정밀 압력 변환계를 이용하여 냉매측 압력을 측정하였다. 압축기의 소요 동력은 토크 미터를 이용하여 측정하였다. 냉동기의 용량을 정확히 결정하기 위해서는 증발기 측 2차 유체의 질량유량을 정확하게 측정해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 점도나 밀도 등 유체의 물성치에 영향을 받지 않고  $\pm 0.2\%$ 의 고정도를 갖는 질량 유량계를 이용하여 증발기 측 2차 유체의 유량을 정확하게 측정하였다. 끝으로 온도, 압력, 유량 등의 데이터는 PC와 데이터 로깅 시스템(HP3852A)을 상호 연결하여 수집하였으며, 이렇게 수집한 데이터는 PC의 하드디스크에 저장하여 추후에 데이터 해석을 위한 프로그램을 이용하여 분석하였다.

## 2.3 실험 조건 및 방법

냉매의 성능들을 정확하게 비교하기 위해서는 실험을 동일한 조건 하에서 데이터를 취해야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 실제의 자동차 공조기내의 열교환기 입구의 온도와 유사한 온도를 설정하였으며, 2차 유체의 유량을 일정하게 하였다. 또한 압축기의 회전수를 동일하게 고정하여 모든 실험을 진행하였다.

Table 2는 본 연구에서 적용된 2차 유체의 입구 온도와 유량 조건을 나타낸다. 2차 유체의 증발기와 응축기 온도조건은 실험냉매의 냉난방 조건(7/45, -7/41)을 만족시키기 위함이고 유량은 고정된 3.5 kW 냉동용량 실험을 하기 위해 실험조건을 설정하였다. 한편 본 실험에서 증발기 출구의 과열도와 응축기 출구의 과냉도를 각각  $5^\circ\text{C}$ 로 그리고 그 편차는  $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 로 유지했다.

Table 2 Test conditions in the study

Test condition	$T_{e,w}$ (°C)	$T_{c,w}$ (°C)	$m_{e,w}$ (g/s)	$m_{c,w}$ (g/s)
A (Summer cooling)	27	29	80	128
B (Winter heating)	7	29	89	124

Table 3 Refrigerants tested in this study

Ref. No.	Refrigerant (Mass fraction)	GTD (°C)	GWP
1	HFC134a	0	1430
2	HFC152a	0	140
3	10%HFC134a/90%HFC152a	<0.1	269
4	20%HFC134a/80%HFC152a	<0.1	398
5	30%HFC134a/70%HFC152a	<0.1	527
6	1%HC290/10%HFC134a /89%HFC152a	2.1	268
7	2%HC290/10%HFC134a /88%HFC152a	3.9	266
8	5%HC290/10%HFC134a /85%HFC152a	7.6	262

실험 방법은 다음과 같다.

- (1) 먼저 냉매 주입구에 진공펌프를 연결하여 약 2시간가량 작동시켜 시스템의 내부를 완전히 진공(2 kPa이하)으로 만든다.
- (2) 2차 유체의 온도를 제어하는 칠러와 히터를 작동시킨 상태에서 0.1 g의 정도를 지닌 정밀 전자저울을 사용하여 냉매를 조금씩 주입한다.
- (3) 과열도와 과냉도를 각각 팽창밸브와 냉매 충전량을 조절하여 5°C로 맞춘다.
- (4) 위에서 언급한 2차 유체 부하조건에 맞추어 실험을 수행한다.
- (5) 시스템이 60분 이상 정상 상태를 유지할 때 30초 간격으로 30분 이상 데이터를 취한다.

2.4 실험 냉매 조성 및 윤활유 선정

본 연구에서는 기준 냉매로서 HFC134a와 HFC 냉매 중 GWP가 낮은 HFC152a의 성능을 먼저 측정하고 HFC134a에 HFC152a를 포함한 근공비 혼합냉매를 선택하여 성능을 측정하였다.<sup>(20)</sup> 또한 여기에 탄화수소 자연냉매인 HC290(Propane)을 포함

한 3원 혼합냉매의 성능도 측정하였다. 실험을 수행한 여러 가지 혼합냉매의 물성치는 미국의 표준 연구소에서 개발한 REFPROP 8.0<sup>(21)</sup>을 이용하여 구하였다.

Table 3은 본 연구에서 실험을 수행한 냉매들의 조성과 온도 구배(Gliding Temperature Difference, GTD), GWP를 나타낸다. 압축기에 들어가는 윤활유는 냉매와 혼합되어 시스템 내부에서 순환하기 때문에 대체냉매의 성능평가 시 올바른 윤활유를 선정하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 가능한 기존의 압축기나 윤활유를 바꾸지 않고 HFC134a를 대체할 수 있는 ‘Drop-in’ 대체냉매를 선정하는데 초점을 맞추었으므로, 모든 실험냉매에 대해 기존의 HFC134a와 함께 사용되어 온 PAG 오일을 그대로 사용하였다.

3. 열역학 사이클 시뮬레이션

대체냉매 실험에 앞서 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 실험 결과를 예측하고 분석, 검토하는 것은 종종 중요하다. 따라서 본 연구에서는 미국 표준 연구소(NIST)에서 개발한 증기 압축식 냉동 사이클 분석 프로그램인 Cycle-D<sup>(22)</sup>를 이용해 본 실험의 운전조건과 압축기 효율 및 압력강하 조건을 적용하여 이번 연구를 수행할 순수냉매와 혼합냉매의 성능계수(COP)와 압축기 토출 온도를 수치적으로 예측하였다. Fig. 3~Fig. 4는 Cycle-D로 계산한 결과를 보여 준다.

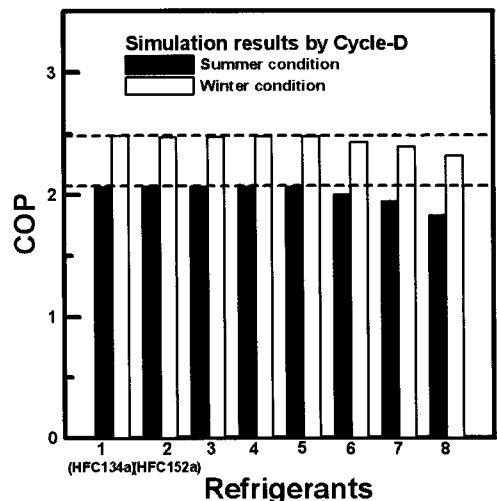


Fig. 3 Calculated COPs of various refrigerants under two conditions.

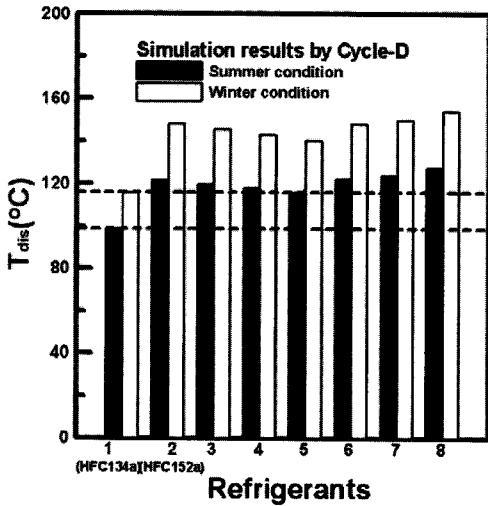


Fig. 4 Calculated discharge temperatures of various refrigerants under two conditions.

여름철, 겨울철 두 조건에서 HFC152a와 HFC134a/HFC152a 2원 혼합냉매의 성능계수는 HFC134a의 성능계수와 거의 비슷했지만 HC290/HFC134a/HFC152a 3원 혼합냉매의 성능계수는 HC290의 양이 증가할수록 HFC134a에 비해 일정하게 감소하는 것으로 나타났다. 또한 압축기 토출 온도는 HFC134a에 비해 모든 실험냉매가 높은 값을 나타냈다. HFC134a/

HFC152a 2원 혼합냉매의 경우 HFC152a의 양이 증가할수록 압축기 토출 온도가 감소하는 경향을 보였고 HC290을 포함한 3원 혼합냉매의 토출온도는 HC290의 양이 증가할수록 일정하게 증가하는 경향을 보였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 개방형 왕복동식 압축기를 사용하는 수냉식 벤치 테스터에서 HFC134a, HFC152a와 여섯 종류의 혼합냉매 성능을 냉방과 난방 두 조건에서 측정하였다. 모든 냉매들에 대해 최소한 2번씩 반복 실험을 수행해서 각각의 편차가 1% 미만인 것을 확인한 후 데이터로 간주했다. Table 4는 본 연구에서 사용한 냉매들의 성능계수, 냉동용량, 압축기 토출온도, 냉매 충전량 등을 보여 준다.

##### 4.1 성능계수

Fig. 5는 냉방과 난방 조건에서 실험을 수행한 냉매들의 성능계수를 보여 준다. Fig. 5에서 볼 수 있듯이 순수 냉매인 HFC152a는 HFC134a에 비해 약 3.5~12.0% 정도 높은 성능계수를 보였고 HFC134a/HFC152a 2원 혼합냉매 역시 모든 조성비에서 HFC134a

Table 4 Summary of test results for various refrigerants

No	Refrigerant	Condition A (Summer cooling)						Condition B (Winter heating)							
		COP	diff. (%)	Qe (W)	diff. (%)	Tdis. (°C)	Charge (g)	Pe/Pc (kPa)	COP	diff. (%)	Qe (W)	diff. (%)	Tdis. (°C)	Charge (g)	Pe/Pc (kPa)
1	HFC134a	1.99		3457		74.9	1110	401/1154	2.64		3244		76.3	1200	239/1008
2	HFC152a	2.23	12.0	3718	7.6	81.5	810	336/1023	2.73	3.5	3301	1.8	84.8	900	209/898
3	10%HFC134a / 90%HFC152a	2.16	8.8	3700	7.0	81.7	800	340/1034	2.73	3.7	3310	2.0	83.6	920	207/897
4	20%HFC134a / 80%HFC152a	2.17	9.1	3658	5.8	81.8	870	333/1036	2.71	2.8	3273	0.9	85.4	950	206/901
5	30%HFC134a / 70%HFC152a	2.15	8.4	3627	4.9	80.8	870	338/1043	2.73	3.7	3250	0.2	86.2	980	208/912
6	1%HC290/10% HFC134a / 89%HFC152a	2.18	9.5	3753	8.6	82.0	820	348/1054	2.74	4.0	3378	4.1	86.8	920	210/938
7	2%HC290/10% HFC134a / 88%HFC152a	2.09	5.3	3751	8.5	81.7	770	356/1092	2.73	3.4	3462	6.7	87.3	920	214/976
8	5%HC290/10% HFC134a / 85%HFC152a	1.94	-2.4	3756	8.6	80.9	750	403/1182	2.48	-6.1	3473	7.0	88.0	750	241/1107

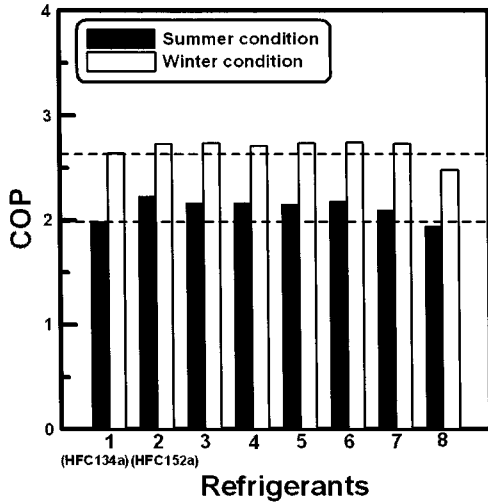


Fig. 5 COPs of various refrigerants under two conditions.

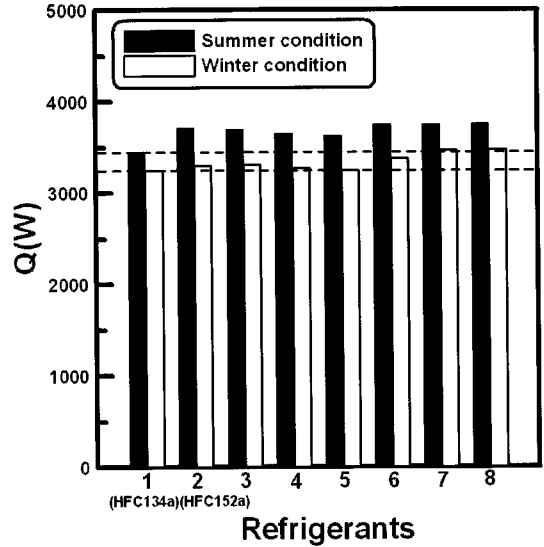


Fig. 6 Capacities of various refrigerants.

에 비해 약 2.8~9.1% 정도 높은 성능계수를 보였다.

또한 HC290/HFC134a/HFC152a 3원 혼합냉매의 경우 HC290이 1~2% 섞였을 때는 성능계수가 HFC 134a보다 3.4~9.5% 높았지만 5%로 섞였을 때는 오히려 2.4~6.1% 낮아졌다. 따라서 많은 양의 HC 290을 섞는 것은 바람직하지 않은 것으로 보인다.

특히 1%HC290/10%HFC134a/89%HFC152a 3원 혼합냉매는 모든 조건에서 9.5%와 4.0%의 가장 높은 성능계수를 보였다.

#### 4.2 냉동용량

대체냉매의 용량이 기준 냉매의 용량과 많은 차이를 보이면 압축기를 완전히 다르게 설계해야 하므로 설비 제조업체들의 제조비용이 증가할 것이다. 이러한 이유 때문에 냉동용량은 성능계수만큼 중요한 파라미터로 여겨진다. Fig. 6은 동일한 압축기를 사용하여 냉방과 난방 조건에서 얻은 실험 냉매들의 냉동용량을 보여 준다. Fig. 6에서 볼 수 있듯이 순수 HFC152a는 HFC134a에 비해 1.8~7.6% 정도의 냉동용량 향상을 보였고 HFC134a/HFC152a 2원 혼합냉매들 역시 모든 조성비에서 HFC134a에 비해 0.2~7.0% 정도 높은 냉동용량을 보였다.

또한 HC290/HFC134a/HFC152a 3원 혼합냉매의 경우 실험을 수행한 모든 조성비에서 냉동용량이 HFC 134a보다 4.1~8.6% 정도 높았다. 이 같은 결과를 토대로 본 연구에서 실험한 냉매들은 냉동용량 측

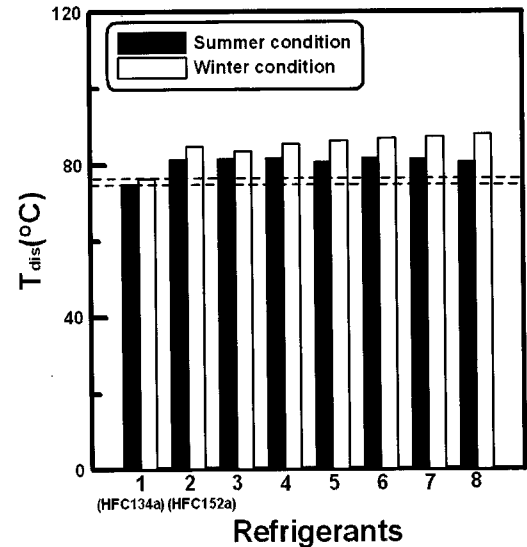


Fig. 7 Discharge temperatures of various refrigerants under two conditions.

면에서도 압축기를 거의 개조하지 않고 HFC134a를 대체할 수 있을 것으로 보인다.

#### 4.3 압축기 토출 온도

대체냉매를 적용할 때는 시스템의 수명이나 윤택 유 및 냉매의 안정성 등을 반드시 고려해야 하는데 압축기의 토출 온도는 이런 특성을 알려주는 간접

적인 지표가 된다. Fig. 7은 실험에 사용된 냉매들의 압축기 토출 온도를 보여 준다. Fig. 7에서 볼 수 있듯이 실험에 사용된 냉매들의 압축기 토출 온도는 모든 온도 조건과 모든 냉매 조성에서 HFC134a와 비교하여 6~10°C 정도 상승하지만 시스템의 수명이나 신뢰성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다. 이러한 결과로 미루어 볼 때 실험한 냉매들은 윤활유 및 냉매의 안정성에 관해 큰 문제점이 없을 것으로 판단된다.

#### 4.4 냉매 충전량

본 연구에서는 응축기 끝부분의 과냉도와 증발기 끝부분의 과열도가 각각 5°C가 될 때의 충전량을 적정 충전량으로 결정하였고 Table 4의 충전량은 이 값들을 나타낸다. Table 4에서 볼 수 있듯이 실험을 통해 얻은 실험 냉매들의 충전량이 27~32% 정도 감소하는 것으로 나타났다. 이는 실험에 사용한 냉매들의 특유의 저밀도 액체 특성에 의거한 것으로 사료된다.<sup>(23)</sup> 냉매의 대기 중 방출량은 충전량에 비례하므로 충전량의 감소는 지구 온난화 방지에 도움이 될 것이다. 또한 이 냉매들의 GWP는 HFC134a와 비교하여 매우 작으므로 역시 지구 온난화 완화에 큰 기여를 할 것이다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 현재 자동차 공조기의 냉매로 사용되는 HFC134a의 보충냉매와 대체냉매로 쓸 수 있는 HFC152a와 소량의 HFC134a와 다량의 HFC152a를 혼합한 2원 혼합냉매, 그리고 HFC134a/HFC152a 2원 혼합냉매에 소량의 HC290을 섞은 3원 혼합냉매의 성능을 벤치 테스터에서 냉방과 난방 조건에서 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) HFC152a는 냉난방 실험 조건에서 HFC134a에 비해 최대 12.0% 정도의 성능계수 증대와 7.6%의 냉동용량 증대를 나타냈다.
- (2) HFC134a/HFC152a 2원 혼합냉매는 냉난방 조건에서 HFC134a에 비해 최대 9.1% 정도의 성능계수 증대와 7.0% 정도의 냉동용량 증대를 나타냈다.
- (3) HC290/HFC134a/HFC152a 3원 혼합냉매의 경우 HC290의 조성이 1~2%일 때에는 성능계수가 HFC134a보다 최대 9.5% 높았지만 5%

일 때에는 오히려 2.4~6.1% 정도 낮았다. 따라서 많은 양의 HC290을 섞으면 성능의 저하가 생김을 알 수 있었다. 1%HC290/10% HFC134a/89%HFC152a 3원 혼합냉매는 두 조건에서 성능계수가 HFC134a에 비해 4.0~9.5% 정도 높게 나타났다. 이것은 이번에 실험한 모든 냉매들 가운데 가장 좋은 결과이다. 또한 이 조성에서 냉동용량은 두 실험 조건에서 HFC134a에 비해 최대 8.6% 높았다.

- (4) 이번에 실험한 모든 냉매들의 압축기 토출 온도는 HFC134a와 비교하여 6~10°C 정도 높았지만 이 정도의 토출 온도 상승은 시스템의 수명이나 신뢰성에는 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.
- (5) 이번에 실험한 모든 냉매들의 충전량은 액체 밀도의 감소로 인해 HFC134a보다 최대 32%까지 감소하였다.

#### 후 기

본 연구는 인하대학교의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

1. United nations environment programme, 1987, Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer, Final act, New York, United Nations.
2. United nations environment programme, 2002, Production and consumption of ozone depleting substances under the montreal protocol 1986~2000, Ozone secretariat, UNEP, Nairobi, Kenya.
3. Dupont fluorochemicals, 1988, Disassembly and inspection of compressor in laboratory refrigerator charged with R-134a, Report NIST-13, E. I. Dupont de nemours and company incorporated, Wilmington, DE, USA.
4. Global environmental change report, 1997, A brief analysis of the kyoto protocol, Vol. IX, No. 24.
5. Intergovernmental panel on climate change, 1996, Climate change 1995 : the science of climate change, Cambridge university Press, p. 22.
6. Tasi, W. T., 2005, An overview of environmental hazards and exposure and explosive



- risk of hydrofluorocarbon HFCs, *Chemosphere* Vol. 61, pp. 1539-1547.
7. Directive 2006/40/EC of the european parliament and of the council, 2006, Official journal of the european union, Vol. 14. No. 6.
  8. Horrocks, P., 2006, EU F-Gases regulation and MAC directive, ECCP-1 Review, European commission environment directorate, Brussels, Belgium, 01.03.06.
  9. Jetter, J., 1996, Evaluation of alternatives for HFC-134a refrigerant in motor vehicle air conditioning, Proceedings of the international conference on ozone protection technologies, Washington, DC, pp. 845-854.
  10. Park, K. J., Woo, S. G. and Jung D., 2007, Lower flammability limits of flammable refrigerants according to ASTM E681-04 standard, *SAREK*, Vol. 19, No. 10, pp. 726-734.
  11. Shin, J. S., Park, W. G. and Kim, M. H., 2008, Test results of refrigerant R152a in a mobile air-conditioning system, *Int. j. air-conditioning and refrigeration*, Vol. 16, pp. 44-50.
  12. Baker, J., Ghodbane, M., Scherer, L. Kadle, P. and Hill, W., 2003, R-152a refrigeration system for mobile air conditioning, *SAE*, 2003-01-0731.
  13. Lee, J. I., Kwon, I. W. and Ha, O. N., 2003, A study on the characteristics an azeotropic mixture combined with CF<sub>3</sub>I and a refrigerant for air-conditioner HFC-152a and HFC-152a, *Int. j. air-conditioning and refrigeration*, Vol. 11, pp. 140-149.
  14. Kruse, H., 1996, The state of the art of the hydrocarbon technology in household refrigeration, Proc. of the int. conferences on ozone protection technologies, Washington, DC, pp. 179-188.
  15. Jung, D., Kim, C., Song, K. and Park, B., 2000, Testing of propane/isobutane mixture in domestic refrigerators, *int. j. refrigeration*, Vol. 23, pp. 517-527.
  16. Int. energy agency's heat pump center, Informative fact sheet, 2002, Hydrocarbons as refrigerants in residential heat pumps and air-conditioners.
  17. Purkayastha, B. and Bansal, P. K., 1998, An experimental study on HC290 and a commercial liquefied petroleum gas(LPG) mix as suitable replacements for HCFC22, *Int. j. refrigeration*, Vol. 21, pp. 3-17.
  18. Jung, D., Park, B. and Lee, H., 1999, Evaluation of supplementary/retrofit refrigerants for automobile air-conditioners charged with CFC12, *Int. j. refrigeration*, Vol. 22, pp. 558-568.
  19. Mulroy, W., Kauffeld, M., McLinden, M. O. and Didion, D. A., 1988, Experimental evaluation of two refrigerant mixtures in a bread-board air conditioner, Proc. of int. inst. refrigeration, Purdue conference on CFCs, Commissions B1, B2, E1 and E2, pp. 27-34.
  20. Didion, D. A. and Bivens, D. B., 1990, Role of refrigerant mixtures as alternatives to CFCs, *Int. j. refrigeration*, Vol. B, pp. 163-175.
  21. Lemmon, E. W., Huber, M. L., McLinden, M. O., 2007, NIST Reference fluid thermodynamics and transport properties, REFPROP version 8.0.
  22. Domanski, P. A., Didion, D. A. and Chi, J., 2003, NIST Vapor compression cycle design program, CYCLE-D version 3.0.
  23. Maclaine-cross, I. L. and Leonardi, E., 1997, Why hydrocarbons save energy?, *Australian AIRAH journal*, Vol. 51, pp. 33-37.