

# HFC152a 대체냉매를 이용한 자동차 냉방장치의 성능 최적화에 관한 연구

## Study of Performance Optimization as an Alternative Refrigerant HFC152a in a Mobile Air Conditioning System

이대웅(Daewoong Lee)<sup>†</sup>

한라비스테온공조 연구본부

Research Division, Halla-Visteon Climate Control Corp., 95 Sinilse-ro, Daedeok-gu, Daejeon, 306-230, Korea

(Received January 24, 2015; revision received April 20, 2015; Accepted: May 12, 2015)

**Abstract** This study presents an HFC152a refrigerant air conditioner as an alternative to HFC134a, which is currently used in mobile air conditioning systems. Cool-down performance tests of an HFC152a air conditioning system were conducted and compared to a baseline HFC134a air conditioner. The experimental set-up consisted of a belt-driven compressor, a sub-cooled type condenser, an evaporator, and a block-type thermal expansion valve (TXV). A drop-in test was carried out on the mobile air conditioning system under various vehicle running speeds in a climate-controlled wind tunnel (CWT). Additionally, to optimize the HFC152a air conditioning system, the effects of the TXVs on the performance were studied. The results show that compared to the HFC134a air conditioning system, the refrigerant charge quantity was reduced by approximately 20%, the discharge pressure was reduced by about 350~430 kPa, and the air discharge temperature at vehicle running conditions was 0.5~1.5°C lower. In addition, good compressor durability was expected due to the lower compression ratio.

**Key words** Alternative refrigerant(대체냉매), Climate-controlled wind tunnel(환경제어풍동), Cool-down performance(최대냉방 성능), Mobile air conditioner(자동차용 냉방장치), Refrigerant charge quantity(냉매 충전량)

<sup>†</sup> Corresponding author, E-mail: [dlee6@hvccglobal.com](mailto:dlee6@hvccglobal.com)

### 기호설명

$P$  : 압력 [kPa]

$T$  : 온도 [°C]

### 하첨자

$d$  : 토출

$s$  : 흡입

## 1. 서 론

최근 소득수준의 향상과 선진국형 생활구조로의 전환, 산업의 급격한 발달로 인하여 자동차 산업에서도 환경적인 요소가 매우 중요하게 대두되고 있다. 특히 오존층 파괴(Ozone Depletion Potential, ODP)와 지구 온난화에 대한 관심이 높아지면서 유럽연합의회는 2017년부터는 지구 온난화 지수(Global Warming Potential, GWP)가 150 이상인 냉매를 사용하는 자동차의 판매 및

운행금지 법안을 통과시켰다.<sup>(1, 2)</sup> 이에 대한 산업계의 대응방안으로 첫 번째는 냉매의 누출 및 냉매 충전량을 줄이고 효율을 향상시켜 이산화탄소 배출량을 감소시키는 한편, 근본적인 대응방안으로 현재의 HFC134a 냉매를 지구 온난화 지수가 낮은 냉매로 교체하는 것이다. 따라서 여러 국가에서 지구 온난화 지수가 낮은 R1234yf 냉매를 대체냉매 시스템으로 지목하여 많은 연구가 진행되었지만, 냉매의 생산원가가 높아 차량의 확대 적용에 어려움을 겪고 있다. 한편 독일 자동차공업협회(VDA)를 위주로 한 일부 카 메이커는 여전히 천연 냉매인 R744 냉매 시스템을 고집하고 있으며, 또 다른 일부에서는 R1234yf 냉매를 Base로 한 혼합냉매를 사용하려는 시도들이 있다.<sup>(3, 4)</sup>

HFC134a와 유사한 열역학적 특성을 가지고 있는 HFC152a 냉매는 기존의 HFC134a 냉방 구성부품을 변경하지 않고 그대로 사용할 수 있고, 냉동기유와의 상용성이 우수하며, 냉방성능의 향상과 소모동력의 저

감, 성능계수가 우수한 장점이 있는 대체냉매중의 하나이다.<sup>(5)</sup>

Ghodbane<sup>(6, 7)</sup>은 자동차 냉방장치의 대체냉매로서 HFC152a와 탄화수소계 냉매를 이용하여 냉방성능을 시뮬레이션 하였고, 대체냉매를 사용한 이차 회로(dual loop) 시스템에서의 냉방성능을 비교하였다. 또한 지구 온난화의 직접적인 원인으로 냉매의 누설과 간접적인 원인으로 냉방장치가 작동시 소비되는 에너지에 원인이 있다고 밝혔다.

Baker et al.<sup>(8)</sup>은 자동차용 냉방장치의 대체냉매로서 HFC152a를 적용하여 실차 상태에서 성능 실험을 하였다. 기존 HFC134a 냉방장치 대비 팽창밸브, 건조제를 변경하였고, 냉매누설 감지센서(sensor) 및 안전밸브(relief valve)를 고압측과 저압측에 설치하고, 냉매 주입량을 HFC134a 냉매 주입량의 64% 정도 주입하여 시험한 결과, 화염으로부터의 안전성에도 큰 문제가 없으며, HFC134a 냉방장치 대비 실내 온도가 2~3℃ 우수하고, 압축기의 토출과 흡입 압력이 낮고, 성능계수는 향상하였다.

Hill et al.<sup>(9)</sup>은 여러 대체냉매의 생애주기 분석(life cycle analysis)을 여러 도시의 주행패턴에 따라 분석한 결과, 이산화탄소 직접배출(direct emission)은 HFC152a가 우수한 것으로 나타났다.

HFC152a는 약 가연성 냉매지만, 자동차 공조장치에서 실내누출에 대비한 설계, 또는 HFC152a와 혼합냉매로 사용하는 방법으로 가연성으로 인한 위험성을 크게 낮출 수 있고, 지구온난화 지수가 140으로 환경규제를 만족하며, HFC134a와 비슷한 특성을 가지고 있어 환경 및 성능 측면에서 유리하다. 또한 기존의 자동차 공조장치의 냉동기유(Polyalkylene Glycol, PAG)와 호환성이 우수하기 때문에 HFC134a의 대체냉매로 적당하다고 밝혔다.<sup>(10-12)</sup>

따라서 본 연구에서는 자동차용 대체냉매로서 HFC 152a를 냉방장치에 Drop-in하여 환경제어풍동(Climat control Wind Tunnel, CWT)에서 주행조건을 변화하면서 실차 냉방성능을 HFC134a 냉방장치와 비교하였다. 또한 HFC152a 냉매 시스템에서 팽창밸브 설정 값을 변경하여 냉방성능에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다.

## 2. 시험장치 및 방법

### 2.1 환경제어풍동

Fig. 1은 시험에 사용된 환경제어풍동의 개략도와 제어범위를 보여주고 있다. 환경제어풍동은 차량의 주행은 물론이고, 주행속도와 동일하게 주행풍을 모사할 수 있고, 보일러와 냉동기, 스팀 발생기가 구비되어 다

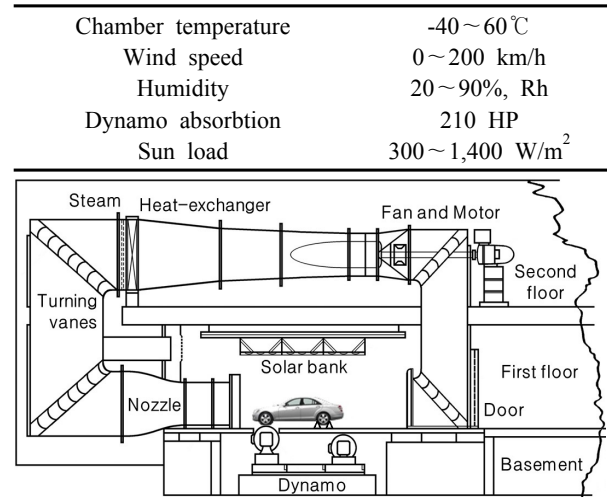


Fig. 1 Specifications and schematic of CWT.

양한 기후 환경을 모사할 수 있다. 특히 환경제어풍동의 천정에는 인공광원이 설치되어 태양에 의한 일사부하를 고려할 수 있다. 냉방장치가 장착된 시험 차량이 200 km/h까지 주행할 수 있는 동력계(dynamometer)위에서 주행을 하면, 모터에 의해 구동되는 송풍기는 자동차의 주행속도와 동일한 풍속으로 회전하고, 터닝 베인(turning vanes)을 지나, 노즐(nozzle)로 자동차 전면 에 온도, 습도가 일정한 균일 풍속을 공급하게 되며, 차속은 타코미터의 신호에 의해 자동적으로 제어된다. 이와 같이 시험 차량을 지난 공기는 다시 터닝 베인을 통하여 송풍기로 재순환되고 온도와 습도가 보정되어 재공급되는 과정을 반복하게 된다.

냉방성능 시험은 외기온도가 43.3℃, 일사량 1,000 W/m<sup>2</sup>에서 차량을 방치 후 차 실내 평균 온도가 60℃에 도달하였을 때, 냉방장치를 작동하며, 공조장치는 최대 송풍량에 내기순환, 최대냉방, 얼굴(vent)로 토출되는 모드이다. 상세한 시험조건은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Test conditions of cool-down performance in vehicle air conditioner

Environment	Ambient temp.	43.3±2℃
	Relative humidity	40±2%
	Sun load	1,000 W/m <sup>2</sup>
Air handling system	Air intake door	Recirculation
	Mode door	Vent
	Temp. door	Max. Cool
	Blower speed	Max. High
Driving condition		48 km/h, 30 min
		64 km/h, 30 min
		96 km/h, 30 min
		Idle, 30 min

Table 2 Air conditioning system components in vehicle test

Condenser	Type : Sub-cooled, 35 tubes Size : 513 W×350 H×18 t
Evaporator	Type : Laminator Size : 235 W×210 H×60 t
Compressor	Type : Swash plate, HS-15 model
Thermal expansion valve	#1 : 147 kPa at 0°C, 250 kPa at 10°C #2 : 127 kPa at 0°C, 230 kPa at 10°C

## 2.2 최대 냉방성능 시험

차 실내 평균 온도를 측정하기 위하여 차량의 전석과 후석의 가슴부위와 발 부위에 각각 8개씩의 T형 열전대를 설치하여 온도를 측정하였다. 또한 공조장치에서 토출되는 공기온도를 측정하기 위하여 각 토출구마다 열전대를 설치하였으며, 압축기의 토출압력과 흡입압력, 응축기와 증발기 입구와 출구의 냉매 온도도 측정하였다. 사용된 T형 열전대의 측정 오차는  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 이다. 또한 차량의 주행속도와 엔진회전수, 공조장치의 송풍기 모터에 공급되는 전압과 전류를 각각 측정하였다.

시험은 먼저 차량에서 HFC134a 냉매 시스템에 대하여 냉방성능 평가한 다음, 동일한 시료를 깨끗이 세척한 후, HFC152a 냉매로 변경하여 성능을 비교하였다. 이때 냉동기유는 압축기의 초기무게를 측정하여 부족한 만큼 보충을 하였다. 시험차량은 현대자동차에서 생산하는 1500 cc, 4단 자동변속기를 탑재한 소형승용차이고, 상세 냉방장치의 구성부품은 Table 2에 나타내었다. 냉방성능을 시험하기 위해서는 먼저 적정 냉매량 결정시험을 하였으며, 이어서 최대 냉방성능 시험, 팽창밸브가 실차 냉방성능에 미치는 영향 순으로 시험을 진행하였다.

팽창밸브는 증발기(evaporator)의 냉방부하에 대응하여 팽창밸브의 Power Element(PE)의 압력과 증발기 출구의 과열도, 스프링 장력과의 힘의 차이에 의해 밸브를 개폐하여 냉매의 흐름량을 제어한다. 팽창밸브 단품 성능시험은 입구측으로 1131 kPa의 질소가스를 공급한 후 PE를 항온조에 담그고 0°C와 10°C로 온도를 변화시키면서 팽창밸브 출구측 압력을 측정한다.<sup>(13)</sup>

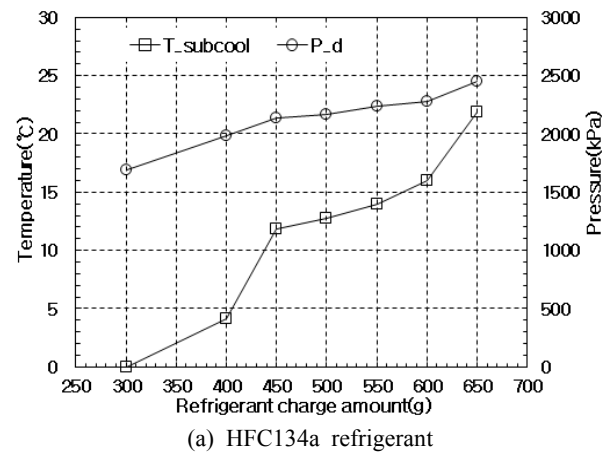
## 3. 시험결과 및 고찰

### 3.1 적정 냉매량 결정

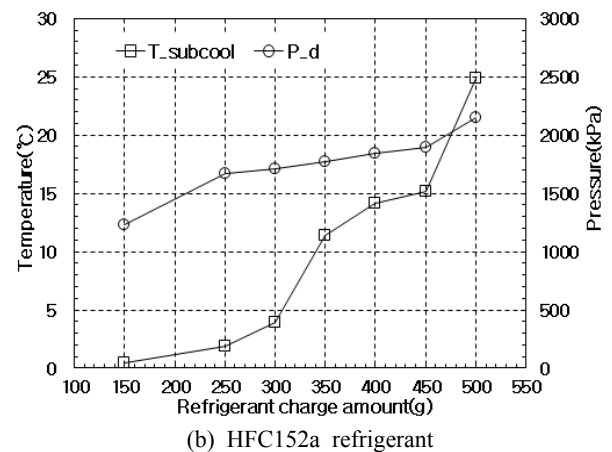
냉방장치에서 냉매 충전량은 매우 중요하다. 냉매량을 과 충전하면 응축기의 압력과 온도가 상승하게 되

고, 또한 냉매량을 부족 충전시에는 증발기 출구 과열도의 상승에 따라 비체적의 증가로 냉매 순환량이 감소하여 성능이 저하되기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 Table #2(Thermal expansion valve는 #1)의 냉방장치를 자동차에 장착 후 환경제어풍동에서 적정 냉매량 결정시험을 하였으며, 적정 냉매량 결정은 과냉각 응축기를 사용할 시 기존의 평행류형 응축기의 적정 냉매량 선정과는 상이하다. 과냉각 응축기의 특성상 냉매 충전량의 증가와 함께 과냉각온도가 증가하다가 정체를 이룬 지점에서의 냉매량을 적정 냉매량으로 선정한다.<sup>(14)</sup>

Fig. 2는 각각의 HFC134a와 HFC152a 시스템에 대하여 적정 냉매량 결정 시험결과를 보여주고 있다. Fig. 2(a)를 보면 냉방장치에 충전되는 냉매량이 증가하면서, 과냉각(sub-cool) 온도도 급격히 증가하고 있으며 냉매 충전량이 450~550 g사이에서 과냉각 온도는 냉매량 증가 대비 완만한 증가로 정체를 이루는 지점이라고 볼 수 있으며, 동시에 응축기 출구의 압력이 안



(a) HFC134a refrigerant



(b) HFC152a refrigerant

Fig. 2 Experimental results of refrigerant charge determination.

정적인 500 g을 적정 냉매량으로 선정하였다. Fig. 2(b)는 HFC152a 냉방장치의 냉매 충전량 시험결과로 앞서서와 같은 방법으로 400 g을 적정 냉매량으로 선정하였다. HFC152a는 분자 질량이 HFC134a의 대략 65% 정도이므로, 냉방장치에 충전되는 냉매량도 분자 질량 비만큼 줄어들 것을 기대하였으나, 냉매 충전량 시험 결과 HFC134a 냉매 결정량의 대략 80%의 냉매가 적절한 냉매 충전량으로 시험되었다.

### 3.2 최대 냉방성능 시험

HFC152a 냉매의 0°C에서 포화압력은 HFC134a보다 대략 31 kPa정도 낮고, 엔탈피는 100 kJ/kg정도 많기 때문에 기존의 HFC134a 냉방장치와 비교시 냉방능력은 20%, 성능계수는 약 10% 정도 향상되는 것으로 보고되고 있다.<sup>(15, 16)</sup>

Fig. 3은 HFC134a와 HFC152a 냉매 시스템에 대하여 차량의 주행 조건별로 압축기의 토출압력과 온도를 비교한 것이다. 토출압력은 HFC152a 시스템이 전 운전영역에서 약 350~430 kPa정도 낮게 나타나고 있으나, 토출온도는 HFC134a와 거의 유사한 수준이며, 정차시는 약간 낮게 나타났다.

이는 앞서 설명한 냉매의 열역학적 특성이 다르기 때문이다. 토출압력이 낮아진다면, 압축기의 내구성이 유리해지고, 냉방장치 운전중 고압에 의한 압축기의 정지(cut-off) 가능성도 줄어들게 되며, 냉방성능과 효율향상도 기대된다.

Fig. 4는 HFC134a와 HFC152a 냉매 시스템에 대하여 주행 조건별로 압축기 흡입압력과 온도를 비교하였다. 먼저 흡입압력을 보면 HFC152a 시스템이 HFC134a 대비 주행시에는 대략 15~20 kPa정도압력이 낮게 나타나며, 흡입온도도 주행시는 약 4~5°C정도, 정차시는 약 3.5°C정도 낮게 나타났다.

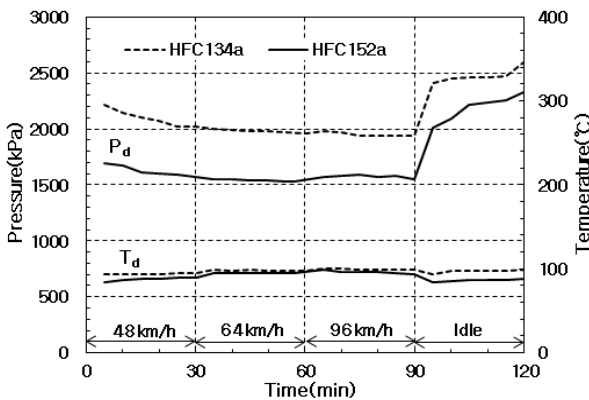


Fig. 3 Comparison of  $P_d$  and  $T_d$  in the HFC134a and HFC152a air conditioner.

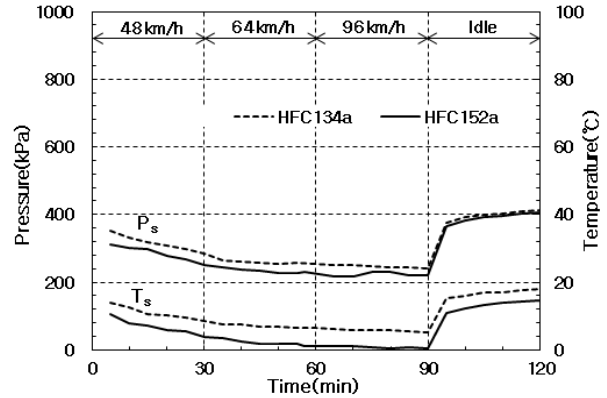


Fig. 4 Comparison of  $P_s$  and  $T_s$  in the HFC134a and HFC152a air conditioner.

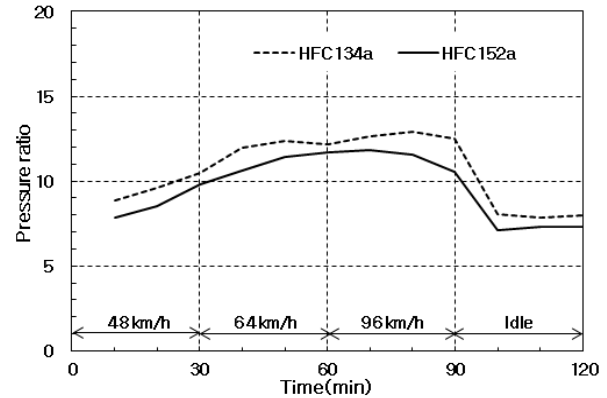


Fig. 5 Comparison of compression ratio in the HFC134a and HFC152a air conditioner.

Fig. 5는 각 HFC134a와 HFC152a 냉매 시스템에서 압축기의 압축비(compression ratio)를 주행 조건별로 비교한 것이다. 압축비( $P_r = P_d/P_s$ )는 압축기의 출구압력을 흡입압력의 비로 표현되었으며, 압축비가 낮아지면 압축기의 체적효율이 증가하게 되고, 압축기의 내구수명이 향상하게 된다. HFC152a 냉매 시스템의 압축비가 전 운전영역에서 HFC134a보다 낮게 나타나고 있으며, 운전특성에 따라서는 압축기의 회전수가 빨라지는 주행조건에서는 압력비가 높아지다가, 정차 시에는 낮아지고 있다.

Fig. 6은 자동차에서 최대 냉방성능을 시험한 결과로 주행 조건별로 공조장치에서 토출되는 공기온도와 차 실내의 평균온도를 비교한 것이다. 초기에는 차 실내에 축적된 열부하로 인하여 냉방장치를 가동하여도 토출 공기온도가 높게 나타나고 있다. 하지만, 시간이 지나면서, 차량의 주행속도가 증가할수록 토출 공기온도는 급격히 떨어지며, HFC152a 시스템이 HFC134a 시스템보다 0.5~2.1°C정도 낮은 토출 공기온도 분포

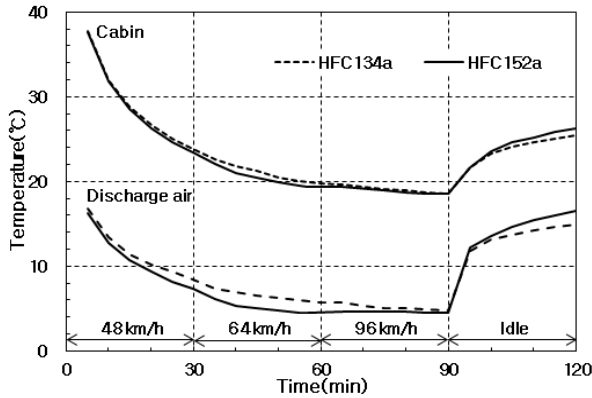


Fig. 6 Cool-down performance in the HFC134a and HFC152a air conditioner.

를 보이다가 96 km/h에서는 두 시스템이 모두 5°C 정도의 안정된 온도를 보여주고 있다. 주행시에는 차량의 주행속도가 빨라짐에 따라 엔진 크랭크 풀리로부터 동력을 전달받는 압축기의 회전수가 증가하기 때문에 냉방장치를 순환하는 냉매유량이 많아지고, 차속의 증가로 인하여 응축기로 유입되는 풍량 증가로 응축능력이 향상되어 토출 공기온도가 점차로 낮아지는 것이다. 이후 정차 시에서는 압축기의 급격한 회전수 저하로 인하여 냉매 순환량이 감소되고, 응축기의 응축능력도 저하되어 토출 공기 온도가 서서히 상승하며, HFC152a 시스템이 HFC134a 시스템보다 0.5°C ~ 1.5°C 정도 토출 공기온도가 높게 나타났다. 실내 평균 온도는 토출 공기온도의 지배적인 영향을 받기 때문에 동일한 경향을 보이고 있다.

다음은 HFC152a의 냉방장치에서 팽창밸브 설정 값이 0°C에서 각각 147 kPa와 127 kPa의 압력 값을 갖는 밸브에 대하여 성능에 미치는 영향을 살펴보았다. Fig. 7은 팽창밸브 시험결과로 과열온도(superheat) 변화에 대한 출구압력을 나타내고 있다. 먼저 냉매의 포화증기선(vapor saturation curve)을 비교해 보면, HFC152a 냉매가 동일 온도에서 HFC134a보다 포화압력이 낮은 것을 볼 수 있다. 일반적으로 팽창밸브는 증발기 출구 압력 값이 증가하면 냉매유량이 증가하고, 반대로 감소시는 과열도가 커지므로 냉매유량이 감소하는 특성이 있다. TXV #1과 TXV #2 모두 약 35°C에서 최대 작동 압력(Maximum Operating Pressure, MOP)을 보여주고 있으며, 5°C에서 TXV #1은 TXV #2보다 약 71kPa 정도 압력이 높으며, 이는 유량의 증가를 가져온다.

Fig. 8은 HFC152a 냉방장치에서 팽창밸브 설정 값에 따라 압축기의 토출압력과 온도의 변화를 보여주고 있다. 압축기 토출압력은 팽창밸브와 관계없이 비슷한 압력을 보이고 있지만, TXV #2가 TXV #1보다 과열도가 증가하기 때문에 토출온도는 TXV #2가 전 운전영

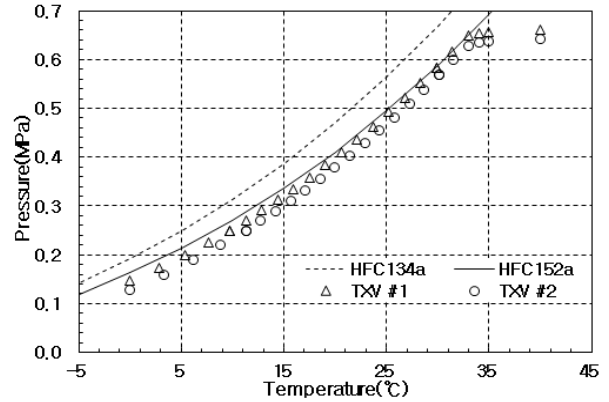


Fig. 7 Thermal expansion valve characteristics with HFC134a and HFC152a refrigerant.

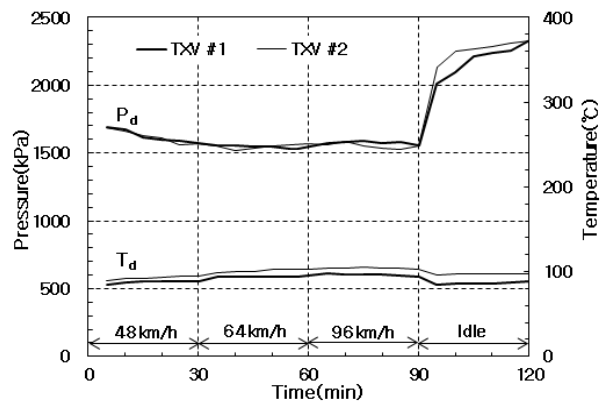


Fig. 8 TXVs effect on Pa and Td in the HFC152a air conditioner.

역에서 대략 5~8°C 정도 상승하였다.

Fig. 9는 팽창밸브 설정 값에 따라 압축기의 흡입압력과 온도에 미치는 영향을 나타내고 있다. 팽창밸브 설정 값 변화에 따른 흡입압력의 변화는 거의 없으나, 흡입온도는 TXV #2가 주행시에는 TXV #1보다 높게 나타나고 있으며, 이는 과열도의 증가의 영향으로 보인다. 정차 시에는 TXV #2가 토출압력이 약간 낮게 나타나고, 온도는 거의 동등 수준이었다.

Fig. 10은 HFC152a 냉방장치에서 팽창밸브 설정 값이 압축기의 압축비에 미치는 영향에 대하여 나타내었다. 압축비는 TXV #1이 전 운전영역에서 TXV #2보다 약간 더 낮은 경향을 보이고 있다. 이는 앞서 살펴본 바와 같이 TXV #2의 경우 과열도가 높아 시스템에서 토출압력과 흡입압력이 함께 증가하였기 때문으로 이는 압축기의 일량 증가를 가져올 수 있지만, 시험한 범위 내에서는 큰 영향은 없어 보인다.

Fig. 11은 HFC152a 냉매 시스템에서 팽창밸브 설정 값에 따라 공조장치의 토출 공기온도와 실내 평균 온

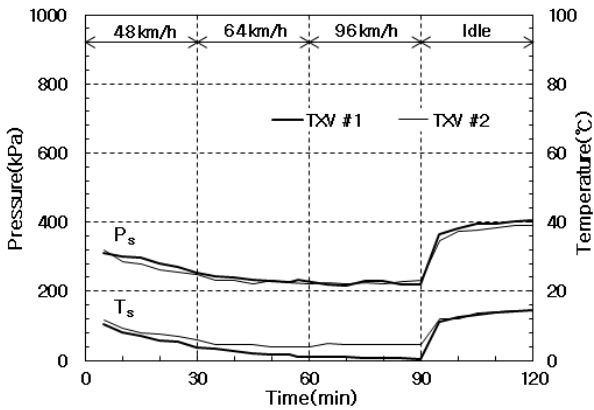


Fig. 9 TXVs effect on  $P_s$  and  $T_s$  in the HFC152a air conditioner.

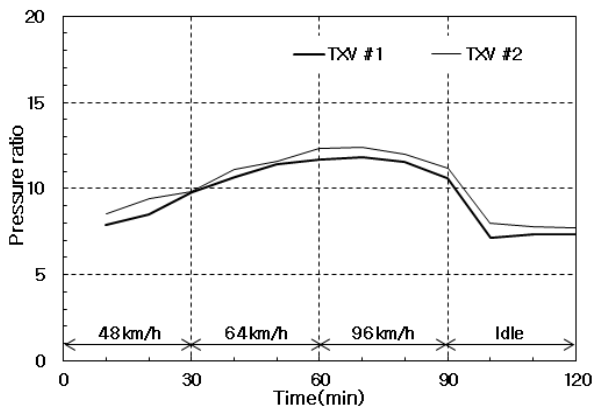


Fig. 10 TXVs effect on compression ratio in the HFC152a system.

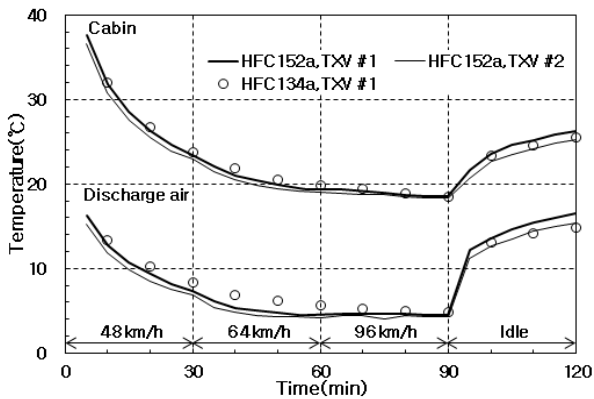


Fig. 11. TXVs effect on cool-down performance in the HFC152a air conditioner.

도 변화를 나타내었다. 토출 공기온도차가 크진 않지만, TXV #2가 주행 및 정차, 전 운전조건에서 TXV #1보다 약간씩 온도가 낮아지는 경향을 보이고 있다. 특

히 정차 시에 온도가 상당히 낮아져, 기존의 HFC134a 냉방장치와 동등한 수준의 토출 공기온도를 보여주고 있다. 이는 팽창밸브의 설정 값이 낮아지면, 팽창밸브로 통과하는 유량은 줄어들지만 교축과정으로 습증기 상태로 증발기에 들어간 냉매가 출구에서 완전히 증발하기 때문에 증발기 출구온도가 낮아지고, 따라서 토출 공기온도도 낮아진 것이다. 실내 평균 온도도 토출 공기온도와 동일한 경향으로 TXV #2가 TXV #1보다 약간씩 더 낮아졌다.

HFC152a 냉방장치에서 팽창밸브 설정 값을 변경하면서 성능시험을 한 결과, TXV #2가 TXV #1보다 토출압력과 온도 및 압축비는 약간 불리하지만, 정차시 흡입압력이 낮고, 전 운전영역에서 토출 공기온도가 낮게 나타나 HFC152a 냉방장치에 적합한 팽창밸브로 선정하였다.

#### 4. 결 론

HFC134a 자동차용 냉방장치의 대체냉매로서 HFC 152a 냉매를 적용하여 실차 상태에서 적정 냉매량 결정, 주행 조건별로 냉방성능을 비교하고, 팽창밸브 설정 값을 변경하여 성능에 미치는 영향을 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) HFC152a 냉방장치의 냉매 충전량은 HFC134a 냉방장치의 충전량보다 20% 정도 감소하였다.
- (2) HFC152a는 HFC134a 냉방장치보다 대략 350~430 kPa정도 토출 압력이 낮게 나타났다.
- (3) HFC152a 냉방장치의 차실내 토출 공기온도는 HFC 134a 냉방장치보다 주행시는 0.5°C~1.5°C 낮았으나, 정차시는 1.6°C 상승하였다.
- (4) HFC152a 냉방장치의 성능 최적화는 팽창밸브 설정 값의 변경만으로 가능하였다.

이상으로 자동차용 냉방장치에 HFC152a 냉매를 적용하여 시험한 결과, 냉매 충전량의 감소와 토출압력이 낮아져, 압축기의 내구성 향상과 효율 증대가 기대된다.

#### References

1. United nations environment programme, 1987, Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer, Final act, New York, United Nations.
2. Global environment change report, 1997, A brief analysis of the Kyoto protocol, Vol. IX, No. 24.
3. Directorate-general environment, consultation paper, 2003, How to considerably reduce greenhouse gas

- emissions due to mobile air conditions, European Commission, Brussels, Vol. 4.
4. European Union, 2006, Official Journal of the European Union REGULATION(EC), Vol. 842.
  5. Kamei, A., Piao, C. C., Sato, H. and Watanabe, K., 1990, Thermodynamic charts and cycle performance of HFC-134a and HFC-152a, PAP 00062, pp. 141-149.
  6. Ghodbane, M., 1999, An investigation of R-152a and hydrocarbon refrigeration in mobile air conditioning, SAE, 1999-01-0874.
  7. Ghodbane, M., Baker, J. A., and Kadle, P. S., 2004, Potential applications of R-152a refrigerant in vehicle climate control Part II, SAE, 2004-01-0918.
  8. Baker, J. A., 2003, R-152a refrigeration system for mobile air conditioning, SAE, 2003-01-0731.
  9. Hill, W. and Papasavva, S., 2005, Life cycle analysis framework; A comparison of HFC-134a, HFC-134a enhanced, HFC-152a, R744, R744 enhanced and R290 automotive refrigerant systems, SAE, 2005-01-1511.
  10. Lee, J. I., Ha, O. N., Hong, K. H., Kwon, I. W., Park, C. S., and Youn, G. S., 2002, A study on the refrigerant characteristics of the HFC-152a, and azeotrope mixed with CF3I in air conditioners, Korean Journal of Air conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 4, pp. 332-340.
  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, No. 2, pp. 44-50.
  12. Kang, N., Bae, G., Park, K., and Jung, D., 2010, Performance of HFC152a, HFC134a and HC290 mixtures as alternative refrigerants for HFC134a, Korean Journal of Air conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 22, No. 6, pp. 383-391.
  13. Lee, D. W. and Yoo, S. Y., 2002, A study on the component performance for automotive air conditioner, Korean Journal of Air conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, No. 4, pp. 293-302.
  14. Kim, J. S., Nam, S. B., Lee, D. W., Yoo, S. Y., and Kim, J. H., 2006, Performance comparison of automotive air-conditioning system by using R134a and R152a, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, 06-S-002, pp. 9-14.
  15. Kim, J. S., Lee, D. W. and Yoo, S. Y., 2006, An experimental study on performance of automotive air conditioning system by using R134a and R152a, Proceedings of the SAREK Summer Annual Conference, 06-R-006, pp. 1225-1231.
  16. Yoo, S. Y. and Lee, D. W., 2009, Experimental study of performance of automotive air conditioning system using R-152a refrigerant, IJAT, Vol. 10, No. 3, pp. 313-320.