

R134a와 R152a 냉매를 이용한 자동차용 에어컨 시스템의 성능 비교

김 종 수, 남 수 병, 이 대 응[†], 유 성 연*, 김 진 혁*

한라공조 기술연구소, *충남대학교 기계설계공학과

Performance Comparison of Automotive Air conditioning System by using R134a and R152a

Jeong-Su Kim, Su-Byung Nam, Dae-Woong Lee[†], Seong-Yeon Yoo*, Jin-Hyuck Kim*

Halla Climate Control Corp., 1689-1, Shinil-Dong, Daedok Gu, Daejeon 306-230, Korea

[†]Department of Mechanical Design Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

ABSTRACT: This study presented the feasibility of R152a refrigerant as an alternative of R134a which is used in the current automobile air conditioning system. The performance of air conditioning system installed in the actual vehicle was tested using the climate wind tunnel. The experiments were conducted at various refrigerant charge quantities and various driving conditions such as city traffic, highway traffic and parking. Same components and lubricant were used for both R134a and R152a system. The effects of air set values of thermal expansion valve on the performance were also investigated. In case of the R152a system, refrigerant charge quantity can be reduced about 20%, better performance and superior compressor durability is expected due to the lower discharge pressure compared to the R134a system.

Key words: Automotive air conditioning system(자동차용 에어컨), Alternative refrigerant(대체냉매), Actual vehicle performance(실차성능), GWP(지구온난화지수), Refrigerant charge quantity(냉매충진량)

기 호 설 명

P : 압력, [kPa]

T : 온도

V : 속도, [km/h]

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 보호와 지구 온난화에 대한 관심이 높아지면서^(1,2) 유럽연합의회는 2011년 11월부터는 지구 온난화 지수(GWP: Global Warming Potential)가 150이상인 냉매를 사용하는 자동차의 형식승인을 금지하고, 2017년 11월 이후에는 판매 및 운행금지 법안을 통과시켰다. 이에 대한 산업계의 첫 대응방안은 냉매 누출 및

[†]Corresponding author

Tel.: +82-42-930-6734; fax: +82-42-930-6992

E-mail address: dwlee@mail.hcc.co.kr

냉매 충전량을 줄이고 효율을 향상시켜 이산화탄소 배출량을 감소시키는 한편, 근본적인 대응방안으로 현재의 HFC계 냉매를 지구 온난화 지수가 낮은 냉매로 교체하는 것이다. 따라서 여러 국가에서 대체냉매의 연구로 천연 냉매인 이산화탄소 시스템과 HC계 에어컨 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 이산화탄소를 냉매로 사용하는 시스템의 경우 새로운 부품개발로 인한 원가상승의 압박과 안전에 대한 고려가 필요하며, HC계 냉매는 화염성의 위험을 가지고 있어 누설에 대한 영향을 고려하여야만 한다⁽³⁾.

Ghodbane^(4,5)은 자동차 에어컨 시스템의 대체냉매로써 R152a와 탄화수소 냉매를 이용하여 성능 시뮬레이션을 하였고, 대체냉매를 사용한 이차회로 시스템에서의 성능을 비교하였다. 또한 지구 온난화의 직접적인 원인으로 냉매의 누설에 의한 것과 간접적인 것으로는 에어컨의 작동과 냉매이동에 소비되는 에너지에 원인이 있다고 밝혔다.

Baker et. al⁽⁶⁾은 자동차용 에어컨 시스템의 대체냉매로써 R152a를 적용하여 실차 상태에서 성능 실험을 하였는데, 기존 R134a 에어컨 시스템 대비 팽창밸브, 건조제를 변경하였고, 냉매 누설 감지 센서(sensor) 및 안전 밸브(relief valve)을 고압측과 저압측에 설치하고, 냉매 주입량을 R134a 냉매 주입량의 64%정도 주입하여 실험하였다. 그 결과로 R134a 에어컨 시스템 대비 실내 온도가 2~3°C 우수하고, 압축기의 토출과 흡입 압력이 낮으며 성능계수는 향상되는 것으로 보고하였다. 또한 화염으로부터의 안전성을 입증하기 위하여도 큰 문제가 없다고 보고하고 있다.

Hill et. al⁽⁷⁾은 여러대체 냉매의 Life Cycle Analysis를 여러도시의 주행패턴에 따라 분석하였으며, Direct Life time은 R-152가 우수하게 판단되어 CO₂의 배출이 적은 것으로 나타났다.

이와 같이 R134a와 유사한 열역학적 특성을 가지고 있는 R152a는 약간의 화염성이 있다는 단점과 함께 현재 사용되고 있는 R134a 에어컨 구성품을 변경하지 않고 그대로 사용할 수 있다는 장점과 냉동기유와의 상용성이 우수하게 평가되고 있는 대체냉매 중의 하나이다.

따라서 본 연구에서는 R152a 냉매를 자동차용 에어컨 시스템에 적용하여 환경제어풍동(climate wind tunnel)에서 주행조건을 변화하면서 에어컨

성능을 R134a 시스템과 비교하여 자동차용 에어컨 시스템의 대체 작동유체로써의 적합성과 타당성을 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

Fig. 1은 실험에 사용된 환경풍동제어의 개략도와 성능 및 각종 제어범위를 보여주고 있다. 환경제어풍동은 밀폐된 공간으로 온도와 습도, 일사 및 주행풍까지 조절이 가능하며, 실차상태에서 평지주행 및 언덕길 주행까지 모사가 가능하다. 실험조건을 동일하게 하기 위하여 소형 승용차에 동일한 에어컨 시스템을 장착후 실험 하였으며, 이때 주행은 다양한 도로주행을 고려하여 도심주행, 고속도로 주행, 정차조건으로 동력계(dynamometer) 위를 주행하면서 에어컨 시스템의 성능을 평가하였다.

2.2 에어컨 성능 실험

성능실험은 열대지 조건으로, 외기온도가 43.3°C와 일사량 1,000 W/m²에서 방치후 차 실내 온도가 60°C에 도달하였을 때 에어컨 성능시험을 하였으며, 상세한 실험조건은 Table 2에 나타내었다. 온도측정을 위하여 차 실내와 엔진룸에 T형 열전대를 44개 설치하였으며, 압력측정은 압축기 토출배관과 흡입배관에 압전센서를 설치하여 측정하였다. 성능실험은 먼저 R134a 시스템 대하여 적정 냉매량 결정 실험을 수행하였으며, 결정된 냉매량을 에어컨 시스템에 주입후 성능을

Chamber temp	-40 ~ 60°C
Wind speed	0 ~ 200 km/h
Humidity	20 ~ 90%, RH
Dynamo absorbtion	210 HP
Sun load	300 ~ 1,400 W/m ²

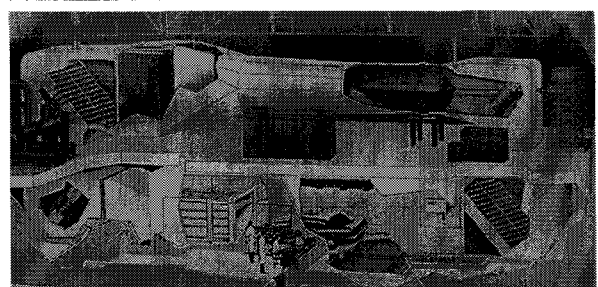


Fig. 1 Diagram of climate wind tunnel.

Table 2 Test conditions for air conditioning performance of vehicle

Environment	Ambient temp.	43.3±2℃
	Relative humidity	40±2%
	Sun load	1000 W/m ²
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

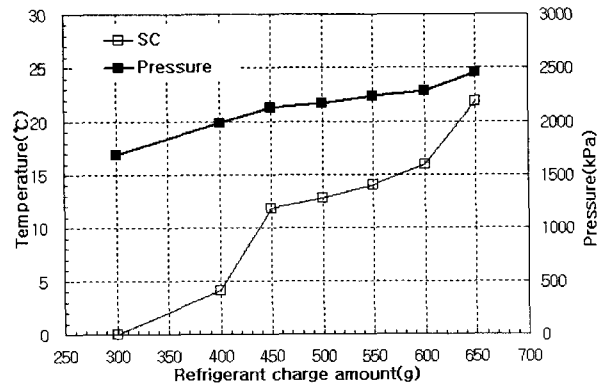
실험하였다. 이후, 동일한 시료에 대하여 R152a 냉매를 이용하여 적정 냉매량 결정 실험과, 결정된 냉매량이 충전된 시스템으로 성능을 실험하였고, 그 결과를 비교하여 자동차용 에어컨 시스템의 대체냉매로서의 R152a의 타당성을 검증하였다. 또한 R152a 에어컨 시스템에 대하여 성능 최적화 실험으로 서로 다른 2종류의 설정값을 갖는 팽창 밸브를 적용하여 성능에 미치는 영향을 살펴보았다.

3. 실험결과 및 고찰

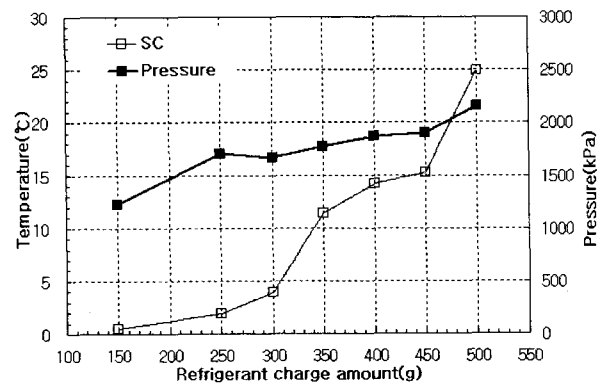
3.1 적정 냉매량 결정

에어컨 시스템에 충전되는 냉매량은 성능에 영향을 미치는 중요한 변수이므로, 본 연구에서는 각각의 시스템에 대하여 적정 냉매량 시험으로 냉매량을 결정하였다. R152a 냉매의 경우 R134a 냉매보다 분자질량이 작으며, 포화 밀도가 작은 것이 특징이므로, 에어컨 시스템의 냉매 충전량도 기존의 R134a보다는 줄어들 것이다.

Fig. 2는 각각의 R134a와 R152a 시스템에 대하여 적정 냉매량 결정 실험 결과를 나타내고 있다. Fig. 2의 (a)을 보면 냉매 충전량의 증가에 따라 과냉각온도가 급격히 증가하다가 약 450~550 g사이에서 과냉각온도는 냉매량 증가 대비 완만하게 증가하며, 응축기 출구의 압력도 정체를 이루고 있다. 따라서 500 g을 적정 냉매량으로 선정하였다. Fig. 2의 (b)는 R152a 시스템의 냉매 충전량 실험결과로 앞에서와 같은 방법으로 400g을 적정 냉매량으로 결정하였다. R152a는 분자질량이 R134a의 대략 65%정도이므로, 시스템에 충



(a) R134a Refrigerant



(b) R152a Refrigerant

Fig. 2 Experimental results of refrigerant charge determination.

전되는 냉매량도 분자질량비만큼 줄어들것을 기대하였으나, 냉매충진량 실험결과 R134a 냉매결정량의 대략 80%정도의 냉매가 적합한 냉매량으로 결정되었다.

3.2 에어컨 시스템의 성능 실험

R152a의 0℃에서의 포화압력은 R134a보다 대략 31 kPa정도 낮고, 엔탈피는 100 kJ/kg정도 많기 때문에 성능의 향상과 소모동력의 저감, 성적계수의 향상 등이 기대된다⁽⁸⁾.

Fig. 3은 R134a와 R152a 시스템에 대하여 주행 조건별로 압축기 토출압력과 온도를 비교하여 나타내었다. 토출압력은 R152a 시스템이 전 운전영역에서 모두 낮게 나타나고 있으나, 토출온도는 R134a와 거의 유사한 수준이다. 이는 앞서 설명한 냉매의 열역학적 특성에 기인하며, 만약 동일 시스템에서 토출압력이 낮아진다면, 압축기의 내구측면에서는 기존의 R134a 시스템보다 유리할 것이다. 또한 정차시에도 고압에 의한 압축기의

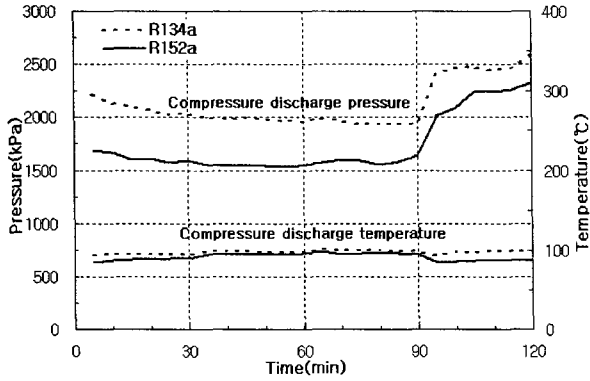


Fig. 3 Compressor discharge pressure and temperature with TXV #1.

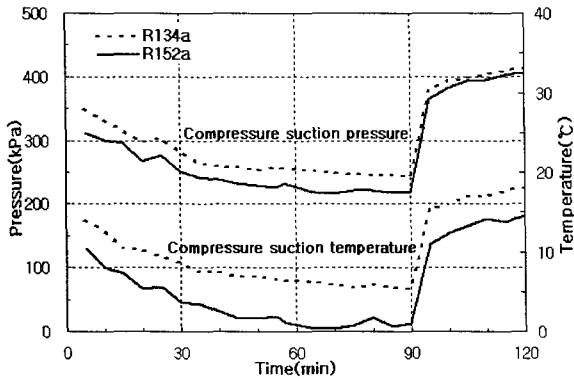


Fig. 4 Compressor suction pressure and temperature with TXV #1.

정지 가능성도 줄어들게 되어 에어컨 시스템의 성능향상뿐만 아니라, 연비개선 효과도 기대된다.

Fig. 4는 R134a와 R152a 시스템에 대하여 주행 조건별로 압축기 흡입 압력과 온도를 비교하였다. 먼저 흡입 압력을 보면 R152a 시스템이 R134a 대비 주행시에는 대략 20~30 kPa 정도, 정차시에는 약 8 kPa 정도 압력이 낮게 나타나며, 흡입 온도도 대략 3.0~5.0°C 정도 낮게 나타나고 있다.

Fig. 5는 각 R134a와 R152a 시스템에서 압축기의 압력비를 주행조건별로 비교한 것이다. 압력비($P_r = P_d/P_s$)는 압축기의 입구와 출구에서의 압력비로 표현되었으며, 압력비가 낮아지면 압축기의 체적효율이 증가하게 되고, 냉매 비체적의 감소로 질량유량이 증가되므로 성적계수가 증가하게 된다. R152a 시스템의 압력비가 전 운전영역에서 R134a보다 낮게 나타나고 있으며, 운전특성에 따라 압축기의 회전수가 빨라질수록 압력비

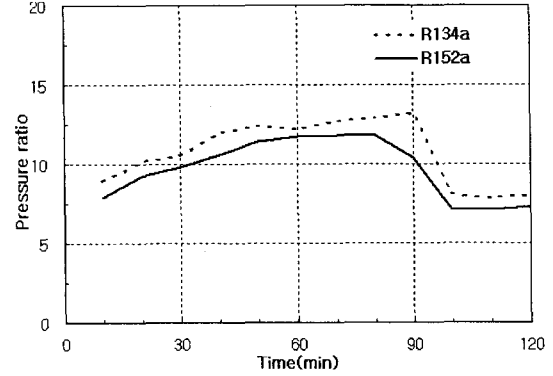


Fig. 5 Pressure ratio with TXV #1.

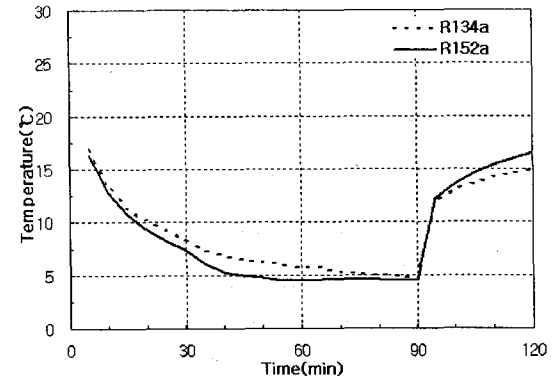


Fig. 6 Air discharge temperature at air handling system with TXV #1.

고 높아지다가, 정차시에는 낮아지고 있다.

Fig. 6은 주행조건에 따라 공조장치의 출구에서 토출되는 공기온도를 각각의 R134a와 R152a 시스템에서 비교하였다. 초기에 차 실내에 축적된 열부하 때문에 의하여 토출온도는 높아졌으나, 에어컨을 가동함에 따라 온도는 급격히 떨어지며, 주행속도 증가에 따라 압축기 회전수가 증가하여 점차로 떨어지다가 고속주행 영역에서는 안정된 토출온도를 보여주고 있다. 이후 정차시에는 압축기 회전수의 급격한 저하로 인하여 유량이 감소되고, 증발기의 냉방능력이 저하되어 토출온도가 서서히 증가하게 된다. R152a 시스템이 주행영역에서는 R134a 시스템보다 0.5~2.1°C 정도 낮은 토출온도 분포를 보이나, 정차시에는 오히려 0.5~1.5°C 정도 높은 토출온도를 나타내고 있다.

Fig. 7은 R134a와 R152a 시스템에 대하여 주행 조건별로 실내평균온도를 비교하였다. 에어컨 가동초기에 실내온도는 급격히 내려가며, 주행속도 증가에 따라 점차로 실내온도는 내려간다. 이후

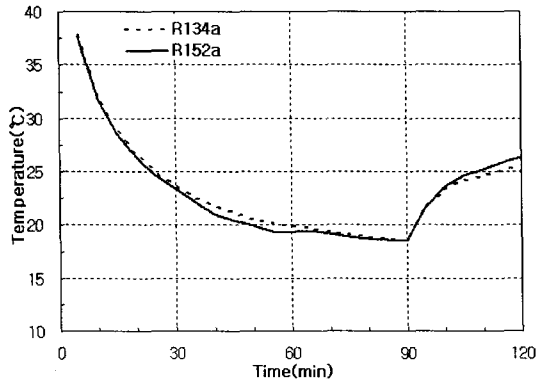


Fig. 7 Cabin room average temperature with TXV #1.

정차시에서는 Fig. 6에서와 같이 유량감소로 증발기의 냉방능력 저하와 함께 엔진의 발열로 인한 실내로의 열 침입이 많아지게 되어 온도가 서서히 증가한다.

3.3 R152a 에어컨 시스템의 성능 최적화

R152a의 시스템에서 성능 최적화를 위하여 냉매량을 450g으로 고정하고 설정값이 0°C에서 각각 147 kPa(TXV #1), 127 kPa(TXV #2)의 압력값을 갖는 2가지 종류의 팽창밸브에 대하여 성능에 미치는 영향을 살펴보았다.

Fig. 8은 주행조건별로 팽창밸브 설정값에 따라 압축기의 토출압력과 온도의 변화를 보여주고 있다. 압축기 토출 압력은 팽창밸브 설정값 변화에 관계없이 비슷한 압력을 보이고 있지만, 토출 온도는 팽창밸브 설정값이 127 kPa인 TXV #2의 경우 과열도가 증가하기 때문에 토출온도가 대략 5~8°C 정도 상승하고 있다.

Fig. 9는 주행조건별로 팽창밸브 설정값에 따

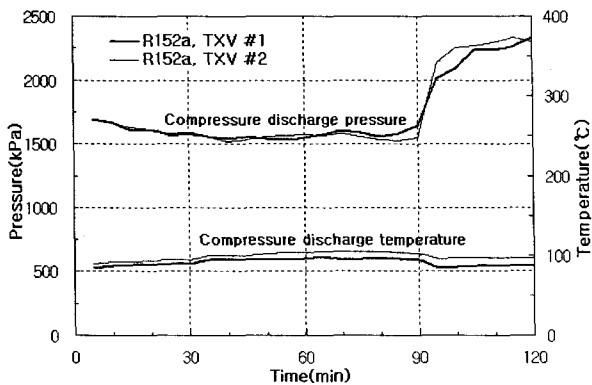


Fig. 8 Compressor discharge pressure and temperature with various TXV.

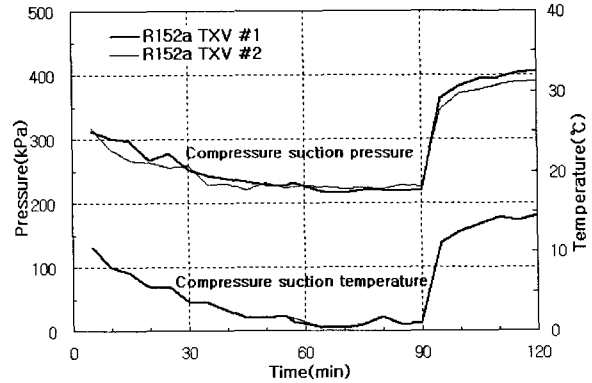


Fig. 9 Compressor suction pressure and temperature with various TXV.

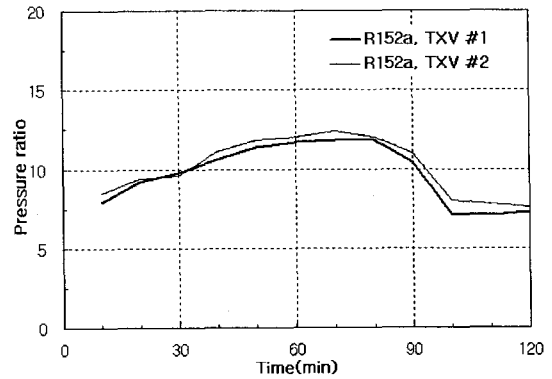


Fig. 10 Pressure ratio with various TXV.

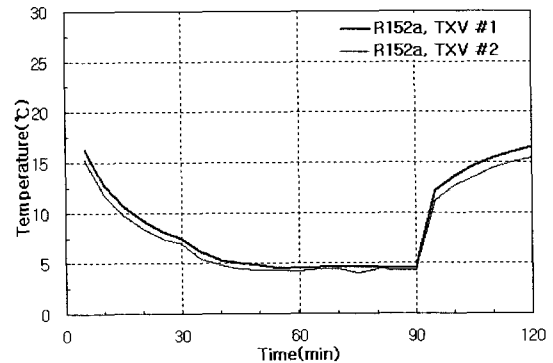


Fig. 11. Comparison air discharge temperature with various TXV.

라 압축기의 흡입압력과 온도의 변화를 나타내고 있다. 팽창밸브 설정값 변화에 따른 흡입온도의 변화는 거의 없으나, 흡입압력은 팽창밸브 설정값이 낮은 TXV #2가 주행초반과 정차시에 낮은 경향을 보이고 있다.

Fig. 10은 팽창밸브의 설정값에 따라 주행조건별로 압축기의 압력비를 비교하였다. 압력비는

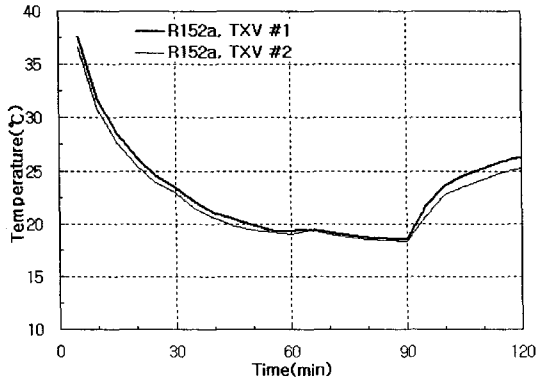


Fig. 12 Compressor cabin room average air temperature with various TXV.

TXV #2가 전 운전영역에서 낮은 경향을 보이고 있다.

Fig. 11은 팽창밸브 설정값이 공조장치의 토출 공기 온도에 미치는 영향을 압축기의 회전수를 변화하면서 살펴보았다. 팽창밸브 설정값 변경에 따라 토출공기 온도차가 크진 않지만 팽창밸브의 설정값이 낮을수록 토출되는 공기온도도 약간씩 낮아지는 경향을 나타내고 있다.

Fig. 12는 팽창밸브 설정값이 실내평균온도에 미치는 영향을 주행조건별로 살펴보았다. Fig. 11와 같이 팽창밸브 설정값 변경에 따라 실내평균 온도차가 나타나며, 팽창밸브의 설정값이 낮은 TXV #2의 경우, 주행뿐만 아니라, 정차시에도 낮은 실내평균온도를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

자동차용 에어컨 시스템의 대체냉매로써 R152a를 적용하여 동일한 부품에서 적정 냉매량 충전 실험, 실차 에어컨 성능실험 및 팽창밸브를 변경하여 설정값이 성능에 미치는 영향을 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) R152a 시스템은 기존 R134a 에어컨 시스템의 부품과 냉동기유의 사용이 가능하다.
- (2) R152a 에어컨 시스템의 냉매 충전량은 R134a 대비 20% 정도 감소하였다.
- (3) R152a 시스템의 R134a 시스템 보다 대략 300~400 kPa정도 토출압력이 낮게 나타났다.
- (4) R152a 시스템에서 팽창밸브의 변경으로 주행 및 정차시 모두 우수한 성능을 얻을 수 있었다.

이상으로 자동차용 에어컨 시스템에 R152a 냉매를 적용하여 실험한 결과 R134a 시스템 대비 냉매 충전량의 감소효과와 함께 토출압력이 낮아져, 압축기의 내구성 향상과 함께 연비향상의 효과도 기대되어 간접적인 지구온난화 방지에도 크게 기여할 수 있으리라 판단된다.

참고문헌

1. Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer, 1989, Final Act. United Nation Environment Programme.
2. Global Environment change Report, 1997, A Brief Analysis of the Kyoto Protocol, Vol. IX, No. 24, December.
3. Directorate-General Environment, Consultation Paper, 2003, How to considerably Reduce greenhouse gas emissions 열 새 mobile air conditions, European Comission, Brussels, 4, February.
4. Mahmoud Ghodbane, 1999, An Investigation of R-152a and Hydrocarbon Refrigeration in Mobile Air Conditioning, SAE, 1999-01-0874.
5. Mahmoud Ghodbane, James A. Baker and Prasad S. Kadle, 2004, Potential Applications of R-152a Refrigerant in Vehicle Climate Control Part II, SAE, 2004-01-0918.
6. James A. Baker, 2003, R-152a Refrigeration System for Mobile Air Conditioning, SAE, 2003-01-0731.
7. William Hill and Stella Papisavva, 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.
8. A. Kamei, C. C. Piao, H. Sato, and K. Watanabe 1990, Thermodynamic Charts and Cycle Performance of FC-134a and FC-152a, PAP 00062, pp141-149.