

HFC-152a와 HFC-152a에 CF₃I를 혼합한 공비혼합냉매 특성에 관한 연구

이종인*, 하옥남**, 김재열**, 이연신***, 권일욱****

A Study on the Refrigerant Characteristics of the HFC-152a, and Azeotrope Mixed with CF₃I

Jong-In Lee*, Ok-Nam Ha**, Jae-Yeol Kim**, Youn-Sin Lee***, Il-Woog Kwon

Abstract

To prevent green house effect and destruction of an ozone layer, an ozone destruction potential(ODP) must be zero and a refrigerant for low global warming potential(GWP) is needed. HFC-134a, in which hydrogen is mixed instead of chlorine is a refrigerant used for automobile conditioners and its destruction potential is ecologically zero. However, it is not considered as a perfect substitutive refrigerant as its GWP is high. It is studied refrigerant mixtures in which HFC-152a and CF₃I in HFC-152a with low GWP and zero ODP are mixed by experimentally and concluded as follows: 1) With the variation of speed of compressor outside temperature and flow rate, the heat of evaporator and compressor and coefficient of performance was varied, and influenced the air conditioner. 2) The pressure of evaporator was decreased with increasing the speed of compressor and the pressure of evaporator with the refrigerant HFC-152a was higher 24% than that of azotrope refrigerant, mixed with CF₃I

Key Words : Coefficient of performance(성능계수), GWP(온난화지수), ODP(오존파괴지수), Automobile air-conditioners
(자동차에어컨)

1. 서 론

경제성장으로 인하여 자동차의 보급은 날로 증가하고 있으며, 자동차는 이제 단순한 운송수단으로서가 아니라

생활의 필수품으로 사용되고 있으며 쾌적한 운전을 위한 자동차 에어컨디셔너시스템은 기본적으로 장착되며 고급화되어 가고있다. 초기의 자동차 에어컨디셔너 냉매는 CFC-12가 사용되었다. 하지만 이 물질은 대기권에서 분

* 조선이공대학 자동차과(jilee@mail.chosun-c.ac.kr)
** 조선대학교 기계공학부
*** 송원대학 자동차과
**** 한국마이콤

해되지 않는 물질로 오랜 기간에 걸쳐 오존과의 화학반응을 통하여 오존층을 파괴한다는 사실이 밝혀지면서 심각한 환경문제로 대두되고 있다. 따라서 지구환경보호를 위해 국제적 차원의 대책이 마련되고 있으며 CFC의 생산, 무역 및 사용을 규제하는 몬트리올 의정서가 1987년에 조인됨으로서 CFC를 사용하는 업체는 새로운 문제에 직면하게 되었다. 그 후 이에 대한 규제대상은 5종에서 15종으로 확대되었으며, 1992년 2차 개정서(코펜하겐)에서는 이를 더욱 확대하였고, 규제 일정도 선진국은 1996년 전폐, 개도국은 2010년 전폐로 확정됨에 따라 오존층을 파괴하는 염소대신 수소가 결합되어 생태학적으로 오존파괴지수(ODP)가 0이며, CFC-12냉매와 유사한 열역학적 특성을 구비하고 있는 HFC-134a가 자동차 대체냉매로 상용화되었다. 그러나 HFC-134a의 ODP는 0이지만, 지구온난화지수(GWP)는 CFC-11냉매를 기준으로 할 때 0.26으로서 높고 대기권에서 태양광선에 의해 분해되어 산과 독성 물질을 생성하는 문제점등이 있다.⁽¹⁾

또한 CFC-12에 비해 응축기압력이 높아 동력사용량이 증가되므로 자동차의 전체적인 열효율감소를 초래하고 다른 HFC에 비하여 지구온난화지수가 높으므로 지구온난화를 막기 위한 대체냉매의 개발이 필요하다. 따라서 자동차 에어컨디셔너시스템에 사용되는 HFC-134a를 대체하기 위한 많은 연구들이 이루어지고 있으며 국내에서도 프로판과 이소부탄을 혼합한 OS-12a를 생산 및 판매하고 있으나, 가연성 냉매이기 때문에 아직은 자동차 에어컨디셔너 시스템 적용 여부는 검토 중에 있다.

미국과 일본에서는 ODP가 0인 FIC(fluoro iodo carbon) 계열의 냉매를 개발하여 생산하고 있으며, 국내에서도 HFC-134a를 대체하기 위한 CF3I의 혼합냉매에 대한 연구가 일부 이루어지고 있다.^(2,3,4)

본 논문에 있어서도 현재 자동차 에어컨디셔너시스템 냉매로 사용하고 있는 HFC-134a를 대체하기 위한 실험으로 HFC-152a와 CF₃I를 사용하였다. HFC-152a는 가연성이 있는 부분을 제외한 환경친화적인 측면에 있어서 가장 좋은 물질이라 할 수 있고, CF₃I는 혼합냉매 성분으로 HFC-134a를 대체할 수 있는 물질로서 ODP가 0이고 GWP가 아주 낮은 물질이다.

따라서 HFC-152a와 HFC-152a에 CF₃I를 혼합한 냉매의 기본특성과 최적작동조건 및 에어컨디셔너 성능특성을 분석하고, 자동차 에어컨디셔너의 냉매로서 가능성 여부를 파악하여 앞으로 자동차 공기조화시스템 냉매로서의 적용 가능성에 대해서 살펴보고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

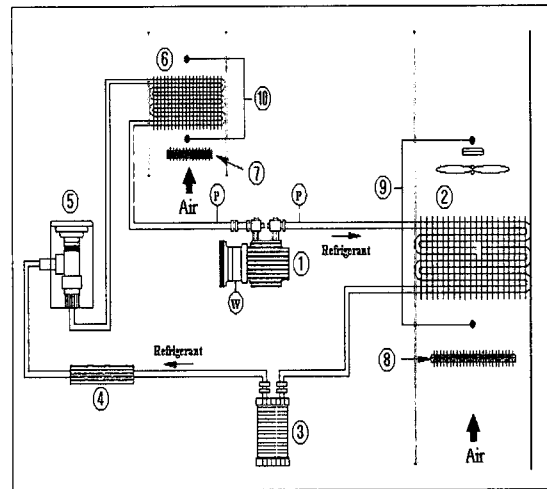
2.1 실험장치

실험에 사용한 자동차 에어컨디셔너시스템은 소형 승용 자동차의 공기조화시스템을 실험에 필요한 부분을 최소한으로 개조하여 실제차량과 가장 유사한 작동조건과 성능특성을 파악할 수 있도록 하였다.

증발기입구 공기유량 조절은 DC12V, 220W 송풍기에 1.78Ω, 1.11Ω, 0.33Ω의 가변저항을 단계적으로 연결시켜 4단계로 조절 할 수 있도록 하였다.

응축기 입구 공기유량은 0.5Ω의 저항을 연결시켜서 2단계로 제어할 수 있도록 하였으며, 증발기 입구와 응축기 입구의 외부공기온도와 공기유량을 정확하게 조절하고 측정할 수 있도록 증발기측과 응축기측 흡입구에 140mm × 145mm, 680mm × 380mm의 투명아크릴로 특수 제작한 4각 덕트를 설치하였으며, 증발기와 응축기의 입구에 각각 2kW와 4kW의 핀 코일과 온도조절기를 설치하여 온도를 조절할 수 있도록 제작하였다.

압축기는 회전속도를 정확하게 변화시켜 자동차의 주행



- ① Compressor ② Condenser ③ Receive-drier ④ Flow meter
- ⑤ Expansion device ⑥ Evaporator ⑦ Fin coil for evaporator
- ⑧ Fin coil for condenser
- ⑨ Thermocouples for cooling air at condenser in-and out-let
- ⑩ Thermocouples for cooling air at evaporator in-and out-let
- ⑪ Pressure gauge for refrigerant at compressor in-and out-let
- ⑫ Power meter for compression power

Fig. 1 Schematic diagrams of the experimental apparatus

조건에 따른 압축기의 회전속도를 저속, 중속 및 고속 주행의 3단계로 변환될 수 있도록 하였다. 따라서 이에 상응하는 회전속도를 정확하게 제어할 수 있도록 SPS 3상 구동 동력모터를 장착하였다.

모터의 회전속도는 인버터를 설치하여 주파수조정에 의해 압축기의 회전속도를 조절할 수 있도록 하였다. 에어컨 디셔너시스템에 포함된 수분을 완전히 제거하기 위하여 리시버 드라이어(Receiver drier)를 설치하였다.

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 증발기와 응축기의 입·출구 공기온도를 측정하기 위하여 4개의 T-type 열전대를 설치하였으며, 냉매압력은 고압부와 저압부에 각각 0~35kg/cm²의 압력계를 설치하여 측정할 수 있도록 하였으며, 실제차량에 장착되어 사용되고있는 트리플 압력스위치를 사용하여 측정된 압력값을 서로 비교할 수 있도록 하였다.

응축기에서 열교환하여 나오는 고온과 증발기의 저온의 공기가 실험장치에 영향을 주지 않도록 덕트를 설치하여 밖으로 완전히 배출되도록 하였고, 시스템에 사용한 파이프는 주위의 열원에 영향을받지 않도록 단열시켰다.

압축기의 소비전력을 측정하기 위해 디지털전력계(WT-1030)를 사용하여 측정할 수 있도록 하였으며, 실내공기온도와 습도는 디지털 건·습구온도계를 사용하였고, 데이터 취득장치(DA-100)를 통하여 측정된 자료는 컴퓨터를 이용하여 분석할 수 있도록 하였다.

2.2 실험방법

에어컨디셔너 시스템성능에 영향을 주는 주요 변수중의 하나는 시스템에 들어 있는 냉매 충전량이다. 실험에 사용한 실제차량의 냉매 충전량은 R-134a의 경우 730±20g이지만, 실험장치를 실험환경에 맞게 냉매 파이프를 변경하여 대체하고자하는 두 냉매 모두다 정확하게 어느 정도인지 파악되지 않으므로 충전량실험을 통하여 적정량을 결정한다.

충전량실험은 먼저 시스템내부에 들어있는 공기 및 수분을 완전 배출시키기 위해 진공펌프를 사용하여 10-7torr 까지 진공 시킨 후 HFC-152a를 저압측에 600, 650, 700, 750, 800, 850g으로 변화시켜가면서 리시버드라이어 역면경에 나타나는 기포발생여부와 과냉도변화를 보면서 측정된 결과 과냉도가 5℃ 정도 되는 800g을 적정 충전량으로 결정하였으며, 이때 냉매 충전량은 외기 온도영향에 따라 충전량이 변화됨으로 외기 온도를 25℃로 유지시키면

서 충전시켰다. 혼합냉매 또한, HFC-152a와 동일한 조건으로 충전량실험을 한 결과 최적 충전량은 750g이었다. 외기 온도와 압축기의 회전속도 변화에 대한 압력비와 성능특성 파악하기 위해 증발기와 응축기측 입구공기 온도를 동시에 25℃, 30℃, 35℃, 40℃, 45℃로 단계적으로 상승시켜가면서 실험을 수행하였다. 이때 최적의 외기 온도는 허용오차 ±0.5℃범위 내에서 온도를 제어하며 실험을 수행하였다.

자동차의 실제주행에 있어서 에어컨디셔너는 외기온도가 일반적으로 25℃에서부터 45℃범위까지 운전되며, 일반 에어컨디셔너와는 달리 압축기의 회전속도가 엔진회전속도에 비례하게 되므로 1000RPM, 1500RPM, 2000RPM의 3단계로 증가시키면서 측정하였다. 응축기 입구 공기는 0.414m³/s으로 항상 일정하게 유지하였으며, 증발기 팬의 회전속도를 단계적으로 증가시켜 증발기 입구공기는 1단(0.046m³/s), 2단(0.059m³/s), 3단(0.10m³/s), 4단(0.141m³/s)으로 설정하여 측정하였다. 습도는 각각의 증발기와 응축기는 4각 덕트 입구에서 외기온도에 따라 가열 가습하여 상대습도 50±5% 범위 내에서 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 외기 온도조건과 압축기 회전속도에 따른 증발기열량

Figs. 2~4는 HFC-152a의 압축기의 회전속도가 각각 1000RPM, 1500RPM, 2000RPM일 때 외기온도와 공기유량에 따른 증발기열량을 나타낸다.

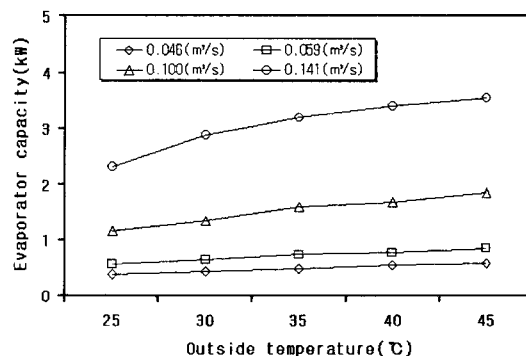


Fig. 2 The relations of outside temperature and evaporator capacity of HFC- 152a refrigerant at 1000rpm

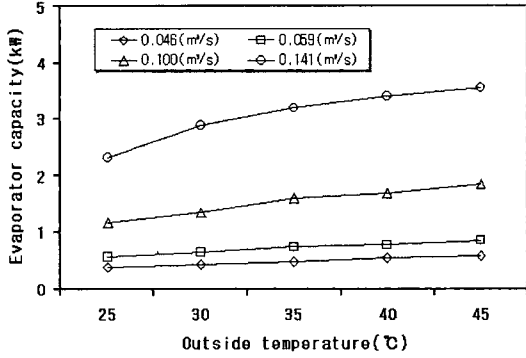


Fig. 2 The relations of outside temperature and evaporator capacity of HFC- 152a refrigerant at 1000rpm

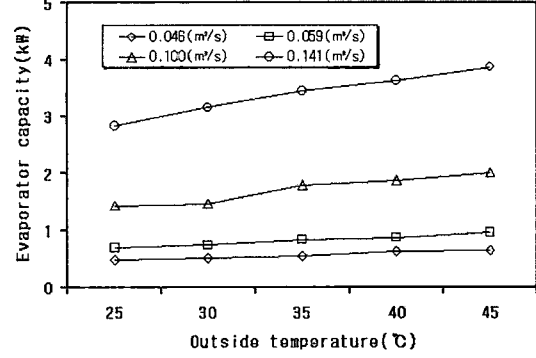


Fig. 4 The relations of outside temperature and evaporator capacity of HFC- 152a refrigerant at 2000rpm

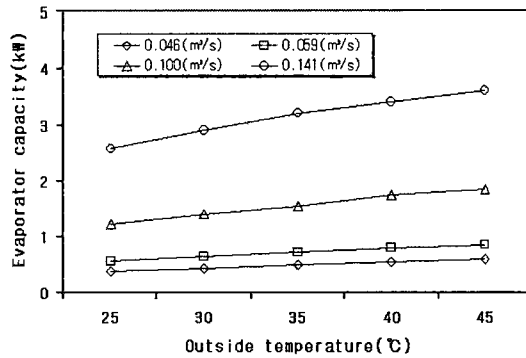


Fig. 3 The relations of outside temperature and evaporator capacity of HFC- 152a refrigerant at 1500rpm

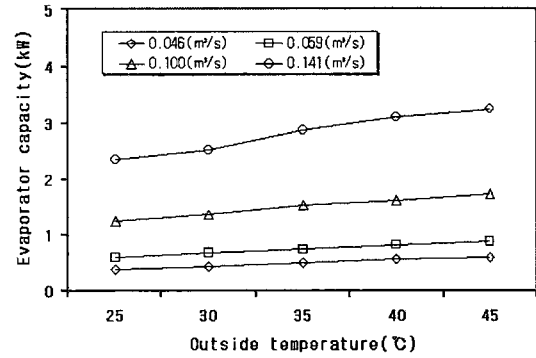


Fig. 5 The relations of outside temperature and evaporator capacity of HFC- 152a refrigerant mixed with CF₃I at 1000rpm

Fig. 2는 압축기의 회전속도가 1000RPM일 때 외기온도와 공기유량 변화에 따른 증발기열량을 나타낸다. 외기온도가 증가됨에 따라 증발기열량은 상승하였으며, 공기유량을 0.046m³/s와 0.059m³/s로 증가하였을 때 열량상승률은 거의 일정함을 나타내었고, 공기유량을 0.100m³/s, 0.141m³/s로 증가시켰을 때 상승률은 증가하였으며, 증발기열량차이는 크게 나타났다.

이는 증발기로 통과하는 공기유량이 적을 때는 활발한 열교환이 이루어지지 않아 열량은 감소하며, 유량을 증가시켰을 때 냉매와의 열교환이 잘 이루어져 증발기열량은 증가한다.

Figs. 3~4는 압축기의 회전속도가 각각 1500RPM, 2000RPM일 때 외기온도와 공기유량변화에 따른 증발기열량을 나타낸다. 압축기의 회전속도 1000RPM과 같이

외기온도를 증가시킬때와 공기유량을 증가함에 따라 증발기열량은 상승하였고, 압축기의 회전속도를 증가시켜도 증발기열량은 거의 변화지 않았는데, 이는 본 실험장치에서 외부부하에 따라 냉매량을 자동조절하는 온도식 팽창밸브를 사용하였기 때문으로 생각한다.

Figs. 5~7은 혼합냉매의 압축기의 회전속도가 각각 1000RPM, 1500RPM, 2000RPM일 때 외기온도와 공기유량에 따른 증발기열량을 나타낸다.

Fig. 5는 압축기의 회전속도가 1000RPM일 때 외기온도와 공기유량 변화에 따른 증발기열량을 나타낸다. 외기온도가 증가함에 따라 증발기열량은 증가하였고, 공기유량이 증가됨에 따라 증발기열량은 상승하였다. 공기유량을 0.046m³/s와 0.059m³/s로 증가하였을 때 증발기열량 상승

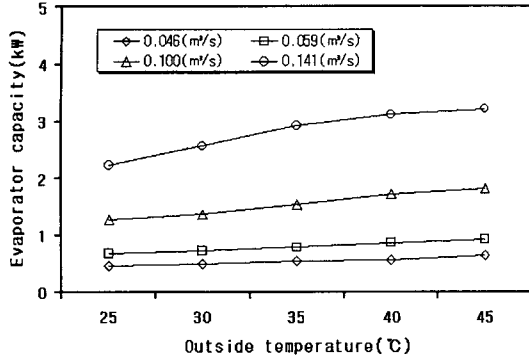


Fig. 6 The relations of outside temperature and evaporator capacity of HFC- 152a refrigerant mixed with CF₃I at 1500rpm

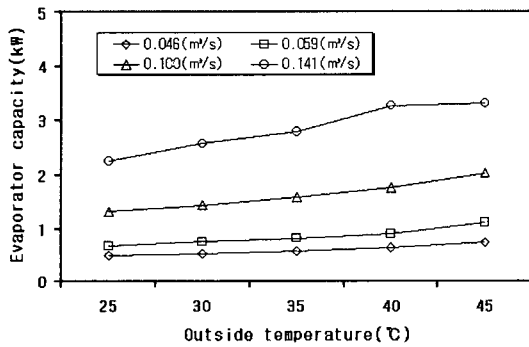


Fig. 7 The relations of outside temperature and evaporator capacity of HFC- 152a refrigerant mixed with CF₃I at 2000rpm

물은 일정함을 나타내었고, 공기유량을 0.100m³/s, 0.141m³/s로 증가시켰을 때 상승률은 증가하였으며, 증발기열량차이는 크게 나타났다.

Fig. 6은 압축기의 회전속도가 1500RPM일 때 외기온도와 공기유량 변화에 따른 증발기열량을 나타낸다. 외기온도와 공기유량을 증가시켰을 때 증발기열량은 압축기의 회전속도 1000RPM과 같은 결과로 나타나며, 압축기의 회전속도를 증가함으로써 전체적인 증발기열량은 상승하였다.

Fig. 7은 압축기의 회전속도가 2000RPM일 때 외기온도와 공기유량 변화에 따른 증발기열량을 나타내는데, 공기유량을 0.046m³/s, 0.059m³/s로 하였을 때 외기온도 45℃

에서는 증발기열량 상승률이 커짐을 볼 수 있는데, 이는 혼합냉매의 특성으로 여겨진다.

3.2 외기 온도조건과 압축기 회전속도에 따른 성능계수

Figs. 8~10은 HFC-152a의 압축기의 회전속도가 각각 1000RPM, 1500RPM, 2000RPM일 때 외기온도와 공기유량에 따른 성능계수를 나타낸다.

Fig. 8은 압축기의 회전속도가 1000RPM일 때 외기온도와 공기유량 변화에 따른 성능계수를 나타낸다. 외기온도 25℃에서 COP는 높게 나타났다. 이는 압축기의 회전속도가 낮고 외기온도가 낮아 증발기에서 활발한 열교환이 되지 않아 압축기에서 포화증기가 아닌 습포화증기상태의 냉매를 흡입하여 압축기의 일량이 감소하여 소비전력은

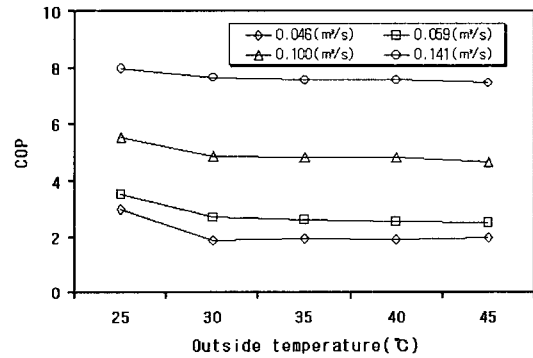


Fig. 8 The relations of outside temperature and COP of HFC-152a refrigerant at 1000rpm

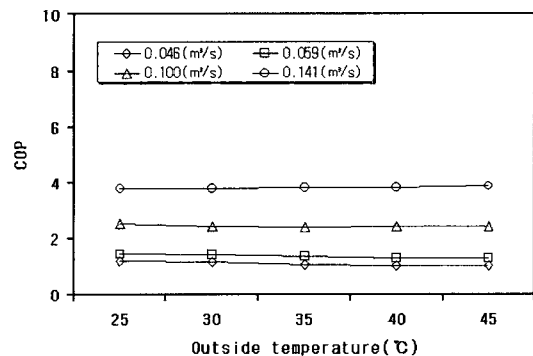


Fig. 9 The relations of outside temperature and COP of HFC-152a refrigerant at 1500rpm

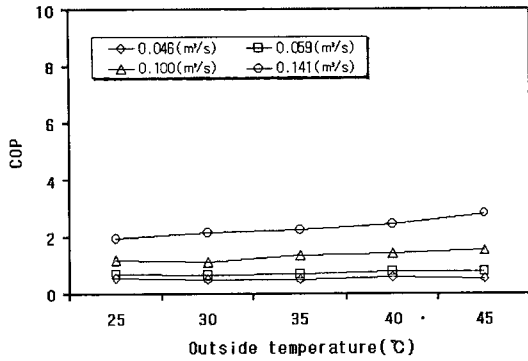


Fig. 10 The relations of outside temperature and COP of HFC-152a refrigerant at 2000rpm

감소되며, COP는 증가하게 된다. 또한, 외기온도를 증가함에 따라 압축기의 일량이 상승됨으로 COP는 감소하였다.

Figs. 9~10은 압축기의 회전속도가 각각 1500RPM, 2000RPM일 때 외기온도와 공기유량 변화에 따른 성능계수를 나타낸다. 외기온도와 증발기로 통과하는 공기유량이 증가됨에 따라 COP는 상승하였으며, 압축기의 회전속도를 증가시켰을 때 COP는 감소하였다.

Figs. 11~13은 혼합냉매의 압축기의 회전속도가 각각 1000RPM, 1500RPM, 2000RPM일 때 외기온도와 공기유량에 따른 성능계수를 나타낸다.

Fig. 11은 압축기의 회전속도가 1000RPM일 때 외기온도와 공기유량 변화에 따른 성능계수를 나타낸다. 외기온도와 공기유량을 증가함에 따라 상승률은 적었지만, COP 차이는 컸다.

Figs. 12~13은 압축기의 회전속도가 각각 1500RPM, 2000RPM일 때 외기온도와 공기유량 변화에 따른 성능계수를 나타낸다. 외기온도와 공기유량이 증가됨에 따라 COP는 증가하였고, 압축기의 회전속도가 증가하면 전체적인 COP는 감소하였다.

4. 결론

자동차용 에어컨디셔너 시스템에 현재 사용중인 HFC-134a를 대체하기 위해 단일냉매인 HFC-152a와 여기에 CF3I를 혼합한 혼합냉매를 사용하여 대체냉매의 성능특성실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 압축기의 회전속도, 외기온도, 공기유량의 변화에 따라 증발기열량, 응축기열량 및 성능계수가 변화

되며, 이로 인해서 에어컨디셔너 시스템에 커다란 영향을 준다는 것을 알았다.

- (2) 외기온도 35°C에서 증발기열량은 HFC-152a가 증가하였고, 소비전력은 감소하였다. 외기온도 40°C에서 증발기열량과 소비전력은 HFC-152a가 증가하였다.
- (3) HFC-152a의 성능계수는 압축기의 회전속도 1000RPM, 1500RPM에서는 혼합냉매보다 높게 나타났으며, 2000RPM에서는 거의 비슷하게 나타났다.

후 기

이 논문은 2001년도 조선이공대학 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

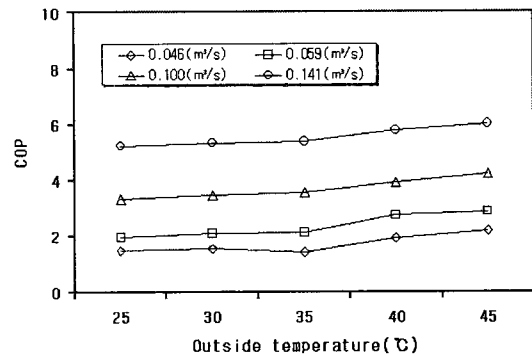


Fig. 11 The relations of outside temperature and COP of HFC-152a refrigerant mixed with CF₃I at 1000rpm

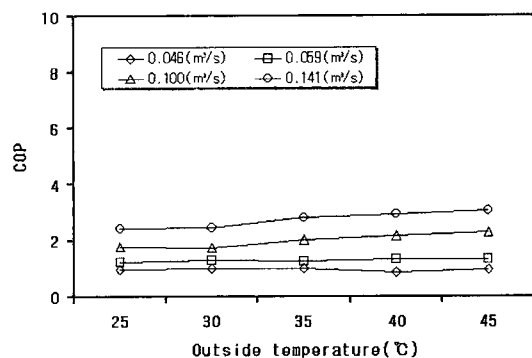


Fig. 12 The relations of outside temperature and COP of HFC-152a refrigerant mixed with CF₃I at 1500rpm

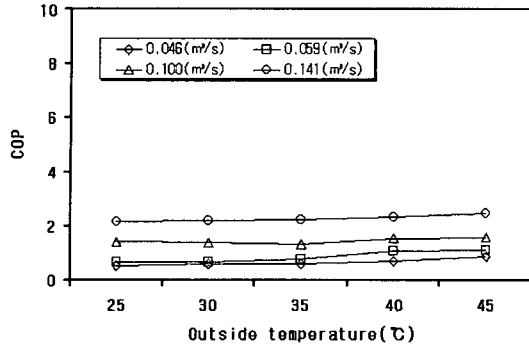


Fig. 13 The relations of outside temperature and COP of HFC-152a refrigerant mixed with CF_3I at 2000rpm

Refrigerants and Refrigerant Mixtures (REFPROP) Version 6.0", National Institute of Standards and Technology, Boulder, CO, U.S.A. 1998.

- (7) Knobler C. M., "Volumetric Properties of Gaseous Mixtures, in Specialist Periodical Reports", Chemical Thermodynamic, vol.2, pp.199-205, 1987.
- (8) Ebenr, T. and Halozan, H., "Testing the Available Alternative An Examination of R-134a, R-152a and R-290", IEA HPC Newsletter, Vol.12, No.1, Sittard, The Netherlands, 1994.
- (9) 한영출, 오용석, 조재명, "2영역 연소모델을 이용한 액화천연가스 기관의 성능에 관한 연구", 한국공작기계학회, 제8권 제3호, pp.61-62, 1999.

참고 문헌

- (1) Soloman, S, and Wuebbles, D. "ODPs, GWPs, and Future Chlorine/Bromine Loading", Scientific Assessment of Ozone Depletion, pp.131-136, 1994.
- (2) D. S. Jung, "Development Trend of New alternative refrigerant", The Society of Air conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 25, No. 6, pp.479- 488, 1996.
- (3) H.C. Lee, B. J. Park, D. S. Jung, S. J. Oh, E.K. alternative refrigerant mixtures containing CF_3I for CFC12 in automobile air conditioners" The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea "Proceedings of the SAREK '99 Summer Annual Conference(I)" pp.219-224, 1999.
- (4) J. S. Han, J. G. Youn, S. P. Won, "A study on performance characteristic of a new alternative refrigerant replacing HFC- 134a" The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea "Proceedings of the SAREK '99 Summer Annual Conference(I)" pp.219-224, 1999.
- (5) Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, United Nations Environmental Programme (UNEP), New York, p.15, 1987.
- (6) McLinden M., Klein S., Lemmin E., and Peskin A., "NIST Thermodynamic and Transport Properties of