

R-134a용 냉동장치의 성능에 미치는 R-134a와 R-430a의 영향

The Effect of R-134a and R-430a on the Performance of Refrigeration Equipment for R-134a

변 철 규* 강 형 석**
Byun, Chul-Kju Kang, Hyung-Suk

Abstract

The effect of refrigerant R-134a and R-430a on the performance of refrigeration equipment for R-134a is investigated. Refrigeration effect, compression work and coefficient of performance of refrigeration equipment for both R-134a and R-430a are obtained by experimentation. These performances comparison between R-134a and R-430a is made in case of the maximum load. Refrigeration effect for R-134a and that for R-430a is almost equal while compression work for R-134a is less than that for R-430a. Consequently it shows that coefficient of performance for R-134a is relatively 11% higher than that for R-430a.

키워드 : 냉동 효과, 압축 일, 성능 계수, 냉매

Keywords : *refrigeration effect, compression work, coefficient of performance, refrigerant*

기호설명

GL : 운전 표시등
GWP : 지구 온난화지수
MC : 자기 접촉기
MCCB : 배선용 차단기
ODP : 오존 파괴지수
PL : 전원 표시등
RL : 정지 표시등
SV : 전자 밸브

1. 서론

냉매는 저온부로부터 고온부로 열을 옮기는 역할을 하는 매체이며, 저온부에서는 액으로부터 가스로, 고온부에서는 가스로부터 액으로 상태변화를 하는 것으로 냉동장치, 열펌프, 공기조화장치 등의 내부를 사이클로 순환하면서 저온부에서 (증발기) 증발함으로써 주위로부터 열을 흡수하여 고온부에서 (응축기) 열을 방출시키는 작동유체를 가리킨다. 이러한 역할을 하는 냉매로서 현재 여러 가지가 사용되고 있으나 냉매로 주로 활용되고 있는 할로카본은 (프레온) 크게 CFC, HCFC, HFC로 분류할 수 있는데, CFC는 염소, 불소 및 탄소로 구성된 '염화불화탄소'로서 R-11, R-12, R-113, R-114 및 R-115 등이 이에 포함된다[1][2].

HCFC는 구성 원자 중에 최소한 수소가 한 개 이상 포함되어 있는 '수소화염화불화탄소'로서

* 춘천 폴리텍대학 산업설비과 교수

** 강원대학교 기계의용공학과 교수, 교신저자

R-22, R-123, R-124, R-141b 및 R-142b 등이 여기에 포함된다[3][4]. CFC계 냉매는 냉매의 구비요건을 아주 잘 만족하고 화학적으로 아주 안전할 뿐 아니라 인체에 무해하지만 대기 중에 방출되면 대부분이 분해되지 않은 채 성층권에 도달하고, 그곳에서 자외선에 의해 분해된 염소원자가 오존층을 파괴한다. 그 결과 지표면에 도달하는 자외선량이 많아져 피부암의 발생률이 상승할 가능성이 크고 생태계에도 막대한 악영향을 끼칠 우려가 있다. 이러한 이유로 1987년 이 냉매를 개발하고 이미 엄청난 냉매를 방출한 국가들이 중심이 되어 몬트리올 의정서를 채택하여, 에어졸용, 냉매용, 발포제 용으로서의 R-11, R-12, R-114, R-115, 세척제용, 용제용으로서의 R-113 및 소화제용으로서의 할론 1211, 1301을 규제하는 것을 결정하였고, 그 후 성층권에서 오존층 파괴가 지구환경에 미치는 영향이 점점 심각하게 인식되어 1990년 6월 런던회의와 1992년 11월 코펜하겐회의에서 규제대상 및 규제계획을 더욱 강화하여 선진국의 경우에는 1996년 1월 1일 이후로 CFC의 생산이 중단되었고, 개발도상국은 10년간의 유예기간을 갖고 CFC를 전폐하게 되었다. 또 1995년에 열린 비엔나회의에서는 중간대체물질인 HCFC에 대해서도 선진국 전폐일정을 2030년으로 앞당기고, 개발도상국에 (우리나라 해당) 대해서는 2015년의 HCFC소비량 기준으로 2016년부터 생산량을 동결하고 2040년에 전폐하도록 결정하였다.

우리나라는 1992년 몬트리올 의정서를 비준하였으며, 이러한 국제협약을 이행하기 위하여 『오존층보호를 위한 특정 물질의 제조 규제 등에 관한 법률』을 제정하여 1992년 1월 1일부터 시행하고 있다. 그 대책으로 대체 냉매 개발을 위해 많은 연구가[5]~[8] 이루어지고 있고, 그 중 R-134a는 R-12의 대체품으로 현재 냉동기 및 자동차용 에어컨 냉매로 많이 사용되고 있다. 그러나 HFC는 (R-134a) ODP가 (오존파괴지수) 0이기 때문에 몬트리올 의정서에 따른 규제는 받지 않지만 GWP가 (지구온난화지수) 1300으로 높기 때문에 온실가스 배출 규제를 위한 교토의정서의 제약을 받을 가능성이 높다. 이러한 이유로 현재 유럽에서는 가정용 냉장고 분야에 ODP와 GWP가 낮은 탄화수소계 냉매의 점유율이 33~38%이며, 특히 독일에서는 90% 이상이 아이소 부탄을 사용하고 있다.

따라서 대체 냉매의 연구에 대한 일환으로 본 논문에서는 현재 R-134a 냉매를 사용하는 소형냉동장비에 R-134a 냉매의 대체 냉매로 개발된 R-430a 냉매를 충전 운전하여 냉동장비에 어떠한 변화가 일어나는지를 알아보고 각각 R-134a와 R-430a 냉매를 사용했을 때 얻어진 냉동효과, 압축일 그리고 성능계수를 비교하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 구성기기

본 실험을 위하여 사용된 R-134a용 냉동실험장비가 Fig. 1에서 보여진다. 실험장치의 구성기기로서 먼저 압축기는 (Compressor) 완전 밀폐형 왕복동식압축기가 (230V~60Hz, 1PH, 온도 보호 장치 내장) 사용된다. 열전달을 양호하게 하기 위해 동관에 냉각핀이 부착된 응축기가 Fig. 1의 좌측 아래에서 보여 진다. 액화한 냉매를 일시 저장하고, 액상태의 냉매만을 팽창밸브로 보내는 역할을 하는 수액기가 (Liquid receiver) 응축기의 우측 옆에 위치하고 있다. 아크릴 판으로 구성된 상자 (36cm×49cm×33cm, 전후 면에 개폐가 가능한 덮개 부착) 안에 설치된 증발기가 실험장비의 우측 아래에서 보여 진다. 증발을 마친 냉매 가스와 증발이 덜 된 냉매 액을 분리하여 냉매 가스만을 압축기로 전달하여 습 압축으로 인한 모터 과손을 방지하는 역할을 수행하는 액 분리 기는 (Accumulator) 수액기와 증발기의 사이에 위치하고 있다. Fig. 2는 Fig. 1에서 보이는 냉동장비의 냉동사이클 개요도

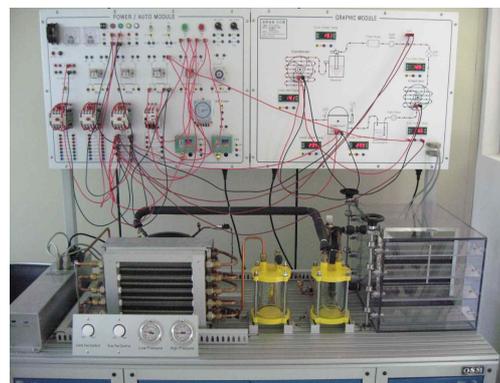


Fig. 1 Refrigeration equipment for R-134a

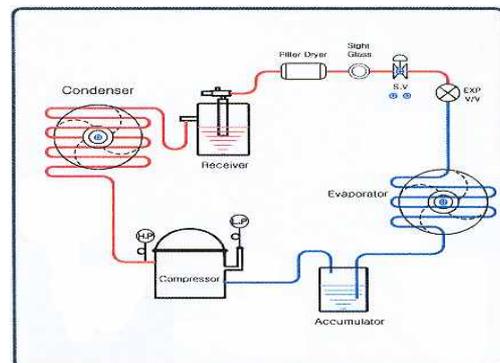


Fig. 2 Schematic diagram for the refrigeration diagram

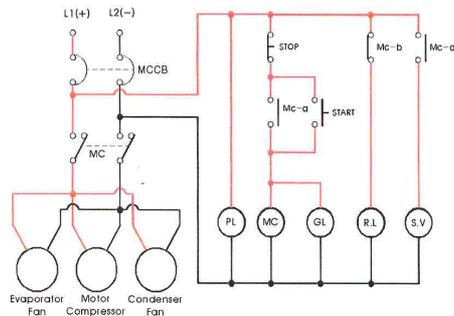


Fig. 3 Control circuit of refrigeration equipment

로 압축기에서 고온 고압상태로 압축된 냉매증기가 응축기로 들어가 응축기에서 열을 방출하여 저온의 냉매 액으로 응축되어 수액기로 유입되고, 수액기에서 액 상태의 냉매만 분리되어 필터드라이어와 사이트글라스, 전자밸브를 거쳐 팽창밸브로 이동하게 된다. 팽창밸브에 유입된 냉매액은 교축 작용에 의해 압력과 온도가 강하되어 증발기로 들어가 주위에서 기화열을 흡수하여 증기가 되고, 증발기를 나온 냉매증기는 액 분리로 유입되며, 액 분리기는 증발이 끝난 냉매증기만을 분리하여 압축기로 이동되어 사이클 내를 반복하여 순환하는 냉동사이클을 이룬다.

2.2 냉동장치 운전제어회로

Fig. 1의 상단에서 보여 지는 운전제어회로는 Fig. 3에서 보여 지는 냉동장치 제어시스템회로를 적용하여 작동 시켰는데 작동원리는 다음과 같다.

1) MCCB를 (배선용 차단기, Molded Case Circuit Breaker) 닫으면 PL과 (전원 표시등, Pilot Lamp) RL이 (정지 표시등, Red Lamp) 점등되고, start 버튼을 누르면 MC가 (자기 접촉기, Magnetic Contactor) 여자(勵磁)되어, 자기유지회로가 형성되면 Evaporator fan ON, Motor Compressor ON, Condenser fan ON, GL (운전 표시등, Green Lamp) 점등, 전자밸브가 개방되어 냉동장치가 운전된다.

2) 냉동장치를 실험시간 30분까지 운전 후에 STOP 버튼을 누르면 MC가 소자(消磁)되어 자기유지회로가 해제되어 Evaporator fan OFF, Motor Compressor OFF, Condenser fan OFF, GL 소등, RL 점등, 전자밸브가 폐쇄되어 냉동장치가 정지된다.

3) Condenser fan과 Evaporator fan은 별도의 컨트롤 스위치가 부착되어 팬 속도 제어와 기동정지를 할 수 있도록 되어있다.

2.3 실험방법

본 실험에 사용된 두 냉매 사이의 특성 및 물성치들에 대한 비교가 Table 1에서 나열되어 있다. 두 냉매의 비등점은 비슷하며 냉매 R-134a에 비하여 R-430a의 온도사용범위가 더 크고 지구온난화지수가 더욱 좋은 것을 보여준다. 각 냉매를 사용한 실험방법은 다음과 같다.

2.3.1 R-134a 사용 경우

1) 냉동장치와 (고압, 저압부 충전니플) 진공펌프를 매니폴드 게이지를 이용하여 연결한 후 진공펌프를 가동하여 장치 내부를 진공으로 만든다.

2) 약 30분 정도 진공 방치 시험을 한다. 만약 누설 개소가 있으면 압력 변동이 발생한다.

3) 진공 시험이 완료되면 매니폴드게이지를 이용하여 냉매용기와 장치를 연결한 후 호스 내의 공기를 제거한다.

4) 냉매용기를 거꾸로 세워 저압부를 통하여 냉매를 주입한다. 장치 내부가 진공상태임으로 자동으로 냉매가 장치내로 흘러 들어간다.

5) 냉매 주입 시 밸브를 조절하여 한 순간에 많은 양의 냉매가 주입되지 않도록 한다.

6) 설정압력에 가깝게 주입되면 냉동장치를 운전하면서 나머지 냉매를 보충 하면서 설정압력에 (게이지압 3bar) 도달하도록 냉매를 주입한다.

7) 냉매충전이 완료 후 실내온도를 (실험시 온도 21℃) 확인한 후 start 버튼을 눌러 장치를 작동시킨 후 1분 단위로 냉동장치의 고압과 저압부

Table 1 Comparison of properties between R-134a and R-430a

	R-134a	R-430a
분자식	CH2FCF3	C4H10
분자량 (kg/kmol)	102.0	63.96
비등점 (℃)	-26.1	-27.6
액체밀도(kg/m ³) (40℃기준)	1147	724
가연성	없음	있음
독성	없음	없음
온도사용범위 (℃)	-20~15	-25~20
오존 파괴 지수 (ODP)	0	0
지구온난화지수 (GWP)	1300	107
윤활유	에스테르, PGA	에스테르, PGA, 미네랄 (광유)

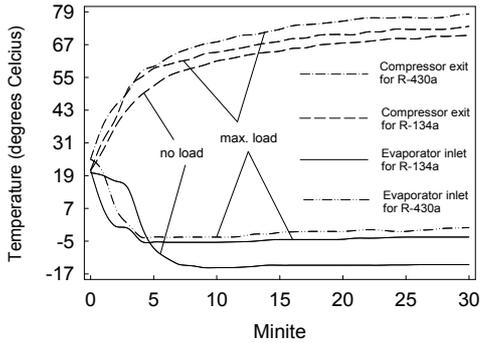


Fig. 4 Temperature vs. time for the steady state

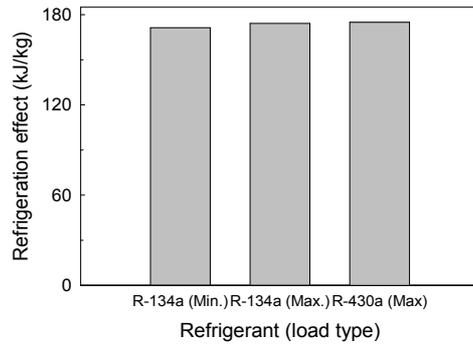


Fig. 6 Refrigeration effect vs. Refrigerant (load type)

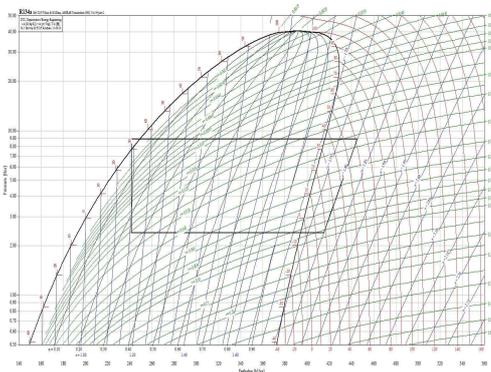


Fig. 5 P-h diagram of R-134a for the max. load

의 압력과 압축기, 응축기, 증발기의 입구와 출구 온도를 측정하여 기록하였다.

8) 정상 상태 조건을 만족시키기 위하여 실험 시간은 30분으로 정하여 실험을 실시하였다.

9) R-134a 냉매 실험은 최대부하 (증발기 외부 아크릴 상자의 진후 뎀퍼를 완전히 개방한 상태, 증발기 팬 가동) 운전과 무부하 (증발기 외부 아크릴 상자의 진후 뎀퍼를 완전히 닫은 상태, 증발기 팬 정지) 운전으로 조건을 변경하여 2회에 걸쳐 실험을 실시하였다.

2.3.2 R-430a 사용 경우

1) 냉동장치내의 R-134a 냉매를 완전히 외부로 방출한 후 장치 내부를 진공으로 만든 후 R-134a 냉매충전 방법과 동일한 방법으로 R-430a 냉매를 충전하였다.

2) 냉매 주입량은 냉동장치에 큰 영향을 미치는 요인임으로 가능한 R-134a 냉매의 주입량과 같게 하기 위해 설정압력을 (게이지압 3bar) 동일하게 하였다.

3) 냉매충전 완료 후 실내온도를 (실험시 온도 25℃) 확인한 후 start 버튼을 눌러 장치를 작동시

킨 후 1분 단위로 냉동장치의 고압과 저압부의 압력과 압축기, 응축기, 증발기의 입구와 출구 온도를 측정하여 기록하였다.

4) 실험시간은 30분으로 정하여 실험을 실시하였고, R-430a 냉매 실험은 최대부하 (증발기 외부 아크릴 상자의 진후 뎀퍼를 완전히 개방한 상태, 증발기 팬 가동) 운전으로 실험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 R-134a를 사용했을 때 각각 최대부하와 무부하 경우에 대하여, 그리고 R-430a를 사용하였을 때 최대부하인 경우에 대하여 압축기 출구와 증발기 입구에서 온도가 정상상태에 도달하는 과정을 보여준다. 냉매가 R-134a인 경우 정상상태에 도달하였을 때 최대부하일 경우의 압축기 출구와 증발기 입구에서 온도가 무부하 일 경우의 온도보다 각각 약 3℃와 10℃ 정도 높음을 보여준다. 최대부하인 경우 R-430a를 사용하였을 때가 R-134a를 사용 하였을 때보다 온도가 다소 높음을 나타내며 시간에 따라 수렴하는 경향은 비슷함을 보여준다. 수렴 곡선이 다소 매끄럽지 않은 이유는 온도 값을 1분단위로 측정하였기 때문이다. 압축기 출구온도는 정상상태에 도달하는데 약 30분 정도 걸리는 반면 증발기 입구온도는 정상상태에 도달하는데 약 10분 정도 소요됨을 알 수 있다.

Fig. 5는 최대 부하 경우에 R-134a 냉매의 P-h 선도를 보여준다. 냉동장치를 30분간 연속 운전 하여 정상상태에 (압축기, 응축기, 캐필러리 튜브 그리고 증발기의 입구와 출구의 온도와 압력이 시간 변화에 따라 크게 변화되지 않는 지점) 도달한 후 온도와 압력을 측정하여 선도를 작도 하였다. 캐필러리 튜브에서는 등 엔탈피 과정으로 가정하여 표현하였다.

Fig. 6은 R-134a 냉매의 최대부하와 무부하 경

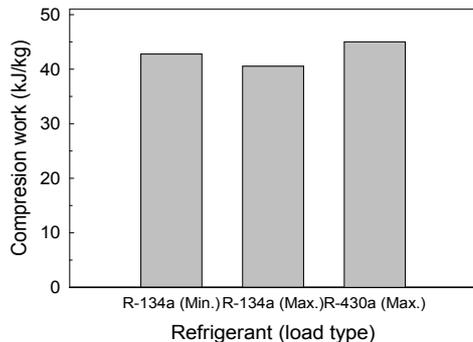


Fig. 7 Compression work vs. Refrigerant (load type)

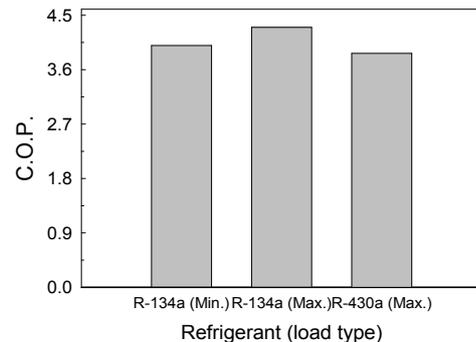


Fig. 8 C.O.P. vs. Refrigerant (load type)

우 그리고 R-430a 냉매의 최대부하 경우에 대하여 증발기에서 일어난 냉동효과를 보여준다. 냉매 R-134a를 사용하였을 때 무부하 경우보다 최대부하인 경우가 냉동 효과가 약간 커짐을 보여준다. 최대부하인 경우 각각 R-134a 냉매와 R-430a 냉매를 사용하였을 때 냉동효과를 비교하면 값의 차이가 거의 없음을 보여준다.

Fig. 7은 냉매 R-134a를 사용하였을 때 최대부하와 무부하 경우 그리고 냉매 R-430a를 사용하였을 때 최대부하인 경우에 대하여 압축기에서 필요한 압축 일을 나타낸다. 먼저 냉매 R-134a를 사용하였을 때 무부하인 경우가 최대부하인 경우보다 압축 일이 다소 높음을 보여준다. 최대부하인 경우 각각 R-134a 냉매와 R-430a 냉매를 사용하였을 때 압축 일을 비교하면 R-430a 냉매를 사용하였을 때가 R-134a 냉매를 사용하였을 때 보다 약 4.5 kJ/kg이 더 큼을 보여준다.

Fig. 8은 냉매 R-134a를 사용하였을 때 최대부하와 무부하 경우 그리고 냉매 R-430a를 사용하였을 때 최대부하인 경우에 대하여 실험장비의 성능계수를 (C.O.P.) 보여준다. 성능계수는 냉동효과를 압축 일로 나눈 값으로 정의된다. 냉매 R-134a를 사용했을 때 최대부하인 경우가 무부하인 경우보다 성능계수가 약 0.3정도 높음을 보여준다. 최대부하의 경우 R-134a와 R-430a의 냉동효과는 거의 같은데 반하여 압축 일은 R-430a를 사용했을 때가 R-134a를 사용했을 때보다 크기 때문에 성능계수는 R-134a를 사용했을 때가 R-430a를 사용했을 때 보다 상대적으로 약 11% 높음을 보여준다.

4. 결론

본 연구에서는 동일한 냉동장치에 R-134a 냉매와 R-430a 냉매를 각각 충전하여 운전하였을 때 얻어진 실험값들을 분석하여 다음과 같은 결론을

얻었다.

1. R-134a 냉매를 사용하는 냉동장치에 R-430a 냉매를 냉동장치의 변경이나 윤활유의 교환 없이 그대로 사용할 수 있음을 확인하였다.
2. 냉매 R-134a를 사용하였을 때 최대부하인 경우가 무부하인 경우보다 성능계수가 약 0.3정도 높음을 보여주었다.
3. 최대부하일 때 각각 R-134a와 R-430a를 사용할 경우를 직접적으로 비교하면 냉동효과는 두 경우 비슷한데 반하여 압축 일은 R-430a 경우보다 R-134a의 경우가 더 작기 때문에 성능계수는 R-134a의 경우가 R-430a의 경우보다 약 11% 높음을 나타내었다.

이상과 같은 결론을 통하여 알 수 있듯이 R-134a 냉매를 사용하는 냉동장치에 R-430a 냉매를 사용하여도 냉동효과, 압축일, 성능계수(COP)가 크게 변화하지 않음을 알 수 있었으며, R-430a 냉매가 가지는 가연성도 냉동장치의 자체 운전에는 큰 영향이 없음을 알 수 있었다. 지구온난화에 따른 심각한 기후 변화를 감안할 때 보다 친환경적인 냉매의 개발과 사용이 요구되어지는 시점이며 R-430a 냉매와 같은 탄화수소계 냉매도 가연성에 대한 법적 제도를 마련하여 안전하게 관리 한다면 좋은 대체 냉매로 사용되어 질 수 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Carrier Air Conditioning Company, *Handbook of Air Conditioning System Design*, McGRAW-HILL Book Company, 1965.
- [2] Stoecker, W. F. and Jones, J. W., *Refrigeration and Air Conditioning*, McGRAW-HILL, 1982.
- [3] Althouse, A. D., Turnquist, C. H. and

- Bracciano, A. F., *Modern Refrigeration and Air Conditioning*, Goodheart-Wilcox Publisher, 2004.
- [4] 2000 Refrigerant Reference Guide, National Refrigerant, Inc.
- [5] Lee, M. Y. and Kim, S. U., "A Study on Performance Characteristics of Propane/Isobutane Refrigerant Mixtures in a Domestic Small Multi-Refrigeration System", *Trans. of the KSME(B)*, Vol.29, No.2, pp.271-278, 2005.
- [6] Didion, D. A. and Bivens, D. B., "Role of Refrigerant Mixtures as Alternatives to CFCs", *Int. J. of Refrigeration*, Vol.13, pp.163-175, 1990.
- [7] Choi, K. I., Pamitran, A. S., Oh, J. T., Hrnjak, P. and Park, C. Y., "Effect on Flow Boiling Heat Transfer of Minichannel Diameter for R-410A", *Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol.21, No.12, pp.663-670, 2009.
- [8] Lee, J. S., Han, J. S., Lee, M. R. and Jeon, S. M., "Performance Evaluation of HFO-1234yf as a substitute for R-134a in a Household Freezer/Refrigerator", *Trans. of the KSME(B)*, Vol.35, No.7, pp.743-748, 2011.