

R134a를 이용한 냉동장치의 성능특성에 관한 실험적 연구

김진현* · 김종길** · 김성배* · 하옥남**

An Experimental Study on Performance Characteristics of Refrigeration System Using R134a Refrigerating System

Jin Hyun Kim, Jong-Kil Kim, Sung Bae Kim, Ok Nam Ha

Key Words: Condensing pressure(응축압력), Heat exchanger(열교환기), Refrigerating system(냉동장치), The degree of superheat(과열도)

Abstract

Since the use of CFCs and HCFCs refrigerants are to be restricted due to the depletion of ozone layer, this experiment applies the R134a gas to study the performance characteristic from the superheat control for improving the energy efficiency. The experiments are carried out for the condensing pressure of refrigeration system from 1.5 MPa to 1.6 MPa by 0.05 MPa and for superheat temperature from 0°C to 5°C by 1°C at each condensing pressure. As a result of experiment, when the superheat temperature is 1°C at each condensing pressure, the refrigeration system has the highest performance.

기호설명

| | |
|----------------|-----------------|
| \dot{m}_s | : 압축기 흡입증기 질량유량 |
| \dot{m}_{cw} | : 응축기 냉각수 질량유량 |
| T_{ch} | : 증발기 냉수 출구온도 |
| T_{cw} | : 응축기 냉각수 출구온도 |
| Q_e | : 증발기 흡열량 |
| Q_c | : 응축기 방열량 |
| P_s | : 압축기 흡입압력 |
| TC | : 응축온도 |
| TE | : 증발온도 |
| q_e | : 냉동능력 |

1.서론

냉동장치는 소형 냉장고에서부터 자동차, 선박, 고층건물, 그리고 대규모 화학플랜트에 이르기까지 산업 전반에 걸쳐 광범위하게 이용되고 있다. 특히, 화학공정산업에서는 가스의 분리 및 액화, 혼합물질 내의 필요한 물질을 분리하기 위한 응고, 저온저장 액체의 과잉압력을 방지하기 위한 유지 공정, 그리고 건조와 반응열 제거 등에 이용되고 있다.⁽¹⁾

2000년대에 들어서는 지구 온난화에 대하여 관심이 집중되고 있으며, 2008년까지 1990년대 초반 수준으로 온난화 가스방출을 규제한다는 교토 의정서에서 최고점에 달했다. 이에 대한 일환으로 유럽의회(EU)에서는 올해까지 냉매 누출량을 40g이하로 규제하고 2011년부터는 지구 온난화 지수(GWP: global warming potential)가 150이상인 냉매의 사용을 금지하기로 하였다.⁽²⁾

† 김종길, 조선대학교 교육대학원 기계공학과
E-mail : jk19972407@nate.com
TEL : (062)230-7945 FAX : (062)230-7055

* 조선대학교 대학원 기계공학과

** 조선대학교 공과대학 기계공학과

따라서 이와 같은 규제에 대비하기 위한 일환으로 대체 냉매를 이용하여 냉동장치에 적용하는 더 많은 연구들이 이루어져야 한다고 본다.

본 연구는 냉매 R134a를 작동유체로 이용하여 응축압력에 따른 과열도 변화에 대한 장치의 성능 특성 실험을 통해 냉매에 따른 성능을 비교하여 R134a의 특성을 나타내고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 응축압력에 따른 과열도 변화에 대한 냉동장치의 성능 특성 연구를 위한 실험장치의 개략도를 나타내고 있다.

본 실험장치는 R134a를 작동유체로 사용하였으며 장치는 압축기, 응축기, 증발기, 수액기, 팽창밸브 및 기타 부속기기로 구성하였다. 시스템의 흐름은 작동유체인 액체를 증발기에서 증발시켜 피냉각체인 냉수를 냉각시키고, 기화된 기체는 압축기에서 고온, 고압의 기체로 압축되며, 압축된 기체는 유분리기에서 오일과 분리된다. 분리된 고온, 고압의 기체는 응축기에서 냉각수와 열교환되어 고온, 고압의 액체로 상변화 된다. 응축기에서 상변화된 고온, 고압의 액체는 팽창밸브를 통과하면서 저온, 저압의 액체를 증발기로 보내는 사이클로 구성되어져 있다.⁽³⁾ 장치계 내의 압력손실을 최소화할 수 있도록 충분히 고려하여 실험장치를 제작하였고, 장치의 저압부는 외부온도에 의한 영향을 받지 않도록 KS규격에 의하여 단열 시공을 하였다. 시스템 내의 작동유체의 상변화를 측정하기 위해 시스템 내에 압력계, 온도계, 질량유량계, 과열도 제어기, 압력조정밸브, 전력계를 설치하였으며, 계측기의 오차범위(온도 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, 압력 $\pm 0.1 \text{ bar}$, 질량유량 $\pm 0.1 \%$, 소요동력 $\pm 0.1 \%$)이내에서 관리할 수 있도록 실험실내에 항온항습기를 설치하였다. 압축기는 일정한 부하에서 실험할 수 있도록 스크류 개방형 압축기를 사용하였으며, 부하를 일정하게 유지시키기 위해 슬라이드밸브를 고정하였다.

응축기와 증발기는 원통-다관형(Shell and Tube type, S&T)의 열교환기를 사용하였으며, 상변화용 유체(냉각수, 냉수)는 물을 사용하였다.

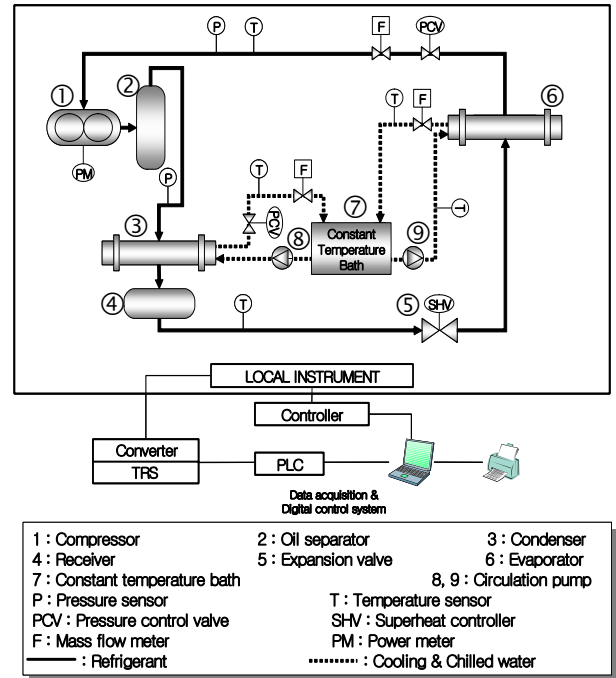


Fig. 1 The schematic of R134a refrigeration system.

상변화용 유체 온도를 일정하게 유지시키기 위해 1 kW의 히터와 3-way 유량 조절밸브를 설치하여 온도 제어기에 의해 자동 제어할 수 있도록 항온조를 설치하였다. 증발기 측의 냉수 질량유량을 일정하게 유지시키기 위해 인버터 순환펌프와 유량조절밸브를 설치하였다. 과열도 제어는 수동식 팽창밸브와 증발기 출구에 부착된 각각의 센서로부터 흡입온도와 흡입압력에 따라 과열도를 계산하여 설정값이 되도록 밸브 개도를 PID제어에 의해 자동 조절하는 전자식팽창밸브⁽⁴⁾를 사용하였다.

과열도는 증발기 출구의 온도와 압력에 해당되는 포화 온도값을 출구의 온도센서에서 받은 값의 차이로 계산하였다.

냉매의 압력은 증발기 출구 측과 응축기 상부 측에 고정된 계측기(스마트 타입 하니웰 제품)를 사용하여 응축압력과 증발압력을 측정하고, 냉매의 온도와 냉각수, 냉수 온도측정은 T-Type 열전대를 사용하였다. 응축압력 제어는 응축기 상부의 압력센서의 입력값을 받아 설정압력에 따른 응축기 냉각수 유량을 자동으로 조절할 수 있도록 유량 조정밸브를 설치하였고, 응축기 측의 냉각수

Table 1 Equipment specification of R-134a refrigeration system for experiment

| Equipment | Model & type | Specification |
|--------------------------------|--------------------------------|---|
| Compressor | Screw / Open | 118 m3/h |
| Main moter | TEFC | 15 kW |
| Oil cooler | Shell & Tube | 7.0 m2 |
| Condenser | Shell & Tube | 7.6 m2 |
| Evaporator with knock out drum | Shell & Tube | 4.0 m2 |
| Bath tank | Rectangle | 1 m3 |
| Flow meter | Vortex type (OVAL Corporation) | Electricity supply : DC 45 V The output signal : 4/20 mA |

질량유량을 측정할 수 있도록 질량유량계를 설치하였다. 냉매 측의 질량유량을 측정하기 위하여 수액기와 증발기 출구 측에 각각 수액기 출구 측과 증발기 출구 측 두 곳에 볼텍스형 유량계(Oval제)를 설치하였으며 이상기체 방정식에 의한 연산식으로 유량을 측정하였다.

Table 1에 본 냉동장치에 사용된 장치의 용량을 제시하였다.

2.2 실험방법

냉동장치의 실험가동전 먼저 장치의 외부 조건을 일정하게 유지시키기 위해 항온항습기를 가동하였고, 증발기 측의 냉수 질량유량이 일정하게 제어되고 있는지를 살펴보기 위해 순환펌프를 운전하여 확인하였다. 장치의 운전에 앞서 장치에 부착된 각각의 계측기의 값과 통신으로 송신된 계측 값의 오차여부를 확인한 후, 모니터링 프로그램에 의하여 운전상태를 감시하였다. 운전상태가 안정되면 응축압력을 1.50 MPa에서 1.60 MPa까지 0.5 MPa씩 단계별로 실험하였으며, 과열도는 응축압력 조건에 따라 0℃에서 5℃까지 1℃간격으로 단계적으로 실험을 실시하였다. 응축압력과 과열도 설정은 초기 운전시 전자식 자동유량조절밸브와 전자식 자동팽창밸브를 사용하

Table 2 Experimental condition

| | |
|--------------------------------|---------------------|
| Condensing pres. (bar) | 1.50Ma ~ 1.60MPa |
| Degree of superheat(℃) | 0 ~ 5 |
| Bath temp. (℃) | 28 |
| Ambient temp. (℃) | 24 |
| Chilled water flow rate (kg/h) | 6800 |
| Cooling & Chilled water | Demineralized water |

여 설정값에 근접시킨 후, 정확한 설정값에 도달하면 일정하게 유지시키기 위하여 수동식 유량조절밸브와 수동식 팽창밸브를 사용하였다. 실험 데이터 값의 정확도를 높이고자 반복 실험을 하였으며, 실험결과 값은 자료 획득 장치를 통하여 데이터를 2초 간격으로 측정된 후, PC를 이용하여 분석하였다.

Table 2에 본 연구의 실험조건을 나타내었다. 표에서 나타낸 바와 같이 열교환기의 성능 비교를 위해 증발기 냉수의 입수온은 항상 28℃로 유지하였다.

3. 실험결과 및 고찰

응축압력에 따른 과열도를 단계적으로 변화시켜 보았을 때 응축기 방열량, 증발기 흡열량, 냉매 질량유량, 흡입압력, 응축기의 냉각수 질량 유량, 증발기 출구의 냉수온도의 변화에 따른 압축기 소요동력과 냉동능력에 대한 COP를 비교한 실험결과를 고찰하였다.

3.1 냉매 질량유량

Fig. 2에서 보는 바와 같이 냉매 질량유량은 응축압력과 과열도가 높아짐에 따라 전체적으로 감소하는 결과를 나타내고 있다.

응축압력이 높을수록 압축기의 압축비는 증가하게 되고 압축기의 체적효율은 감소하게 되어 질량유량은 감소한다. 또한 과열도가 높아짐에 따라 증발기 내의 냉매의 순환량이 감소하게 되므로 냉매의 질량유량은 감소한다.

3.2 압축기 흡입압력

Fig. 3은 압축기 흡입압력에 대한 실험결과이다

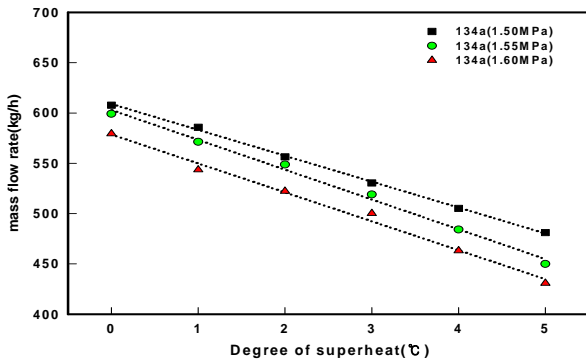


Fig. 2 The relations of refrigerant mass flow rate and degree of superheat at each condensing pressure.

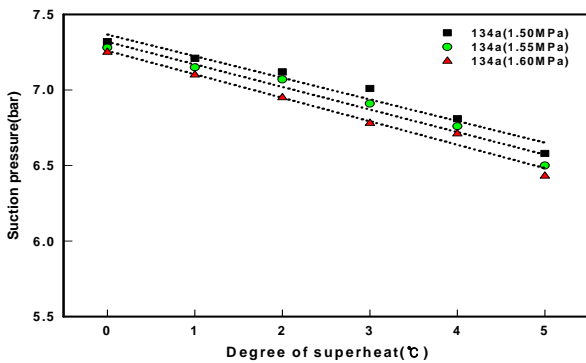


Fig. 3 The relations of suction pressure and degree of superheat at each condensing pressure

응축압력, 과열도가 높아짐에 따라 흡입압력은 전체적으로 감소함을 나타내고 있다. R134a는 1.5 MPa에서 과열도가 0°C일 때 질량유량이 가장 높게 나타났으며 과열도가 증가함에 따라 점차적으로 질량유량은 감소하였다. 동일 과열도에서 응축압력이 증가함에 따라 압축기의 압축비가 감소하게 되고 단위 시간 당 압축기에서 배출되는 냉매증기의 체적이 감소하여 체적유량이 감소하게 된다. 그러므로 응축압력이 상승하면 체적유량이 저하함에 따라 냉매 질량유량은 감소하게 된다. 동일 응축압력에서 과열도가 증가할 때는 증발기에서 증발되는 냉매증기의 비체적이 증가함에 따라 밀도는 감소하게 되어 압축기에 유입되는 체적유량도 저하하게 된다. 그러므로 과열도가 증가함에 따라 냉매 질량유량도 감소하게 된다. R134a는 응축압력과 과열도의 변화에 안정적임을 보여주고 있다.

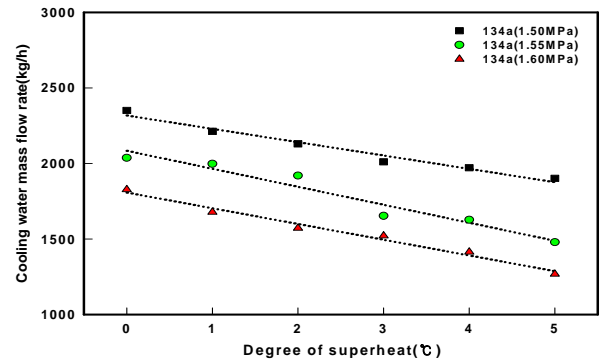


Fig. 4 The relations of cooling water mass flow rate and degree of superheat at each condensing pressure.

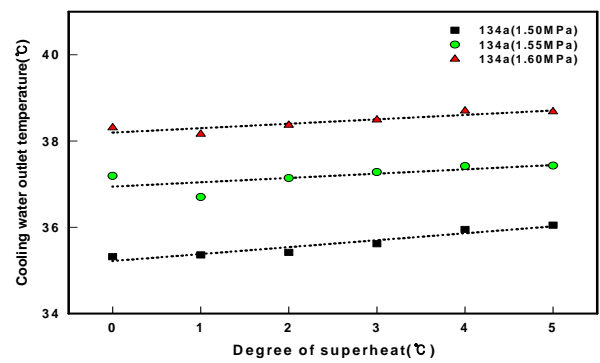


Fig. 5 The relations of cooling water outlet temperature and degree of superheat at each condensing pressure.

3.3 응축기 냉각수유량과 출구온도

Fig. 4와 Fig. 5는 응축기의 냉각수의 유량과 출구온도를 보여주고 있다. 냉각수유량과 출구온도의 관계는 냉각수유량이 증가하면 냉각수 출구온도가 낮아지며, 반대로 냉각수유량이 감소하면 냉각수 출구온도는 높아지는 상반관계를 갖고 있음을 알 수 있다. 이는 응축기의 방출면적(냉각면적)의 크기와 관계가 있는 것을 보여주고 있다. 응축압력 1.50 MPa와 1.60 MPa에서는 냉각수유량과 출구온도는 과열도를 변화하여도 큰 차이가 없었다. 응축압력 1.55 MPa, 과열도 2°C ~ 3°C 조건에서는 과열도가 높아질수록 냉각수질량유량의 감소폭이 크게 나타났으며 출구온도의 증가폭은 적었다. 이는 과열도가 높아짐에 따라 압축기에서 배출된 냉매증기의 엔탈피가 증가하기 때문에 증가폭이 커야하지만 응축기의 열저장면적이 넓기 때문인 것으로 적게 나타난 것으로 사료된다.

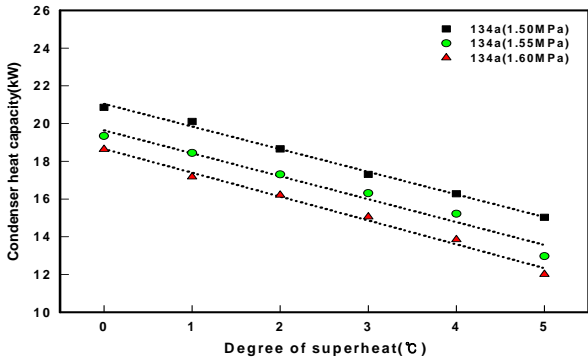


Fig. 6 The relations of condenser heat capacity and degree of superheat at each condensing pressure.

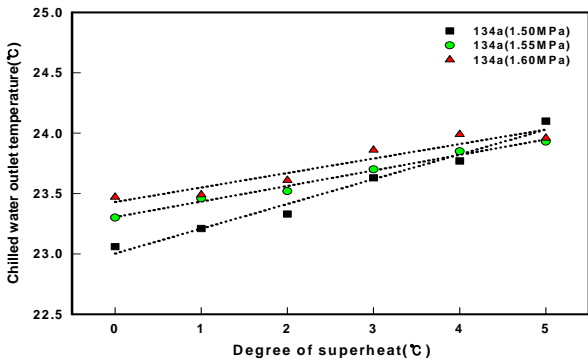


Fig. 7 The relations of chilled water outlet temperature and degree of superheat at each condensing pressure.

3.6 응축기 방열량

Fig. 6은 응축기 냉각수유량과 출구온도에 의해 방열량을 측정된 값이다. 응축압력과 과열도가 높아짐에 따라 방열량은 감소하였다. 응축기 방열량은 냉매 질량유량, 흡입압력과 비례하므로 냉매 질량유량과 흡입압력이 높을수록 응축기 방열량도 비례하여 증가하였다. 이는 냉매 질량유량과 흡입압력이 응축기 방열량 변화에 영향을 주는 요소임을 나타내고 있다.

3.5 냉수 출구온도 및 증발기 흡열량

Fig. 7과 Fig. 8은 증발기 냉수 출구온도와 증발기 흡열량을 나타내었다. 응축압력과 과열도가 높을수록 냉수 출구온도는 높게 나타났으며, 증발기 흡열량은 낮게 나타났다.

냉수 출구온도가 높고 흡열량이 낮은 원인은 압축기의 압축비가 증가하여 압축기 체적효율이 저하하기 때문에 압축기에 유입되는 냉매 질량유

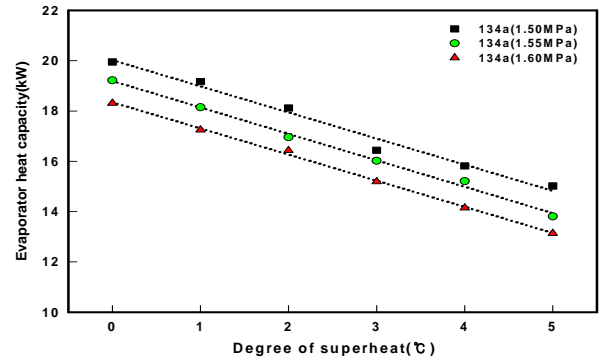


Fig. 8 The relations of evaporator heat capacity and degree of superheat at each condensing pressure.

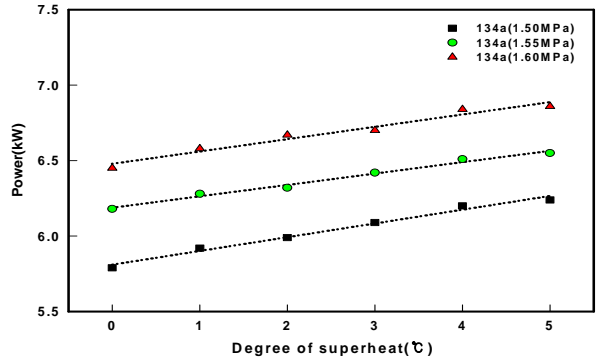


Fig. 9 The relations of power and degree of superheat at each condensing pressure.

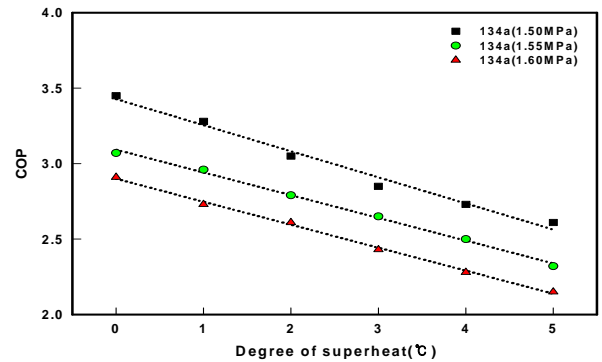


Fig. 10 The relations of COP and degree of superheat at each condensation pressure.

량이 감소하기 때문이다.

3.6 소요동력 및 COP

Fig. 9는 소요동력을 나타내었다. 응축압력, 과열도가 높을수록 소요동력은 증가하였으며 소요동력의 증가는 Fig. 3의 압축기 흡입압력에 따른 압축비와의 관계이다. 응축기 압력을 일정하게 유지시키고 과열도를 높일수록 증발기에서 증발

하는 냉매 질량유량이 감소하게 되며 압축기에 유입되는 흡입압력도 감소하게 된다. 따라서 압축기의 압축비가 증가하므로 소요동력도 증가한다.

Fig. 10은 COP에 대한 실험결과이다. COP는 증발기 흡열량과 소요동력과의 관계이다. 응축압력, 과열도가 높을수록 증발기 흡열량은 감소하고 소요동력은 증가하였다. 과열도 4~5℃ 조건에서는 COP가 감소하였는데 이는 압축기 소요동력이 증발기 흡열량보다 증가하였기 때문이다.

4. 결 론

응축압력에 따른 과열도 변화에 의한 R134a 냉동장치의 성능 특성은 본 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 응축압력과 과열도가 높을수록 냉매 질량유량이 감소하여 증발기 흡열량이 감소하였다.

(2) 과열도가 높아질수록 증발기에 유입되는 냉매 질량유량이 감소하여 압축비가 더욱 커지고 동력이 증가하여 에너지 손실이 많아짐을 알 수 있었다.

(3) 원통-다관형의 만액식 냉동장치는 과열도 0℃ 조건이 에너지 절약으로 운전경비를 절감할 수 있는 최적 조건임을 알았다.

참고문헌

1. Stoecker, W.F., 1982, Refrigeration and Air Conditioning, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, pp. 1-12, 296-307.
2. Kim, J.S., Lee, D.W. and Yoo, S.Y. 2006, An Experimental Study on Performance of Automotive Air conditioning System by using R-134a and R-152a, J. Air-Cond, Refrig. Eng., Vol. 6, No. 6 pp. 1225-1231.
3. Yun, J.I., 1998, Refrigerating Engineering, Munundang, Seoul, pp. 29-30
4. Higuchi, K., 1986, Electronic expansion valve and control, Refrigeration, Vol. 61, pp. 45-52.