

응축 및 증발 부하에 따른 냉동시스템 특성에 관한 연구

A Study on the Characteristics of Refrigerating System according to the Condensation and Evaporation Load

최승일* · 지명국**† · 이대철*** · 정효민**** · 정한식****

Seung-Il Choi*, Myoung-Kuk Ji**†, Dae-Chul Lee***, Hyo-Min Jeong**** and Han-Shik Chung****

(접수일 : 2013년 3월 18일, 수정일 : 2013년 5월 13일, 채택확정 : 2013년 5월 14일)

Abstract: The refrigerating system are high efficiency and comfortable due to the automation of the system as well as enhance energy saving are contributing to driving system. Previous study the rotational frequency of the compressor was confined to the fixed condition have changed load of evaporator and condenser related about the refrigerator performance characteristic according to the evaporation load and condensation load change tries to be analyze through the experiment. The useful data for the economic driving of the freezing apparatus tries to be drawn. Consequently, it confirmed that refrigerant in the compressor overheated and as the evaporation load increased the specific volume was increased and the coolant circulation rate decreased. In confirmed that condensation load increased the compression ratio and discharge gas temperature increased. It reduced the low-temperature efficiency and condensation calorie and the quality factor was decreased.

Key Words : Evaporation Pressure, COP, Heat Transfer Area, Refrigeration Road

— 기호 설명 —

Q_e : 냉동효과 [kJ/kg]
 Q_c : 응축열량 [kJ/kg]
 A_w : 압축일량 [kJ/kg]
COP : 성능계수

1. 서 론

기존의 연구들은 냉동사이클의 기본적인 이해를 위해 주요 요소인 증발기, 응축기에 대한 연구가 진행되어 왔다. 하지만 현재 설계되어 판매중인 냉동, 공조 제품들은 아직도 예전 냉동사이클

**† 지명국(교신저자) : 영진단조(주) 기술개발부

E-mail : mkji73@hotmail.com, Tel : 055-587-8833

*최승일 : 한국폴리텍 V 대학 산업설비자동화과

***이대철 : 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

****정효민 : 경상대학교 에너지기계공학과 · 해양산업 연구소

****정한식 : 경상대학교 에너지기계공학과 · 해양산업 연구소

**† Myoung-Kuk Ji(corresponding author) : Young Jin Forging Co., LTD. E-mail : mkji73@hotmail.com, Tel : 055-587-8833

*Seung-Il Choi : Department of Automation of Industrial Installation, Korea Polytecnic V College.

***Dae-Chul Lee : Graduate School of Precision Mechanical Engineering, Gyeongsang National University.

****Hyo-Min Jeong and Han-Shik Chung : Department of Energy and Mechanical Engineering, Gyeongsang National University · Institute of Marine Industry.

에서 크게 벗어나지 못하고 있는 실정이다.

전기, 전자 산업의 발전에 따른 냉동장치의 발전과 전자식 냉동장치에서도 압축기와 열교환기의 팬 용량을 가변시킬 수 있는 인버터나 전자식 팽창밸브의 사용이 증가하고 있으며, 냉동시스템은 고효율 및 쾌적성의 향상뿐만 아니라 시스템의 자동화에 따른 에너지 절약 운전에 기여하고 있다.¹⁻⁴⁾ 국내에서도 이와 유사한 연구로 전자 팽창밸브를 이용한 증발기의 냉매 유량 제어 및 과열도 특성에 관한 연구⁵⁾가 수행되었다.

수동식 팽창밸브에 관한 연구로는 수동식 팽창밸브의 운전조건의 변화에 따른 자동차 에어컨 시스템의 특성을 해석한 Jang⁶⁾의 연구와 수동팽창밸브에 의한 표준이론 냉동사이클의 검증, 증발기 과열도 제어에 따른 냉동시스템의 동특성에 관한 연구 등이었다.

이와 관련된 기존 연구들은 압축기의 회전수가 일정한 상태에 한정되었으며, 증발기 부하 변화, 증발기 압력 변화, 응축기 부하 변화에 따른 성능에 대한 비교 연구는 극히 제한적이다.

따라서 본 연구에서는 증발기 팬의 회전수 변화에 따른 증발부하, 응축기 전열면적에 따른 응축부하의 변화가 냉동기 성능에 미치는 특성 등을

실험을 통하여 분석하고 냉동장치의 경제적 운전에 유용한 데이터를 도출하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에 사용된 냉동부하 변동에 따른 냉동시스템 성능 특성 실험장치를 나타낸 사진이다. Fig. 2는 실험장치의 개략도를 나타내고 있다. 그림에서 냉동부하의 가변을 위하여 증발기하여 응축기 전열면적 제어를 위한 제어장치를 선택 팬의 회전수를 제어할 수 있도록 가변모터를 선택



Fig. 1 Photograph of experimental apparatus

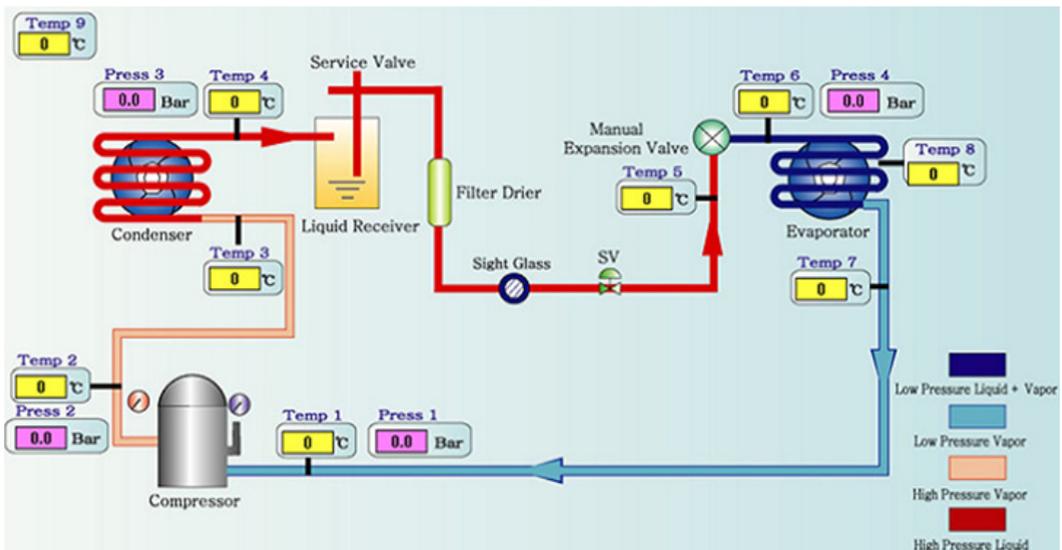


Fig. 2 Schematic diagram of experimental apparatus

치하였고 응축기 전열면적에 따른 성능 파악을 위
 치하였다. 실험 데이터를 기록하기 위하여 데이터
 로고를 설치하였고 데이터 취득을 위한 센서는 온
 도 8개소, 압력 4개소씩을 각각 설치하였다.

지 운전을 지속한 후 시스템이 안정된 후부터 데
 이터 취득을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Table 1 Specification of experimental apparatus

Component	Specification	Type
Compressor	1/2HP	
Evaporator&Fan	6W	Fin&Tube type
Condenser&Fan	9W	Fin&Tube type
Expansion valve	-10℃	Manual
Refrigerant	R-22	

실험장치에 충전된 냉매량은 600g 이다. 최적
 냉매량을 선정하기 위하여 실험장치를 이용하여
 400g, 500g, 600g, 700g 의 냉매를 충전하여 각각
 실험을 실시하였고 실험 결과 최적의 성능을 나타
 낸 냉매량이 600g 으로 확인되어 본 실험에서
 600g 의 냉매를 충전하여 성능 실험을 실시하였
 다. 주요 장치의 입출구에 유량계를 설치하여 각
 각의 통과 유량을 측정하여야 하지만 본 실험의
 경우 각 구성 장치에서의 성능 파악이 목적이 아
 니라 응축 및 증발 부하의 변동에 따른 시스템의
 성능 특성을 파악하기 위한 것이므로 각 장치에서
 의 유량은 측정하지 않았다. 또한 압축일량의 경
 우 파워미터를 이용하여 측정하는 것이 당연하나
 본 실험장치는 증발열량, 응축열량, 압축일량 및
 성능계수의 계산을 DA100 프로그램을 이용하여
 산정하는 형식으로 구성되어 별도의 파워미터를
 설치하지 않았다. Table 1은 실험장치의 사양을 나
 타내었다.

2.2 실험방법

증발기 부하의 변화에 대한 성능 특성 분석을
 위하여 실내온도 23±1℃, 증발기를 통과하는 공기
 의 속도를 2.04 m/s, 2.90 m/s, 3.76 m/s로 설정하였
 고 응축기 부하 변동에 따른 성능 테스트는 실내
 온도 23±1℃로 설정하여 응축기 전열면적을 43.8
 cm², 437.5 cm², 875 cm²으로 변화시켜 실험을 실시하
 였다. 시스템을 가동하여 정상상태에 도달할 때까

3.1 증발 부하 변동에 따른 성능 특성

Fig. 3은 증발 부하 변화에 따른 냉동장치의 성
 능 특성을 확인하고자 증발기를 통과하는 속도를
 변화시켜 실험을 실시한 결과로 압축기 입출구의
 온도 분포를 나타낸 그림이다. 증발기를 통과하는
 공기의 속도가 증가할수록(2.04 m/s < 2.90 m/s <
 3.76 m/s) 증발 부하가 증가하게 된다.

증발기 부하가 높아질수록 압축기 입출구의 냉
 매온도가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 충
 분한 열교환을 하지 못하여 증발기를 통과한 냉매
 온도가 상승하여 나타나는 현상으로 판단된다. 그
 림에서 증발기 통과 공기의 속도가 2.90 m/s의 경
 우 40분이 경과한 시간부터 입구온도가 급격히 낮
 아지는 것은 실험 오차로 판단된다.

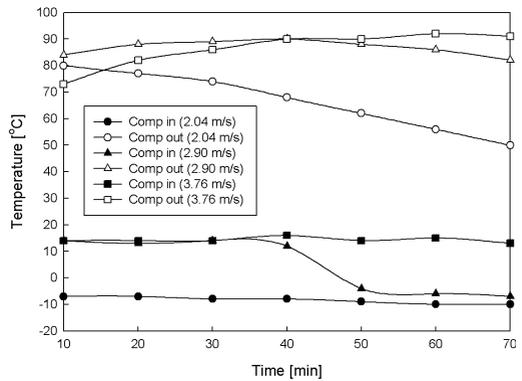


Fig. 3 Temperature distribution of the compressor inlet and outlet according to the evaporation load

Fig. 4는 증발기 부하 변화에 따른 응축기 입출
 구의 온도 분포를 나타내었다. 증발기를 통과하는
 공기 속도가 증가할수록 온도가 상승하는 경향을
 나타내고 있다. 이는 부하가 클수록 열교환이 활
 발해지므로 냉매 온도가 상승하게 되어 나타나는
 현상이다. 입구측에서와는 달리 출구측에서 온도
 차가 작은 이유는 응축기의 응축열량이 충분하여
 냉매가 모두 응축되었기 때문으로 판단된다.

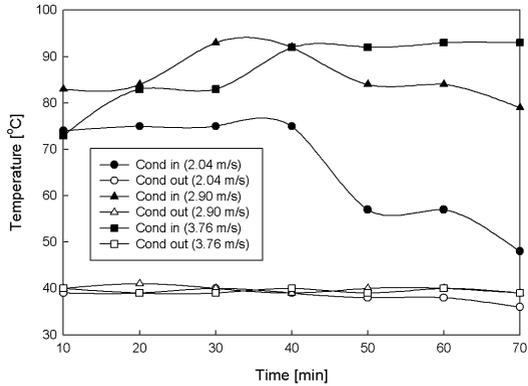


Fig. 4 Temperature distribution of the condenser inlet and outlet according to the evaporation load

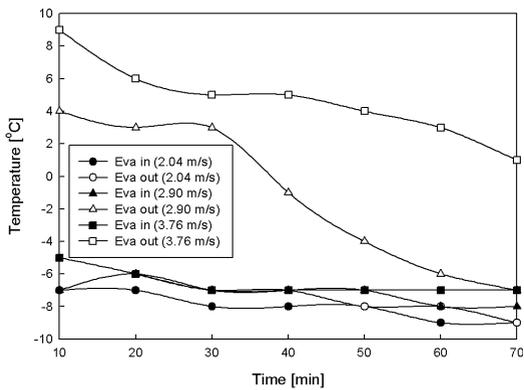


Fig. 5 Temperature distribution of the evaporator inlet and outlet according to the evaporation load

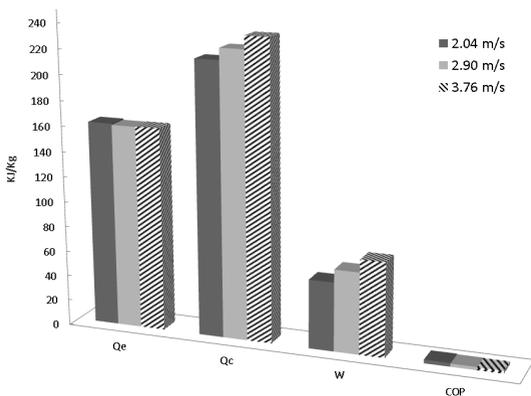


Fig. 6 Characteristic of the Q_e , Q_c , W and COP according to the evaporation load

Fig. 5는 증발기 부하 변동에 따른 증발기 입출구 온도 분포를 나타낸 그림이다. 증발기 부하가 클수록 증발기 출구온도가 높아지는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 증발기 부하 변동에 따른 냉동효과, 응축열량, 압축일량 및 성능계수의 변화를 도시하였다. 냉동효과(Q_e)는 2.04 m/s에서 162 kJ/kg, 2.90 m/s 및 3.76 m/s에서 161 kJ/kg으로 증발 부하의 변화에도 큰 차이를 보이지 않았다. 응축열량(Q_c)는 2.04 m/s에서 217 kJ/kg, 2.90 m/s에서는 226 kJ/kg, 3.76 m/s에서는 236 kJ/kg으로 증발 부하가 커질수록 높게 나타나는 경향을 보였다. 압축일량(W)은 각각 55 kJ/kg, 65 kJ/kg, 75 kJ/kg으로 부하가 커질수록 높게 평가되었다. 그리고 성능계수(COP)는 2.04 m/s에서 2.97, 2.90 m/s에서 2.49, 3.76 m/s에서 2.16으로 부하가 커질수록 성능계수가 감소하였다.

전체적인 특성을 살펴보면 증발 부하가 증가할수록 압축기에서 냉매가 과열 상태로 존재하고 비체적이 커짐에 따라 냉매 순환량이 줄어들어 압축기 토출가스 온도가 상승하여 나타나는 현상으로 판단된다. 응축기에서도 압축기와 동일한 현상으로 과열 냉매가 영향을 미치는 것으로 판단된다. 성능계수의 경우는 냉동효과가 증발부하가 변화하여도 거의 동일한 경향을 보였지만 상대적으로 압축일량 변화가 커져서 증발기 부하가 작은 조건에서 높은 값을 보인 것으로 판단된다.

3.2 응축 부하 변동에 따른 성능 특성

Fig. 7은 응축부하 변동에 따른 냉동시스템의 운전 특성 파악을 위하여 응축기 전열면적 변화에 대하여 실험한 결과로 압축기 입출구의 온도 분포를 나타내고 있다. 응축 부하가 변화하여도 압축기 입구 온도는 -15°C 로 일정하지만 응축기 전열면적이 증가할수록 출구온도가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 냉동장치 내를 순환하는 냉매의 응축이 감소하므로 인하여 토출 냉매의 온도가 상승하는 이유 때문이다.

Fig. 8은 응축기 전열면적 변화에 따른 응축기 입출구의 온도 분포를 나타내었다. 압축기와 동일

하게 응축부하가 커질수록 냉동장치 내를 순환하는 냉매의 응축이 줄어들어 압축기 토출 냉매의 온도를 상승시켜서 발생하는 현상이다.

Fig. 9는 응축기 전열면적 변화에 따른 증발기 입출구의 온도 분포를 도시하고 있다. 응축부하가 클수록 압력이 높아지므로 증발압력 및 온도가 동시에 상승하였다. 응축부하의 변화가 증발부하에도 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 10은 응축 부하 변동에 따른 냉동효과(Qe), 응축열량(Qc), 압축일(Aw), 성능계수(COP)를 나타내었다. 냉동효과, 응축열량 및 성능계수는 응축 부하가 증가할수록 커지는 경향을 보이고 있으며, 압축일은 감소하고 있다.

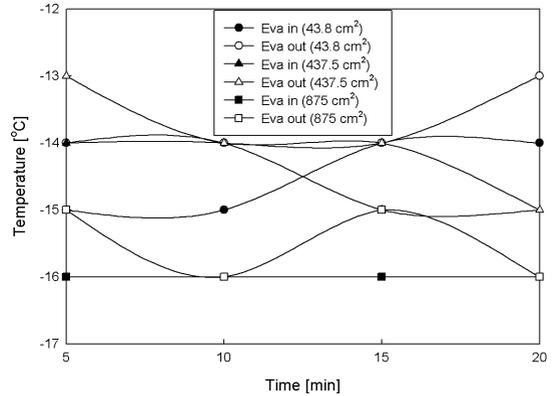


Fig. 9 Temperature distribution of the evaporator inlet and outlet according to the condensation load

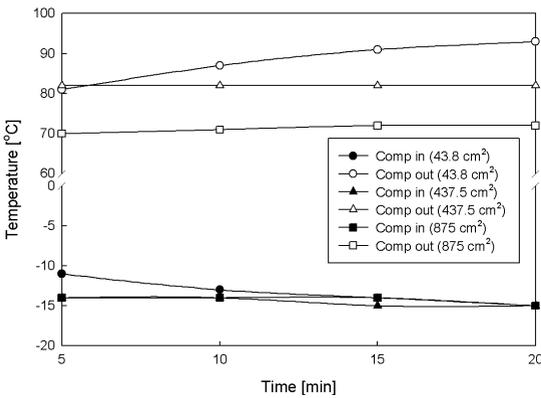


Fig. 7 Temperature distribution of the compressor inlet and outlet according to the condensation load

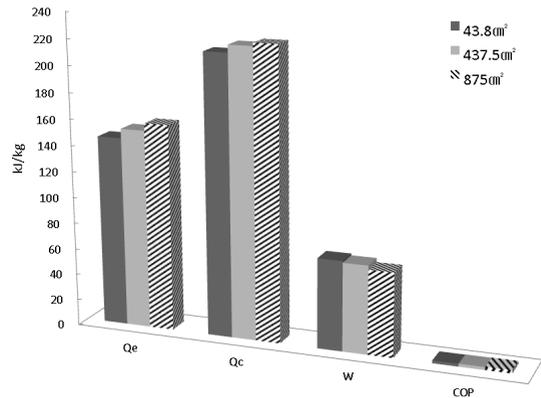


Fig. 10 Characteristic of the Qe, Qc, W and COP according to the condensation load

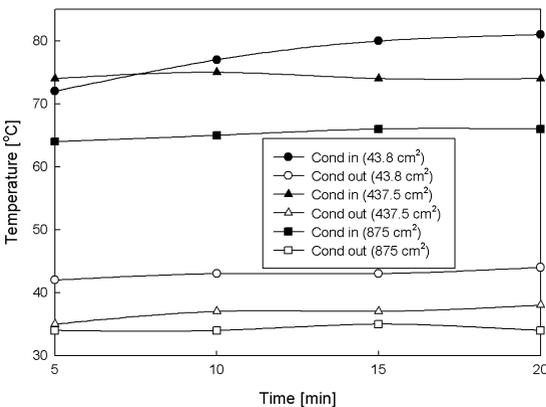


Fig. 8 Temperature distribution of the condenser inlet and outlet according to the condensation load

Fig. 10에서 냉동효과(Qe)는 응축기 전열면적이 43.8 cm²에서 875 cm²로 커짐에 따라 145 kJ/kg, 153 kJ/kg, 158 kJ/kg 순으로 증가하였다. 응축 열량(Qc) 또한 전열면적이 커짐에 따라 214 kJ/kg, 220 kJ/kg, 223 kJ/kg 순으로 증가하였으며, 압축일(Aw)는 전열면적이 커질수록 69 kJ/kg, 68 kJ/kg, 65 kJ/kg으로 감소하였다. 성능계수(COP)의 경우는 냉동효과 및 응축 열량의 증가로 2.11, 2.26, 2.45의 순으로 동반 상승하였다.

이상 응축 부하 변화에 따른 냉동장치 성능 특성을 전체적으로 살펴보면 응축 부하가 작아질수록 응축 압력이 낮아져 증발열량이 높아지는 경향이 나타남을 확인할 수 있는데 이는 충분한 응축

이 증발열량을 상승시켜 전체적인 냉동장치의 성능을 향상시킨 것으로 판단된다. 즉 응축기 전열면적이 커지면서 응축이 원활이 이루어져 응축압력이 낮아지고 이로 인해 응축기를 통한 열교환량이 증가하므로 응축열량이 높아지게 된다. 응축부하 증가가 압축비를 증가시키고 토출가스 온도를 높여 압축기 체적 효율이 감소되어 압축일이 미세하게 증가하게 된다.

성능계수는 냉동효과에 영향을 많이 받으므로 응축부하가 클수록 낮아지게 된다.

5. 결 론

냉동장치의 냉동부하 변동에 따른 시스템의 성능 특성을 파악하고자 증발기 증발부하 및 응축기 응축부하의 변화에 대하여 실험을 실시하여 시스템의 성능을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 증발기 부하 변화에 따른 냉동부하 변동의 특성을 살펴본 결과 증발 부하가 커짐에 따라 냉동효과는 큰 영향을 받지 않음을 확인 할 수 있었고 응축열량은 증발 부하가 커짐에 따라 동반 상승함을 확인하였다. 또한 성능계수의 경우 증발 부하가 증가하면 반비례적으로 감소함을 실험을 통하여 확인할 수 있었다.

(2) 응축기 부하 변화에 따른 냉동장치의 성능 특성은 응축 부하가 감소함에 따라 냉동효과는 커지는 것을 확인할 수 있고 압축일량 또한 부하가 감소할수록 줄어드는 것을 확인하였다. 성능계수 또한 높아지는 것을 확인하였다.

(3) 성능계수(COP)는 증발 부하가 2.04 m/s에서 2.97, 2.90 m/s에서 2.49, 3.76 m/s에서 2.16으로 증발 부하에 거의 반비례하여 감소하는 경향을 보였고 응축 부하의 증가에 비해 큰 변화를 보이지 않았다.

(4) 증발압력에 따른 운전 성능의 특성에서 냉동효과는 압력의 변화에도 큰 영향을 받지 않았지만 응축 열량은 증발 압력이 낮을수록 압축비의 증가로 이어져 압축기에서 수행된 압축일량이 커지게 되어 냉동장치의 성능이 저하하게 됨을 확인

할 수 있었다.

후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2012-008150)과 중소기업청의 중소기업기술혁신개발사업 미래선도관제(No.S20444 41) 사업에 의하여 수행된 결과이며, 이에 감사드립니다.

References

1. K. Higuchi, 1984, "Stability of Evaporator Thermostatic Expansion Valve Refrigeration Control Loop", Refrigeration, Vol. 59, No. 697, pp. 1-12.
2. H. Yasuda, 1986, "Evaporator Superheat Control", Refrigeration, Vol. 61, No. 701, pp. 22-26.
3. S. A. Tassou and H. O. Al-Nizari, 1993, "Investigation of the Effects of Thermostatic and Electronic Expansion Valves on the Steady-State and Transient Performance of Commercial Chillers", Rev. Int. Froid, Vol. 16, No. 1, pp. 49-55.
4. R. Hanzawa, 1986, "Application of Industrial Electronic Expansion Valve", Refrigeration, Vol. 61, No. 701, pp. 46-51.
5. J. S. Kim, J. H. Kim, H. S. Yang and S. N. Choi, 1994, "Electronic expansion valve evaporator of refrigerant flow control using and also a study on the characteristics of overheating", Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 6, No. 4, pp. 380-387.
6. W. W. Jang, 1995, "A study on the characteristics for automotive air conditioning system using HFC-134a based on expansion valve opening", MS thesis, Kyunghee University, Seoul, Korea.