

냉매충전량이 모세관 팽창장치를 가진 공기조화기의 성능에 미치는 영향

최 은 수[†], 김 종 배^{*}

명지대학교 기계공학부, *명지대학교 대학원

The Effects of the Refrigerant Charge on the Performance of an Air Conditioner with Capillary Tube Expansions

Eunsoo Choi[†], Jongbae Kim^{*}

Department of Mechanical Engineering, Myoungji University, Yongin 449-728, Korea

^{*}Graduate School of Mechanical Engineering, Myoungji University, Yongin 449-728, Korea

(Received October 5, 2001; revision received March 19, 2002)

ABSTRACT: A popular type of residential air conditioner is the split system which has two separate units; indoor and outdoor units. During field installation of the split system, the potential exists for not setting the charge exactly to the manufacturer's specifications. The objective of this study is to investigate the effects of the refrigerant charge on the performance of the air conditioner. An air conditioner with capillary tube expansions was tested for various refrigerant charges. The results indicated that the more charge resulted in the more flow-rate of the refrigerant. The flowrate of the refrigerant was one of the most important factors to understand the effects of the charge on the performance of the air conditioner with capillary tube expansions. Under-charge results in wide region of superheated vapor of the refrigerant in the evaporator, while over-charge results in high temperature of the liquid refrigerant in the evaporator.

Key words: Refrigerant charge(냉매충전량), Capillary tube expansion(모세관 팽창장치), Flow-rate of refrigerant(냉매순환량), Cooling capacity(냉방능력), Split type(분리형)

1. 서 론

일반적으로 실내기와 실외기를 분리하여 설치하는 분리형(Split type) 공기조화기를 설치할 때, 실내기와 실외기 사이의 배관을 규정길이대로 설치하기가 쉽지 않은 경우가 많고, 어떤 경우에는 건물의 여러 층의 거리를 두고 설치되는 경우도

있다. 이러한 경우에 일반적으로 실외기에 충전해 둔 냉매 외에 추가의 냉매를 충전하는데, 적당한 냉매충전량의 기준은 배관 내의 압력을 측정하여 결정한다. 즉, 매니폴더게이지를 압축기의 입출구에 설치하고, 저압부(압축기 입구)를 통하여 추가의 냉매를 주입하면서 고압 및 저압이, 또는 고압이 어떤 값에 도달했을 때 냉매주입을 멈춘다.⁽¹⁾ 그러나 실제 이러한 방법으로 냉매를 주입하여 보면, 압력이 처음에는 약간씩 증가하는 것을 관찰할 수 있으나, 적정냉매량 근처에서는 냉매량에 따른 압력변화가 아주 미세하고, 또 적정냉매량 이후에는 압력의 변화가 둔화되는 것을

[†] Corresponding author

Tel.: +82-31-335-2325; fax: +82-31-321-4959

E-mail address: choies@mju.ac.kr

볼 수 있다. 따라서 압력을 기준으로 하여 시스템 내의 냉매량을 추정하는 방법은 적절하지 못한 방법으로 생각된다. 이것은 시스템이 전체적으로 습증기 상태에 있기 때문에 압축기가 작동을 하더라도 압력보다는 온도에 민감하게 변하기 때문이다. 또 냉매량이 적절한 값보다 많지만 하면 일반적으로 성능의 변화가 크지 않은 것으로 생각하여 적당히 잘 작동하리라는 기존의 견해와는 달리, 본 연구에 의하면 냉매량이 적절한 값을 지나면 냉방능력 및 EER이 급격히 감소하는 것을 알 수 있었다. 따라서 냉매량의 주입은 정확해야 한다.

앞에서 언급한 것처럼 냉매는, 크게 모자라지 않게 충분히만 충전하면 시스템이 적당히 잘 작동한다는 선입견 때문에 냉매충전량에 따른 냉동시스템의 성능변화에 대한 연구는 지금까지 크게 주목받지 못하였다가, 1991년 Farzad and O'Neal⁽²⁾에 와서야 비로소 체계적인 연구가 수행되었다. 이들은 모세관 팽창장치를 가진 공기조화기의 냉매충전량을 변화시키면서 냉방능력, 냉매유량, 증발기의 과열도, 전력소비량 및 SEER(seasonal energy efficiency ratio) 등을 실험적으로 구하여 냉매충전량의 영향을 규명하였다. 적정 냉매충전량에서 냉방능력이 최대가 되고, 냉매충전량이 이보다 적거나 많으면 냉방능력이 급격히 감소함을 보였다. Farzad and O'Neal 이후, 여러 연구자들⁽³⁾에 의해 냉매충전량에 대한 냉동시스템의 성능에 대한 영향이 부분적으로 거론이 되었으나, 아직까지 냉매충전량에 따라 냉방능력이 감소하는 원인에 대해서는 명확하게 설명이 되지 않았다. 특히 냉매충전량이 적정치를 넘은 경우에도 냉방능력이 감소하는 것에 대해서는 더욱 설명이 필요한 부분이다.

본 연구에서는 모세관 팽창장치를 가진 일반 가정용 공기조화기의 냉매충전량을 변화시키면서 공기조화기의 성능을 실험적으로 해석하고 더 나아가 냉방능력 변화의 원인을 규명하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험에 사용된 공기조화기

본 실험에 사용된 공기조화기는 실내기와 실외기가 분리되어 있는 분리형으로서, 실내기에는

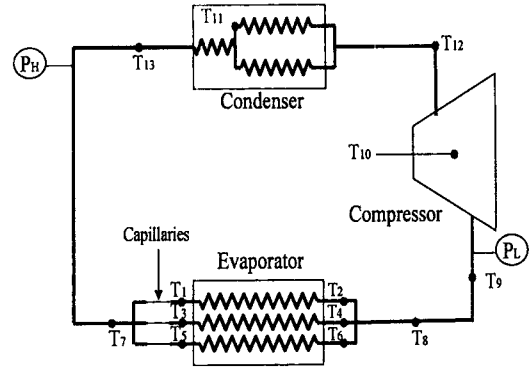


Fig. 1 Schematic diagram of the split-type air conditioner.

증발기, 모세관 팽창장치, 스크롤 팬 및 제어판이 한 케이스에 들어 있고, 실외기에는 압축기, 응축기 및 프로펠러형 팬이 한 케이스에 설치되어 있으며, Fig. 1에 각 부품들을 간략히 나타내었다. 증발기는 3개의 동관이 평행으로 연결되어 있고, 각각의 동관에 모세관 팽창장치가 직렬로 연결되어 있다. 응축기는 병렬과 직렬동관이 혼합되어 있다. T로 표시된 곳에 열전대를 설치하여 온도를 측정하였으며, P로 표시된 곳에 압력계를 설치하여 냉매의 정압을 측정하였다. 뒤에서 언급하겠지만, 2차 실험에서는 증발기 및 응축기의 냉매유동방향으로 추가의 열전대를 설치하여 증발기 및 응축기 내부에서의 냉매온도변화를 측정하였다. 공기조화기의 적정냉매량 및 적정시의 최고냉방능력은 각각 2.100 kg 및 7,100 kcal/h(8.252 kW 혹은 2.347 냉동톤)으로 표시되어 있었다.

2.2 건습구식 열량계

실험에 사용된 건습구식 열량계(psychrometric calorimeter)는 두 개의 공기조화되는 방과 하나의 조정실로 구성되어 있다. 공기조화되는 방에는 각각 실험하고자 하는 공기조화기의 실외기 및 실내기가 설치되고, 각각의 방은 여러 대의 대형 공기조화기 및 보일러에 의하여 원하는 공기온도 및 습도가 조절된다. 실외기 및 실내기로부터 나오는 공기는 각각 덕트에 의하여 이송되어 온도, 습도 및 유량이 측정되어진다. 덕트 및 유량측정용 노즐 등에서의 손실을 보상하기 위하여 별도의 송풍기가 설치되었고, 송풍기의 작동

은 실외기 및 실내기 출구에서의 정압이 영이 되도록 조절된다.

각각의 방에 대한 공기조화 및 측정이 조정실에서 행하여진다. 조정실에서 얻을 수 있는 자료는 소모전력, 실외기 및 실내기의 입출구 온도 및 습도, 유량, 냉매압력 등이다. 시스템 각 부위에도 온도측정을 위하여 별도의 열전대를 설치하였다. 즉, 실내기 측에는 증발기에서 냉매의 입구 및 출구, 그리고 증발기의 중간에 열전대를 설치하였고, 실외기 측에는 압축기에서 냉매의 입구 및 출구, 그리고 압축기의 몸체 하부, 응축기의 냉매 입출구 및 응축기의 가운데에 열전대를 설치하였다.

2.3 실험방법

실내기에 공급되는 공기는 건구 및 습구의 온도가 $27 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 및 $19.5 \pm 0.1^\circ\text{C}$ (상대습도 50%)로 조절되었으며, 실외기에 공급되는 공기는 건구 및 습구의 온도가 $35 \pm 0.1^\circ\text{C}$ 및 $24 \pm 0.1^\circ\text{C}$ (상대습도 40%)로 조절되었다. 증발기를 통과하는 공기의 입출구 엔탈피를 구하여 증발기로부터의 열전달량을 구하고 이것이 냉방능력이 된다. 응축기를 통과하는 공기의 입출구 엔탈피를 구하고 이 엔탈피의 차를 냉매의 응축잠열 및 현열변화의 합으로 나누어 냉매순환량을 구하였다. 실험하는 도중에 압축기가 작동을 멈추지 않도록 제어판을 조절하였다.

냉매충전량에 대한 공기조화기의 성능변화를 보기 위하여 냉매충전량을 변화시키면서 실험을 수행하였다. 먼저 시스템을 완전히 진공으로 한 후에 냉매를 증가시키면서 실험하고 다시 감소시키면서 실험하였고 이후 다시 완전히 진공으로 한 후 냉매를 한번 더 주입하면서 실험하였다. 건습구식 열량계에서 냉매충전량 1.700 kg에서 2.600 kg까지 16회의 1차 실험을 수행하였으며, 이후 자연환경에서 1.705 kg에서 2.500 kg까지 9회의 2차 실험을 수행하였다. 2차 실험을 수행할 때는 응축기와 증발기에 냉매 유동방향으로 각각 4개씩 추가의 열전대를 설치하여 응축기와 증발기 내부에서의 냉매온도 변화를 관찰하였다. 2차 실험시 자연환경의 조건은 실내기 및 실외기 입구온도는 $30.2 \pm 1.0^\circ\text{C}$ 및 $31.1 \pm 0.9^\circ\text{C}$ 이었으며, 상대습도는 $71.5 \pm 1.0\%$ 이었다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2의 (a)~(f)는 건습구식 열량계에서 수행한 1차 실험의 결과로서, 냉매충전량을 변화시키면서 냉방능력, 전력소모량, 공기조화기의 EER, 시스템 내의 냉매압력, 냉매순환량 및 증발기 과열도를 나타낸 것이다. Fig. 2의 (a)에서 보면 냉방능력이 최대가 되는 적정냉매량은 2.150 kg으로서 규격에 나타난 2.100 kg보다 약간 크게 나타났으며, 이때의 최대냉방능력도 규격에 나타난 8.252 kW보다 약간 큰 8.612 kW로 나타났다. 적정냉매량보다 냉매량이 부족하여도 냉방능력이 감소하고 적정냉매량보다 냉매량이 많아도 냉방능력이 감소하는 것을 볼 수 있는데, 예를 들면, 냉매량이 적정냉매량보다 11.6% 부족한 경우에도 냉방능력이 최대냉방능력보다 8.6% 감소하였으며, 냉매량이 적정냉매량보다 11.6% 많은 경우에도 냉방능력이 최대냉방능력보다 8.7% 감소하였다.

Fig. 2의 (b)와 (c)는 공기조화기의 전력소모량과 EER을 나타낸 것이다. 여기서 공기조화기의 EER은 냉방능력을 전력소모량으로 나눈 것이다. 전력소모량이 냉매충전량 증가에 따라 증가하다가 점차로 변화가 적어지기 때문에 EER도 냉방능력과 유사한 곡선형태를 가진다. 공기조화기의 소모전력은 대부분이 압축기의 압축일로서 소모되는데 압축기의 압축일은 간략히 압축기 입출구에서의 평균비 체적과 압력차를 곱한 것으로 볼 수 있다. 냉매의 압력은 공기조화기 각부에서의 압력손실을 무시하면 압축기 출구로부터 모세관 팽창장치에 이르는 고압부와 모세관 팽창장치로부터 압축기 입구에 이르는 저압부로 나눌 수 있고 Fig. 2의 (d)에 나타낸 고압과 저압은 각각 응축기 출구(고압)와 압축기 입구(저압)에서 측정된 값이다. 고압과 저압은 냉매충전량 증가에 따라 증가하는 것으로 볼 수 있으나, 그 변화폭이 점차 적어졌다. 냉매압력은 시스템의 온도에 매우 민감함에 반하여 냉매충전량에는 큰 변화를 보이지 않고, 특히 냉매충전량이 큰 경우에는 변화가 더욱 작아지므로 냉매충전량을 냉매압력으로 판단하는 것은 사실상 매우 어렵다.

냉매순환량은 일반적으로 냉매충전량 증가에 따라 증가한다고 볼 수 있는데, 이것은 압축기의 회전수가 일정하여 단위시간당 압축기를 통과하는 냉매의 체적유량이 일정하다고 보면, 냉매충

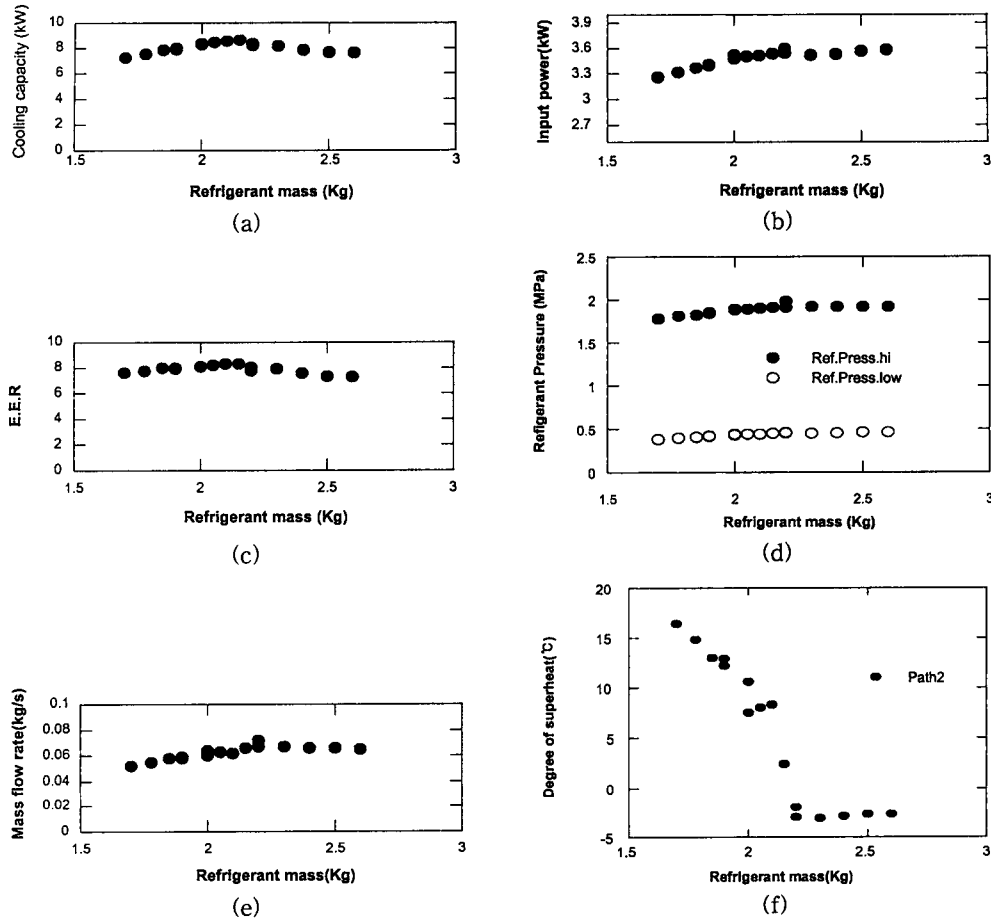


Fig. 2 Cooling capacity, input power, COP refrigerant pressure, mass flow rate of refrigerant, superheat of evaporator for various charge of refrigerant.

전량 증가에 따라 공기조화기 내부에서 냉매의 평균 밀도가 증가하므로 결국 단위시간당 질량으로 나타나는 냉매순환량이 증가할 것이기 때문이다. 그러나 냉매의 평균 밀도가 증가하더라도 압축기를 통과하는 냉매의 밀도가 계속 증가하지는 않는다. 즉, 시스템 내부에서 냉매가 액체로 존재하는 영역이 넓어질 뿐이지, 압축기를 통과하는 냉매는 역시 과열증기이며, 이 과열증기의 밀도는 시스템의 전체적인 온도에 영향을 받을 뿐, 냉매충전량에 직접적인 영향을 받지 않는다. 따라서 냉매순환량도 냉매압력과 마찬가지로 Fig. 2의 (e)에 나타난 바와 같이 냉매충전량에 따라 증가하다가 점점 변화가 적어지게 된다.

Fig. 2의 (f)는 증발기에서의 과열도를 나타낸 것으로서 증발기의 세 개의 병렬 동관 중 가운데

동관의 출구온도를 입구온도로 뺀 것이다. 냉매충전량이 부족할 때에는 과열도가 양의 값을 가지다가 적정 냉매충전량에 이르러 과열도가 음의 값을 가지게 된다.

이상의 냉방능력, 전력소모량, EER, 냉매압력, 냉매순환량 및 증발기 과열도로는 냉매충전량에 따라 냉방능력이 증감되는 원인을 제대로 파악하기가 힘들다. 본 연구에서는 증발기 내부의 온도 분포를 측정하여 그 원인을 밝히고자 하였다. Fig. 3의 (a), (b), (c) 및 (d)는 2차 실험결과의 일부를 나타낸 것으로서, 2차 실험에서는 냉매충전량을 변화시키면서 위의 여러 변수 외에도 증발기 및 응축기의 온도를 측정하였다. 증발기에는 3개의 병렬동관 중 가운데의 동관에 동간격으로 4개의 열전대를 설치하였고 응축기에는 2개의 병렬 동

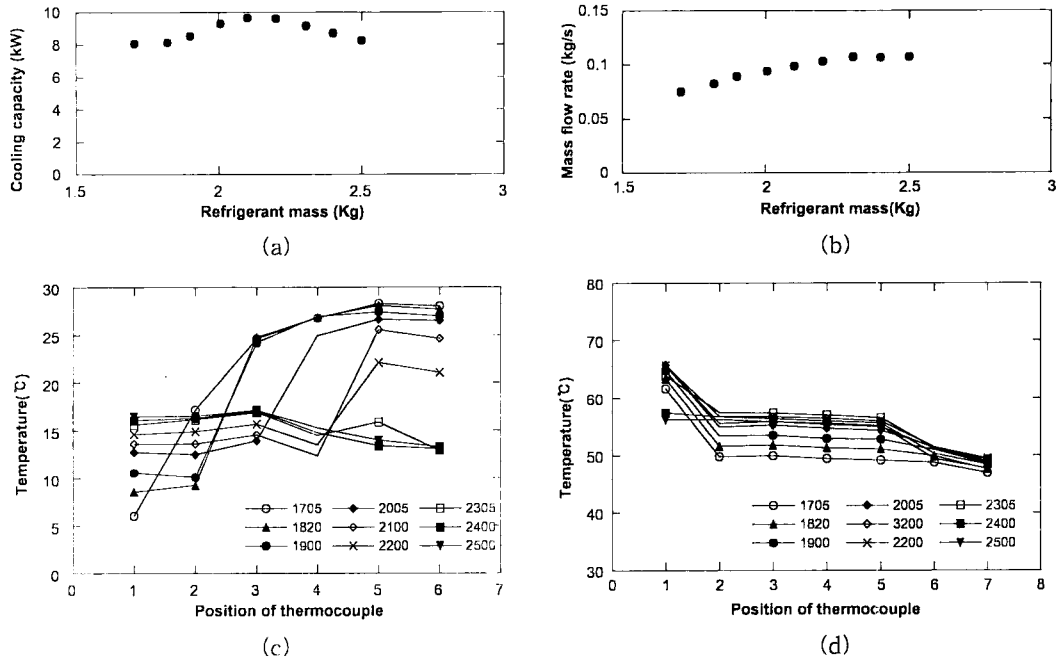


Fig. 3 Cooling capacity and mass flow rate of refrigerant for various charge of refrigerant, and temperature profiles of evaporator and condenser, where the meaning of the number is in text below.

관 중 하나의 동관에 4개의 열전대를 설치하였다.

Fig. 3의 (a) 및 (b)는 냉매충전량을 변화시키면서 냉방능력 및 냉매순환량을 나타낸 것으로서, 이 실험에서는 냉매충전량이 2.100 kg에서 최고의 냉방능력이 일어졌으며, 냉매순환량은 앞에서와 같이 냉매충전량에 따라 증가하다가 점점 변화가 적어졌다. Fig. 3의 (c)는 여러 가지 냉매충전량에 대하여 증발기 내부의 온도분포를 나타낸 것으로서 증발기를 구성하는 세 개의 병렬 동관 중 하나의 온도분포를 말한다. 여섯 개의 위치 중 1번과 6번의 위치는 증발기의 냉매 입구 및 출구에서의 온도를 측정한 위치이고, 가운데 네 개(2~5번)의 위치가 가운데 동관에 등간격으로 열전대를 설치한 위치를 말한다. 냉매충전량이 작을수록 증발기에서 냉매의 상류부분의 온도가 낮으나, 곧 냉매가 완전히 증발하여 온도가 낮은 부분의 구간이 짧아짐을 볼 수 있다. 반면에 냉매충전량이 클수록 냉매가 완전히 증발하는 부분이 하류로 이동하나, 증발기로의 유입냉매의 온도가 상승함을 알 수 있다. 증발기의 온도를 낮추려면 냉매유입 온도가 낮아야 하고 동시에

완전증발이 증발기의 끝부분에서 일어나야 함을 말한다. 냉매순환량이 적으면 냉매유입온도는 낮아지나 액체냉매가 증발기 상류에서 완전히 증발하여 증발기의 온도가 상승한다. 냉매순환량이 많으면 액체냉매가 완전히 증발하는 영역이 적어지나, 액체냉매의 유입온도가 상승한다. 결국 냉매순환량이 냉방능력의 증감에 가장 중요한 요인이 된다고 하겠다.

Fig. 3의 (d)는 여러 가지 냉매충전량에 대하여 응축기 내부의 온도분포를 나타낸 것으로서 1번과 7번은 응축기 입구 및 출구에서의 온도를 측정한 위치이고, 6번은 병렬 동관의 끝부분 위치를 말하며, 가운데 네 개(2~5번)의 위치가 병렬 동관 중 하나에 등간격으로 열전대를 설치한 위치를 말한다. 본 실험의 범위 내에서 응축기 입구에서는 항상 과열증기 상태이었으며, 출구에서는 압축액 상태이었다.

냉매충전량이 과다할 때 냉매유로에 모세관과 같은 유동에 대한 저항체를 두어 냉매순환량을 줄여 준다면 냉방능력을 증가시켜 줄 수 있을 것이다. 반대로 냉매충전량이 부족한 경우에는 냉

매콤프를 설치하여 냉매순환량을 증가시켜 준다 면 냉방능력을 증가시킬 수 있으리라 생각한다.

4. 결 론

냉매충전량이 모세관 팽창장치를 가진 가정용 공기조화기의 성능에 미치는 영향을 연구하기 위하여, 냉매충전량을 변화시켜 보면서, 공기조화기의 냉방능력, 전력소모량, 공기조화기의 EER, 시스템 내의 냉매압력, 냉매순환량 및 증발기 및 응축기에서의 온도분포를 측정함으로써 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

(1) 냉방능력이 최대가 되는 때의 냉매충전량을 적정 냉매충전량이라 할 때 냉매충전량이 이 적정 냉매충전량보다 11.6% 부족한 경우에 냉방능력이 최대냉방능력보다 8.6% 감소하였으며, 냉매량이 적정냉매량보다 11.6% 많은 경우에 냉방능력이 최대냉방능력보다 8.7% 감소하였다.

(2) 냉매압력과 냉매순환량은 냉매충전량이 증가함에 따라 증가하였으나 점차로 그 변화폭이 줄어들었다.

(3) 공기조화기의 냉방능력에 직접적인 영향을 주는 증발기의 온도분포를 측정한 결과, 냉매순환량이 냉방능력에 가장 큰 영향을 주는 요인 중 하나로 생각되며, 냉매순환량이 부족하면 증발기 내에서 냉매가 완전 증발한 구간이 늘어나서 증

발기의 평균 온도가 올라가고, 냉매순환량이 과다하면 증발기로 유입되는 액체냉매의 온도가 상승하여 증발기의 평균 온도가 올라갔다.

후 기

본 연구는 공조기술 지역협력연구센터(과제번호 ACCT98-2-01-03)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Althouse, A. D., Turnquist, C. H. and Bracciano, A. F., 1996, Modern refrigeration and air conditioning, The Goodheart-Willcox company Inc., pp. 448-450.
2. Farzad, M. and O'Neal, D. L., 1991, System performance characteristics of air conditioner over a range of charging conditions, Int. J. Refrig., Vol. 14, pp. 321-328.
3. Lee, G. H., Yoo, J. Y., Jung, J. D. and Choi, K. H., 1998, Computational simulation for the performance analysis of automobile air conditioning system, Korean J. of Air-Conditioning and Refrigeration Eng., Vol. 10, pp. 202-216.