

냉동기 펌프다운 운전성능에 관한 연구

김철수[†], 정한식^{*}, 정효민^{*}

(주)케이티이엔지, ^{*}경상대학교 기계항공공학부

A Study on Pump Down Operation Performance of Refrigerator

Chul Soo Kim[†], Han Shik Chung^{*}, Hyo Min Jeong^{*}

Korea Heating & Air Conditioning Technology Engineering Co. Ltd, Seongnam 462-782, Korea

^{*}School of Mechanical & Aerospace Engineering, Gyeongsang National University, Tongyeong 650-160, Korea

(Received August 18, 2006; revision received October 25, 2006)

ABSTRACT: Vapor compression refrigerators have much critical variables such as the controls of temperature and pressure switches, control durations and operating hours of electronic valves. This study compares and analyzes the data which is obtained from system controlling of the evaporation temperatures which are generally used in automatic pump down operating systems. Through this study, the automatic evaporation control operation system will be more ideal for the system to keep the proper temperature distribution depending on the purpose of evaporation side. The automatic pump down control operation is more appropriate for the system to aim at the effective use of evaporation side without using the temperature difference. And this test will be proved that the changes at the low pressure side didn't have significant impacts on the high pressure side.

Key words: Refrigerant(냉매), Refrigerant cycle(냉동사이클), Pressure drop(압력강하)

기 호 설 명

CFM : 응축기 팬 모터
COMP : 압축기
COND : 응축기
CT : 온도조절기
EVA : 증발기
EXP : 팽창밸브
HPS : 고압스위치
L1 : 전압(+)
L2 : 전압(-)

LPS : 저압스위치
MC : 전자개폐기
MEV : 수동 팽창밸브
NFB : 과전류 차단기
PB : 누름스위치
PL : 전원램프
SV : 솔레노이드 밸브
TEV : 온도 감원식 팽창밸브

하첨자

cent : 중앙
in : 입구
out : 출구

[†] Corresponding author

Tel: +82-31-737-5377; fax: +82-31-737-5379

E-mail address: kteng@kteng.com

1. 서 론

중기 압축식 냉동장치에서 온도, 압력스위치의 조정은 냉동시스템의 온도, 압력변화에 큰 변수로 작용한다.

냉동시스템은 일반적으로 온도, 압력제어 스위치 및 전자밸브의 제어순서와 제어방법에 따라 냉동장치를 순환하는 냉매의 양과 체류장소가 달라지며 이것은 냉동기의 운전상태에서 성능변화에 매우 중요한 요인이 된다.

최근 급속한 발전을 하고 있는 전기·전자산업의 발전에 따라 냉동, 공조장치에서 압축기와 열교환기의 톨 용량을 가변시킬 수 있는 인버터(inverter)나 전자식 팽창밸브(electronic expansion valve)를 적용한 냉동장치의 정상적인 운전상태의 연구가 증가하고 있다. 이와 같은 장치들이 등장함에 따라 시스템은 고효율화 및 쾌적성이 향상될 뿐만 아니라 시스템의 자동화에 따른 에너지 절약운전에 기여하고 있다.⁽¹⁻³⁾ 또한 Yasuda⁽⁴⁾ 등은 전자팽창밸브 사용시 증발기 출구 과열도 특성에 관한 연구를 수행하였으며, 국내에서는 전자팽창밸브를 이용한 증발기의 냉매 유량제어 및 과열도 특성에 관한 연구가 있다.⁽⁵⁾ 감온 팽창밸브(thermostatic expansion valve)의 일반적인 동적 특성의 규명은 Kim et al.⁽⁶⁾에 의해 이루어졌으며 일반적인 해석은 Kyle,⁽⁷⁾ Davis⁽⁸⁾에 의해 이루어졌다. 또한 Han, Park 등에 의해 감온 팽창밸브 및 모세관 성능 시뮬레이션 프로그램 개발^(9,10)이 이루어졌다. 수동식 팽창밸브에 관한 연구는 Jang⁽¹¹⁾의 수동식 팽창밸브의 운전조건 변화에 따른 자동차 에어컨 시스템의 특성해석과 신냉매용 자동차 에어컨 팽창밸브에서의 열유동해석 등이 있다.

위와 같이 냉동시스템의 정상적인 운전상태에

대한 연구는 활발히 진행되고 있으며 학술적인 가치를 창조하고 있다. 하지만, 운전이 시작되기 전후와 운전이 정지된 전후의 비정상적인 운전상태의 관계에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

그러므로 본 연구에서는 일반적으로 많이 사용하는 증발온도제어 자동운전시스템과 펌프다운제어 자동운전시스템을 온도스위치와 압력스위치에 의해 압축기와 응축기를 반복제어 운전함으로써 냉동작용이 반복하여 정지에서 진행, 진행에서 정지될 때의 냉동시스템의 고, 저압 측의 온도분포 자료를 비교 분석함으로써 증발기 온도와 용도에 따라 적절한 자동제어의 설계로 효과적인 냉동시스템을 제어 운전할 수 있도록 하는 데 연구목적이 있다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig. 1은 전체적인 실험장치의 구성을 나타낸 사진이다. 실험장치의 구성은 자동제어부와 냉동장치부로 구분할 수 있다. 자동제어부는 과전류로부터 배선 및 장치를 보호하기 위해서 과전류 차단기를 설치하였고, 전류와 전압을 측정할 수 있도록 전압계와 전류계를 설치하였다. 그리고 부하의 운전, 정지를 표시하기 위해서 램프와 부저를 설치하였고, 이상 압력 상승시 자동으로 운전이 정지될 수 있도록 HPS를 설치하였으며, 펌프다운 운전을 위해서 LPS를 설치하였다. 전자점접기와 릴레이를 설치하여 전자 점접을 활용한 응용제어 자동운전을 임의로 자동제어 운전실험할 수 있도록 하였다. 또한 각 상태점의 온도를 측정하고 변화를 시각적으로 확인할 수 있도록 디



Fig. 1 Overview of test equipment.

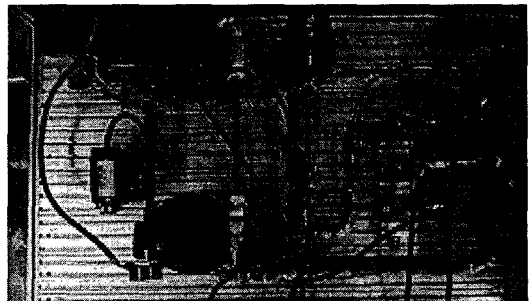


Fig. 2 Control part of refrigerator.

지털식 온도제어 스위치를 8개 부착하였다. 냉동 장치부는 Fig. 2와 같이 압축기-응축기-수액기-서비스 밸브-싸이트 그라스-필터드라이어-전자밸브 1, 2, 3(TEV, MEV, 모세관 팽창밸브)-증발기 챔버 (냉장실)-압축기로 냉매가 순환되며 온도데이터를 얻기 위해서 주요 장치의 각부 입, 출구 측에 온도센서(T-type)를 부착하고, 얻어진 데이터는 PC에서 분석할 수 있도록 하였다.

그리고 압력 측정부에 압력계를 연결하여 운전 중에 압력변화를 수시로 비교 관찰할 수 있도록 하였다.

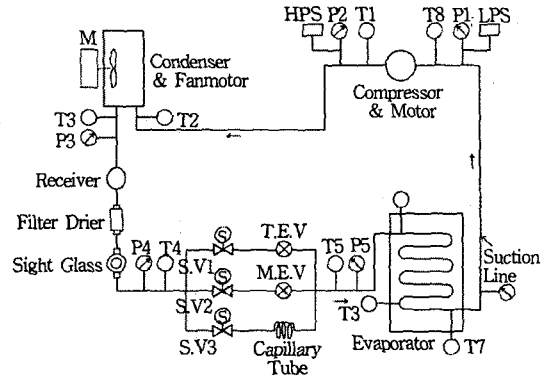


Fig. 3 Instrument diagram of test model.

2.2 실험방법

Fig. 3은 실험모델의 개략도를 나타내고 있다. 이것은 두 가지 시스템의 실험을 하기 위한 전체적인 실험장치의 구성을 나타낸 것이다. Fig. 4와 Fig. 5는 Fig. 3의 실험모델을 이용하여 두 가지의 자동제어 회로를 나타내는 회로도이며 냉동기는 주기적으로 운전과 정지를 반복한다. Fig. 4의 증

발온도제어 자동운전시스템은 증발기 또는 냉장실의 온도가 설정온도까지 하강하면 온도조절스위치의 접점이 열려서 압축과 응축작용을 멈추게 되어 냉동작용을 멈추게 된다. Fig. 5의 펌프다운 자동운전시스템은 증발기 또는 냉장실의 온도가 설정온도까지 하강하면 온도조절스위치의 접점이 열려서 액 관의 전자밸브만을 닫히게 하고 전자

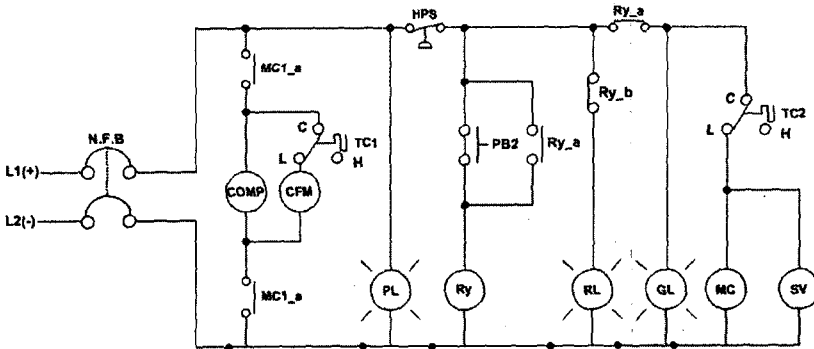


Fig. 4 Automatic evaporating control system circuit.

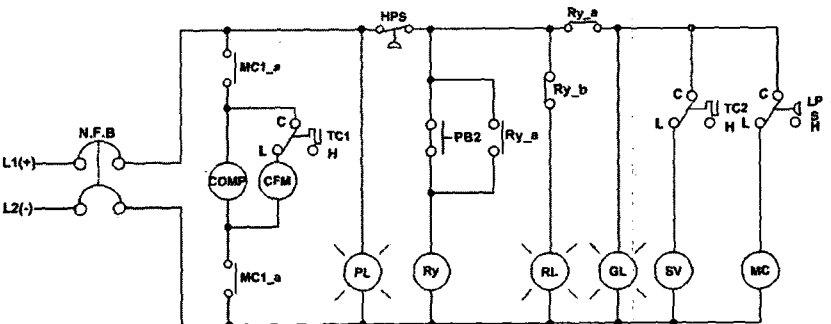


Fig. 5 Automatic pump down control system circuit.

밸브가 닫힌 상태에서 압축과 응축작용이 계속 진행된다. 압축과 응축작용이 멈추지 않고 계속 진행되기 때문에 냉동장치의 배관 내 닫힌 전자밸브 이후의 냉매들은 고압 측으로 이송, 회수되어 수액기와 응축기에 모이게 된다. 펌프다운 운전상태에서 저압이 급격히 저하하여 압력이 저압 차단스위치의 단절점에 도달하게 되면 저압차단 스위치의 접점이 열려서 압축과 응축작용이 정지되어 냉동작용이 멈춘다.

실험의 신뢰도와 온도분포 자료확보를 위하여 초기운전부터 4사이클의 가동시간에서 얻은 실험 자료를 가지고 비교 분석하였다. 고압측(고온측)은 압축기의 출구, 응축기의 입·출구와 팽창밸브의 입구에서 온도와 압력을 측정할 수 있도록 하였으며 저압측(저온측)은 팽창밸브의 출구, 증발기의 입구, 중간 및 출구, 압축기의 입구에서 온도와 압력을 측정할 수 있도록 하였다.

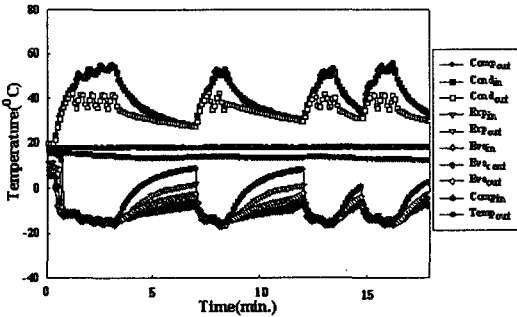


Fig. 6 Temperature distribution of automatic evaporating control system.

3. 결과 및 고찰

3.1 운전특성

Fig. 6은 증발온도제어 자동운전사이클에서의 온도분포를 나타낸 그래프이다. 고압측의 온도분포는 일정한 값을 나타내고 저압측의 온도분포는 운전 정지점을 증발기 -15°C (증발기 출구온도)로 설정하였는데 실제적으로 약 -16°C 까지 온도가 하강하여 비교적 안정된 운전상태임을 알 수 있었다.

Fig. 7은 LPS 단절점을 1.5 bar로 설정하고 펌프다운 자동운전하였을 경우의 그래프를 나타내고 있다. LPS 단절점을 1.5 bar로 설정하였으므로 운전 중 저압보다 조금 낮은 정도로 펌프 아웃되어 운전이 정지되었으며, 이때 증발기 출구의 온도는 약 -20°C 정도로 나타났다. Fig. 8은 LPS

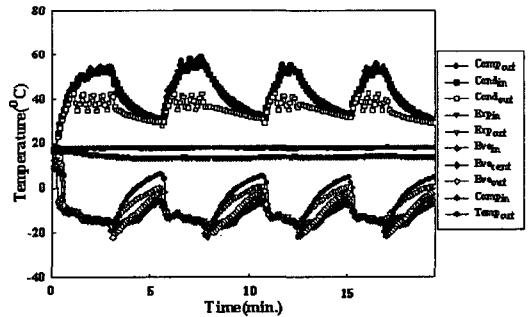


Fig. 8 Temperature distribution of automatic pump down control system at $P=1.0$ bar of LPS interruption point.

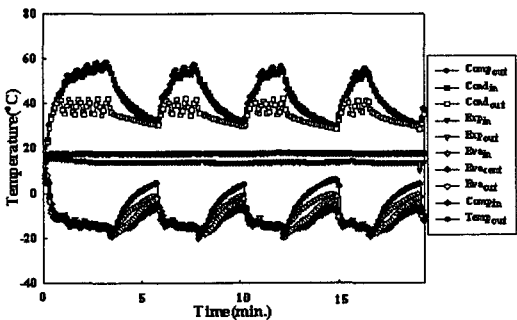


Fig. 7 Temperature distribution of automatic pump down control system at $P=1.5$ bar of LPS interruption point.

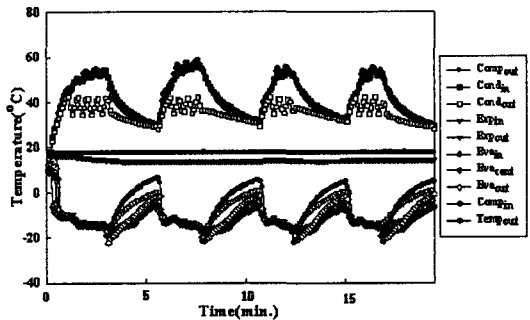


Fig. 9 Temperature distribution of automatic pump down control system at $P=0.5$ bar of LPS interruption point.

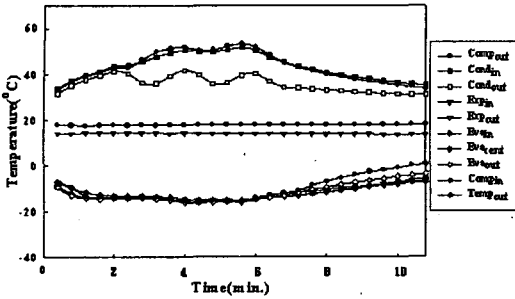


Fig. 10 Characteristics of automatic evaporating control system.

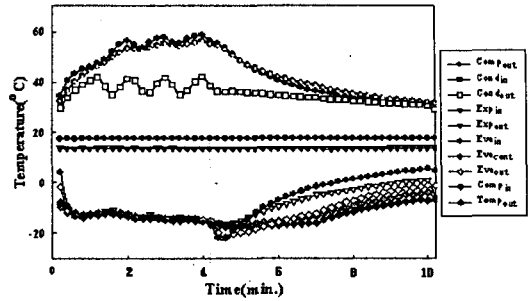


Fig. 12 Temperature distribution of automatic pump down control system at P=1.0 bar of LPS interruption point.

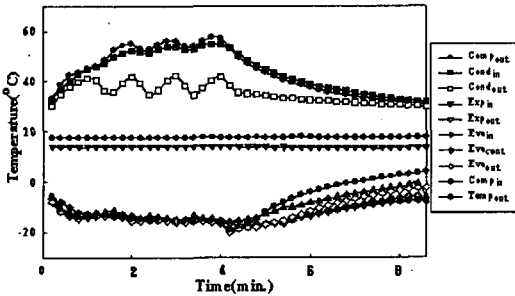


Fig. 11 Temperature distribution of automatic pump down control system at P=1.5 bar of LPS interruption point.

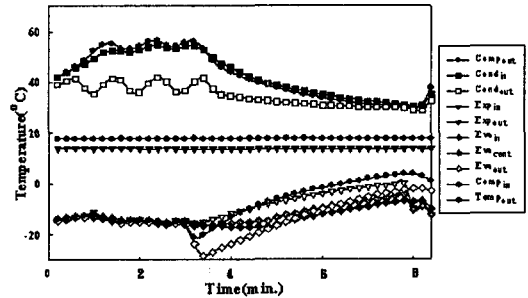


Fig. 13 Temperature distribution of automatic pump down control system at P=0.5 bar of LPS interruption point.

단절점을 1.0 bar로 설정하고 펌프다운 자동운전 하였을 경우의 그래프를 나타내고 있다. LPS 단절점을 1.0 bar로 설정하여 냉동기를 정지시켰을 경우 약 -23°C 까지 하강하는 것을 볼 수 있었다. Fig. 9는 LPS 단절점을 0.5 bar로 설정하고 펌프다운 자동운전하였을 경우의 그래프를 나타내고 있다.

LPS 단절점을 0.5 bar로 설정하여 냉동기를 정지시킬 경우 증발기의 출구온도는 약 -28°C 로 다른 경우에 비해 가장 낮게 나타나는 것을 볼 수 있었다. Fig. 6을 기준으로 Fig. 7, Fig. 8과 Fig. 9를 비교 분석하였는데 비교적 고압측은 큰 변화가 없었으나 저압측은 $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 정도의 변화가 있다는 것을 알 수 있었다. 특히 증발기 출구측의 온도는 -16°C , -20°C , -23°C , -28°C 로 운전이 정지되는 저압측의 압축기 흡입압력에 따라 온도 변화가 크다는 것을 알 수 있었다. 이것은 냉동장치배관에 설치된 전자밸브가 닫힌 후에 압축기

의 운전시간이 길어짐에 따라 저압측의 압력하강이 커지고 증발기온도도 하강하기 때문이다. 특히 증발기의 출구온도가 하강하는 것은 냉매가 저압인 흡입압력의 영향에 의하여 흡입측에 정체되어 증발이 급속도로 일어난다는 것을 알 수 있었다.

Figs. 9~13은 증발온도제어 자동운전과 펌프다운 제어 자동운전 주기에서 중간 1개의 사이클에서 운전에서 정지까지의 온도분포를 그래프로 나타내었다. 본 연구에서 증발기의 온도를 일정하게 유지하기 위해서 온도조절스위치의 설정을 똑같이 -15°C 로 하였는데도 불구하고 자동제어 설계, 구성 및 압력스위치의 설정에 따라서 고압측은 거의 변화가 없는 반면, 저압측은 변화가 큰 것을 확인할 수 있었다.

3.2 증발온도제어와 펌프다운제어 운전의 비교

Fig. 14는 증발온도제어 자동운전과 LPS 단절

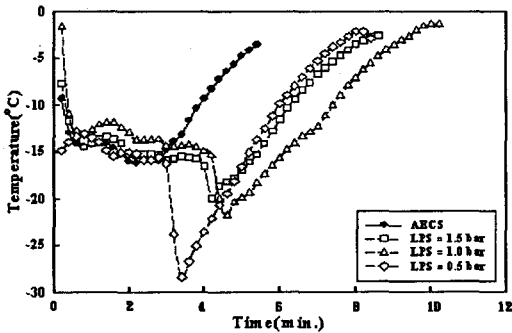


Fig. 14 Temperature distribution on the low temperature sector in LPS interruption point of various pressure at P=1.5, 1.0 and 0.5 bar.

점의 3가지(1.5 bar, 1.0 bar, 0.5 bar) 압력에 대한 펌프다운제어 자동운전의 증발기 출구측 온도분포를 그래프로 나타내었다. 여기서 검은 마크의 AECs는 증발온도제어 자동운전시스템에 의한 온도를 나타내고 하얀 마크의 점선들은 LPS 단절점의 압력이 각각 1.5 bar, 1.0 bar와 0.5 bar일 때 증발기 출구측 온도를 나타내고 있다. Fig. 14에서 증발기 출구측의 온도차가 각각 -3.8°C , -5.6°C 와 -12.2°C 를 나타내었다. 그 이유는 펌프다운 운전이 시작되는 시점에서 냉매가 압축기의 흡입에 영향을 받아 증발기 출구측으로 모이면서 증발이 촉진되기 때문으로 생각된다. 또한 증발온도제어 자동운전의 주기와 펌프다운제어 자동운전의 주기는 차이가 있다. 그것은 증발온도제어 자동운전은 증발기의 온도가 온도제어스위치의 설정온도에 도달하면 즉시 스위치의 접점이 열리면서 압축과 응축작용이 멈추어 냉동작용이 중지되지만 펌프다운제어 자동운전은 온도스위치의 접점이 열리면 전자밸브만 닫히게 되고 압축과 응축작용이 계속 진행되면서 압력이 하강하여 LPS 단절점에서 스위치의 접점이 열려 압축과 응축작용이 멈추고 냉동작용이 중지된다. 그러므로 이 두 가지의 운전주기와 냉동장치의 물리적인 변화는 많은 차이가 있다.

증발부의 사용목적에 따라 적절한 온도분포를 유지하여 이용하는 시스템에는 증발온도 자동운전시스템을 이용하는 것이 좋을 것으로 보이며, 온도의 차이를 이용하지 않고 증발부를 효율적으로 사용하고자 할 때에는 펌프다운제어 자동운전

시스템을 이용하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

4. 결 론

이상과 같은 실험 고찰에서 펌프다운제어 자동운전의 LPS 단절점 설정값은 증발기의 온도변화에 큰 변수임을 고찰할 수 있었으며 냉동장치의 냉매량의 제어, 이동과 정체 장소에 변수로서 작용하고 이것이 냉동기에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

(1) 증발온도 자동제어운전은 온도분포가 고압, 저압측에서 설정온도를 기준으로 했을 때 비교적 안정적이었으며 큰 변화를 보이지 않았다.

(2) 펌프다운제어 자동운전은 고압측(고온측)에서는 증발온도 자동제어 자동운전과 거의 동일한 온도분포를 얻었으나, 저압측(저온측)은 LPS 단절점을 낮게 설정할수록 증발부의 온도변화가 커지는 현상을 볼 수 있었다.

(3) 펌프다운제어 자동운전은 저압측 냉매가 흡입측에 일시 정체 후 증발의 작용이 발생되어 압축기 흡입측으로 습압축이 발생할 수 있을 것으로 생각한다.

(4) 저압측의 변화가 고압측에 큰 변화를 주지 않는 것을 이번 실험으로 알 수 있었다.

(5) LPS 단절점을 낮게 설정하여 비정상적으로 운전하면 증발온도가 급강하하여 습압축이 발생하므로 적절한 압력스위치의 설정과 함께 자동제어 설계가 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. Satoshi Takahashi, 1986, Inverter room air conditioner, Refrigeration in Japanese, Vol. 61, No. 701, pp. 27-30.
2. Matsuoka, E. and Nagatomo, H. 1988, Dynamic response and electrical control for the air conditioner, Transactions of Refrigeration in Japanese, Vol. 5, No. 1, pp. 43-54.
3. Tassou, S. A. and Al-Nizari, H. O., 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. Yasuda, H., 1986, Evaporator superheat control, Refrigeration in Japanese, Vol. 61, No. 701, pp. 244-248.
5. Choi, S. O., Kim, J. H. and Yang, H. S., 1994, Study on control of refrigerant flow rate and characteristics of superheat in evaporator using electric expansion valve, Korean Journal of Society of Air Conditioning and Refrigerating Engineers, Vol. 6, No. 4, pp. 380-387.
6. Kim, J. D., Oh, H. K. and Yoon, J. I., 1995, A study on dynamic characteristics of a refrigeration system by controlling the evaporator superheat, Korean Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers, Vol. 19, No. 8, pp. 2012-2021.
7. Kyle, D. M., 1993, The Oak Ridge National Laboratory Automobile Heat Pump Model: User's Guide, ORNL/con-35.
8. Davis, G. L., Chianese, F. Jr. and Scott, T. C., 1972, Computer simulation of automotive air conditioning-components, system, and vehicle, SAE Paper 720077.
9. Park, B. S. and Han, C. S., 1999, Development of simulation program for TXV and capillary tube performance analysis, Korean Journal of Society of Air Conditioning and Refrigerating Engineers, pp. 1060-1070.
10. Park, B. S. and Han, C. S., 2000, Development of simulation program for TXV and capillary tube performance analysis, Korean Journal of Society of Air Conditioning and Refrigerating Engineers, Vol. 12, No. 2, pp. 170-180.
11. Jang, W. W., 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.