

인버터 열펌프의 주파수 및 냉매충입량 변화에 따른 시스템 성능특성의 실험적 연구

최 득 관^{*}, 김 경 천^{**}, 김 주 상^{*}
LG전자 디지털어플라이언스연구소, ^{**}부산대학교 기계공학과

An Experimental Study on the Performance of an Inverter Heat Pump with a Variation of Frequency and Refrigerant Charging Amount

Deug-Goan Choi^{*}, Kyung-Chun Kim^{**}, Ju-Sang Kim^{*}
^{*}Digital Appliance Research Laboratory, LG Electronics, Changwon 641-711, Korea
^{**}Department of Mechanics, Pusan National University, Pusan 609-753, Korea

(Received October 6, 2000; revision received December 19, 2000)

ABSTRACT: In the air-conditioning industry, the refrigerant charging amount is one of the most important parameters affecting the energy efficiency ratio of heat pumps. An experimental study was performed on the characteristics of an inverter driven air-to-air heat pump system with a variation of compressor frequency and charging amount of refrigerant. The frequency was altered from 40 Hz to 70 Hz and the charging amount was changed from 1.6 kg to 2.8 kg in tests. The variation of performance was measured with switching of the expansion valve on each frequency and charging amount. All the tests were performed at the Korean Standard and test conditions of the air conditioners. As results, it was found that there existed the charging amount and the level of the suction gas superheat which provided the highest energy efficiency ratio at all the frequency bands.

Key words: Inverter heat pump(가변속 열펌프), Refrigerant charging amount(냉매충전량), EER(에너지 소비효율), SEER(계절성능계수), EEV(전자팽창밸브)

1. 서 론

삶의 질이 향상됨에 따라 활동공간에서의 쾌적성을 추구하게 되고 이로 인해 가정용 및 업소용의 공조기들이 생활필수품으로 요구되어 그 수요가 급격히 증가되고 있다.

공조기는 지구환경변화에 큰 영향을 줄 뿐 아니라 에너지를 과다하게 필요로 하는 제품으로

특히 우리나라에서는 이의 고효율화에 대한 요구가 절실하며 이에 따라 현재 활발한 연구가 진행되고 있다.

인버터 열펌프는 공조부하, 즉 실내와 실외공기의 온도에 따라 압축기의 회전수를 가변시켜서 그 능력을 조절하는 기기로, 조절하고자 하는 공조부하가 크다고 판단되면 주파수를 높여 회전수를 증가시키고, 역으로 적다고 판단되면 주파수를 낮추어 회전수를 감소시킴으로써 냉방과 난방용량을 조절하기 때문에 불필요한 능력의 손실이 없이 연속적으로 운전이 가능하고 또한 운전 시작시의 주파수를 낮게 하여 초기 기동동력을 줄일 수가 있다. 따라서 인버터 열펌프는 정속형에

† Corresponding author
Tel.: +82-55-260-3827; fax: +82-55-260-3507
E-mail address: cdg@lge.com

비해 실내온도를 일정하게 유지하는 쾌적공조의 장점과 계절성능계수(seasonal energy efficiency ratio, SEER)가 높고 난방운전시에 낮은 외기온도에서도 높은 난방능력을 유지할 수 있다는 측면에서 이와 관련한 많은 연구가 수행되고 있다.

광범위 공조부하의 변동에 대응한 인버터 열펌프의 고효율화에 관한 최근의 연구로는 SEER이 최적이 되기 위한 압축기의 운전주파수 설정,⁽¹⁾ 팽창장치에 따른 인버터 열펌프의 운전특성,⁽²⁾ 광대역 운전에 적합한 인버터 열펌프 사이클의 제어방식⁽³⁾ 등이 있다.

공조기에 있어서 냉매봉입량이 에너지 소비효율에 영향을 주는 주요 인자라는 것은 이미 알려진 사항이지만, 그 연구가 주로 압축기의 회전수가 변하지 않는 냉방전용의 정속형^(4,5)에 대해 이루어져 왔다.

본 연구는 실내외의 기온이 변화함에 따라 압축기의 회전수가 변하고, 이 변화에 대응하여 팽창변의 개도를 조절함으로써 시스템이 최적의 효율로 운전하며 또한 사방변에 의하여 냉매의 흐름을 절환함으로써 한 대의 공조시스템으로 냉방과 난방운전을 겸용으로 사용하는 인버터 열펌프에 있어서 주파수와 냉매봉입량이 사이클 특성과 성능의 변화에 미치는 영향을 실험을 통하여 연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구는 인버터에 의해 순환량이 변하는 인버터 공조장치에서도 정속형과 같이 주어진 사이클의 사양에 최적인 냉매봉입량이 존재하는지,⁽⁴⁾ 그리고 압축기 회전수와 냉매봉입량의 가변에 따라서 열펌프의 성능과 사이클 특성이 어떻게 변하는지를 분석하고 이를 통해 실험용 열펌프에 대한 최적의 냉매봉입량과 제어알고리즘을 구성하기 위한 자료를 마련하는 것이 목적이다.

본 실험에 사용된 열펌프는 실외와 실내의 열교환기 전열면적비가 1.83 : 1이고, 정격냉방능력이 6200 kcal/h이며, 실외측 열교환기의 하단부에 결빙방지회로를 가진 분리형 유닛으로 이의 개략적인 사양은 Table 1과 같다.

결빙방지회로는 영하의 외기온도에서 난방운전시에 제상에 의한 응축수가 외부로 모두 방출되지 못하면 실외기의 하단부에 고여서 결빙이 되

Table 1 Specifications of test unit

Items	Specifications
Compressor	Vertical type scroll
Heat exchanger	Horizontal fin & tube Heat transfer area(m ²) Outdoor/indoor=30.8/16.8
Electronic expansion valve	0~500 pulse orifice diameter=2.2 mm
Cooling capacity	6200 kcal/h

고, 운전이 계속 진행되면 결빙이 누적되어 실외측 열교환기의 열교환능력을 저하시키는데, 이를 방지하기 위한 것으로, 4개의 체크밸브의 조합에 의해 난방운전시에 실외측 열교환기에서 토출된 냉매가 실외측 열교환기의 하단부에 먼저 유입되도록하여 응축한 후의 냉매의 열량을 이용하여 실외측 열교환기의 하단부가 결빙되는 것을 방지하는 방법으로 한랭지향 열펌프에 일반적으로 사용되는 방법이다.

Fig. 1은 본 실험에 사용된 열펌프의 개략적인 사이클과 온도, 압력 및 유량계의 계측위치를 나타낸 것으로, 압축기는 입형스크롤 형태로써 인버터의 주파수 제어기능에 의해 압축기 회전수 조절이 가능하며, 사방변은 압축기 토출측에 설치되어 냉방시에는 실외측 열교환기로 냉매가 유동하도록 하고 난방시에는 실내측 열교환기로 냉매가 유동하도록 함으로써 냉방과 난방의 운전모드를 절환시키는 데 사용된다.

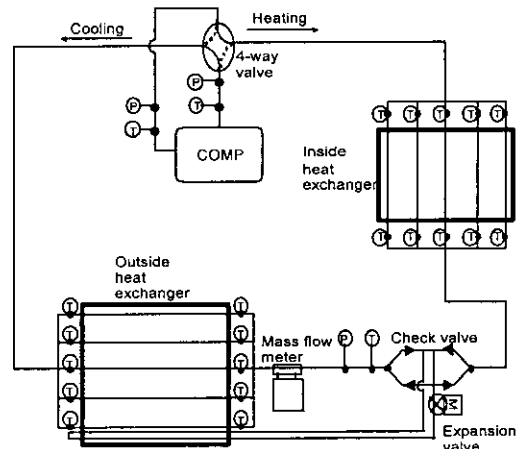


Fig. 1 Schematic diagram of heat pump system.

평창변은 펄스신호에 의해 그 개도를 변경하는 전자평창밸브(EEV)를 사용하였으며, 0~500펄스(Pulse)까지 1펄스 단위로 냉매 순환량을 선형적으로 조절함으로써 압축기 흡입 또는 토출온도를 제어⁽³⁾하는 데 사용된다. 실내외측의 열교환기는 수평핀-관식으로 열교환 능력과 관내 압력손실의 상관을 고려한 다분지의 유로로 구성되었으며, 각각의 분지간에는 균등열교환이 되도록 면적비를 구성하였다. 그리고 각 분지관에는 입구와 출구에 열전대를 설치하여 온도를 측정함으로써 분지간의 균등열교환을 확인하였으며, 질량유량계는 공기측 열량계의 신뢰성을 확인하기 위해 설치하였고, 냉방시 실외기 출구의 액상영역에 설치하여 냉매순환량을 측정하였다.

과열도, 압축기 토출냉매온도 등을 측정하기 위해 압축기 입구와 출구에 각각 압력과 온도센서를 설치하였고, 압축기 회전수와 EEV의 개도는 임의로 조절이 가능하도록 별도의 제어모듈을 구성하였다.

실험은 온도와 습도조절이 가능하고 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 의 변동량을 가지는 항온항습 챔버(Chamber)와 풍량과 열량을 측정하는 풍동으로 구성된 공기엔탈피식 열량계를 이용하여 측정하였으며, Table 2의 KS 표준냉난방능력 측정조건에 준하여 수행되었다.

Table 2 KS test conditions for cooling and heating

Condition	Indoor temp.($^{\circ}\text{C}$)		Outdoor temp.($^{\circ}\text{C}$)	
	dry bulb	wet bulb	dry bulb	wet bulb
Cooling	27.0	19.5	35.0	24.0
Heating	20.0	15.0	7.0	6.0

Fig. 2는 시료의 설치와 계측시스템을 나타낸 것으로 냉방과 난방능력은 실내측 시료의 입구와 출구에 설치된 공기샘플링 장치와 풍동내에 설치된 노즐에 의해 각각 입출구 건구 및 습구온도와 풍량을 측정하고 KS 규격⁽⁶⁾에 준하여 작성된 능력계산 프로그램에 의하여 산출하였으며, 소비전력은 전력계를 이용하여 시료의 전체 입력을 측정하였다.

냉방과 난방시 그리고 주파수가 변할 때 사이의 클의 상태와 냉매봉입량의 변화에 대한 성능의 변화를 확인함으로써 실험용 열펌프에 가장 적합한 냉매봉입량을 산출하기 위해 Table 3과 같은 냉매봉입량 및 주파수 변화에 따른 성능평가 실험을 수행하였다.

실험은 먼저 열펌프의 배관 내부를 진공펌프를 이용하여 정밀진공계의 눈금이 6.67 Pa 이하가 될 때까지 진공을 한 후 최초 1.6 kg의 냉매를 봉입

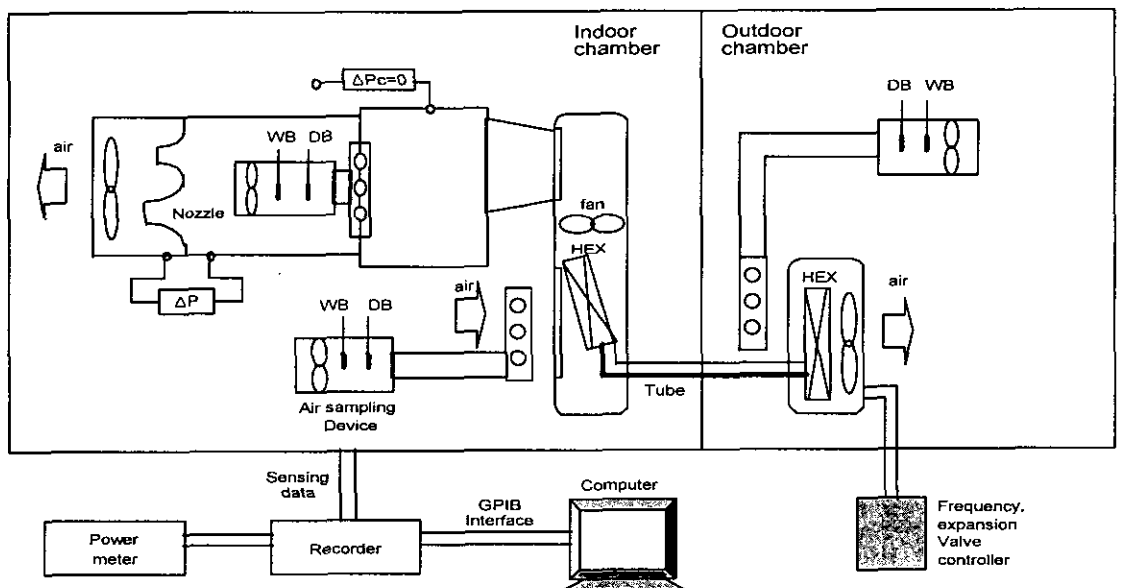


Fig. 2 Schematic view of measurement system.

Table 3 Charging amount and frequency variation

Charging amount (g)	Frequency (Hz)	
	Cooling mode	Heating mode
1,600	40	40
1,800		
2,000		
2,200		
2,400		
2,600		
2,800		
2,800		

하고 냉방은도 조건에서 주파수 변화, 난방은도 조건에서 주파수 변화실험을 수행하였다. 그리고 봉입량과 주파수 각각의 경우에 대해서는 에너지 소비효율의 최고점을 확인하기 위해 변곡점이 형성될 때까지 EEV의 개도 변경시험을 수행하였다. EEV의 개도변경은 주어진 봉입량 및 주파수에 대해서 과열도가 10℃가 되게 초기펄스를 설정하고 이로부터 10 Pulse 단위로 증가시키면서 최적효율의 변곡점이 나타날 때까지 시험을 수행한 후 변곡점의 개도를 중심으로 1 Pulse 단위로 사이클의 변화를 확인하기 어려워 2 Pulse 단위로 다시 미세하게 최대효율점을 구하는 시험을 수행하였다.

압축기 흡입냉매의 과열도는 Fig. 1에 표시된 것과 같이 압축기 입구에서 압력과 온도를 측정하고, 측정된 압력 값에 상당하는 냉매의 포화온도를 일본냉동협회의 자료⁽⁷⁾에 준하여 작성한 냉매물성 프로그램을 이용하여 산출하였고 이 값을 측정된 입구온도와 비교하여 구하였다.

냉방과 난방능력 측정은 실험용 열펌프가 정상상태에 도달한 때부터 1시간 후 시료의 입구 건구온도와 습구온도가 설정온도에 도달하고 온도의 변동이 ±0.1℃ 이내로 안정되면 능력평가를 시작하여, 10초 간격으로 데이터를 추출하여 적산하고 이를 10분 단위로 평균하며, 총 70분 수행한 값의 평균을 취하였다. 또한 공기측에서 구한 열량은 Fig. 1의 질량유량계와 증발기입구 및 출구에서 구한 엔탈피차에 의해 산출한 냉매측 열량과 3% 이내의 편차로 잘 일치함을 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

인버터 열펌프는 압축기의 회전수 가변에 의해

부하의 변동에 대응하는 공조시스템이므로 우선 표준조건에서 냉방과 난방능력을 만족하는 주파수와 EER(에너지 소비효율)이 가장 높은 냉매봉입량을 결정해야하며 Fig. 3과 Fig. 4는 냉방과 난방시 냉매봉입량에 따른 각 주파수별 능력, 소비전력, EER을 나타낸 것이며, Fig. 5는 이때의 압축기 흡입 및 토출압력 변화를 나타낸 것이다.

Fig. 3과 Fig. 4는 EEV 개도변화에 의해 봉입량 및 주파수 별로 효율이 최적인 값들을 표시한 것으로 냉방과 난방모두 주파수가 상승하면 능력이 증가하지만 소비전력 증가율이 상대적으로 더욱 높아짐으로 인해 EER은 감소함을 나타낸다. 이는 주파수가 증가하면 압축기의 회전수가 증가하여 냉매순환량이 증가하지만 동시에 압축비가 증가하면 압축기 입구냉매의 비체적이 상승하게 되므로 냉매순환량은 이에 상당하는 양만큼 적은

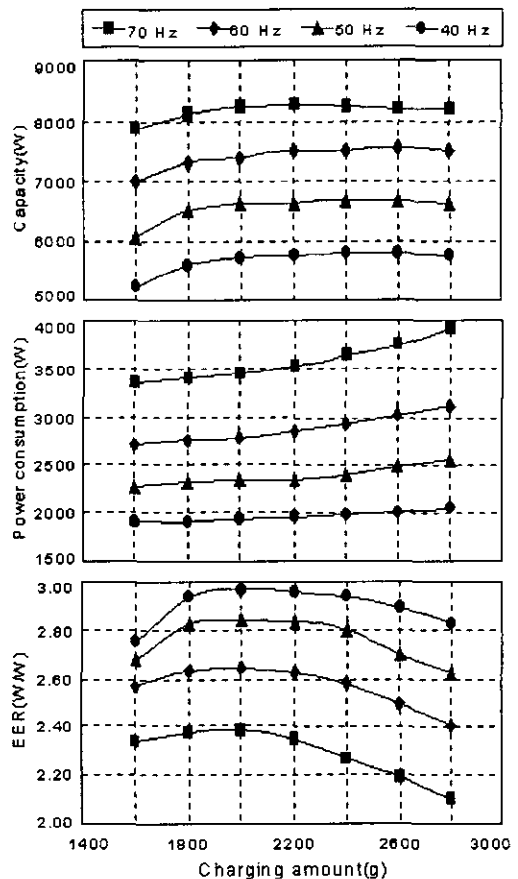


Fig. 3 Performance with frequency and charging amount in cooling mode.

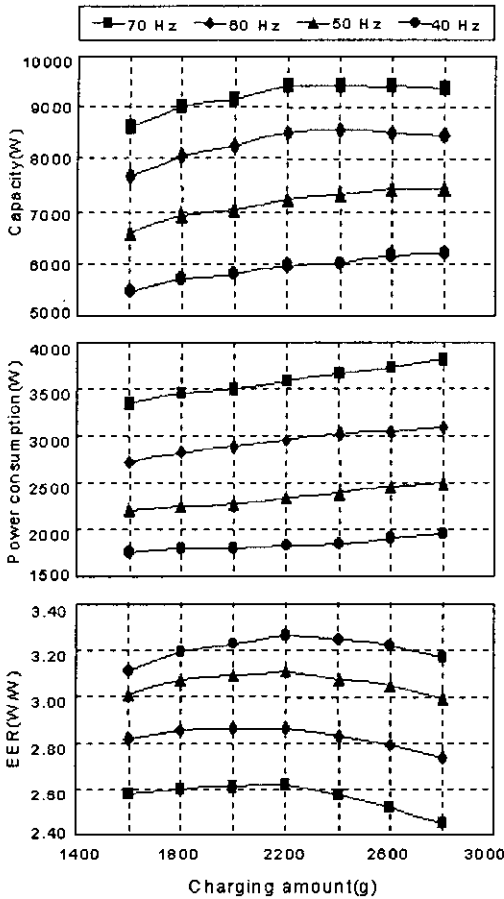


Fig. 4 Performance with frequency and charging amount in heating mode.

양으로 증가하게 된다. 또한 고정된 전열면적으로 인해 열교환기의 열교환능력 한계와 유량증가에 따른 압력손실 증가 등으로 인해 소비전력 증가에 비해 냉방능력의 증가는 상대적으로 적어진 것이다.

그리고 주파수가 낮아짐에 따라 주파수 감소폭에 비해 EER 상승폭이 감소함을 나타내는데, 이는 스크롤 압축기의 특징인 낮은 압축비에서의 토출 누설량 증가,⁽⁸⁾ 압축기 모터효율 저하, 압축비 감소에 따른 대수평균 온도차의 감소 등에 기인한 것으로 생각된다. 또한 그림에서 냉매봉입량이 증가함에 따라서 정속형의 경우와 같이 모든 주파수 영역에서 능력과 EER이 증가하다가 감소하는 변곡점이 형성되며, 대부분의 주파수 대역에서 냉매봉입량은 냉방시 2.0 kg, 난방시 2.2

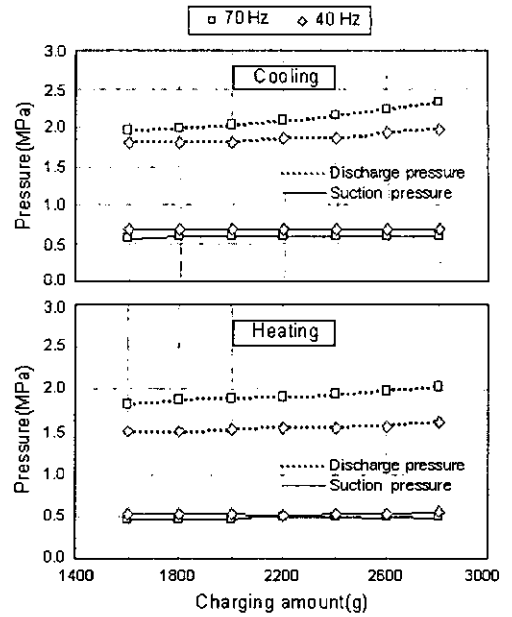


Fig. 5 Suction and discharge pressure with frequency and charging amount.

kg으로 주파수 변화에는 관계없이 EER의 최고점이 형성되며 냉방시보다 난방시에 약간의 냉매봉입량이 더 필요함을 나타낸다.

이는 실내외 열교환기의 전열면적, 관내 체적비 및 난방시 실외측 열교환기 하단부의 결빙방지영역과 관계가 있는 것으로 생각되며, 이에 관해서는 향후 실내외 열교환기 전열면적 및 관내 체적비 변화시험을 통하여 확인코자 한다.

Fig. 5는 주파수와 냉매봉입량에 대한 압축기 흡입과 토출압력의 변화를 나타낸 것으로 주파수가 높을수록 흡입압력은 저하되고 토출압력은 높아지며, 냉방시보다 난방시에 고압측의 증가폭이 더욱 컸다. 이는 통상 실내측 열교환기의 전열면적이 실외측 열교환기보다 적어서 난방시에 주파수 상승에 따른 순환량 증가에 대응하기 위해서는 대수평균온도차가 커야 하며, 이로 인해 응축온도가 상승하기 때문인 것으로 생각된다. 그리고 동일 주파수에서는 정속형의 경우와 동일하게 냉매봉입량이 많아질수록 토출압력은 상승하고, 흡입압력은 적정봉입량까지는 미소하게 상승하지만 그 이후로는 거의 변화가 없었다.

Fig. 6은 주파수와 냉매봉입량 변경에 따른 과열도의 변화를 나타낸 것이며, 이때의 과열도는

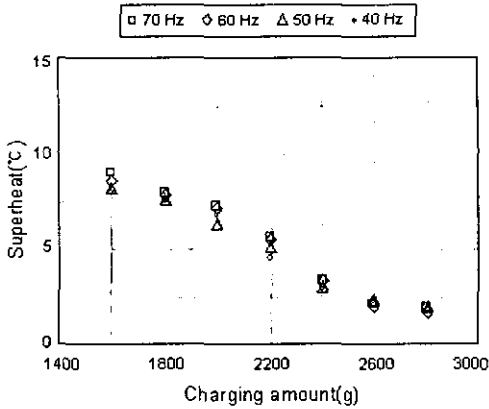


Fig. 6 Degree of superheat with frequency and charging amount for cooling mode.

EEV의 개도변경에 의해 에너지 소비효율이 가장 높은 상태의 과열도를 나타낸 것으로 봉입량 증가에 따라 과열도가 약간씩 감소하다가 적정봉입량을 초과하면 최고효율점의 과열도가 급격히 낮아져서 거의 포화온도 영역에 도달하며, 주파수별로는 최고효율점에 대한 과열도의 변화가 없으므로 최적의 냉매봉입량이 설정되면 에너지 소비효율이 최적인 과열도가 정해질 수 있으며, 따라서 이를 근거로 인버터공조기 성능을 제어하기 위한 흡입 또는 토출온도를 결정할 수 있다.

4. 결 론

압축기의 회전수 가변에 의하여 공조부하에 대응하고, 냉방과 난방을 겸용으로 하는 인버터 열펌프에 있어서 주파수와 냉매봉입량의 변화가 성능과 사이클에 어떠한 영향을 미치는지를 실험으로 검토하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 주파수의 크기와 무관하게 에너지 소비효율이 가장 높은 적정 냉매봉입량이 존재한다.
- (2) 에너지 소비효율이 가장 높은 흡입과열도는 냉매봉입량이 증가함에 따라 과열도가 낮은 조건으로 변하다가 적정 냉매봉입량을 초과하면 급격히 감소하며, 주파수별로는 에너지 소비효율이 최고가 되는 흡입과열도의 변화는 거의 없었다.
- (3) 주파수가 변하면 압축비가 달라지며, 주파수 증가시 응축압력은 상승하고, 증발압력은 하

강하지만, 응축압력의 상승폭이 증발압력의 하강폭에 비해 훨씬 크고 이로 인해 에너지 소비효율이 낮아진다.

(4) 고주파에 비해 저주파에서의 에너지 소비효율이 높으므로 계절성능계수 측면에서 정속형에 비해 유리하다.

참고문헌

1. Park, Y. C. and Ha, D. Y., 1998, The effect on the seasonal performance of an inverter compressor with higher and lower operating range, SAREK, Vol. 10, No. 2, pp. 173-179.
2. Lee, Y. T. and Kim, Y. C., 1998, Performance characteristics of an inverter heat pump with various expansion devices, Proceedings of the SAREK '98 Winter Annual Conference, pp. 8-13.
3. Terada, H. and Senshu, T., 1988, Packaged air conditioners with 115 Hz Inverter Driven Air Scroll Compressor, Refrigeration, Vol. 63, No. 732, pp. 55-64.
4. Lee, G. H. and Jung, J. D., 1997, Computer simulation of automotive air-conditioners with variations of charging conditions, Proceedings of the SAREK '98 Summer Annual Conference, pp. 165-169.
5. Choi, E. S. and Park, I. G., 1998, Effects of charged mass of refrigerant on the performance of a home air-conditioner, Proceedings of the SAREK '98 Winter Annual Conference, pp. 8-13.
6. KS C 9306, 1999, Air Conditioners, KS standard.
7. Thermophysical properties of refrigerants (R22), 1986, Japanese Association of Refrigeration.
8. Morimoto, T. and Yamamoto, S., 1996, Development of a High SEER Scroll Compressor, International Compressor Engineering at Purdue, Vol. 1, pp. 317-322.