

실내기 조합에 따른 3실형 열펌프의 냉방성능 실험연구

권영철^{1*}, 전종균¹, 박윤창², 고국원², 서동남³

Experimental Study on Cooling Performance of Multi-Heat Pump by Indoor-Unit Combination

Young-Chul Kwon^{1*}, Chong-Keun Chun¹, Youn-Chang Park², Kok-Won Ko²
and Dong-Nam Seo³

요약 본 연구에서는 인버터 압축기를 적용한 3실형 멀티-열펌프 시스템의 냉방운전 시 시스템의 성능특성을 조사하였다. 시스템의 운전특성은 항온항습 기능을 가진 공기엔탈피방식의 칼로리미터를 이용하여 측정되었으며, 냉방표준 및 냉방저온 온도조건에서 실내기 조합에 따른 실험이 수행되었다. 3실형 열펌프의 실내기 조합운전에 따른 냉방표준운전 및 냉방저온운전 시의 냉방능력, COP, P-h선도로부터, 3실형 열펌프의 운전특성과 냉방사이클의 거동을 이해하였다. 열펌프의 운전부하와 성능은 실내기 조합에 의존하므로 시스템의 능력과 사이클의 거동은 다르게 관찰되었다. 과냉도 증가와 압축일의 감소로 표준조건보다 저온조건에서 냉방능력과 COP가 더 높았다. 또한 P-h 선도를 이용하여 사이클의 운전특성도 분석하였다.

Abstract In order to investigate the cooling capacity of multi-heat pump applying an inverter compressor, the experiment on the cooling performance characteristics of heat pump with 3 indoor units was performed under the cooling standard and cooling low-temperature conditions. The system data were measured by the psychrometric calorimeter. The operation characteristics and the behavior of the cooling cycle of the heat pump with 3 indoor units were understood from the cooling capacity, COP, and P-h diagram by indoor-unit combination. The operating load and performance of the multi-heat pump depends on the indoor-unit combination. The cooling capacity and COP of the low temperature condition were larger than those of the standard one. Also the cycle was analyzed by using P-h diagram.

Key Words : Cooling, Performance, Heat pump, Indoor-unit, P-h diagram

1. 서론

생활수준의 향상으로 주거환경에 대한 관심이 크게 고조되면서 에어컨과 같은 가정용 공조기는 주거공간의 필수품으로 인식되고 있다. 공조기의 급속한 수요증가로 여름철 전력수요가 집중되어 전력공급이 부족함에 따라 정부에서는 에너지소비 효율 등급제를 시행하는 등 공조기의 에너지소비효율에 대한 규제를 강화하고 있으며, 정부의 에너지 절약정책이 강화됨에 따라 공조기의 성능 및 에너지 소비효율의 향상이 최대 관심사가 되고 있다. 이에 에너지 절감을 위한 방안의 하나로, 공조기의 용량을

조절할 수 있는 개별 공조 시스템이 부각되고 있으며 그 대표적인 것이 설치비용과 공간절약의 장점을 가지고 있는 멀티형 공조기이다. 하나의 압축기에서 각 공조공간에 설치되어 있는 여러 실내기들로 직접 보내며, 각 실내의 부하에 따라 다수의 팽창밸브를 사용하여 냉매유량을 조절함으로써 각 실내기의 개별공조가 가능하게 되어 종래의 공조방식에 비해 에너지의 효율적 이용이 가능하다. 또한 부하변동에 따라 압축기의 용량을 가변 제어하는 인버터 압축기를 사용하게 되면 운전조건에 따라 압축기의 회전속도를 가변시켜 사이클 조건을 최적화할 수 있으며, 또한 각 실마다 개별 냉난방 제어가 가능하므로 에

본 연구는 자동화·에너지기술연구소와 중소기업청의 산학협력실사업으로 수행된 연구결과의 일부입니다.

¹선문대학교 기계공학부

²선문대학교 정보통신공학부

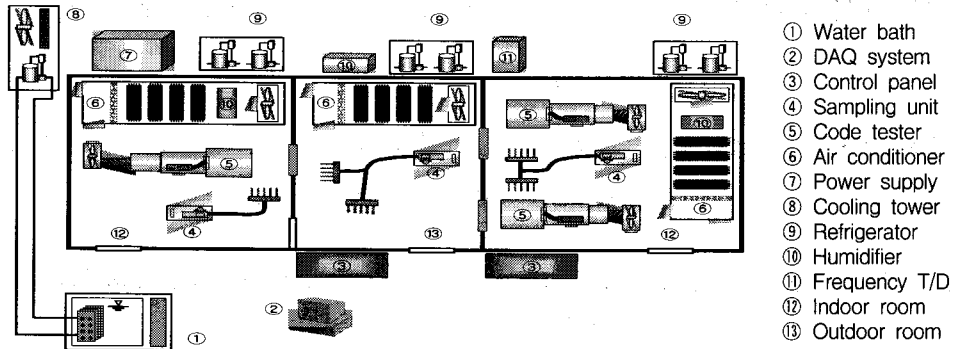
³선문대학교 기계공학부 대학원생

*교신저자: 권영철(yckweon1@sunmoon.ac.kr)

접수일 08년 09월 23일

수정일 08년 12월 11일

게재확정일 08년 12월 16일



[그림 1] 멀티형 칼로리미터의 개념도

너지 효율측면에서 유리하다.

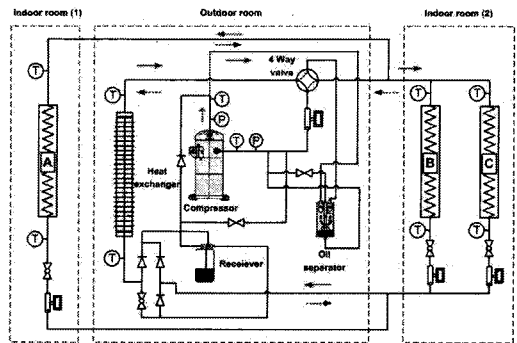
Bahel와 Zubair[1]는 30평의 면적에 설치된 정속 열펌프의 계절성능계수를 측정하여 에너지 절약의 관점에서 인버터 시스템과 비교하였다. 실험결과 인버터 열펌프 시스템은 전체 운전시간의 22%가 저속에서 운전되어 단속 운전손실을 11%정도 감소시킬 수 있었으며, 정속 열펌프 시스템과 비교하여 24%의 에너지 절감효과가 있다고 하였다. Rice와 Fisher 등[2]은 정속 압축기를 사용하는 것보다 가변속 압축기를 사용할 경우 전체적인 에너지 절약효과가 약 26.7%에 이른다고 보고하였다. Han 등[3]은 시뮬레이션을 통한 멀티형 열펌프 시스템에 대한 냉난방 성능예측에 관한 연구를 수행하였고, Cho 등[4]은 인버터스크롤 압축기의 해석적 모델을 개발하고 주파수 변화에 따른 성능해석을 수행하였고, Jung 등[5]은 멀티형 인버터 열펌프의 압축기 토출온도를 이용한 제어알고리즘에 대한 연구를 수행하였다.

현재 개별공조의 욕구와 설치면적의 문제를 해결하기 위해 일본 및 유럽에서는 이미 다양한 형태의 공조기가 개발되어 시판되고 있으며, 국내에서도 중소형 건물, 학교, 관공서 등에서 개별공조시스템을 선호하고 있어 멀티형 공조기가 기존의 패키지형태의 공조기 시장을 대체하는 공조시스템으로 주목받고 있다. 따라서 본 실험에서는 인버터 압축기를 적용한 3실 열펌프 시스템을 구성하여 냉방운전 시의 냉방표준 및 냉방저온에서 실내기 운전 대수(3실, 2실, 1실)에 따른 정상상태의 시스템 성능을 실험적으로 조사하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 연구에 사용된 공기엔탈피식 멀티형 칼로리미터의 개략도로 실내 챔버 2실과 실외 챔버 1실로 구

성되어 있다. 그림 2는 본 연구를 위해 구성한 3실 열펌프 냉방사이클의 개략도로, 온도, 압력 및 유량계의 위치를 보여준다. 열펌프의 실내기 A, B, C는 칼로리미터의 실내 향온향습 챔버에 그리고 실외기는 실외 향온향습 챔버에 설치되었다. 본 연구에서 사용된 3실 인버터형 열펌프 시스템의 사양은 표 1에 나타나 있으며, 정격전압(3상, 220V)과 정격주파수에서 성능실험을 수행하였다. 열펌프의 실내유닛은 열교환기(슬릿핀 2단 12열), 송풍기, 모터, 모세관 등으로, 실외유닛은 압축기, 열교환기(2단 48열), 어큐물레이트, 4방밸브, EEV, 송풍기, 모터 등으로 구성되어 있다.



[그림 2] 3실 열펌프 시스템 개략도

[표 1] 3실 실험에 사용된 열펌프의 사양

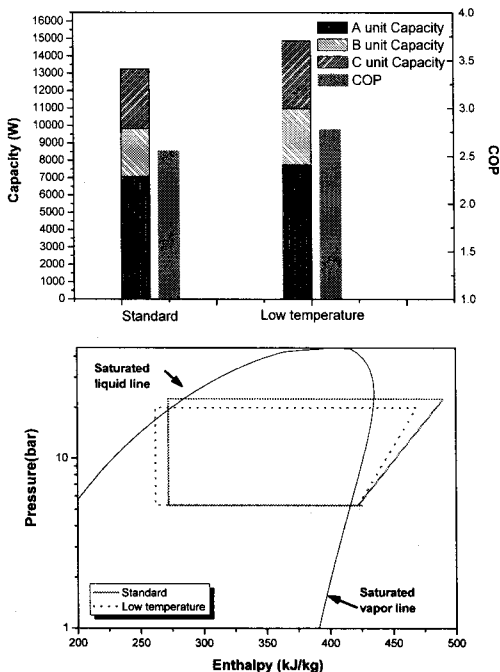
Cooling Capacity	A Indoor unit : 7,100W (50%) B Indoor unit : 2,800W (20%) C Indoor unit : 4,500W (30%)
Refrigerant	R407C
Compressor	Inverter scroll type

[표 2] 시험항목별 실내/실외 공기온도조건 (KS C 9306)

Condition	Setting temp. (°C)			
	Indoor		Outdoor	
	DB	WB	DB	WB
Standard	27±0.3	19.5±0.2	35±0.3	24±0.2
Low temperature	27±0.3	19.5±0.2	29±0.3	19.5±0.2

본 연구에서는 KS C 9306[6]을 근거한 냉방표준 및 냉방저온 온도(표 2) 조건에서 실험하였다. 표 1에 나타난 것처럼, 실내기 3실(A+B+C)은 100%의 용량을, 2실(A+C, A+B, B+C)은 80, 70, 50%의 부분 용량을, 1실(A, B, C)은 50, 20, 30%의 부분 용량을 나타낸다. 실내기 3실, 2실, 1실 운전에 따라 변화되는 능력을 측정하기 위해 칼로리미터의 온습도가 안정 조건범위(DB±0.2°C, WB±0.2°C)에 도달한 후, 정상상태에서 5분씩 3번의 데이터를 획득하여 산술평균하였다. 열펌프의 소비전력은 전체 시스템의 소비전력을 기준으로 하였으며 이를 기준으로 인버터형 열펌프의 냉방능력, COP, P-h 선도를 비교하였다. 열펌프의 열량계산은 ANSI/ASHRAE Standard 58-1986 (RA 99)[7]에서 규정한 시험방법을 따랐다.

3. 실험결과 및 고찰



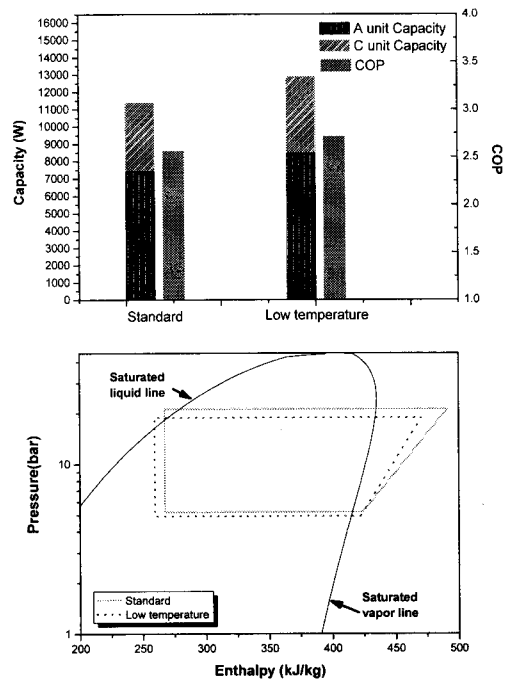
[그림 3] 3실 동시운전 시 능력, COP, P-h 선도

3.1 실내기 3대 동시운전 시 성능

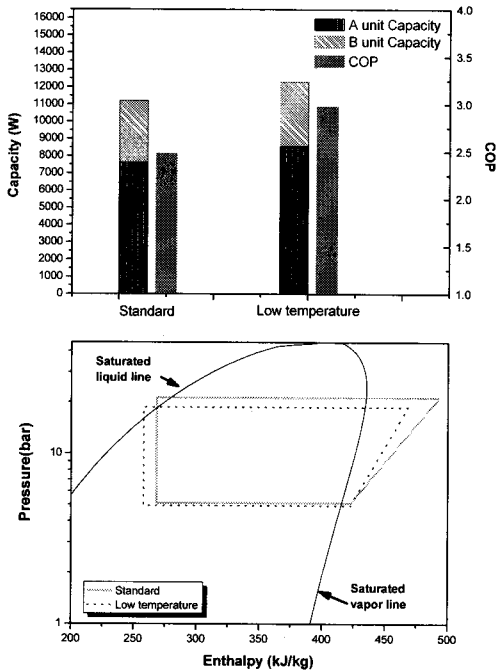
그림 3은 실내기 3대(A+B+C)을 동시운전할 때의 능력, COP, P-h선도를 보여준다. 표준조건 운전에서 시스템 능력은 13,200W, 시스템 능력 대비 실내기별 능력비는 A가 53%, B가 20%, C가 27%를 그리고 COP는 2.56이다. 저온조건 운전에서 시스템 능력은 14,800W, 시스템 능력 대비 실내기별 능력비는 A가 52%, B가 21%, C가 27%를 그리고 COP는 2.78이다. 표준조건에 비해 저온조건의 경우에 능력은 약 12%, COP는 8.6% 더 크게 나타났다. 이는 P-h선도 사이클의 변화로부터 이해할 수 있다. 표준 및 저온조건에 의해 실외측 온도가 35°C에서 29°C 변화하면서 응축기 후단의 과냉도가 증가하였다. 따라서 열펌프의 냉방능력은 증가하게 되며, 그리고 고압측 압력감소로 압축일이 줄어들게 되어 COP가 증가하게 되는 것이다.

3.2 실내기 2대 운전 시 성능

그림 4, 5, 6은 실내기 2실을 운전한 경우의 능력과 COP, P-h선도로 실내기의 조합(A+C, A+B, B+C)에 따라 시스템의 능력, COP, 사이클의 거동이 다르게 나타남을 보여주고 있다.



[그림 4] 2실(A+C) 운전 시 능력, COP, P-h 선도

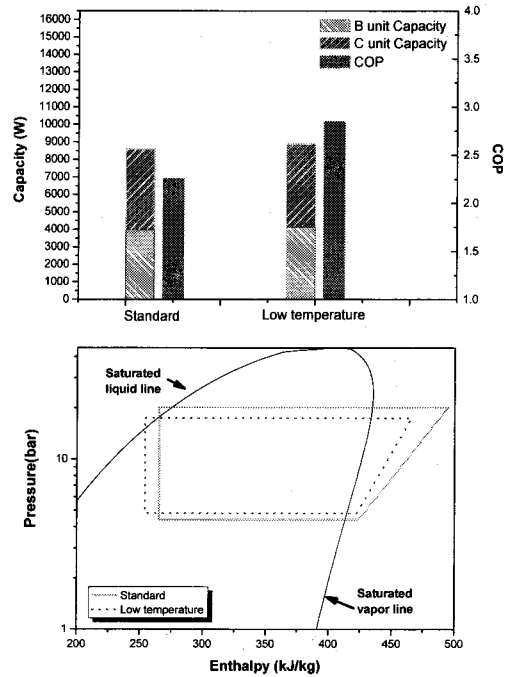


[그림 5] 2실(A+B) 운전 시 능력, COP, P-h 선도

그림 4는 A+C를 운전한 것으로, 표준조건 운전에서 시스템 능력은 11,400k, 시스템 능력 대비 실내기별 능력비는 A가 65%, C가 35%를 그리고 COP는 2.56이다. 저온조건 운전에서 시스템 능력은 12,900W, 시스템 능력 대비 실내기별 능력비는 A가 66%, C가 34%를 COP는 2.71이다. 그림 5는 A+B를 운전한 것으로, 표준조건 운전에서 시스템 능력은 11,200W, 시스템 능력 대비 실내기별 능력비는 A가 68%, B가 32%를 그리고 COP는 2.48이다. 저온조건 운전에서 시스템 능력은 12,300W, 시스템 능력 대비 실내기별 능력비는 A가 70%, B가 30%를 그리고 COP는 2.98이다. 그림 6은 B+C를 운전한 것으로, 표준조건 운전에서 시스템 능력은 8,600W, 시스템 능력 대비 실내기별 능력비는 B가 46%, C가 54%를 그리고 COP는 2.26이다. 저온조건 운전에서 시스템 능력은 8,900W, 시스템 능력 대비 실내기별 능력비는 B가 47%, C가 53%를 그리고 COP는 2.85이다.

표준조건에 비해 저온조건에의 경우에, 실내기 A+C, A+B, B+C 조합 운전 시 능력은 각각 약 13%, 10%, 3% 그리고 COP는 각각 5.9%, 20%, 26% 더 크게 나타났다. 표준운전에서 저온운전으로 사이클이 변경됨에 따라(그림 4, 5, 6의 P-h선도), 냉방능력은 응축기 후단의 과냉도 증가와 증발기 입출구의 엔탈피 변화에 의해 A+C의 경우에 6.2(kJ/kg), A+B의 경우에 9.9(kJ/kg), B+C의 경우에

9.6(kJ/kg) 증가하였다. 그 때 압축일은 A+C의 경우에 19.1(kJ/kg), A+B의 경우에 24.3(kJ/kg), B+C의 경우에 27.9(kJ/kg) 줄어들었다.

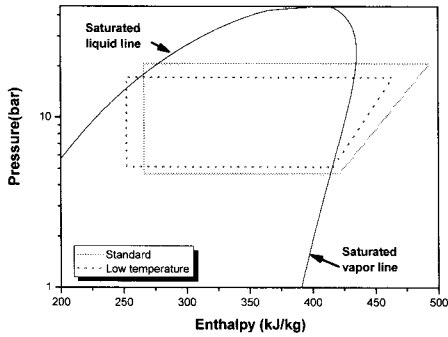
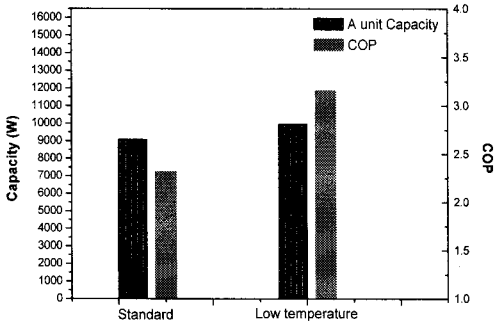


[그림 6] 2실(B+C) 운전 시 능력, COP, P-h 선도

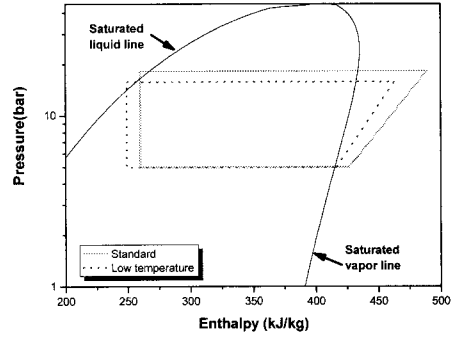
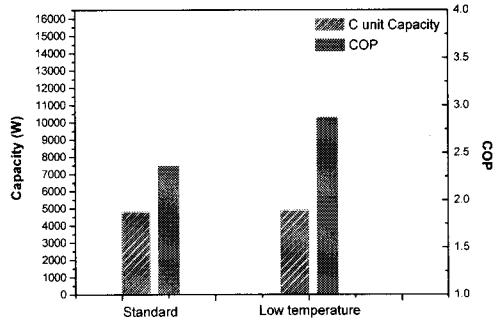
저온조건에서 표준조건에 비해 실외온도가 낮아짐에 따라 고압측의 압력이 낮아져 압축일이 작아지고 이에 응축기 후단의 과냉도가 증가하게 되어 증발기 입출구의 엔탈피 차가 커지기 때문이다. 따라서 냉방능력의 증가와 압축일의 감소로 COP가 증가하게 된다.

3.1 실내기 1대 운전 시 성능

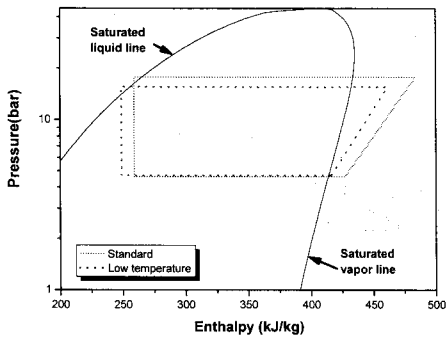
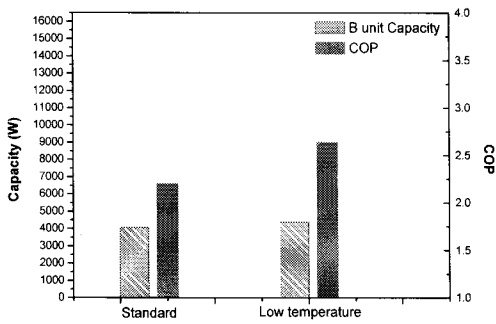
그림 7, 8, 9는 실내기 1실 운전한 경우의 능력과 COP, P-h선도이다. 그림 7은 A를 운전한 것으로, 표준조건 운전에서 시스템 능력은 9,100W, COP는 2.32이다. 저온조건 운전에서 시스템 능력은 9,900W, COP는 3.16이다. 그림 8은 B를 운전한 것으로, 표준조건 운전에서 시스템 능력은 4,100W, COP는 2.20이다. 저온조건 운전에서 시스템 능력은 4,400W, COP는 2.64이다. 그림 9는 C를 운전한 것으로, 표준조건 운전에서 시스템 능력은 4,800W, COP는 2.36이다. 저온조건 운전에서 시스템 능력은 4,900W, COP는 2.87이다.



[그림 7] 1실(A) 운전 시 능력, COP, P-h 선도



[그림 9] 1실(C) 운전 시 능력, COP, P-h 선도



[그림 8] 1실(B) 운전 시 능력, COP, P-h 선도

표준조건에 비해 저온조건에의 경우에, 실내기 A, B, C 운전 시 능력은 각각 약 10%, 8%, 2% 그리고 COP는 각각 36%, 20%, 22% 더 크게 나타났다. 표준운전에서 저온운전으로 사이클이 변경됨에 따라(그림 7, 8, 9의 P-h선도), 냉방능력은 응축기 후단의 과냉도 증가와 증발기 입출구의 엔탈피 변화에 의해 A의 경우에 9.2(kJ/kg), B의 경우에 0.5(kJ/kg), C의 경우에 0.6(kJ/kg) 증가하였다. 그리고 압축일은 A의 경우에 24.3(kJ/kg), B의 경우에 11.7(kJ/kg), C의 경우에 15.7(kJ/kg) 줄어들었다. 즉, 열펌프의 냉방능력의 증가와 압축일의 감소로 COP가 증가함을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 인버터 압축기를 적용한 3실형 열펌프 시스템의 실내기 조합(3실, 2실, 1실)에 따른 시스템의 성능특성을 조사하고자 냉방표준 및 냉방저온 온도에서 열펌프의 냉방능력, COP, P-h선도를 획득하여 열펌프의 운전특성과 냉방사이클의 거동을 측정하고 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 실내기 조합에 따른 3실, 2실, 1실운전 시 열펌프의 운전부하가 달라지므로 시스템의 능력과 사이클의

거동이 다르게 나타났다.

- 2) 실내기 3대를 동시에 운전할 때와 2대 및 1대를 운전할 때, 실외온도가 감소하게 되면 응축기 후단의 과냉도가 증가하므로, 표준조건에 비해 저온조건에 경우에 능력은 증가하고, 고압측의 압력이 낮아져 압축일은 감소하여 시스템의 COP이 증가하였다.
- 3) 향후 인버터 압축기 주파수와 EEV 개도의 기동특성을 조사하기 위해 3실형 열펌프의 초기기동과 정상상태 운전 거동에 대한 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] V. Bahel and S. M. Zubair (1989), "An assessment of inverter driven variable speed air conditioners: sample performance comparison with a conventional systems," ASHRAE Trans., Vol. 95, pp. 455-464.
- [2] C. K. Rice and S. K. Fisher (1985), "Comparative analysis of single and continuously variable-capacity heat pump concepts", Proc. of the DOE/ORNL Heat Pump Conference, pp. 57-65.
- [3] D. Y. Han, H. J. Kwon and S. C. Ha (1999), "Design and performance prediction of the multi-type heat pump system," Proceeding of the SAREK, pp. 515-520.
- [4] H. H. Cho, Y. C. Kim and H. H. Park (1999), "Performance characteristics of an inverter-driven scroll compressor," Proceeding of the air-conditioning and Refrigeration Engineering, pp.1139-1143.
- [5] G. H. Jung, H. D. Choi, M. H. Kim and S. K. Oh (2002), "An optimal control using a compressor discharge temperature on multi-type inverter heat pump," Proceeding of the SAREK, pp. 1241-1246.
- [6] 한국표준협회 (1999), KS C 9306 : KS 에어컨디셔너.
- [7] ASHRAE (1986), "Method of Testing for Rating Room Air Conditioner and Packaged Terminal Air Conditioner Heating Capacity," ANSI/ASHRAE Standard 58-1986.

권영철(Young-Chul Kwon)

[정회원]



- 1989년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 1991년 9월 : 포항공과대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 포항공과대학교 기계공학과(공학박사)
- 1996년~99년 : 한전전력연구원

• 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학부 부교수

<관심분야>

냉동공조, 열전달, 신재생에너지

전종균(Keun-Chun Chong)

[종신회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1985년 12월 : University of California, Los Angeles (공학석사)
- 1991년 6월 : University of California, Los Angeles (공학박사)

• 1992년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

응용역학, 진동제어

박윤창(Youn-Chang Park)

[정회원]



- 1983년 2월 : 부산대학교 기계공학과 (공학사)
- 1988년 2월 : 한국과학기술원 생산공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 한국과학기술원 정밀공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학부 부교수

<관심분야>

정밀측정, 동작기계, 냉동공조제어

고 국 원(Kuk-Won Ko)

[정회원]



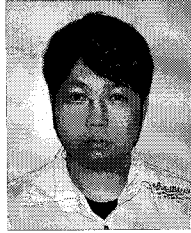
- 1992년 2월 : 서울대학교 농업기계학과 (공학사)
- 1994년 2월 : 한국과학기술원 정밀공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 한국과학기술원 기계공학과(공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학부 조교수

<관심분야>

냉동공조제어, 인공지능

서 동 남(Dong-Nam Seo)

[준회원]



- 2007년 2월 : 선문대학교 기계공학과 (공학학사)
- 2007년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 (석사 과정)

<관심분야>

열펌프, 폐열회수환기장치