

## 3실 열펌프의 운전조합에 대한 난방성능 실험연구

김주형<sup>1</sup>, 김기영<sup>2</sup>, 권영철<sup>2\*</sup>, 박승철<sup>1</sup>

<sup>1</sup>한국산업기술대학교 기계공학과, <sup>2</sup>선문대학교 기계공학과

### Experimental Study on Heating Performance by Operation Combination of Heat Pump with 3 Indoor-Units

Ju-Hyung Kim<sup>1</sup>, Ki-Young Kim<sup>2</sup>, Young-Chul Kwon<sup>2\*</sup> and Seung-Chul Park<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Korea Polytechnic University

<sup>2</sup>Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University

**요약** 본 실험연구는 인버터 압축기를 적용한 실내기 3실을 가진 멀티형 열펌프 시스템의 난방운전 시 열펌프의 난방성능을 연구하였다. 멀티형 열펌프의 운전특성은 항온항습 기능을 가진 공기엔탈피방식의 멀티형 칼로리미터를 이용하여 측정되었다. 난방표준 및 난방저온 온도조건에서 실내기 운전조합에 따른 실험을 수행하여 난방성능 변화를 관찰하였다. 실내기 3실을 가진 열펌프의 실내기 운전조합에 따른 난방표준 및 난방저온 운전에서 난방능력, 난방 COP, P-h선도로부터, 3실을 가진 열펌프의 운전특성과 냉매 사이클의 거동을 조사하였다. 열펌프의 운전부하와 성능은 실내기 조합에 의한 부분부하에 의존하므로 열펌프의 난방능력과 사이클의 거동은 다르게 관찰되었다. 표준온도 시험조건 대비 저온 시험조건 난방능력과 난방 COP는 감소하였다. 또한 실내기 조합에 대한 냉매사이클은 P-h 선도를 사용하여 분석되었다.

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

**Key Words** : COP, Capacity, Heating, Heat pump, Indoor-unit, P-h diagram

### 1. 서론

생활수준의 향상으로 주거환경에 대한 관심이 크게 고조되면서 열펌프와 같은 공조기는 주거공간의 필수품으로 인식되고 있다. 공조기의 급속한 수요증가로 정부에서는 에너지 소비효율 등급제를 시행하는 등 공조기의 에너지 소비효율에 대한 규제를 강화하고 있다. 에너지

절약정책이 강화됨에 따라 공조기의 성능 및 에너지 효율 향상이 최대 관심사가 되고 있으며, 또한 공조기의 용량을 조절할 수 있는 개별공조 시스템이 부각되고 있다. 개별공조 시스템은 실내의 부하에 따라 에너지의 효율적 이용이 가능하다. 부하변동에 따라 압축기의 용량을 가변할 수 있는 인버터 압축기를 사용하면 사이클을 최적화할 수 있으며, 각 실마다 개별 냉난방 제어가 가능하

\*Corresponding Author : Young-Chul Kwon(Sunmoon Univ.)

Tel: +82-10-8523-0923 email: yckweon1@sunmoon.ac.kr

Received August 12, 2013

Revised September 5, 2013

Accepted September 6, 2013

므로 에너지 효율측면에서 유리하다[1].

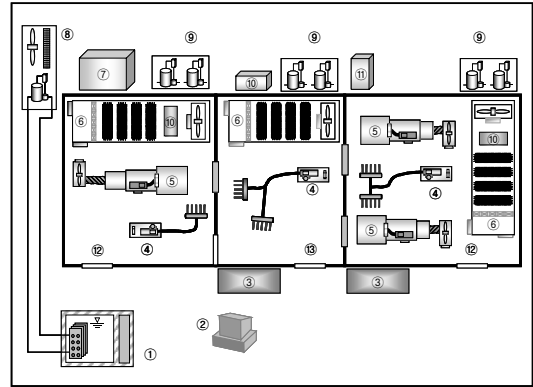
Bahel와 Zubair[2]는 정속 열펌프와 인버터 시스템을 비교하였다. 실험결과 인버터 열펌프 시스템은 전체 운전 시간의 22%가 저속에서 운전되어 단순운전 손실을 11% 정도 감소시킬 수 있으며, 정속 열펌프 시스템과 비교하여 24%의 에너지 절감효과가 있다고 하였다. Rice와 Fisher 등[3]은 정속 압축기를 사용하는 것보다 가변속 압축기를 사용할 경우 전체적인 에너지 절감효과가 약 26.7%에 이른다고 보고하였다. Han 등[4]은 시뮬레이션을 통한 멀티형 열펌프 시스템에 대한 냉난방 성능예측에 관한 연구를 수행하였고, Cho 등[5]은 인버터 스크롤 압축기의 해석적 모델을 개발하고 주파수 변화에 따른 성능해석을 연구하였다. Jung 등[6]은 멀티형 인버터 열펌프의 압축기 토출온도를 이용한 제어알고리즘에 대한 연구를 수행하였다. Kwon 등[1]은 인버터 압축기를 적용한 멀티 열펌프에 대한 냉방운전 시 시스템의 성능특성을 조사하였다. 현재 개별공조의 욕구와 설치면적의 문제를 해결하기 위해 국내에서도 중소형 건물, 학교, 관공서 등에서 개별공조 시스템을 선호하고 있어 멀티형 공조기가 기존 공조기 시장을 대체하는 공조 시스템으로 주목 받고 있다.

따라서 본 실험에서는 인버터 압축기를 적용한 실내기 3실을 가진 열펌프 시스템을 구성하여 겨울철 난방운전 시의 실외온도 변경에 따른 열펌프의 전체 또는 개별난방 시 열펌프의 운전상태를 확인하고자 하였다. 이를 위해 실험조건은 난방표준과 난방저온의 두 가지 시험조건에서 실내기 운전 대수(3실, 2실, 1실)에 따른 난방성능 변화를 조사하였다. 또한 P-h 선도를 통해 냉매 사이클 운전특성을 분석하면서 열펌프의 난방성능 변화를 이해하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

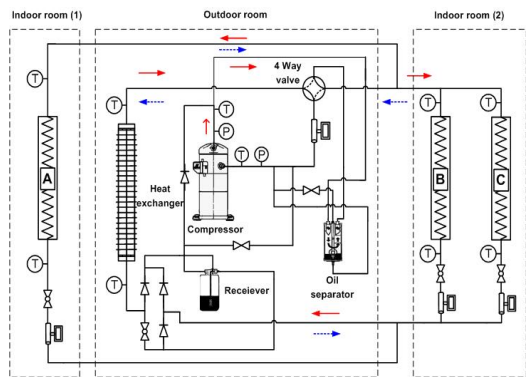
Fig. 1은 본 연구에 사용된 공기엔탈피식 멀티형 칼로리미터의 개략도로 실내 챔버 2실과 실외 챔버 1실로 구성되어 있다. Fig. 2는 본 연구를 위해 구성한 3실 열펌프 냉매 사이클의 개략도로, 온도, 압력 및 유량계의 위치를 보여준다. 열펌프의 실내기 A, B, C는 칼로리미터의 실내 향온향습 챔버에 그리고 실외기는 실외 향온향습 챔버에 설치되었다. 본 연구에서 사용된 인버터형 열펌프 시스템은 개별 용량이 각각 다른 3개의 실내기와 1개의 실외기를 가지고 있다. 열펌프의 사양은 Table 1에 나타나 있으며, 정격전압(3상, 220V)과 정격주파수에서 성능 실험을 수행하였다. 열펌프의 실내유닛은 열교환기(슬릿

핀 2단 12열), 송풍기, 모터, 모세관 등으로, 실외유닛은 압축기, 열교환기(2단 48열), 어큐물레이트, 4방밸브, EEV, 송풍기, 모터 등으로 구성되어 있다[1].



- ① Water bath      ② DAQ system      ③ Control panel
- ④ Sampling unit    ⑤ Code tester      ⑥ Air conditioner
- ⑦ Power supply    ⑧ Cooling tower    ⑨ Refrigerator
- ⑩ Humidifier      ⑪ Frequency unit   ⑫ Indoor room
- ⑬ Outdoor room

[Fig. 1] Psychrometric calorimeter with 3 rooms



[Fig. 2] Schematic of heat pump with 3 indoor-units

[Table 1] Specification of multi-heap pump

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

본 연구에서는 KS C 9306[7]을 근거한 난방표준 및 난방저온 온도(Table 2) 조건에서 실험하였다. 난방저온

의 경우 외기 온도는 -8.5℃로 설정되었다. Table 1에 나타난 것처럼, 실내기 3실 A+B+C는 100%의 용량을, 2실 A+C, A+B, B+C는 각각 80%, 70%, 50%의 부분 용량을, 1실 A, B, C는 각각 50%, 20%, 30%의 부분 용량을 나타낸다. 실내기 3실, 2실, 1실 운전에 따라 변화되는 능력을 측정하기 위해 칼로리미터의 온습도가 안정 조건범위 (DB±0.2℃, WB±0.2℃)에 도달한 후, 정상상태에서 5분씩 3번의 데이터를 획득하여 산술평균하였다. 열펌프의 소비전력은 전체 시스템의 소비전력을 기준으로 하였으며 이를 기준으로 인버터형 열펌프의 난방능력, 난방 COP, P-h 선도를 비교하였다. 열펌프의 열량계산은 ANSI/ASHRAE Standard 58-1986 (RA 99)[8]에서 규정된 시험방법을 따랐다.

[Table 2] Experimental condition of multi-heat pump (KS C 9306)

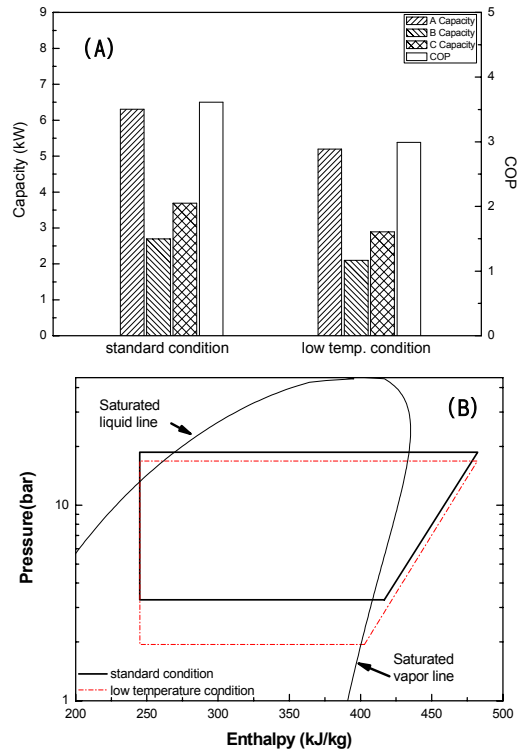
Condition	Setting temp. (°C)			
	Indoor		Outdoor	
	DB	WB	DB	WB
Standard temperature	20±0.5	15±0.3	7±0.5	6±0.3
Low temperature	20±0.5	15±0.3	-8.5±0.5	-

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실내기 3대 동시운전 시 성능

Fig. 3은 실내기 3대 A, B, C를 동시운전 시, 열펌프의 난방능력, 난방 COP, P-h선도를 보여준다. 표준온도 시험조건에서 A+B+C의 난방성능은 12,700W, 난방 COP는 3.61 그리고 저온 시험조건에서 전체 난방성능은 10,200W, 난방 COP는 2.99이었다. 각 실내기별 성능비는 표준온도 시험조건과 저온 시험조건 모두 A+B+C 성능 대비 A가 약 50%, B가 약 21%, C가 약 29% 이었다. 표준온도 시험조건을 기준으로 전체 난방능력과 난방 COP를 비교하면 저온 시험조건에서 능력은 20%, COP는 17% 감소하였다.

표준온도와 저온 시험조건에서의 시스템의 성능변화는 P-h선도의 냉매 사이클 거동을 살펴봄으로써 이해할 수 있다. 실외 운전온도가 7℃에서 -8.5℃로 낮아짐에 따라 고압측은 1.87(bar)가 저압측의 1.34(bar)가 낮아졌다. 그리고 고압측 열교환기의 입출구 엔탈피는 표준조건이나 저온조건에서 비슷한 값을 가지나 압축일이 13.6 (kJ/kg) 증가하여 난방 COP가 감소한다는 것을 알 수 있다.

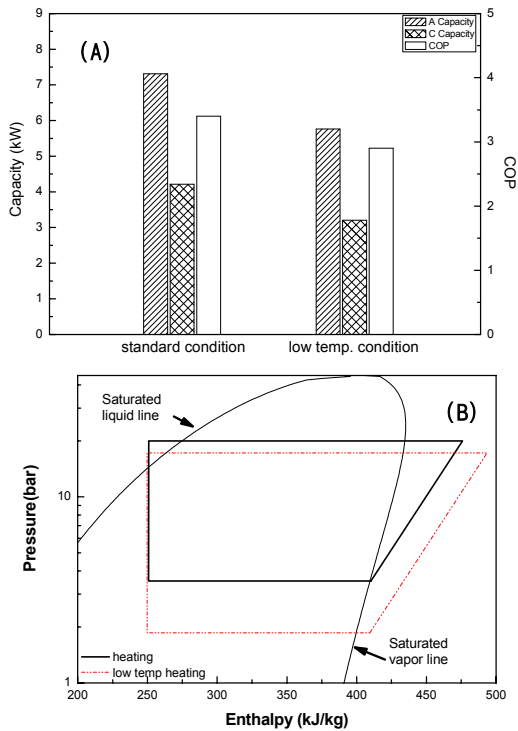


[Fig. 3] Capacity, COP (A) and P-h diagram (B) of heat pump at A+B+C unit operation

#### 3.2 실내기 2대 운전 시 성능

Fig. 4, 5, 6은 실내기 2실 운전 시, 열펌프의 난방능력과 난방 COP, P-h선도이다. 실내기의 조합 A+C, A+B, B+C에 따라 난방능력, 난방 COP, 냉매 사이클의 거동이 다르게 나타났다. Fig. 4는 실내기 A+C를 조합 운전한 것으로 표준온도 시험조건에서 A+C의 난방성능은 11,520W, 난방 COP는 3.43을 저온 시험조건에서 전체 난방성능은 8,970W, 난방 COP는 2.9이었다. 각 실내기별 성능비는 표준온도 시험조건과 저온 시험조건 모두 A+C 성능 대비 A가 약 63%, C가 약 37%이었다. 표준온도 시험조건을 기준으로 난방능력과 난방 COP를 비교하면 저온 시험조건에서 난방능력은 22%, 난방 COP는 15% 감소하였다.

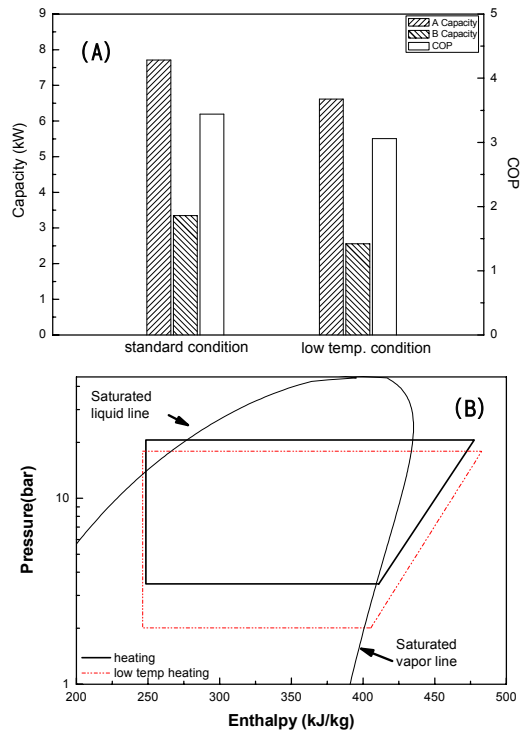
Fig. 5는 실내기 A+B를 조합 운전한 것으로 표준온도 시험조건에서 A+B 난방성능은 11,060W, 난방 COP는 3.44 그리고 저온 시험조건에서 전체 난방성능은 8,720W, 난방 COP는 3.06이었다. 각 실내기별 성능비는 표준온도 시험조건과 저온 시험조건 모두 A+B 성능 대비 A가 약 70%, B가 약 30%이었다. 표준온도 시험조건을 기준으로 난방능력과 난방 COP를 비교하면 저온 시험조건에서 난방능력은 21%, 난방 COP는 11% 감소하였다.



[Fig. 4] Capacity, COP (A) and P-h diagram (B) of heat pump at A+C unit operation

Fig. 6은 실내기 B+C를 조합 운전한 것으로 표준온도 시험조건에서 B+C 난방성능은 7,900W, COP는 3.52, 저온 시험조건에서 난방성능은 6,600W, 난방 COP는 2.88이었다. 각 실내기별 성능비는 표준온도 시험조건과 저온 시험조건 모두 B+C 성능 대비 B가 약 43%, C가 약 57%이었다. 표준온도 시험조건을 기준으로 난방능력과 난방 COP를 비교하면 저온 시험조건에서 난방능력은 16%, 난방 COP는 18% 감소하였다.

표준운전에서 저온운전으로 사이클이 변경됨에 따라 P-h선도를 통해 2실 운전 시스템의 압력, 엔탈피 변화량을 살펴보았다. Fig. 4의 P-h선도에서 저압축 압력은 3.53(bar)에서 1.86(bar)로 고압축 압력은 20.0(bar)에서 17.25(bar)로 낮아졌다. 그리고 고압축 열교환기의 입출구의 엔탈피 차는 225.2(kJ/kg)에서 243.8(kJ/kg)로 증가하였고 압축일은 65.7(kJ/kg)에서 84.0(kJ/kg)로 증가하였다. Fig. 5의 P-h선도에서 저압축 압력은 3.46(bar)에서 2.01(bar)로 고압축 압력은 20.58(bar)에서 17.90(bar)로 낮아졌다. 그리고 고압축 열교환기의 입출구의 엔탈피 차는 229.0(kJ/kg)에서 236.6(kJ/kg)로 증가하였고 압축일은 66.5(kJ/kg)에서 77.4(kJ/kg)로 증가하였다. Fig. 6의 P-h선도에서 저압축 압력은 3.76(bar)에서 2.21(bar)로 고압축

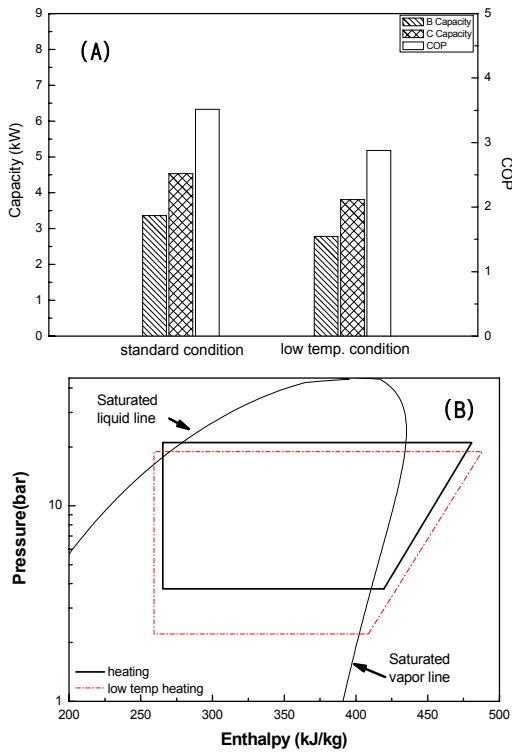


[Fig. 5] Capacity, COP (A) and P-h diagram (B) of heat pump at A+B unit operation

압력은 21.03(bar)에서 18.92(bar)로 낮아졌다. 그리고 고압축 열교환기의 입출구의 엔탈피 차는 215.4(kJ/kg)에서 228.6(kJ/kg)로 증가하였고 압축일은 61.3(kJ/kg)에서 79.3(kJ/kg)로 증가하였다. Fig. 4, 5, 6의 P-h선도를 통해 2실 운전의 냉매 사이클 운전특성을 분석한 결과, 표준운전에서 저온운전으로 변경되면 고압축과 저압축의 압력이 낮아져 압축일은 커지고 고압축 열교환기의 입출구 엔탈피 차도 증가하게 된다. 그러나 고압축 열교환기의 엔탈피 증가량보다는 압축기의 압축일의 증가량이 더 많아 난방 COP가 감소한다는 것을 알 수 있다.

### 3.1 실내기 1대 운전 시 성능

Fig. 7, 8, 9는 실내기 1실 운전 시, 열펌프의 난방능력과 난방 COP, P-h선도이다. 실내기 A, B, C 운전에 따라 난방능력, 난방 COP, 냉매 사이클의 거동이 다르게 나타났다. Fig. 7은 실내기 A를 운전한 것으로 표준온도 시험조건에서 난방성능은 8,206W, 난방 COP는 3.49을 저온 시험조건에서 난방성능은 6,483W, 난방 COP는 2.8이었다. 표준온도 시험조건을 기준으로 난방능력과 난방 COP를 비교하면 저온 시험조건에서 난방능력은 21%, 난방 COP는 20% 감소하였다.

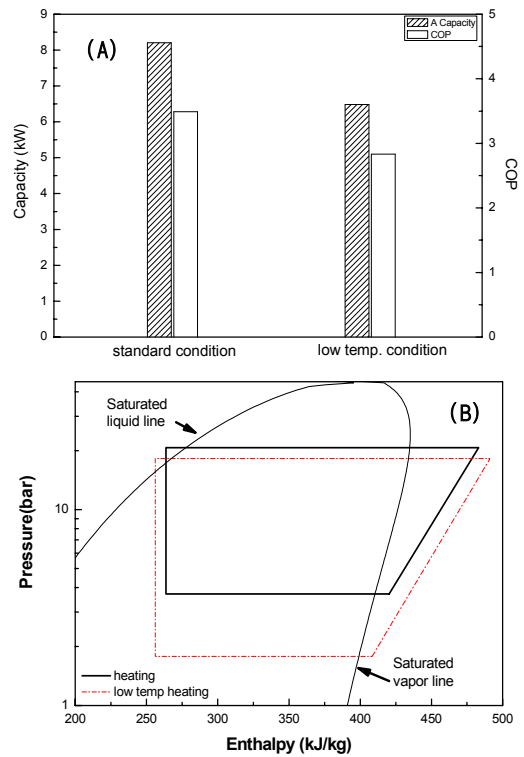


[Fig. 6] Capacity, COP (A) and P-h diagram (B) of heat pump at B+C unit operation

Fig. 8은 실내기 B를 운전한 것으로 표준온도 시험조건에서 난방성능은 3,460W, 난방 COP는 3.46을 저온 시험조건에서 난방성능은 3,198W, 난방 COP는 3.15이었다. 표준온도 시험조건을 기준으로 난방능력과 난방 COP를 비교하면 저온 시험조건에서 난방능력은 7.6%, 난방 COP는 9% 감소하였다.

Fig. 9는 실내기 C를 운전한 것으로 표준온도 시험조건에서 난방성능은 4,714W, 난방 COP는 3.51을 저온 시험조건에서 난방성능은 4,050W, 난방 COP는 3.01이었다. 표준온도 시험조건을 기준으로 난방능력과 난방 COP를 비교하면 저온 시험조건에서 난방능력은 14%, 난방 COP는 14% 감소하였다.

표준운전에서 저온운전으로 사이클이 변경됨에 따라 P-h선도를 통해 1실 운전 시스템의 압력, 엔탈피 변화량을 살펴보았다. Fig. 7의 P-h선도에서 저압측 압력은 3.71(bar)에서 1.78(bar)로 고압측 압력은 20.73(bar)에서 18.23(bar)로 낮아졌다. 그리고 고압측 열교환기의 입출구의 엔탈피 차는 219.4(kJ/kg)에서 235.0(kJ/kg)로 증가하였고 압축일은 62.9(kJ/kg)에서 82.9(kJ/kg)로 증가하였다. Fig. 8의 P-h선도에서 저압측 압력은 3.96(bar)에서

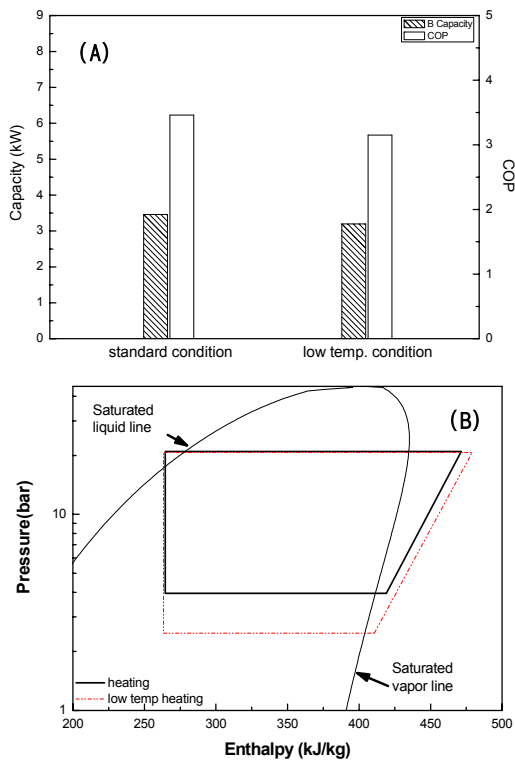


[Fig. 7] Capacity, COP (A) and P-h diagram (B) of heat pump at A unit operation

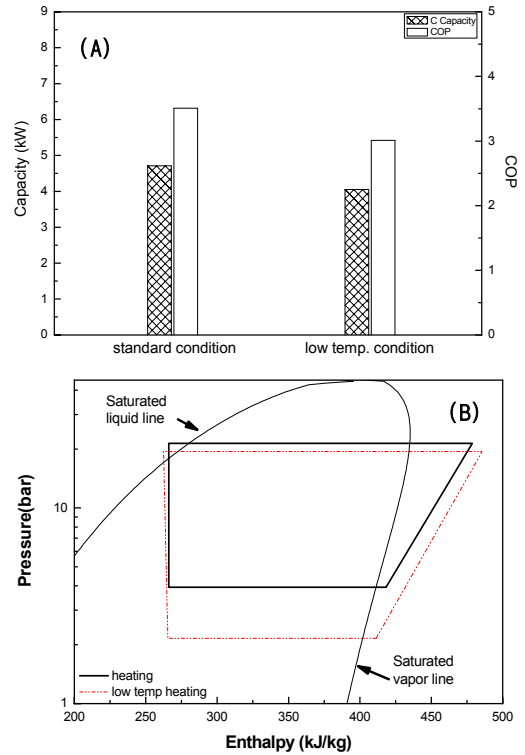
2.48(bar)로 고압측 압력은 20.94(bar)에서 20.73(bar)로 낮아졌다. 그리고 고압측 열교환기의 입출구의 엔탈피 차는 207.0(kJ/kg)에서 215.8(kJ/kg)로 증가하였고 압축일은 52.5(kJ/kg)에서 68.5(kJ/kg)로 증가하였다. Fig. 9의 P-h선도에서 저압측 압력은 3.93(bar)에서 2.16(bar)로 고압측 압력은 21.39(bar)에서 19.42(bar)로 낮아졌다. 그리고 고압측 열교환기의 입출구의 엔탈피 차는 212.6(kJ/kg)에서 223.0(kJ/kg)로 증가하였고 압축일은 60.5(kJ/kg)에서 74.1(kJ/kg)로 증가하였다. Fig. 7, 8, 9의 P-h선도를 통해 1실 운전의 냉매 사이클 운전특성을 분석한 결과, 2실 운전과 유사한 경향으로 운전됨을 확인하였다. 표준운전에서 저온운전으로 변경되면 고압측 열교환기의 입출구 엔탈피 차의 증가량보다는 압축일의 증가량이 더 많아 난방 COP가 감소한다는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결론

본 실험연구에서는 인버터 압축기를 적용한 실내기 3실을 가진 열펌프 시스템의 실내기 조합(3실, 2실, 1실)에



[Fig. 8] Capacity, COP (A) and P-h diagram (B) of heat pump at B unit operation



[Fig. 9] Capacity, COP (A) and P-h diagram (B) of heat pump at C unit operation

따른 난방성능 특성을 조사하고자 난방표준 및 난방저온의 두 온도조건에서 열펌프의 난방능력, 난방 COP, P-h 선도를 획득하여 열펌프의 운전특성과 냉매 사이클의 거동을 연구하여 다음의 결과를 얻었다.

- 1) 열펌프 실내기 3대를 동시운전하는 100% 전 부하 운전에서 표준온도 시험조건 대비 저온 시험조건에서의 난방능력과 난방 COP를 비교한 결과 각각 20%와 17% 감소하였다.
- 2) 실내기 2실을 운전하는 부분부하 80% (A+C), 70% (A+B), 50% (B+C) 운전에서 표준온도 시험조건 대비 저온 시험조건에서의 난방능력과 난방 COP를 비교한 결과 각각 22%, 21%, 16% 그리고 15%, 11%, 18% 감소하였다.
- 3) 실내기 1실을 운전하는 부분부하 50% (A), 20% (B), 30% (C) 운전에서 표준온도 시험조건 대비 저온 시험조건에서의 난방능력과 난방 COP를 비교한 결과 각각 21%, 8%, 14% 그리고 20%, 9%, 14% 감소하였다.

- 4) P-h 선도를 통해 실외 운전온도가 7°C에서 -8.5°C로 낮아질 때 3가지 운전조합의 냉매 사이클 운전특성을 분석한 결과, 표준운전에서 저온운전으로 변경되면 고압측 열교환기의 입출구 엔탈피 차의 증가량보다는 압축일의 증가량이 더 높아 난방 COP는 감소하였다.

## References

- [1] Y. C. Kwon, C. K. Chun, Y. C. Park, K. W. Ko and D. N. Seo, "Experimental Study on Cooling Performance of Multi-Heat Pump by Indoor-Unit Combination," Vol. 9, No. 6, pp. 1487-1493, 2008  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2008.9.6.1487>
- [2] V. Bahel and S. M. Zubair, "An assessment of inverter driven variable speed air conditioners: sample performance comparison with a conventional systems," ASHRAE Trans., Vol. 95, pp. 455-464, 1989
- [3] C. K. Rice and S. K. Fisher, "Comparative analysis of

single and continuously variable-capacity heat pump concepts", Proc. of the DOE/ORNL Heat Pump Conference, pp. 57-65, 1985

- [4] D. Y. Han, H. J. Kwon and S. C. Ha, "Design and performance prediction of the multi-type heat pump system," Proceeding of the SAREK, pp. 515-520, 1999
- [5] H. H. Cho, Y. C. Kim and H. H. Park, "Performance characteristics of an inverter-driven scroll compressor," Proceeding of the air-conditioning and Refrigeration Engineering, pp.1139-1143, 1999
- [6] G. H. Jung, H. D. Choi, M. H. Kim and S. K. Oh, "An optimal control using a compressor discharge temperature on multi-type inverter heat pump," Proceeding of the SAREK, pp. 1241-1246, 2002
- [7] Korean Standards Service Network, KS C 9306 : KS Air Conditioner, 1999
- [8] ASHRAE, "Method of Testing for Rating Room Air Conditioner and Packaged Terminal Air Conditioner Heating Capacity," ANSI/ASHRAE Standard 58-1986, 1986.

**김 주 형(Ju-Hyung Kim)**

[정회원]



- 2001년 8월 : 학점은행제 건축설비공학과 (공학사)
- 2006년 3월 : 한국산업기술대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2009년 3월 : 한국산업기술대학교 대학원 기계시스템공학 (공학박사수료)

- 2000년 10월 ~ 2003년 10월 : (주)무에엔지니어링 차장
- 2003년 10월 ~ 현재 : (재)경기테크노파크 책임연구원

<관심분야>

건축설비, 소방설비, 냉동공학

**김 기 영(Ki-Young Kim)**

[준회원]



- 2012년 2월 : 선문대학교 기계공학과 (공학사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 (대학원)

<관심분야>

냉동공조, 열교환기, 전산해석

**권 영 철(Young-Chul Kwon)**

[정회원]



- 1989년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 1991년 8월 : 포스텍 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 포스텍 기계공학과 (공학박사)
- 1996년 9월 ~ 1999년 2월 : 한국전력 전력연구원

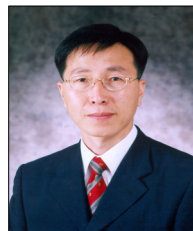
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

냉동공조, 열유체, 전산해석

**박 승 철(Seung-Chul Park)**

[정회원]



- 1984년 2월 : 경희대학교 기계공학과 (공학사)
- 1986년 8월 : 경희대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 경희대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 1987년 10월 ~ 1990년 8월 : LS전선(주) 연구소

- 1990년 9월 ~ 1997년 8월 : 한국생산기술연구원
- 1997년 9월 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

냉동공조, 열유체