

## 항온챔버에서 히트펌프 실외기의 성능을 평가하는 실제 운전

김종열

동명대학교 냉동공조공학과

### Actual operation characteristics to evaluate the performance of heat pump outdoor unit in the constant temperature chamber

Jong-Ryeol Kim

Dept. of Refrigeration & Air-conditioning Eng., Tongmyong University

**요약** 에너지를 절약하기 위해 고효율 히트펌프를 개발하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 실외기 코일에 발생하는 서리가 발생하는 현상을 줄이거나 없애기 위한 연구도 동시에 이루어지고 있다. 계절과 관계없이 히트펌프의 실외기에 서리가 발생하지 않는 연구를 진행할 수 있도록 자연 상태와 동일한 조건에서 실험할 수 있는 항온챔버를 구축하였다. 항온챔버 내에 설치된 히트펌프의 실외기에 자연 상태와 같은 환경을 제공하여 실험하였으며, 그 결과 외기온도가 낮을수록 히트펌프의 효율은 낮으며, 히트펌프 시스템의 운전이 안정화 상태에 도달하는 시간은 외기온도가 낮을수록 길어지는 것을 확인하였다.

• 주제어 : COP, 착상, 제상, 히트펌프, 항온챔버

**Abstract** A lot of research is being done to develop a high-efficiency heat pump to save energy, and research to reduce or eliminate the phenomenon of frost occurring in the outdoor unit coil is also being conducted at the same time. In order to conduct a study that does not cause frost on the outdoor unit of the heat pump regardless of the season, a constant temperature chamber like a general room that can be tested under the same conditions as in the natural state was built. The experiment was conducted by providing an environment similar to the natural state to the outdoor unit of the heat pump installed in the constant temperature chamber. As a result, the lower the outdoor temperature, the lower the efficiency of the heat pump. It was confirmed that the lower the value, the longer it is.

• Key Words : COP, Frosting, Defrosting, Heat pump, Constant temperature chamber

Received 13 September 2022, Revised 23 September 2022, Accepted 26 September 2022

\* Corresponding Author Jongr-Ryeol Kim, Dept. of Refrigeration & Air-conditioning Engineering, Tongmyong University, 428, Sinseon-ro, Nam-gu, Busan, Korea. E-mail: k jy804@tu.ac.kr

## I. 서론

최근 지구온난화에 대한 기후변화, 화석연료를 대체할 수 있는 신재생에너지에 대한 연구, 쾌적한 환경에 대한 요구를 만족시키기 위한 에너지 소비 등 에너지와 환경에 대한 관심이 높아지고 있다.

에너지를 절약할 수 있는 고효율 히트펌프의 성능향상에 관한 연구는 하나의 시스템으로 여름철 냉방이 가능하고, 겨울에는 난방이 가능할 뿐만 아니라 일반 전열기기와 비교해 효율이 매우 높고 이산화탄소를 직접적으로 발생하지 않기 때문이다.

공기를 열원으로 하는 공랭식 히트펌프의 경우, 외기온도가 낮은 실외 환경에서 히트펌프를 사용하면 실외기 표면에 서리가 형성된다. 서리가 발생하면 실외기의 증발 능력이 감소하여 히트펌프의 난방 능력이 감소하므로 제상 운전을 통해 주기적으로 성에를 제거해야 한다. 가장 일반적인 방법은 압축기를 통과한 고온 냉매를 실외기에 공급하여 성에를 제거하는 고온 가스 제상 방식이다. 그러나 고온 가스 제상 방식은 제상 기간동안 난방이 불가능해지며, 특히 히트펌프 냉온수기의 경우에는 냉수가 생산되기 때문에 가급적 제상 사이클 운전 횟수를 줄이기 위해 실외기 핀의 형상 개선, 부동액 적용, 내장형 열교환기 개발 등 다양한 서리 형성 지연법이 연구되고 있다. 또한 실외기 코일을 3열로 제작하고, 제상이 필요한 경우 3열 중 1열을 콘덴서로 변환하여 주기적으로 제상하는 교대제상법에 대한 연구 결과도 발표되고 있다.

본 논문에서는 히트펌프 실외기에 수증기가 없는 건조공기를 공급하여 서리 형성을 방지하는 것이다. 실외기의 유입 공기를 건조한 공기로 처리하여 추운 지역의 실외기 표면에 성에가 발생하지 않도록 하기 위해서는 성에가 발생했을 때 온습도 등의 공기 조건을 구현하는 것이 중요하다. 따라서 계절과 관계없이 이러한 실험을 수행할 수 있도록 온도를 영하 20°C 정도로 낮출 수 있는 항온장치를 구축했다. 또한 다양한 테스트 조건에서 히트펌프의 열용량을 테스트하기 위해 별도의 공간도 구축했다.

앞서 발표한 논문은 덕트형 항온챔버의 실험 장치가 자연 상태와 동일한 조건을 만족할 수 있는지 확인하기 위해 시뮬레이션을 수행한 결과이었으며, 만족스러운 결과를 얻지 못했다. 따라서 덕트형 항온챔버가 아닌 일반실과 같은 육면체의 항온실을 구성하여, 실

외기를 항온실 내에 위치하도록 하여 4계절 관계없이 히트펌프의 실험을 할 수 있도록 실험장치를 보완하였으며, 이의 실험 결과를 보고하고자 한다. 또한 실외기가 위치한 항온챔버 내의 온도변화가 난방에 미치는 영향과 히트펌프의 각 요소에서 발생하는 실제적 물리현상을 보고하고자 한다.

## II. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

실험 장치는 -25°C의 저온 공기를 공급할 수 있는 항온기, 히트펌프의 실외기가 설치되는 단열벽 100mm 두께의 항온챔버(14,000×19,000×17,000mm), 히트펌프의 실내기가 운전되는 가로×세로×높이가 3.8×4.75×2.75m 크기의 시험실 그리고 항온챔버에 유입되는 공기의 습도를 제어하는 제습기로 구성된다. 본 논문에서는 제습기에 의해 습도를 조절하여 항온챔버로 공급하는 공기는 제어하지 않는 것으로 한다.



Fig. 1. Experimental device

본 연구에서는 난방실의 온도를 30°C로 설정하고, 실외기가 위치한 향온챔버 온도는 -25°C에서 0°C까지 5°C 간격으로 6단계로 설정하였다. 향온챔버 내 실외기 표면의 서리가 형성되는지, 히트펌프의 열적 특성은 어떻게 변하는지를 파악하기 위해 실험하였다.

측정항목은 향온챔버 내의 온도, 향온기 증발기의 표면온도, 실험실 외부공기온도, 시험실 온도, 히트펌프의 증발기 입·출구, 압축기 입·출구, 응축기 입·출구, 팽창밸브 입·출구의 온도와 압력, 압축기의 소요동력 그리고 습도 등이다. 온도는 T-type 열전대를 사용하였으며, 압력은 Setra Model 209를 이용하였다. 습도는 VAISKA계의 HMP110을 사용하였고 압축기가 소비한 전력을 측정하기 위해 YOKOGAWA사의 모델 WT310E를 사용하였다.

이들 센서에서 읽어 들인 데이터는 데이터로거 (Model : YOKOGAWA, MX100)를 통해 처리, 컴퓨터에 저장하였다.

### 2.2 실험방법

실험은 Table 1과 같이 시험실은 30°C의 설정온도에 맞추어 장치를 가동하고, 히트펌프의 실외기가 위치하는 향온챔버는 -25°C, -20°C, -15°C, -10°C, -5°C, 0°C의 설정온도 6가지 실험조건으로 실험을 행하였다.

Table 1. Experimental conditions

Case	Heating room Temperature(°C)	Set Temp. of Constant Temp. Chamber(°C)
1	30°C	0.0
2		-5.0
3		-10.0
4		-15.0
5		-20.0
6		-25.0

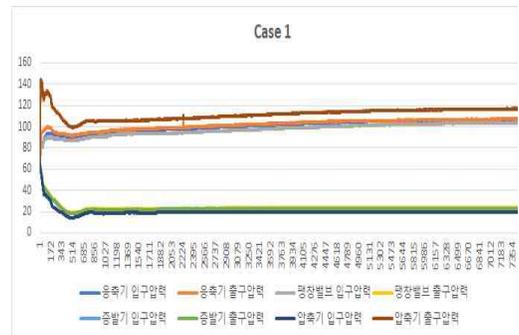
실험 장치 가동에 앞서, 시험실 내에 설치된 별도의 에어컨은 가동을 중지하며, 또한 시험실과 향온챔버가 위치한 실험실 전체의 난방 시스템은 가동을 정지하고 시험실의 창문과 문이 닫혀 있는지 확인한다.

향온챔버내의 히트펌프 실외기의 상태를 확인하기 위해 카메라를 설치하여 영상을 촬영하며, 하나의 실험 조건에 필요한 실험 시간은 최소 2시간으로 하였다.

실험 장치 가동 후 시스템이 안정화되는 시점까지 확인하여, 시스템 안정상태부터 20분, 50분, 80분 데이터를 측정하여 평균값을 계산하고 이 데이터의 평균값을 기준으로 P-h선도에 작도하여 난방효율을 분석하고 자 한다.

### III. 실험 결과 및 토의

Fig. 2는 난방 시험실 설정온도를 30°C로 하고, 향온챔버의 온도는 0°C로 했을 때의 각 측정점의 압력과 안정화 이후 평균값을 P-h선도에 작도한 결과를 나타낸 것이다.



(a) Pressure distribution



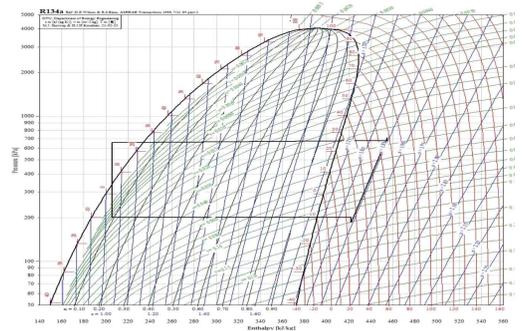
(b) P-h diagram

Fig. 2. Pressure distribution and P-h diagram of each measurement point under Case 1 conditions

Case 1은 장치를 가동하기 시작한 후 14분이 지난 후 시스템이 안정되었으며, 난방효율은 8.3이라는 값을 얻었다.

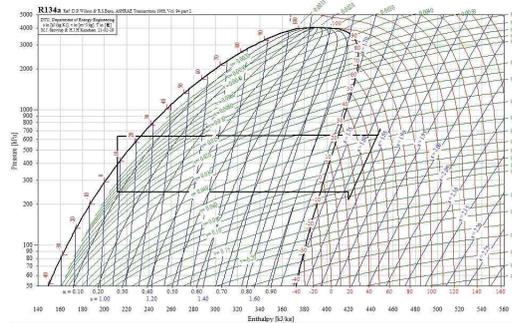


(a) Pressure distribution



(b) P-h diagram

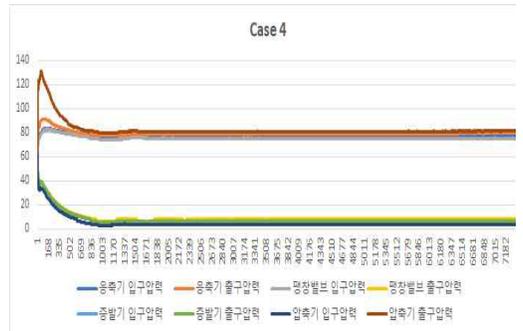
Fig. 4. Pressure distribution and P-h diagram of each measurement point under Case 3 conditions



(b) P-h diagram

Fig. 3. Pressure distribution and P-h diagram of each measurement point under Case 2 conditions

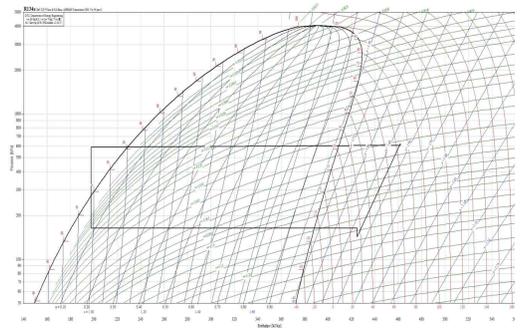
Fig. 3은 난방 시험실 설정온도를 30°C로 하고, 향온 챔버의 온도는 -5°C로 했을 때 각 측정점의 압력과 안정화 이후 평균값을 P-h선도에 작도한 결과를 나타낸 것이다. 이 조건은 장치를 가동하기 시작한 후 23분이 지난 후 시스템이 안정되었으며, 난방효율은 8.26이라는 값을 얻었다.



(a) Pressure distribution



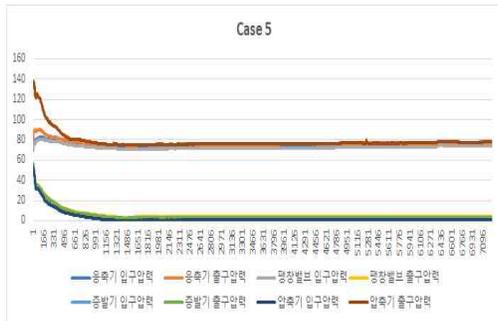
(a) Pressure distribution



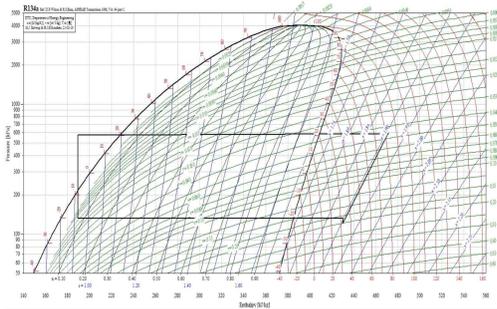
(b) P-h diagram

Fig. 5. Pressure distribution and P-h diagram of each measurement point under Case 4 conditions

Fig. 5는 난방 시험실 설정온도를 30°C로 하고, 항온 챔버의 온도는 -15°C로 했을 때 각 측정점의 압력과 안정화 이후 평균값을 P-h선도에 작도한 결과를 나타 낸 것이다. 이 조건은 장치를 가동하기 시작한 후 14 분이 지난 후 시스템이 안정되었으며, 난방효율은 7.16 이라는 값을 얻었다.



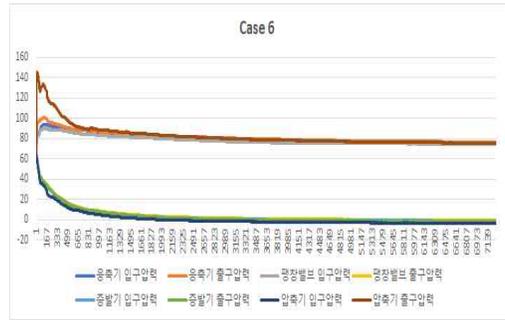
(a) Pressure distribution



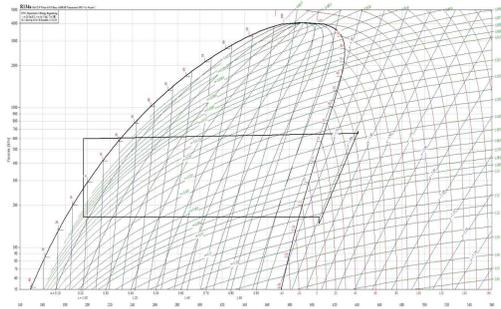
(b) P-h diagram

Fig. 6. Pressure distribution and P-h diagram of each measurement point under Case 5 conditions

Fig. 6은 난방 시험실 설정온도를 30°C로 하고, 항온 챔버의 온도는 -20°C로 했을 때 각 측정점의 압력과 안정화 이후 평균값을 P-h선도에 작도한 결과를 나타 낸 것이다. 이 조건은 장치를 가동하기 시작한 후 19 분이 지난 후 시스템이 안정되었으며, 난방효율은 6.83 이라는 값을 얻었다.



(a) Pressure distribution



(b) P-h diagram

Fig. 7. Pressure distribution and P-h diagram of each measurement point under Case 6 conditions

Fig. 7은 난방 시험실 설정온도를 30°C로 하고, 항온 챔버의 온도는 -25°C로 했을 때 각 측정점의 압력과 안정화 이후 평균값을 P-h선도에 작도한 결과를 나타 낸 것이다. 이 조건은 장치를 가동하기 시작한 후 14 분이 지난 후 시스템이 안정되었으며, 난방효율은 6.29 라는 값을 얻었다.

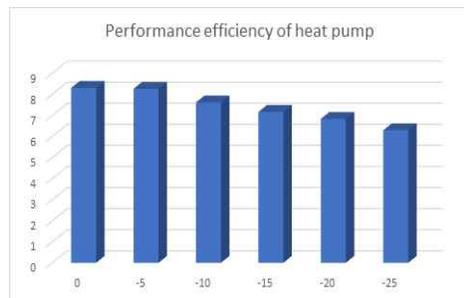


Fig. 8. Performance efficiency of heat pump

Fig. 8은 항온챔버 내의 설정온도에 따른 히트펌프의 COP를 정리한 그림이다. 외기온도가 높을수록 히트 펌프의 성능효율은 높으며, 외기온도가 낮을수록 성능 효율은 떨어지는 이론적 근거를 실험을 통해 확인할 수 있었다.

#### IV. 결론

추운 지역의 외기에 설치된 실외기의 표면에 서리가 발생하지 않는 히트펌프를 개발하기 위해 계절과 관계없이 실험이 가능한 항온챔버실을 구성하였으며, 실험실에 설치한 실험 장치는 자연 상태의 실외기와 동일한 조건에서 실험이 가능한 것으로, 외기조건에 따라 히트펌프의 효율을 실험한 결과를 정리하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 외기의 온도가 낮을수록 히트펌프의 효율이 높다는 이론적 근거를 이번 실험을 통해 확인하였다.

(2) 히트펌프 시스템의 안정적인 운전에 도달하는 시간은 외기온도에 의해 달라지지 않지만, 외기온도가 낮을수록 길어지는 경향을 보였다.

#### REFERENCES

- [1] C.D. Jeon, "Performance Improvement Technology on a Continuous Heating Heat Pump at Frost Condition", Korea Academy Industrial Cooperation Society, Vol.14 No.2, pp. 573~577, 2013(in Korean).
- [2] S.H. Kim, "Study on the Performance of Refrigerating System in a Refrigerator Truck with Frost Growth", Graduate School of Chosun University, pp.1~76, 2013(in Korean).
- [3] J.R. Kim, "Simulation of identify the frost formation of the heat pump outdoor unit", The Korean Society of Applied Science and Technology, Vol.36 No.4, pp.1410~1419, 2019(in Korean).
- [4] J.R. Kim, "Analysis of flow characteristics in the experimental apparatus using a heat pump outdoor unit", 2019 Spring Conference on The Korean Society of Applied Science and Technology, p.151, 2019 (in Korean).
- [5] J.R. Kim, "CFD of experimental apparatus for analyzing frost in heat pump outdoor unit under cold condition", The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, pp.798-802, 2019(in Korean).

- [6] K.S. Lee, S. Jhee, "Frosting and defrosting in heat exchangers", The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, pp.421-422, 1998 (in Korean).
- [7] C.G. Lee, H.C. Suh, H.C. Noh and K.S. Park, "A Numerical Study on the Flow behavior Characteristics of Disk Type Heat Exchanger", pp.617-618, 2011(in Korean).

---

#### 저자 소개

---

김 종 열 (Jong-Ryeol Kim)



1994년 2월 : 부산수산대학교  
냉동공학과(공학석사)  
1997년 8월 : 부경대학교  
냉동공조공학과(공학박사)  
2000년 3월~현재 : 동명대학교  
교수

관심분야 : 사물인터넷을 이용한 공조시스템, 저온용 히트펌프, 자기냉동기술