

# 실외온습도 변화에 따른 히트펌프 칠러의 난방성능에 관한 실험적 연구

이권재\*, 이상재\*\*, 김정석\*, 이수광\*, 박경만\*

\*선문대학교 기계공학과 대학원

\*선문대학교 자동화·에너지 기술연구센터

## Experiment study on Heating Performance of Heat-pump chiller

Kwon-Jae Lee\*, Sang-Jae Lee\*\*, Jung-Seok Kim\*, Soo-Kwang Lee\*,  
Kyoung-Man Park\*

\*Graduate School of Mechanical Engineering, Sunmoon University

\*\*Automation and Energy Technology Institute, Sunmoon University

### 요 약

본 연구에서는 외기온습도에 따른 히트펌프 칠러의 난방성능을 조사하고자 하였다. 난방표준 온도조건에서 건구온도 및 습구온도 변화에 따른 히트펌프 칠러의 난방능력과 COP를 획득하기 위하여 항온항습 챔버와 항온수조를 사용하였다. 실험은 건구온도 7°C~17°C, 상대습도 67%~87%에서 수행하였다. 외기온도가 증가함에 따라 난방능력은 약 27%, COP는 약 28% 증가하였지만, 상대습도 증가에 따른 난방능력과 COP의 변화는 거의 없었다. 따라서 난방운전 시 건구온도의 영향은 크고, 상대습도의 영향은 미미함을 알 수 있었다.

### 1. 서론

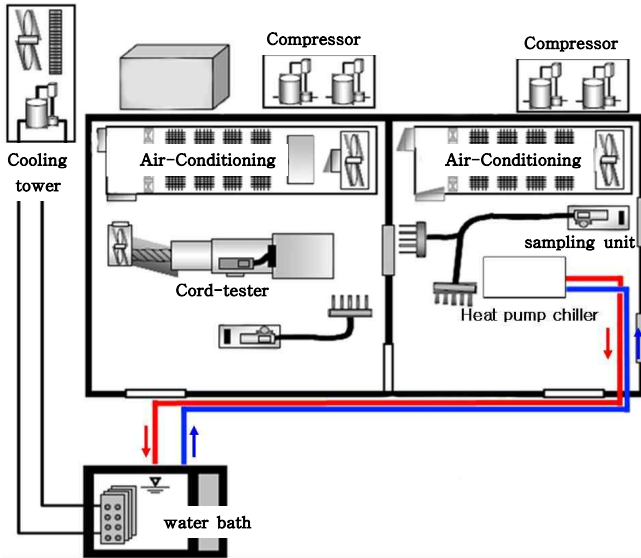
히트펌프 칠러는 히트펌프의 특성을 이용하여 냉수와 온수를 얻기 위한 목적으로 만들어진 것이다. 주요 구성은 압축기, 응축기, 증발기, 팽창밸브 그리고 4-way 밸브로 이루어져 있다. 난방운전 시 압축기에서 단열압축에 의해 냉매는 저온·저압에서 고온·고압의 상태로 변하고, 응축기로 유입된다. 냉매는 응축기에서 물과 열교환을 하여 중온·고압의 상태로 변한다. 냉매와의 열교환을 통해 온도가 높아진 물은 난방수로 사용한다. 응축기를 지난 냉매는 팽창밸브를 통과하게 되고, 저온·저압의 상태로 증발기로 유입되며, 공기와 열교환 후 다시 압축기로 순환된다.

위터 칠링 유닛의 난방표준조건은 실외건구온도 7°C이나 지구온난화와 온실효과에 의한 환경변화로 기온이 상승하고 있다. 우리나라의 예년 겨울평균기온을 볼 때 1990년대 0.43°C, 2000년대 1.08°C로 증가하였다. 이에 따라 다양한 외기조건에서 히트펌프 칠러의 성능평가가 요구된다. 히트펌프 칠러의 외기

온습도조건에 따른 성능실험결과는 많지 않으나 히트펌프에 대한 연구는 상당히 많이 수행되었다. 전철호<sup>(1)</sup>등은 R-22 히트펌프를 제작하여 R-290, R-600a, R-1270을 작동유체로 하여 R-22와의 성능 특성을 비교하였고, 압축일량은 증발온도가 증가함에 따라 증가하며 냉매 물성치의 영향으로 탄화수소계 냉매가 R-22보다 크게 나타난다고 보고하였다. 오왕규<sup>(2)</sup>는 공조용 열교환기 습표면의 열전달 및 압력손실에 관한 실험으로 습표면의 열전달계수 값은 건표면과 마찬가지로 핀피치의 영향이 없음과 건표면의 경우 낮은 Reynolds수에서 열전달계수가 감소하는 현상이 습표면에서는 나타나지 않는다는 실험 결과를 얻었다. 또한 습표면의 압력손실이 건표면보다 30% 가량 증가한다고 하였다. 이상현<sup>(3)</sup>등은 PWM압축기를 이용한 시스템 에어컨의 난방운전 시 압축기 토출온도 상관식에서 실외온도가 증가함에 따라 난방능력은 증가하고, 실내온도가 증가함에 따라 난방능력은 감소하였으며, 압축기 토출온도는 로딩듀티와 실외온도가 증가함에 따라 선형적으로 증가하고, 실내온도의 변화에는 완만한 증가를 나타냄

을 보고하였다.

본 연구는 히트펌프 칠러의 실외온습도조건에 따른 설계 자료를 획득하기 위해, 앞서 기술된 히트펌프의 연구결과들을 이용하여 난방운전 시 실외건구온도와 실외상대습도에 따른 히트펌프 칠러의 성능을 측정하고 분석하고자 한다. 이를 위해 히트펌프 칠러의 난방능력, 소비전력 그리고 COP를 실험적으로 획득하였다.



[그림 1] 칼로리미터 개략도

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

본 연구는 히트펌프 칠러의 성능실험을 위하여 공기엔탈피(Psychrometric) 칼로리미터를 사용하였고, KS B 6275(위터 칠링 유닛)<sup>(4)</sup>에서 규정한 시험방법을 적용하여 실험하였다. [그림 1]은 본 연구에 사용된 칼로리미터의 개략도이다.

히트펌프 칠러의 성능측정은 칼로리미터의 온습도가 일정하게 유지되는 동안 측정하였고, 이 때 오차범위는 건구온도  $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ , 습구온도  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 이다. 실험 중 PC를 통해 실험상태를 측정하며, 획득된 데이터는 PC에 저장되고 측정값은 자동적으로 출력된다. 소비전력은 전력량계(Digital power meter)를 사용하여 측정하였다.

항온수조는 KS B 6275에 명시된 열량을 측정하기 위하여 물을 사용하는 실험 장치로 PID(proportion, integration and differentiation) 방식에 의하여 자동으로 제어되며, 온도센서는  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 의 정밀도를 갖는 저항온도계(Resistant temperature

detector, RTD)를 사용하였다. 유량은 유량계를 사용하였으며 최대 60 l/min까지 측정할 수 있다. 계측기를 통해 측정되는 신호는 GPIB 카드를 거쳐 PC에 입력되어 계산된다.

본 연구에 사용한 히트펌프 칠러의 사양은 [표 1]과 같다. 히트펌프 칠러에 적용된 응축기는 이중관 열교환기로 냉매 대 물의 열교환이 이루어진다. 팽창밸브는 온도자동팽창밸브(thermostatic expansion valve)를 구성하여 냉매의 과열도에 의해서 밸브를 개폐하고 증발기에 유입되는 냉매량을 피드백 한다. 또한 냉매의 역류를 방지하고자 체크밸브를 설치하였으며, 증발기에서 냉매가 증발하지 못한 상태에서 액상으로 압축기에 유입되는 것을 방지하고자 압축기 전단에 액분리기(accumulator)를 설치하여 구성하였다. 그리고 응축압력과 증발압력을 측정하고자 압축기의 흡입부분과 토출부분에 압력계를 부착하였다.

[표 1] Heat-pump chiller specification

Heating capacity		6,500 W
Power consumption		2,500 W
Heat exchanger	Water-side	Type double tube
	Air-side	
Compressor		scroll
Refrigerant		R-22

[표 2] Test condition of Heat-pump chiller

Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )	Input	Output
	40	45
Flow volume (l/min)	variable (set $\Delta T=5^{\circ}\text{C}$ )	
Refrigerant mass (g)	2,300	
Dry bulb ( $^{\circ}\text{C}$ )	7, 12, 17	
Relative humidity (%)	67, 77, 87	

### 2.2. 실험방법

본 실험의 실험조건은 [표 2]와 같다. 히트펌프 칠러를 칼로리미터에 설치하고, 입·출구수온측정을 위하여 온도센서를 부착하였다.

실외건구온도 변화에 따른 히트펌프 칠러의 성능특성을 확인하고자 외기온습도 조건 중 실외상대습도를 87 %로 고정하고, 건구온도를  $7^{\circ}\text{C}$ ,  $12^{\circ}\text{C}$  그리고  $17^{\circ}\text{C}$ 로 변화시키며 실험하였다.

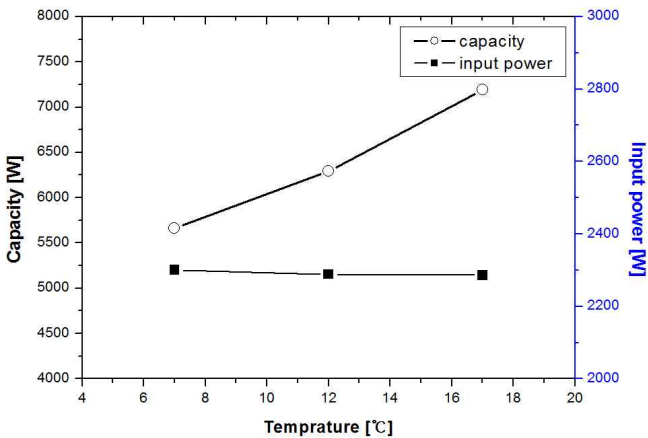
실외상대습도 변화에 따른 히트펌프 칠러의 성능특성 실험은 실외건구온도를  $7^{\circ}\text{C}$ 로 고정하고, 상대습도를 67 %, 77 % 그리고 87 %로 변화시키며 실험하였다.

입구수온 40℃, 출구수온 45℃를 유지하면서 이에 대한 난방능력과 소비전력을 측정하여 COP를 계산하였다. 이때 난방능력은 물 측이 얻은 열량으로 물 유량과 물 입·출구 온도차를 이용하여 계산하였다.

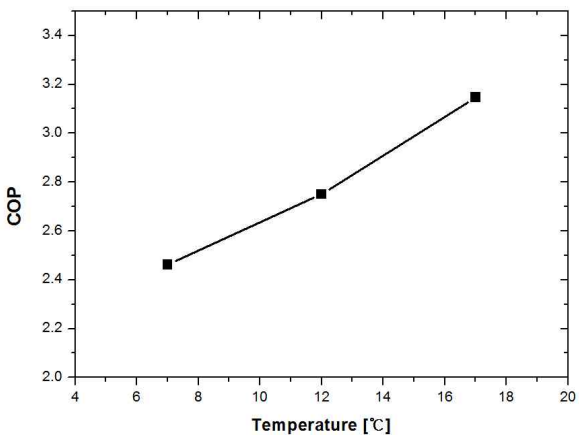
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 건구온도 변화에 따른 성능 변화

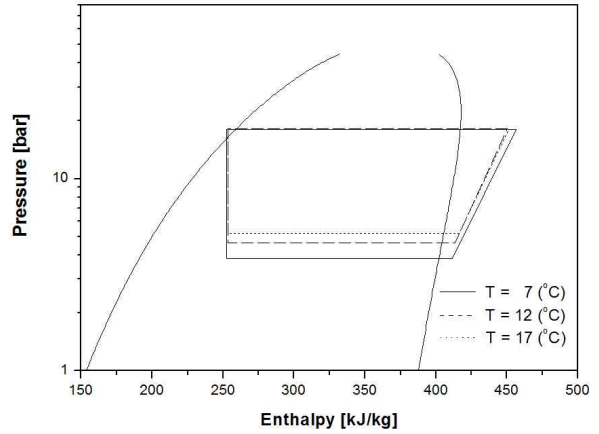
[그림 2]는 입구수온 40℃, 상대습도 87 % 조건일 때 실외건구온도 변화에 따른 히트펌프 칠러의 난방능력을 나타낸 것이다. 실외건구온도가 7℃에서 17℃로 증가함에 따라 히트펌프 칠러의 난방능력은 5,664 W에서 7,190 W로 약 26.9 % 증가하였다. 이는 실외건구온도가 증가하여 증발기의 증발온도가 증가하였기 때문이다. 증발온도가 증가하면 냉매의 비체적이 감소하고, 비체적이 감소하면 냉매유량은 증가한다. 냉매유량의 증가는 응축기에서 물과의 열교환시 응축능력의 증가시켰고, 출구수온을 고정하였을 때 물 유량이 증가한 것으로 확인할 수 있었다.



[그림 2] 실외건구온도 변화에 따른 난방능력과 소비전력



[그림 3] 실외건구온도 변화에 따른 COP

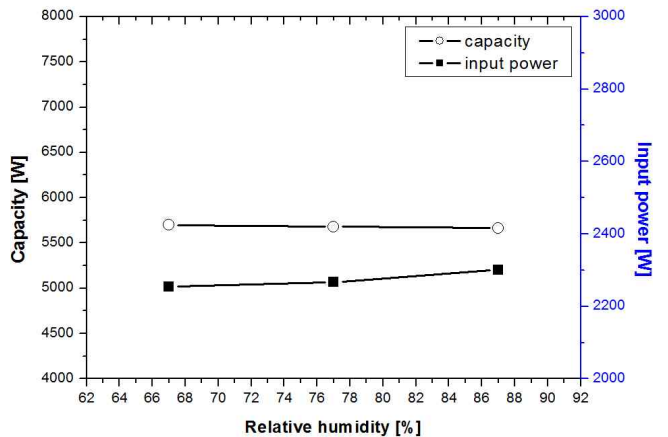


[그림 4] 실외건구온도 변화에 따른 P-h

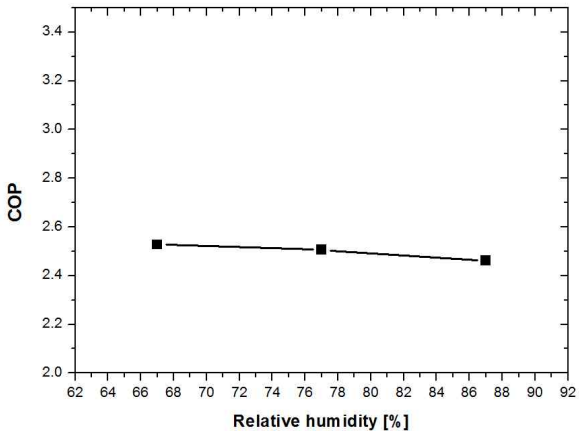
소비전력은 실외건구온도가 7℃에서 17℃로 증가함에 따라 2,300 W에서 2,285 W로 0.6 %로 변화가 거의 없었다. 이는 실외건구온도가 증가함에 따라 증발압력이 증가하여 사이클의 압축비가 줄어들었기 때문이다. 압축비가 줄어 소비전력이 감소해야 하나 냉매유량이 증가하여 그 변화가 없는 것으로 판단된다.

[그림 3]은 입구수온 40℃, 실외상대습도 87 % 조건일 때 실외건구온도 변화에 따른 히트펌프 칠러의 COP 변화를 나타낸 것이다. 실외건구온도가 7℃에서 17℃로 증가함에 따라 COP는 2.4에서 3.1로 약 29 % 증가하였다. 이는 실외건구온도 증가에 따라 소비전력의 변화는 거의 없는 반면, 실외건구온도 증가에 따른 난방능력이 증가하였기 때문이다.

[그림 4]는 입구수온 40℃, 실외상대습도 87 % 조건일 때 실외건구온도 변화에 따른 히트펌프 칠러의 P-h 변화를 나타낸 것이다. 실외건구온도가 증가함에 따라 증발온도와 증발압력이 증가하고, 압축비가 작아지는 것을 알 수 있다.



[그림 5] 실외상대습도 변화에 따른 난방능력과 소비전력



[그림 6] 실외상대습도 변화에 따른 COP

### 3.2. 상대습도 변화에 따른 성능변화

[그림 5]는 입구수온 40℃, 건구온도 7℃ 조건일 때 상대습도 변화에 따른 히트펌프 칠러의 난방능력을 나타낸 것이다. 실외상대습도가 67 %에서 87 %로 증가함에 따라 히트펌프 칠러의 난방능력은 5,697 W에서 5,663 W로 약 0.6 % 감소하였으나, 그 변화량이 매우 작았다. 이는 실외상대습도의 증가가 공기 중의 수증기량의 증가만 있어, 증발기의 증발온도에 미치는 영향이 미미하였기 때문이다.

소비전력은 실외상대습도가 67 %에서 87 %로 증가함에 따라 2,253 W에서 2,300 W로 약 1 % 증가하였다. 실외상대습도가 증가함에 따라 증발기에서 응결되어 제습되는 수증기량은 증가하였으나, 실외상대습도의 증가가 소비전력에 미치는 영향은 미미하였다.

[그림 6]은 입구수온 40℃, 실외건구온도 7℃ 조건일 때 실외상대습도 변화에 따른 히트펌프 칠러의 COP 변화를 나타낸 것이다. 실외상대습도가 67 %에서 87 %로 증가함에 따라 COP는 2.5에서 2.46으로 약 1.6 % 감소하였다. 이는 실외상대습도 증가에 따라 난방능력이 약 0.6 % 감소하고 소비전력이 약 1 % 증가하였기 때문인데, 변화량이 매우 작아 실외상대습도가 COP에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 판단된다.

## 4. 결론

본 실험에서는 실외온습도에 따른 히트펌프 칠러의 성능평가를 위하여 입구수온 40℃, 출구수온 45℃ 히트펌프 칠러 표준난방 실험조건에서 실외건구온도와 실외상대습도를 변화시켰고, 난방능력, 소비

전력 그리고 COP로 부터 다음과 같은 실험결과를 도출하였다.

- (1) 실외건구온도 변화에 따른 히트펌프 칠러 성능 실험에서 실외건구온도가 증가할수록 난방능력이 약 26.9 % 증가하였고, 소비전력의 0.6 % 감소하였으며, COP는 증가하였다. 이는 실외건구온도의 증가로 히트펌프 칠러의 증발온도가 증가하여 냉매의 비체적이 감소하였고, 냉매 유량이 증가하였기 때문이다.
- (2) 실외상대습도 변화에 따른 히트펌프 칠러 성능 실험에서 실외상대습도가 증가함에 따라 난방능력이 약 0.6 % 감소하고, 소비전력이 약 1 % 증가하였으며, COP는 약 1.6 % 감소하였다. 실외상대습도가 증가함에 따라 증발기에서 제습량이 증가하나, 히트펌프 칠러의 난방능력 변화는 거의 없음을 알 수 있었다.

## 후기

본 논문은 중소기업청 산학협력실사업과 한국산업기술진흥원의 서포터즈 사업의 지원으로 수행되었다.

## 참고문헌

- [1] 김종태, 이경중, 윤인규, 남임우, “냉난방·급탕 겸용 스크루 히트펌프 시스템” 대한설비공학회 하계 학술대회 논문집, pp. 946-951, 1995.
- [2] 오왕규, “공조용 열교환기 습표면의 열전달 및 압력손실에 관한 실험적 연구” 인천대 석사 학위논문, 2002.
- [3] 이상헌, 권영철, 장근선, 허삼행, 김대훈, 윤백, “PWM압축기를 이용한 시스템에어컨의 난방운전시 압축기 토출온도 상관식” 대한설비공학회 2006년도 하계학술발표대회 논문집, 2006. 6, pp. 1095 ~ 1100
- [4] KS B 6275 Reciprocating water-chillers.