

히트펌프 칠러의 난방 운전시 성능특성에 관한 실험 연구

김정석*, 이상재**, 이권재*, 이수광*, 엄유식*
선문대학교 기계공학과 대학원*
선문대학교 자동화·에너지 기술연구소**

Experimental study on performance characteristics of heat pump chiller at heating conditions

Jung-Seok Kim*, Sang-Jae Lee**, Kwon-Jae Lee*, Soo-Kwang Lee*,
Yu-Sik Um*

Graduate school of Mechanical Engineering, Sunmoon University*
Automation and Energy Technology Institute, Sunmoon University**

요 약

본 연구에서는 난방운전시 저온 및 착상 조건에서 히트펌프 칠러의 성능을 조사하고자 하였다. 실험은 항온항습 기능을 가진 공기엔탈피 방식의 칼로리미터와 항온수조를 사용하여 수행되었으며, 실외온도조건을 설정한 후에 히트펌프 칠러의 성능을 실험으로 측정하였다. 외기조건이 -7°C 에서 -15°C 까지 변화함에 따라 시스템의 성능과 COP는 표준온도 조건의 실험값 보다 약 48~87%까지 감소하였다. 착상 실험에서는 시간 변화에 따라 출구수온이 표준온도를 기준으로 74% 감소하였다. 본 연구로부터 히트펌프 칠러의 설계 기초자료 획득 및 신뢰성을 확인할 수 있었다.

1. 서론

현재 공조 산업은 에너지소비효율과 환경오염 규제를 강화함에 따라 공조기의 성능 및 에너지 소비효율 향상을 위해 노력하고 있다. 공냉식 히트펌프 칠러는 정부의 에너지정책 방향과 부합되는 공조기이다. 흡열원으로 공기를 사용하여 이산화탄소를 발생하지 않아 친환경적이다. 다른 흡열원에 비하여 작은 구동 에너지로 보다 많은 열에너지를 창출하고, 공급하는 장치로 에너지 절약에 효과적인 냉·난방 공조기 이다. 저온 조건과 착상 상태는 히트펌프 칠러의 성능에 큰 영향을 미치는 요인들로 이로 인해 받게 되는 부하에 따라 에너지손실로 인한 성능변화를 측정하기 위하여 연구를 수행하였다. Mohsen & Dennis^[1] 는 가정용 패키지 에어컨에 대하여 냉매 충전량에 따른 에어컨 성능을 실험하여 주어진 운전 조건하에서는 가장 적절한 냉매충전량이 존재함을 알아내었다. Aoki et al.^[2] 은 착상이 진행될수록 서리층에 의한 열저항의 증가로 열전달 계수는 감소하며, 또한 공기유속 증가에 의한 열전달계수의 증가는 무착상시에 비해 착상시에는 현저히 둔화된 것을

밝혔다.

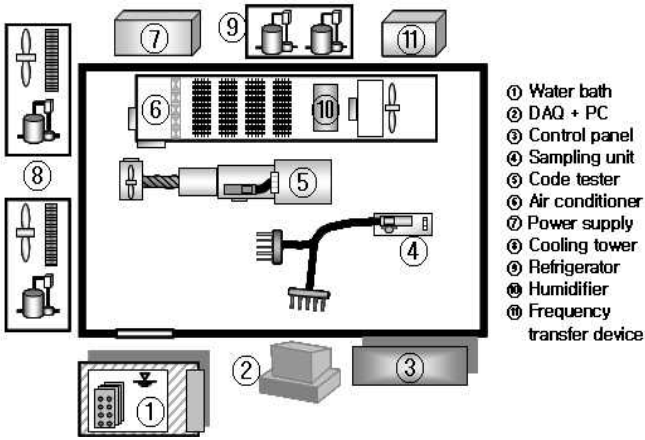
본 연구에서는 히트펌프 칠러의 설계 기초자료 획득 및 신뢰성을 확인하기 위하여 난방운전시 저온 및 착상 조건에서 시스템의 성능을 고찰하고 실험하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구는 히트펌프 칠러의 성능 및 신뢰성 실험을 위하여 칼로리미터와 항온수조를 사용하였다. 칼로리미터는 공기엔탈피(Psychrometric)방식이며 성능측정을 위하여 KS B 6275(워터 칠링 유닛)^[3] 에서 규정한 시험방법을 적용하여 실험하였다. 모든 실험은 설정온도와 습도가 안정적으로 유지 ($\text{DB}\pm 0.3^{\circ}\text{C}/\text{WB}\pm 0.2^{\circ}\text{C}$) 되는 동안 측정되며, 데이터는 PC에 저장된 후 출력된다.

[그림 1]은 본 연구에 사용된 칼로리미터의 개략도이다. 칼로리미터는 크게 공기측정장치(Sampling unit), 풍량측정장치(Code tester), 데이터획득장치(D



[그림 1] 칼로리미터 개략도

[표 1] Psychrometric calorimeter specification

Heating capacity (kW)	3.5~21
Temperature range (°C)	-15~50
Relative humidity range (%)	30~90

ata acquisition system), 전력공급장치(Power supply), 냉각탑(Cooling tower) 등으로 구성되어 있다. [표 1]은 본 연구에 사용된 칼로리미터의 사양을 보여준다. 난방 능력은 3.5~21kW이며, 온도는 ±0.1°C의 정밀도를 갖는 저항온도계(Resistant temperature detector, RTD)를 사용하여 측정된다. 건구온도는 -15~50°C, 습도는 30~90% 까지 PID(Proportion, integration and differentiation) 방식에 의하여 자동으로 제어되며 소비전력은 전력량계(Digital power meter)를 사용하여 측정하였다. [표 2]는 항온수조의 사양을 보여준다. 항온수조는 KS B 6275에 명시된 열량

[표 2] Consistent temperature bath specification

Heating capacity (kW)	17.4
Temperature range (°C)	0~90
Flow rate (l/min)	60

[표 3] Heat-pump chiller specification

Rated heating capacity(W)	6,500
Power consumption(W)	2,500
Power	1∅ 220V 60Hz
Flow rate(l/min)	9.3

을 측정하기 위하여 물을 사용하는 실험장치이며, 정격 난방능력은 17.4kW이다. 온도는 ±0.1°C의 정밀도를 갖는 RTD를 사용하여 측정되며 0~90°C까지 측정범위를 갖는다. 유량은 최대 60 l/min까지 ±0.5%이내의 정밀도로 계측한다. 계측기를 통해 측정되는 신호는 GPIB 카드를 거쳐 PC에 입력되어 프로그램에 의하여 계산된다. [그림2]는 히트펌프 칠러의 외관 사진이며, [표 3]는 실험에 사용된 히트펌프 칠러의 사양을 보여준다. 히트펌프 칠러의 주요 구성요소는 압축기, 증발기, 응축기, 팽창밸브 그리고 사방밸브로 구성되어 있다. 응축기는 이중관 열교환기로 냉매 대 물의 열교환이 이루어진다. 팽창밸브는 온도자동팽창밸브(Thermostatic expansion valve)를 구성하였으며, 냉매의 역류를 방지하고자 체크밸브를 설치하였고, 압축기의 토출압력 및 온도의 과부하를 방지하기 위하여 인젝션 밸브(Injection valve)를 설치하였다. 압축기 전단에는 액분리기(Accumulator)를 설치하였으며, 응축압력과 증발압력을 측정하고자 압축기의 흡입부분과 토출부분에 압력계를 부착하였다.



[그림 2] 히트펌프 칠러

2.2 실험방법

본 실험은 히트펌프 칠러의 성능측정을 위해 [표 4]에 기술된 실험조건으로 실험을 진행하였다. 난방 표준 온도조건(입구수온 40°C, 출구수온 45°C, 건구온도 7°C, 습구온도 6°C)에서 실험을 수행하여 16 l/min을 획득하였다. 저온 조건은 건구온도 -7°C, -11°C 그리고 -15°C에서 실험을 수행하였다. 저온 조건은 건구온도를 -4°C씩 낮추어 가면서 온도변화에 따르는 히트펌프 칠러의 성능 변화를 조사하기 위하여 실험을 수행하였다. 이때 각각의 온도조건에서의

[표 4] Test conditions of heat-pump chiller

Water	Temperature (°C)	Input	Output
		40	45
Flow rate (l/min)		variable	
Air	Temperature (°C)	7	
	Relative humidity (%)	6	
	Low Temperature (°C)	-7, -11, -15 (DB)	
	Defrost (°C)	1.5(DB), 0.5(WB)	

난방능력과 소비전력을 측정하여 COP를 계산하였다. 착상실험은 온도조건을 서리제거조건(1.5°C(DB)/0.5°C(WB))으로 실험을 수행하였으며, 성능특성을 조사하기 위하여 압축기 상단, 증발기 표면, 응축기 표면온도와 입·출구 수온을 열전대 온도계를 사용하여 측정하였다.

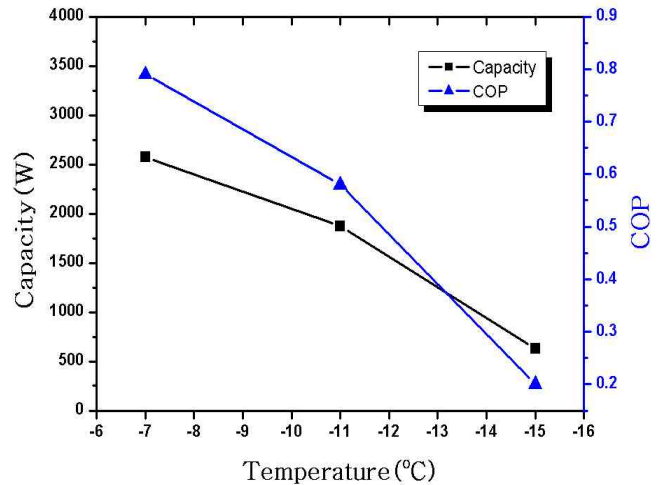
3. 실험결과 및 고찰

3.1 저온조건 실험시 성능 특성

동절기 히트펌프 칠러의 난방저온에서 성능을 파악하고자 건구온도를 -7°C, -11°C 그리고 -15°C에서 성능을 측정하였다. 난방능력은 건구온도 7°C, 습구온도 6°C인 표준조건을 기준으로 건구온도 -7°C에서 46%, -11°C에서 60% 그리고 -15°C에서 87% 감소하였다. 이는 저온조건에서 실외의 온도가 표준 온도 조건보다 크게 낮아짐에 따라서 냉매의 저압이 낮아져, 압축일이 커지고 압축기에서 토출되는 냉매온도에 영향을 주어 난방능력이 낮게 나타났다. COP는 표준조건을 기준으로 -7°C에서 48%, -11°C에서 62% 그리고 -15°C에서 87% 감소하였다. 이는 외기온도가 히트펌프 칠러의 성능에 큰 영향을 주는 것으로 판단된다. 외기온도가 낮아짐에 따라 증발기에서 증발온도가 낮아 열전달능력이 감소한다. 열전달능력이 감소하여 냉매는 습증기 상태가 되고 난방능력은 감소한다. 또한 습증기 상태는 압축기로 흡입되는 냉매의 양을 감소시켜 소비전력을 증가시킨다. 이러한 영향에 의해 COP가 감소하는 결과가 나타난 것으로 판단된다.

3.2 착상조건 실험시 성능 평가

히트펌프 칠러의 착상운전시 성능특성을 파악하고자 KS B 6275에 명시된 서리제거조건(입구수온 40°C, 건구온도 1.5°C, 습구온도 0.5°C)에서 시험을 수



[그림 3] 저온조건시 난방능력과 COP 변화

행하였다. 히트펌프 칠러의 표준조건으로 초기운전이 시작되고 정상상태에 도달하는 시점(A) 그리고 정상상태부터 착상이 진행되고 증발기 표면온도가 -15°C가 되어 착상이 끝나는 시점(B) 까지 시간변화에 따라 압축기, 증발기, 응축기 표면온도와 출구수온을 측정하였다. [그림 4]는 착상운전 시 증발기 표면온도와 압축기 토출온도변화를 나타낸다. (A)는 정상상태 구간으로 시스템이 안정화 되는데 소요되는 시간으로 약 2000s 측정되었다. 이때 600s 까지 압축기 토출온도는 온도가 증가하지만 2000s 상태에서는 88°C로 유지하였다. (B)는 착상이 진행되는 구간으로 증발기의 표면온도가 -15°C가 될 때까지 약 5300s가량 소요되었다. 증발기 표면에 착상이 진행되면서 표면온도가 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 시간변화에 따라 서리층이 형성되어 공기유로를 차단하고 저항은 증가시켜 공기의 압력강하는 커지고 공기유량을 감소시킨다. 또한 서리층이 단열층으로 작용하여 공기와 냉매간의 열교환 효율이 감소하고, 증발기에서 열교환 효율의 감소로 냉매는 습증기 상태가 되어 액은 분리되어 증기만 압축기로 흡입된다. 착상이 진행됨에 따라 점차 압축기로 흡입되는 냉매의 양은 감소되어 압축기의 토출온도는 계속적으로 상승하는 것으로 판단된다.

[그림 5]는 착상운전 시 응축기 표면온도와 출구수온의 변화를 나타내는 그림이다. (A)구간에서는 압축기 토출온도의 변화로 인해 출구수온은 44°C까지 상승하지만 2000s에서는 안정화되어 42.9°C로 유지하는 것을 확인할 수 있다. (B)구간에서는 착상이 진행됨에 따라 출구수온이 점차 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 압축기의 토출온도는 상승하지만

4. 결론

본 연구에서는 난방운전시 저온 및 착상 조건에서 히트 펌프 칠러의 성능을 조사하고자 하였다. 시험 결과 다음과 같은 실험 결과를 얻을 수 있었다.

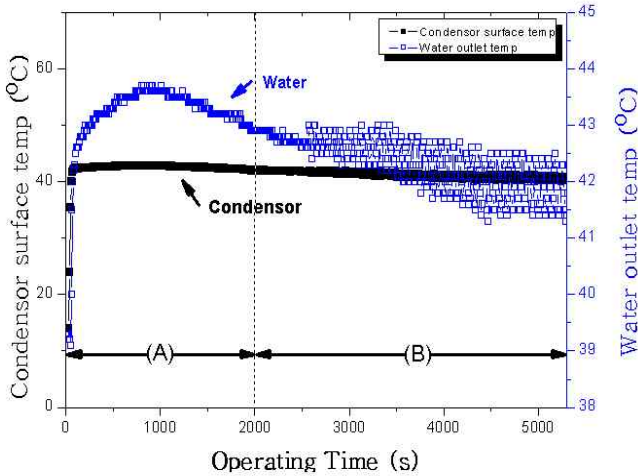
- (1) 저온조건 실험시 난방능력은 건구온도 7℃, 습구온도 6℃인 난방표준조건을 기준으로 건구온도 -7℃에서 46%, -11℃에서 60% 그리고 -15℃에서 87% 감소하였다. COP는 -7℃에서 48%, -11℃에서 62% 그리고 -15℃에서 87% 감소하였다.
- (2) 착상 실험시 착상이 진행되고 증발기 표면 온도가 -15℃일 때 출구수온은 41.3℃($\Delta T = 1.3^\circ\text{C}$)로 정상화 일때 보다 55% 감소하였고 난방표준조건 기준으로는 74% 감소하였다.
- (3) 저온 및 착상 운전시 냉매유량의 감소로 압축기의 소비전력이 증가하면 응축기의 난방능력이 감소한다. 본 연구로부터 히트펌프 칠러의 설계 기초자료를 획득할 수 있었다.

후기

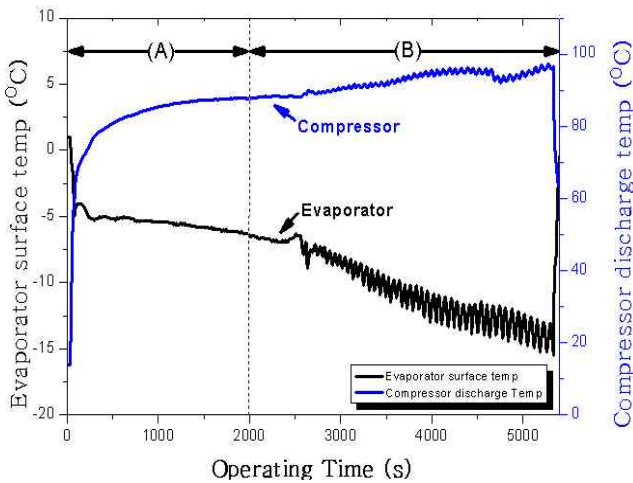
본 논문은 중소기업청 산학협력실사업과 한국산업기술진흥원의 서포터즈사업의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Mohsen Farzad and Dennis L. O'neal, "System performance characteristics of air conditioner over a range of charging conditions", Int. J. Refrig., Vol. 14, November, pp.321~328, 1991.
- [2] Aoki, K, Hattori, M. and Itoh, T, 1986, A study of extended surface heat exchanger with frosting, Bulletin of JSME, Vol. 29, No.251, pp. 1499-1505.
- [3] KS B 6275 reciprocating water-chillers.



[그림 4] 착상운전 시 응축기 표면온도와 출구수온의 변화



[그림 5] 착상운전 시 증발기 표면 온도와 압축기 토출온도 변화

냉매량이 감소하여 물과 냉매간의 열교환 효율이 감소하여 출구수온이 감소하는 것으로 판단된다. 응축기는 온도가 유지되는 것을 볼 수 있는데 이는 물과 냉매가 충분히 열교환 하고 있는 것을 나타낸다. 출구수온이 안정화될 때 42.9℃($\Delta T = 2.9^\circ\text{C}$)로 표준조건($\Delta T = 5^\circ\text{C}$)보다 약 42% 낮다. 이는 서리제거조건 외기온도가 표준조건보다 크게 낮아져 출구수온에 영향을 준 것으로 판단된다. 착상이 진행되고 증발기 표면 온도가 -15℃일 때 출구수온은 41.3℃($\Delta T = 1.3^\circ\text{C}$)로 정상화 일때 보다 55% 감소하였다. 표준조건을 기준으로는 74% 감소하였다. 유량이 고정되었을 때 출구수온의 감소는 난방능력이 감소됨을 나타낸다.