

열펌프의 난방운전시 핫가스 바이패스에 따른 성능 특성에 관한 실험적 연구

안 재 환, 주 영 주, 조 일 용, 강 훈*, 김 용 찬*†, 최 중 민**

고려대학교 기계공학부 대학원, *고려대학교 기계공학부, **국립한밭대학교 기계공학부

An Experimental Study on the Performance Characteristics of a Heat Pump System in the Heating Operation Mode with the Hot Gas Bypass

Jae Hwan Ahn, Youngju Joo, Ilyong Cho, Hoon Kang*, Yongchan Kim*†, Jongmin Choi**

ABSTRACT: When the suction pressure of compressor decreases under its limit, the compression ratio is increased causing the malfunctions of compressor. As the method to decrease the compression ratio, hot gas bypass system is usually adopted in heat pump system. In the hot gas bypass system, the discharged gas from the compressor is bypassed into the compressor suction, which causes the increase of suction pressure and the decrease of compression ratio. In this study, the characteristics and performances of the hot gas bypass system in heat pump was investigated experimentally with a variation of the bypass flow rate ratio. With the increase of the bypass rate ratio, the compressor suction pressure was increased, even though the total capacity and COP was decreased. From the analysis of the experimental results, the optimum pressure control algorithm was suggested in this study.

Key words: Hot gas bypass(핫가스 바이패스), Heat pump(열펌프), Heating operation mode (난방운전)

———— 기 호 설 명 ————

COP : 시스템 성능계수
DB : 건구
WB : 습구
m : 질량유량 [kg/h]
P : 압력 [kPa]
CR : 압축비
Q : 열전달률 [W]

h : 엔탈피 [kJ/kg]

하첨자

h : 난방
t : 총합
s : 흡입측
d : 토출측

1. 서 론

열펌프는 저온부에서 열을 흡수하여 고온부로 방출하는 공조장치로서, 난방시에는 실내에 열을

† Corresponding author

Tel.: +82-2-3290-3366; fax: +82-2-921-5439

E-mail address: yongckim@korea.ac.kr

공급하고 냉방시에는 열을 흡수하게 된다. 이러한 열펌프 시스템의 제어는 초기의 on/off 제어를 통한 용량제어에서 가변속 인버터 압축기를 통한 가변식 용량제어로 바뀌어 지며, 이의 사용 범위가 멀티 열펌프를 중심으로 가정용 에어컨에 까지 넓어지고 있다. 멀티 열펌프에서는 일반 열펌프와는 달리 배관의 길이가 연장되기 때문에 시스템 초기 구동시 압축기에서 토출된 냉매가 순환되는 시간이 길어서 압축기 흡입부의 압력이 급격히 낮아지게 된다. 이로 인하여 압축기 내부에 오일 포밍 현상이 발생하거나 압축기 운전 가능 범위 밖에서 운전되어 압축기 신뢰성의 저하를 가져올 수 있다. 이러한 문제를 해결방안으로 압축기에서 토출된 냉매의 일부를 압축기 흡입부로 우회하는 핫가스 바이패스 시스템을 적용할 수 있다. 초기 핫가스 바이패스 시스템은 정속형 압축기에서 연속 용량제어를 하기 위해 사용되었으나, 시스템의 용량제어 기술의 발전으로 시스템의 신뢰성 향상의 측면에서 사용되어 진다. 이러한 핫가스 바이패스의 관련 최근 연구동향으로 Yaqub et al.⁽¹⁾은 냉동 및 공조시스템에서 핫가스 바이패스를 통한 용량제어에 대해 실험결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였고,

Yanagisawa et al.⁽²⁾은 로타리 압축기의 초기 구동시의 오일 포밍에 대해 연구하였다.

본 연구에서는 냉방운전에 비해 저압이 상대적으로 낮은 난방운전시의 히트펌프에서 핫가스 바이패스 시스템의 바이패스 유량의 변화에 따른 시스템의 운전특성 및 성능 변화를 관찰하고, 열펌프에서 핫가스 바이패스를 통한 압력 제어 알고리즘 향상에 기초 자료를 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1에 본 연구에서 설계·제작한 4실형 핫가스 바이패스를 적용한 멀티 열펌프 시스템의 구성도를 나타내었다. 실험장치는 크게 실내유닛(IDU), 실외유닛(ODU)로 구성되어 있으며, 4방밸브의 절환을 통해 난방운전 하였다. 히트펌프 시스템의 설계 냉난방 능력 및 COP는 각각 8.0 kW 및 3.2이며, 작동냉매는 R-410A를 사용하였다. 압축기는 완전밀폐형 BLDC 로타리 압축기를 사용하였으며, 팽창밸브는 여자방식에 의해 500 스텝까지 개도가 조절되는 전자팽창밸브(Electronic Expansion Valve, EEV)를 이용하여 조절하였다. 실내 및 실외 열교환기는 핀튜브 방

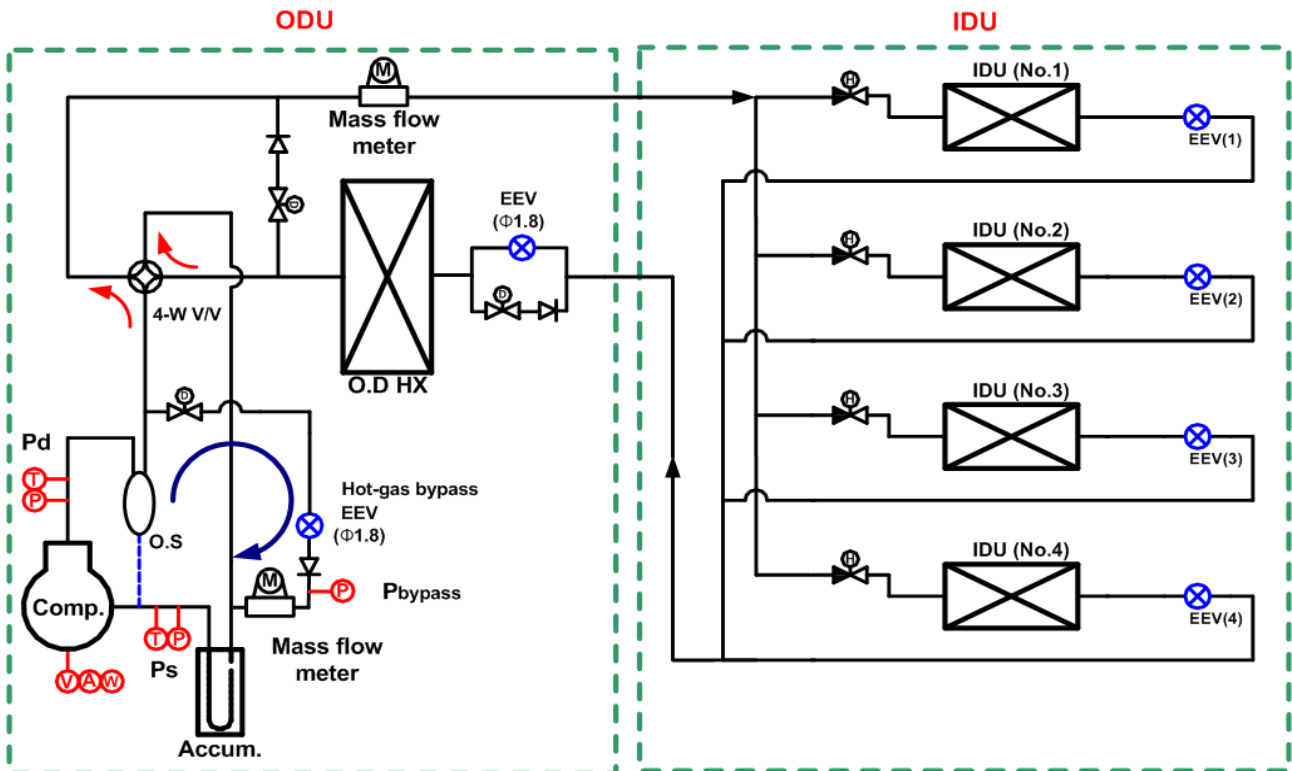


Fig. 1 Schematic of a hot gas bypass system.

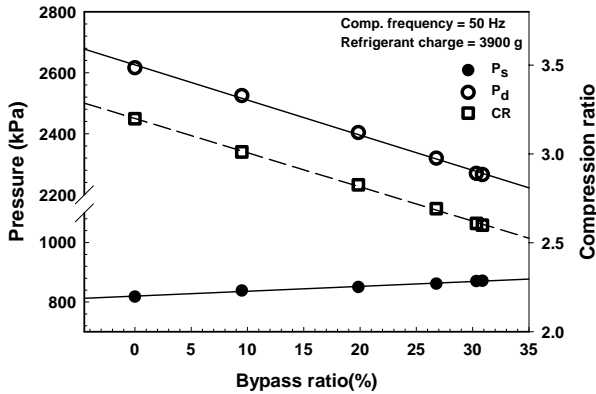


Fig. 2 Variations of suction pressure, discharge pressure and compression ratio with bypass ratio.

식의 열교환기를 적용하였다. 배관 내부에 압축기 윤활유의 정제 가능성이 높기 때문에 압축기 토출배관에 오일분리기를 설치하였으며, 압축기에서의 액압축 방지를 위한 어큐뮬레이터를 압축기 흡입배관에 설치하였다. 냉난방용량 및 풍량은 ASHRAE Standard⁽³⁾에 의거하여 계산하였다.

본 실험은 난방운전모드에서 수행하였으며, 기본 운전조건으로서 냉매충전량 성능실험을 통해 최적 냉매충전량인 3,900 g의 냉매량을 가지며 압축기 정격회전수인 3,500 rpm에서 운전되었다. 실외·내 온도조건은 각각 DB 7°C/WB 6°C, DB 20°C/WB 15°C로 설정하였다. 핫가스 바이패스 유량은 바이패스배관 입구에 전자팽창밸브(EEV)를 설치하여 이의 개도 변화를 통해 조절하였으며, 0에서 500스텝까지 100스텝 단위로 변화하여 0~35%의 비율로 바이패스 비를 조정하였다. 개도 변화에 대한 바이패스 유량비는 식(1)에 따라 계산되었다.

$$Bypass\ ratio = \frac{m_{bypass}}{m_{cycle} + m_{bypass}} \quad (1)$$

또한 해당 실험결과를 비교하기 위해 냉매충전량 변화 실험은 최적충전량인 3900 g과 가까운 4000 g을 기준으로 500 g단위로 감소시켜 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

핫가스 바이패스 유량비 증가에 따른 시스템의

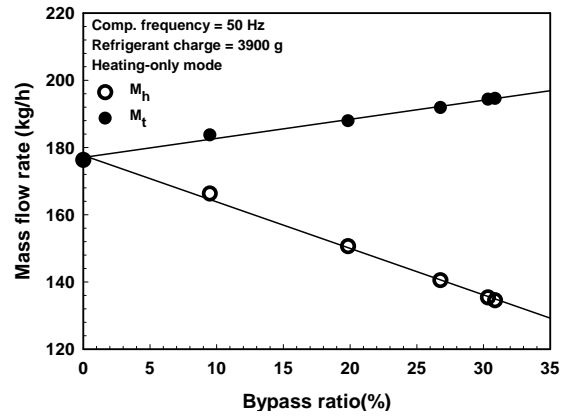


Fig. 3 Variations of total mass flow rate and heating mass flow rate with bypass ratio.

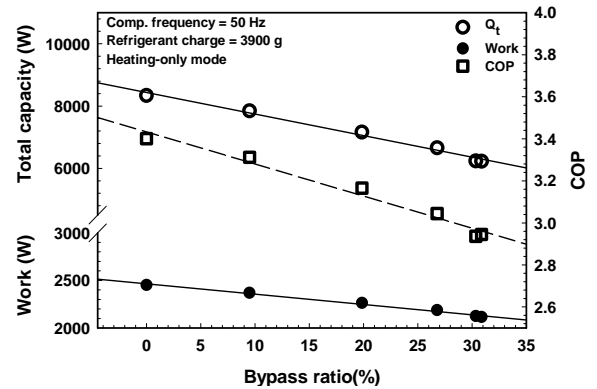


Fig. 4 Variations of total capacity, work and COP with bypass ratio.

성능특성을 고찰하였다. Fig. 2는 핫가스 바이패스 유량비의 증가에 따른 압축기 흡입압력과 토출압력의 변화를 나타낸다. 바이패스 유량비가 증가하면서 흡입압력은 증가하며 토출압력은 감소하였고, 그에 따라 압축비는 감소하였다. 이는 바이패스 되는 유량이 증가함에 따라 실내기에 공급되는 유량이 감소하였기 때문이다. Fig. 3은 바이패스 유량비 변화에 따른 압축기 유량과 실내기를 지나는 유량의 변화를 나타낸다. 바이패스 유량비가 증가할 때 Fig.1의 결과와 같이 압축비가 감소하므로 총 압축기 토출유량은 증가하였으나 실내기로 유입되는 유량은 감소하는 경향을 보였다. Fig. 4는 바이패스 유량비에 따른 시스템 용량, 소비전력 및 COP의 변화를 나타낸다. 바이패스 유량비 증가에 따라 시스템의 난방용량, 소비전력 및 COP가 감소하였다. 총 압축기 토출 유량은 증가하였으나 압축비 감소에 따른

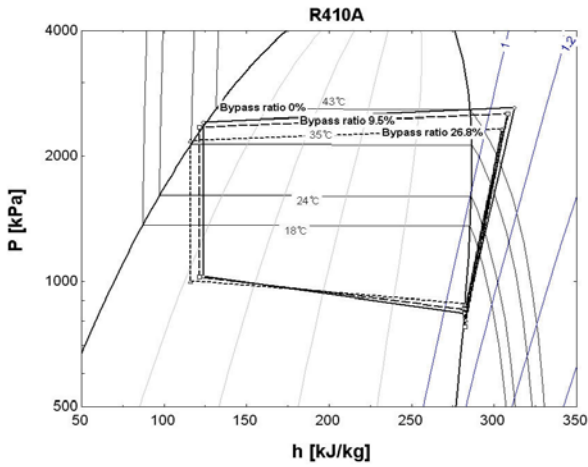


Fig. 5 Variation of hot gas bypass cycle on P-h diagram with 0%, 9.5%, 26.8% of bypass ratio.

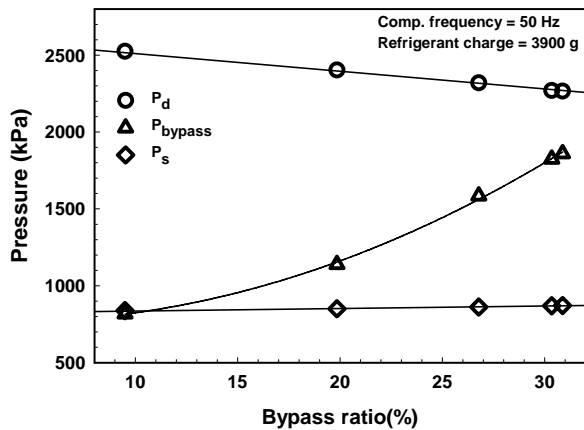


Fig. 6 Variations of suction pressure, discharge pressure and bypass pressure with bypass ratio.

압축기 흡입/토출 엔탈피 차이의 감소로 소비전력은 감소하였다. 난방 유량이 감소하여 난방용량 및 소비전력이 감소하였지만 소비전력의 감소폭이 난방용량 감소보다 더 크기 때문에 COP는 감소하는 경향을 보였다. 바이패스 유량비가 0%에서 28.4%로 증가함에 따라 시스템용량 및 COP는 각각 24.1%, 20.1% 감소하였지만 흡입압력은 13.5% 증가함으로써, 전체적인 시스템의 성능은 저하되나 흡입압력이 증가하는 효과를 나타내었다.

Fig. 5에서 바이패스 유량비 증가에 따른 시스템의 변화를 P-h선도로 나타내었다. 바이패스 유량비 증가에 따라 응축기 입·출구와 증발기 입구

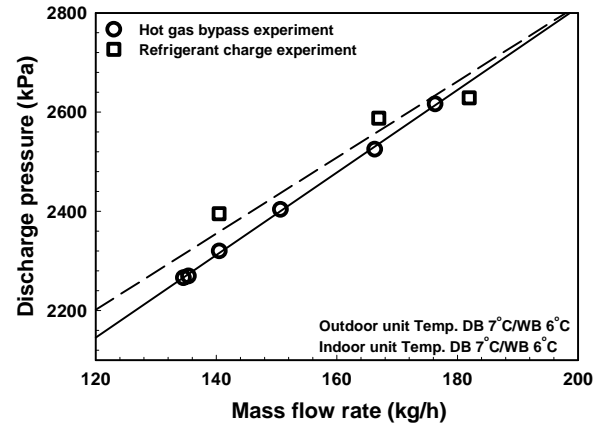


Fig. 7 Variations of discharge pressure in hot gas bypass experiment and refrigerant charge experiment.

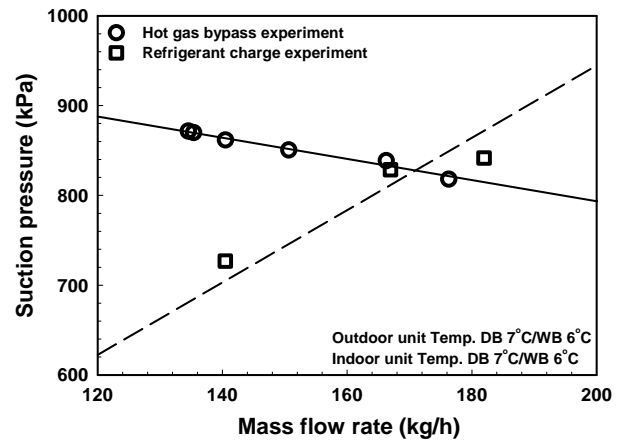


Fig. 8 Variations of suction pressure in hot gas bypass experiment and refrigerant charge experiment.

압력은 하강하는 경향을 보인다. 하지만 증발기 출구 압력은 바이패스 유량비가 증가함에 따라 상승하였다. 바이패스 유량비가 증가하면 실내기로 유입되는 난방 유량이 감소하여 시스템의 응축압력과 흡입압력이 하강하지만 압축기 토출관에서 우회된 바이패스 관내의 압력은 상승하기 때문에 바이패스된 냉매와 증발기 출구의 냉매가 합쳐진 흡입압력이 상승하는 것으로 사료된다.

Fig. 6은 바이패스 유량비에 따른 흡입, 토출압력 및 우회된 바이패스 관에서의 압력 변화를 비교하였다. 유량비가 9%일 때는 흡입압력과 바이패스 압력이 거의 같지만, 유량비가 증가할수록 바이패스측 압력이 증가하여 토출압력에 근접함을 보인다. 이는 유량을 조절하는 전자팽창밸브

의 영향으로 개도가 작은 영역은 통과유량이 작지만 압력변화가 크게 나타남을 보인다.

Fig. 7은 동일한 실내·외 온도조건에서 난방운전시 핫가스 바이패스 변화실험과 냉매충전량 변화실험에서 난방유량에 따른 토출압력 변화를 나타낸다. 난방유량이 감소함에 따라 두 실험 모두 토출압력이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 바이패스의 영향과 저충전에 관한 영향이 유사하게 작용됨을 보인다.

Fig. 8은 핫가스 바이패스 변화실험과 냉매충전량 변화실험에서의 난방 유량에 따른 흡입압력 변화를 나타낸다. 냉매충전량 변화실험의 경우 난방유량 감소에 따라 흡입압력은 감소하였으나, 바이패스 실험에서는 바이패스 유량의 증가에 따른 난방유량이 감소하였다. 이는 고압의 바이패스 유량이 압축기 흡입측으로 유입되기 때문에 흡입압력이 상승함을 보였다.

4. 결 론

핫가스 바이패스 시스템은 압축기 초기 구동시 시스템의 급격한 부하 변동에서 흡입압력의 급격한 저하를 막기 위해 적용될 수 있다. 본 연구를 통해 핫가스 바이패스 시스템에서의 바이패스 유량비 변화에 따른 성능특성을 고찰하고, 압력 변화 결과를 냉매 충전량 실험의 결과와 비교 및 분석하였다.

1) 핫가스 바이패스 시스템에서 바이패스 유량

비가 증가할 때, 시스템용량 및 COP는 감소하였지만 흡입압력은 증가하였다.

2) 핫가스 바이패스 시스템에서의 토출압력의 변화는 냉매 충전량의 저충전 영역에서의 토출압력 변화와 유사하며, 흡입압력의 변화는 바이패스 유량의 영향 때문에 반대의 결과를 나타내었다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단의 에너지 · 자원기술개발 사업(2006-E-CM11-P-05-0-000)의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Yaqub, M., Zubair, Syed M., and Khan, J., 2000, Performance evaluation of hot-gas by-pass capacity control schemes for refrigeration and air-conditioning systems, Energy, Vol. 25, pp. 543-561.
2. Yanagisawa, T., and Shimizu, T., 1986, Foaming of refrigerating oil in a rolling piston type rotary compressor, Int. J. Refrigerant, Vol. 9, pp. 17-20.
3. ASHRAE Standard, 1975, Laboratory methods of testing fans for rating, ASHRAE Standard 37, pp. 51-75.