이코너마이저 적용 열펌프 시스템의 부하변화에 따른 성능 특성 연구

최종민, 박용정*, 강신형**†

국립 한밭대학교 기계공학과, (주)대한공조 기술연구소*, 건양대학교 기계공학과**

The Effect of Load Variation on the Performance of an Injection Heat Pump with an Economizer

Jong Min Choi, Yong-Jung Park*, Shin-Hyung Kang**†

Department of Mechanical Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719, Korea

R&D Center, Daihan Climate Co. Ltd., Kyounggi-do 447-240, Korea*

Department of Mechanical Engineering, Konyang University, Chungnam, 320-711, Korea**

Abstract

Heat pumps have received a fair amount of attention all over the world for their high efficiency and low environmental impact. Employing heat pumps for residential heating and cooling produces only about 2038 kg-CO₂/year, an amount which is less than half that of conventional boiler systems. However, the use of single-stage heat pumps becomes uneconomical when they are operated at very low evaporating temperature or high condensing temperature. Two-stage heat pumps systems can be used successfully for low or high temperature applications. In this paper, the experimental study on the performance of two-stage heat pump with an economizer was executed in heating mode. When the secondary fluid inlet temperature to the indoor heat exchanger increased, the COP enhancement rate of two-stage heat pump with an economizer was increased. For all outdoor inlet temperature conditions, the performance of the heat pump with an economizer was higher than it without an economizer.

Key words: Economizer(이코너마이저), COP(성적계수), Heat pump(열펌프), Load(부하)

1. 서론

전 세계적으로 화석연료 의존도가 높아지면서 발생한 이산화탄소 및 공해물질 배출로 인하여 지구온난화와 환경오염이 가속화되고 있다. 또한,

국제 유가 상승과 에너지 산업의 민영화, 자유화, 개방화의 지속적인 진행으로 에너지 시장의 새로운 질서가 대두됨에 따라 에너지 절약과 환경 규제 대응 방안 수립이 절실히 요구되고 있다.

경제가 발전함에 따라 삶의 질 향상에 대한 요구는 지속적으로 증가되어 건물의 냉난방 분야의 에너지 소비가 증가하고 있다. 국내에서는 총 국가에너지의 약 44%가 건물에서 소요되고 있으며, 이중에 약 33%가 건물의 냉난방에 사용되고 있다. 세계적으로 냉난방 분야 에너지 소비가 국가

† Corresponding author

Tel.: +82-41-730-5602, Fax: +82-41-730-5765

E-mail: shkang@konyang.ac.kr

접수일 : 2014년 6월 3일

심사일 : 2014년 6월 27일

채택일 : 2014년 7월 3일

전체 에너지 소비의 약 30%를 차지함에 따라 에너지 효율적이고 친환경적인 공조 시스템 도입의 필요성이 증가되고 됨에 따라 고효율의 냉난방 시스템인 열펌프에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.^[1,2]

열펌프는 환경 친화적이며, 고효율의 냉난방 설비이지만, 고온수 생성을 위해서는 압축비 증가에 따라 효율 및 신뢰성 저하에 대응하기 위하여 2단 압축 사이클 설계 및 최적화 기반 기술 확보가 요구된다.^[3,4]

Cao et al.^[5]은 급탕용 열펌프에 대해 혼합냉매를 적용한 실험적 연구를 수행하여 65°C의 고온수를 얻었다. Xu and Ma^[6]는 열펌프의 교축과정에서의 손실에너지를 활용하기 위하여 이젝터와 플래쉬 탱크를 이용하여 새롭게 제안된 인젝션 열펌프에 대한 연구를 수행하였으며, 이를 통하여 이젝터 적용 열펌프 시스템은 4%의 성능향상을 달성할 수 있다는 연구결과를 얻었다. Roh and Kim^[7]은 가스인젝션 열펌프 시스템에 대하여 중간압 변화에 따른 난방성능에 대한 연구를 수행하였다. 중간압은 가능한 낮은 범위에서 유지하는 것이 높은 난방성능과 COP를 얻을 수 있다는 연구결과를 얻었으나, 인젝션량이 매우 작은 범위에서만 수행되어 연구결과를 일반화 할 수는 없다는 한계점을 가지고 있다. Zehnder et al.^[8]은 저온의 외기온도에서 고온수를 얻기 위한 이코너마이저 적용 인젝션 사이클에 대한 연구를 통해 28%와 15%의 용량 및 COP 향상 결과를 얻었다. Turunen-Saaresti et al.^[9]은 R245fa 냉매로 적용한 원심형 압축기를 적용한 열펌프에 대한 운전 범위 확대를 위한 이단압축 사이클에 대한 연구를 수행하여 효율향상 방안을 제시하였다.

현재까지 대부분의 연구는 실험실에서의 실험적 연구를 수행하였으며, 이단압축 사이클에 대해 실제 제품에 적용된 연구 결과는 매우 부족하다. 특히, 실제 제품은 동일한 형태의 소용량 개별 사이클을 복수로 병렬로 설치하여 총 시스템 용량을 담당하도록 구성되나, 이에 대한 연구 결과는 매우 부족한 실정이다. 본 연구에서는 소용량의 복수 열펌프 사이클이 병렬로 연결된 실제 상용화 대상 이코너마이저 적용 물대물 인젝션 열펌프 시스템에 대한 성능 특성을 이코너마이저를

적용하지 않은 사이클과 비교 분석하였다.

2. 상용화 제품 실험장치 및 실험방법

본 연구에서는 60°C 이상의 고온수제조를 위해 상용화를 목표로 제작한 10 RT급의 이코너마이저 적용 가스 인젝션 열펌프 사이클 2개가 병렬 조합된 난방용량 20 RT 급의 1원 2단 열펌프 유닛을 설계 및 제작하였다. 압축기, 열교환기, 팽창장치 등의 단품 요소기기를 선정하고, 조립성과 유지보수의 용이성 등을 고려하여 단품 및 배관의 배치 등 시스템 구조를 3D모델링 설계하였다.

Fig. 1은 본 연구의 상용화 대상 열펌프 시스템의 냉매 사이클 계통도를 나타낸다. 두개의 독립 사이클로 구성하여 한 사이클이 이상이나 고장이 발생하여도 다른 하나의 사이클은 독립적으로 운전이 가능하여 50%의 백업기능을 가지도록 하였으며, 부하가 큰 경우에는 복수의 사이클이 병렬로 동시 운전된다. 각 사이클은 압축기, 실내열교환기, 실외열교환기, 팽창밸브, 사방밸브 및 이코너마이저로 구성되며, 이코너마이저로부터 압축기로 냉매가 중간에 유입되어 1원 2단 사이클의 가스 인젝션구조를 가지며, 고온수 제조가 가능하다. 본 연구에서는 2개의 병렬 시스템이 동시에 운전되어 100%의 용량을 갖는 경우에 대한 성능 평가를 수행하였다. 이코너마이저 적용 가스인젝션 사이클과 이를 적용하지 않은 경우의 고온수 제조 성능 비교를 위하여 응축기로부터 이코너마이저로의 인젝션 라인에 솔레노이드 밸브를 설치하였다. 냉매는 R407C가 적용되었다.

Fig. 2는 열펌프의 3D 모델링 설계를 통하여 제작된 상용화 대상 열펌프의 케이스 조립 이전에 냉매 사이클 제작 완료 후 시스템 성능 확보 및 최적화를 위한 성능 실험 시의 열펌프 내부 사진을 나타낸다. 각 사이클은 10 RT급 스크롤 압축기, 팽창장치 및 이코너마이저로 구성되며, 열원측과 부하측의 실외열교환기와 실내열교환기는 듀얼타입의 20 RT급 브레이징판형 열교환기가 채용되었다.

열원측과 부하측의 실외열교환기와 실내열교환기는 ISO 13256-2^[10]와 NR GT 101^[11]의 표준조건과 고온수 운전 조건 구현 및 성능 측정과 정확

Fig. 1 Schematic diagram of vapor injection cycle.

Fig. 2 Photograph of heat pump.

도를 가지는 항온조와 센서로 구성된 열원 및 부하측 항온조 및 계측 시스템과 연결된다. 열원과 부하측의 2차 유체 회로는 항온조, RTD 온도센서, 유량계, 전력계 및 데이터 계측 시스템으로 구

Table 1 Test conditions

Parameters		Range
Operating mode		Heating
Cycle		Injection, Non-injection
Inlet Temp(°C)	ID HX	40 ~ 62
	OD HX	5 ~ 15
EEV opening		Adjusted
Water flow rate(LPM)	ID HX	240
	OD HX	240

성된다. 본 연구에서는 난방 모드에서 실외열교환기와 실내열교환기 입구온도를 변화시켰으며, 이코너마이저 적용한 인젝션사이클과 이코너마이저를 적용하지 않은 단단 사이클에 대한 성능 실험을 수행을 수행하였다. Table 1은 본 연구의 실험 조건을 나타낸다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 3은 난방모드에서 실외측열교환기(열원측) 입구온도를 고정하고, 실내측열교환기(부하측) 입구온도 변화에 따른 이코너마이저 적용 1원2단 열펌프와 이코너마이저라인을 솔레노이드 밸브로 차단하여 1단 사이클로 운전될 때의 열펌프 COP 변화를 나타낸다. 이때, 열원측 입구온도는 5°C이고, 부하측 입구온도는 40°C, 50°C, 60°C, 62°C로 변화시켰다. 이코너마이저를 적용하지 않고 실내열교환기 2차 유체 유입온도를 60°C 이상으로 설정한 경우에는 압축기에서 소음과 진동이 크게 증가하여 실험을 수행할 수 없었다. 이코너마이저를 적용한 시스템의 난방 COP는 이코너마이저를 적용하지 않은 경우에 비하여 높게 나타났으며, 실내열교환기 입구온도가 증가함에 따라 이코너마이저 적용 시스템의 성능이 이코너마이저를 적용하지 않은 경우에 비하여 COP 상승폭이 증가하는 경향을 나타냈다. 이코너마이저를 적용한 경우에는 Fig. 4에 나타난 바와 같이 난방용량은 이코너마이저를 적용하지 않은 경우에 비하여 크게 나타났으며, 실내열교환기 입구온도가 증가하여도 난방용량 변화는 미소하였다. 이는 부하측 온도가 증가함에 따라 실내열교환기(응축기)에서의 냉매와 2차유체와의 온도차이가 감소하지만, 이코너마이저를 통과한 냉매가 압축기로 유입되어

응축기를 순환하는 냉매 유량이 증가하였기 때문이다. 하지만, 이코너마이저를 적용하지 않은 경우에는 실내열교환기에서 냉매와 2차유체와의 온도차이가 감소하여 난방용량이 감소하였다.

이코너마이저를 적용한 경우에 압축기 출구 및 입구의 시스템 고압 및 저압은 이코너마이저를 적용하지 않은 경우에 비하여 다소 높게 나타났다(Fig. 2, 5, 6) 하지만, 이코너마이저를 적용한 경우에 시스템의 냉매 유량이 이코너마이저를 적용하지 않은 경우에 비하여 커서 압축기 소비전력은 이코너마이저를 적용한 시스템이 크게 나타났다(Fig. 7). 이코너마이저를 적용한 경우에 시스템의 난방용량과 소비전력은 이코너마이저를 적용하지 않은 경우에 비하여 크게 나타났지만, 난방용량의 증가폭이 소비전력 증가폭보다 커서 COP는 증가하였다.

Fig. 8은 실내열교환기 입구온도 변화에 따른 시스템의 팽창밸브 입구온도를 나타낸다. 이코너마이저를 적용한 경우에 팽창밸브 입구온도가 이코너마이저를 적용하지 않은 경우에 비하여 낮게 나타났다. 이는 응축기 출구에서 이코너마이저를 거쳐 압축기로 유입되는 냉매와의 열교환에 의하여 온도가 낮아진 것이며, 이로 인해 과냉도가 증가하였다. Fig. 9에 나타난 바와 같이 이코너마이저를 적용한 경우와 적용하지 않은 경우에 증발온도는 유사하였으나, 이코너마이저를 적용한 경

Fig. 3 COP with the variation of indoor inlet temperature at 5°C outdoor inlet temperature.

Fig. 4 Heating capacity with the variation of indoor inlet temperature at 5°C outdoor inlet temperature.

Fig. 5 Compressor discharge pressure with the variation of indoor inlet temperature at 5°C outdoor inlet temperature.

Fig. 7 Power consumption with the variation of indoor inlet temperature at 5°C outdoor inlet temperature.

Fig. 6 Compressor suction pressure with the variation of indoor inlet temperature at 5°C outdoor inlet temperature.

Fig. 8 Expansion valve inlet temperature with the variation of indoor inlet temperature at 5°C outdoor inlet temperature.

우 팽창장치 입구 온도가 이코너마이저를 적용하지 않은 경우에 비하여 낮아서 과냉도가 증가하므로 증발기를 통과하는 냉매 유량이 증가하여 열원으로부터의 실외열교환기로의 증발열량이 증가하였다(Fig. 10).

부하측 2차유체 입구온도가 5°C인 조건에서 부하측 2차 유체 유입온도 40°C에서 62°C에서 변화될 때 이코너마이저를 적용한 1원2단 열펌프 시스템이 이코너마이저를 적용하지 않은 시스템에 비하여 우

수한 성능을 나타냈으며, 부하측 2차 유체 유입온도가 60°C 이상에서는 이코너마이저를 적용하지 않은 경우에는 압축기 이상 작동이 발생하였다.

Figs. 11, 12는 난방모드에서 실외열교환기 열원측 입구온도는 15°C로 고정하고, 실내열교환기 부하측 입구온도를 40°C에서 62°C의 범위에서 변화될 때의 이코너마이저 적용 열펌프와 이코너마이저를 적용하지 않은 시스템의 COP와 난방용량의 변화를 나타낸다. 이코너마이저를 적용한 경우

Fig. 9 Evaporating temperature with the variation of indoor inlet temperature at 5°C outdoor inlet temperature.

Fig. 11 COP with the variation of indoor inlet temperature at 15°C outdoor inlet temperature.

Fig. 10 Evaporator capacity with the variation of indoor inlet temperature at 5°C outdoor inlet temperature.

Fig. 12 Heating capacity with the variation of indoor inlet temperature at 15°C outdoor inlet temperature

COP 및 난방용량은 이코너마이저를 적용하지 않은 경우에 비하여 높게 나타났으며, 소비전력은 증가하였다. 실외열교환기 열원측 입구온도가 15°C 인 경우에 실내열교환기 입구온도 변화에 따른 시스템 성능 변화는 실외열교환기 입구온도가 5°C 인 경우와 유사한 경향을 나타냈다. 특히, 부하측 입구온도가 60°C, 62°C로 증가함에 따라 난방용량과 COP의 상승폭은 증가하여 본 연구의 이코너마이저 적용 열펌프 시스템은 고온수 제조시에

성능 향상 효과가 이코너마이저를 적용하지 않은 시스템에 비하여 매우 큰 것으로 분석되었다.

4. 결 론

난방모드에서 실내열교환기(부하측열교환기) 입구온도가 증가함에 따라 단단사이클은 실내열교환기에서 냉매와 이코너마이저와의 온도차이 감소로 난방용량이 감소하였다. 하지만, 이코너마이

저 적용 인젝션 히트펌프 시스템은 이코너마이저를 통과한 냉매에 의하여 실내열교환기 냉매 순환유량 증가로 인해 용량변화가 미소하였다. 또한, 실내열교환기 입구온도가 증가하여 고온수를 제조하는 경우에 이코너마이저 적용 인젝션 사이클은 이코너마이저를 적용하지 않은 사이클에 비하여 COP 증가율이 증가하는 경향을 나타냈다.

이코너마이저 적용 인젝션 사이클은 열원측인 실외열교환기의 증발온도가 단단 사이클과 유사하게 나타났으나, 이코너마이저에서의 인젝션 냉매와의 열교환에 의하여 과냉도가 증가하여 실외열교환기를 통과하는 냉매유량이 증가하여 열원으로부터 실외열교환기로의 증발열량이 증가하였다.

실외열교환기의 열원측 온도가 변화되어도 실내열교환기 입구온도 증가에 따른 이코너마이저 적용 인젝션 시스템은 이코너마이저를 적용하지 않은 시스템보다 성능이 향상되었다. 따라서, 고온수 제조시에 압축기의 안정성 확보와 성능 향상을 위해서 이코너마이저 적용 시스템을 채용하는 것이 바람직하다.

후 기

본 논문은 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: PJ0084132012)의 지원에 의해 이루어진 것입니다.

참고문헌

1. Esen, H., Inalli, M., Sengur, A., and Esen, M., 2008, Modelling a ground-coupled heat pump system using adaptive neuro-fuzzy inference systems, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 31, pp. 65-74.
2. Roh, C.W., Yoo, J.W., and Kim M.S., 2014, Vapor refrigerant injection techniques for heat pump system: The latest literature review and discussion, *International Journal of Air-Conditioning Refrigeration*, Vol. 22, 1430002.
3. Banasiaka, K., Hafnerb, A., and Andresenb, T., 2012, Experimental and numerical investigation of the influence of the two-phase ejector geometry on the performance of the R744 heat pump, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 35, pp. 1617-1625.
4. Aikins, K. A., Lee, S., and Choi, J.M., 2013, Technology review of two-stage vapor compression heat pump system, *International Journal of Air-Conditioning Refrigeration*, Vol. 21, 1330002.
5. Cao, F., Wang, K., Wang, S., Xing, Z., and Shu, P., 2009. Investigation of the heat pump water heater using economizer vapor injection system and mixture of R22/ R600a. *International Journal of Refrigeration*, Vol. 32, pp. 509-514.
6. Xu, S. and Ma, G. Y., 2011. Research on air-source heat pump coupled with economized vapor injection scroll compressor and ejector. *International Journal of Refrigeration*, Vol., 34, pp. 1587-1595.
7. Roh, C. W. and Kim, M. S., 2011. Comparison of the heating performance of an inverter-driven heat pump system using R410A vapour-injection into accumulator and compressor. *International Journal of Refrigeration*, Vol. 35, pp. 434-444.
8. Zehnder, M., Favrat, D., Hohl, H., Olivier, C., and Perevozchikov, M., 2002. High performance air-water heat pump with extended application range for residential heating. IEA 7th Heat Pump Conference, Beijing, China.
9. Turunen-Saaresti, T., Roytta, P., Honkatukia, J., Backman, J., 2010. Predicting off-design range and performance of refrigeration cycle with two-stage centrifugal compressor and flash intercooler. *International Journal of Refrigeration*, Vol. 33, pp. 1152-1160.
10. International Standard, 1998. ISO 13256-2: Water-source heat pumps-Testing and rating for performance Part 2 Water-to-water and brine-to-water heat pumps.
11. KEMCO, 2008. NR GT 101: Water-to-water ground source heat pump, NRG T, Yongin, The Republic of Korea.