설비공학논문집 제 22 권 제 8 호(2010)/pp. 567-572

전열교환기가 설치된 기류전환형 히트펌프의 동계운전성능에 관한 실험적 연구

장 영 근†
용인송담대학 건축소방설비과

An Experimental Study on the Operating Performance of an Air Shift type Heat Pump with Heat Exchanger

Young Keun Jang†
Department of Architecture and Fire-protection equipment, Yongin Songdam College, Yongin 449-710, Korea

(Received February 2, 2010; revision received June 21, 2010)

ABSTRACT: Air shift type heat pump is combined heat recovery ventilator and refrigerator, and it is installed an air shifter changing air flow. And so it is an perfect AHU(Air Handling Unit) capable to cooling, heating, ventilation and heat recovery. Therefore, an experimental study has been carried out to investigate the operating performance in winter for this system. An experimental data are room temperature, inlet/outlet temperature of condenser, evaporator and heat exchanger. They have been measured as the variation of outdoor temperature. The results, in case of rising above freezing, the air shift type heat pump system is operated normally, and the heating COP is 3.0～4.2 by varying outdoor temperature from -3℃ to 15℃.

Key words: Air shift type heat pump(기류전환형 히트펌프), Heat recovery(폐열회수), Air shifter (기류전환장치), Ventilation(환기), Heating(난방)

기 호 설 명

AF : 에어필터
DT_OA : 외기의 열교환기 입·출구 온도차 [℃]
DT_RA : 내기의 열교환기 입·출구 온도차 [℃]
DT_RA－OA : 내기와 외기의 온도차 [℃]
EA : 히트펌프에서 외기로 배출되는 배기
HX : 열교환기
OA : 히트펌프로 유입되는 외기
RA : 히트펌프로 유입되는 실내공기(내기)
SA : 히트펌프에서 실내로 공급되는 급기
T_{-cond} : 응축기 온도 [℃]
T_{-evap} : 증발기 온도 [℃]

하첨자

in : 입구
out : 출구

† Corresponding author
Tel.: +82-31-330-9345; fax: +82-31-330-9349
E-mail address: *ykjang@ysc.ac.kr*

1. 서 론

최근에 실내에서 생활하는 시간이 증가하면서 실내의 유해성 화학물질에 노출되어 건물 거주자의 약 20% 이상이 실내 공기질 저하에 따른 건물 증후군으로 고통을 받고 있다. 이러한 현상을 해결하기

위하여 실내공기만을 순환시켜 실내공기를 깨끗하게 하는 공기청정기가 많이 보급되어 사용되고 있다. 그러나 이것은 실내 오염이 심각한 경우에는 공기 청정 능력이 떨어지는 문제점이 있다.[1,2] 또한, 1개의 기계로 냉난방이 가능한 시스템에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 수요에 맞추어 냉동기의 냉매를 역사이클로 운전하여 냉난방이 가능한 히트펌프 기술이 시스템에어컨으로 상용화되어 많이 설치되고 있다. 그러나 이것도 동계 증발기 결상으로 인한 운전저하 및 보조열원으로 전기히터를 사용함으로써 에너지 효율성 저하의 문제가 심각하다.[3,4]

따라서 이와 같은 문제점들을 해결하기 위하여 위에서 제시한 2개의 시스템을 혼합하여 열교환과 동시에 외기를 도입하여 냉동사이클을 역사이클로 운전하지 않고서도 기류전환으로 1대의 기계로 냉난방, 외기도입 환기 및 열교환을 통한 에너지를 절약할 수 있는 신제품 개발이 절실히 필요하다.

본 연구에서는 기존의 전열교환 환기유닛과 냉동기를 일체화시켜 외기 및 환기가 도입되는 유입구 부분과 급기 및 배기를 시키는 유출구 부분에 기류방향을 전환시킬 수 있는 댐퍼를 설치하여 냉동기를 역사이클로 운전하지 않고 기류전환으로 계절에 따라 냉난방 및 동시에 외기도입이 가능한 기류전환형 히트펌프를 개발하여 겨울철 외기온도 변화에 따른 시스템의 운전특성에 대하여 실험적으로 고찰하였다.

2. 실 험

2.1 실험장치

실험장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 기류를 분리하여 이동시킬 수 있는 유동통로가 중앙 분리막으로 분리되어 2개의 채널형태로 긴 유동통로가 설치되어 있고, 유동통로의 중앙에 온도가 서로 다른 외기와 환기를 열교환시킬 수 있는 열교환기가 설치되어 있다.

열교환기를 기준으로 좌측에는 공기를 유입시킬 수 있는 유입덕트(RA, OA)가 연결되어 있고, 유입덕트를 지나서 환기(RA)와 외기(OA)의 기류방향을 전환시킬 수 있는 유입기류 전환장치가 설치되어 있다. 열교환기 우측 유동통로에는 냉동 사이클의 압축기가 하단부에 설치되어 있고, 증발코일과 응축코일이 2개의 유동통로에 각각 설치되어 냉기와 온기를 발생시킨다. 2개의 코일을 지나서 공기를 이

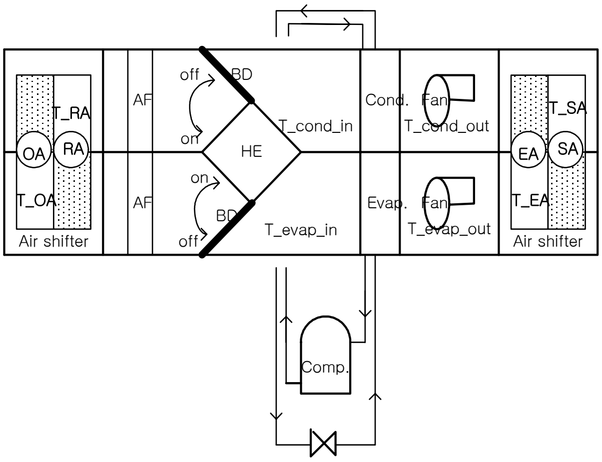


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

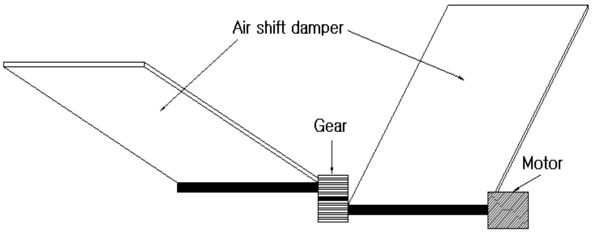


Fig. 2 Detail diagram of an air shifter.

Photo 1 Air shift type heat pump.

송할 수 있는 팬이 각각 설치되어 있고 냉동사이클에서 발생한 냉기와 온기를 계절에 따라 급기(SA), 배기(EA)를 할 수 있는 유출덕트가 연결되어 있고, 유출덕트 내에 기류방향을 전환시킬 수 있는 유출기류전환장치가 설치되어 있다. Photo. 1은 본 실험에서 사용한 기류전환형 히트펌프이며, Photo. 2는 기류전환장치이다.

냉동사이클의 압축기는 0.75 kW의 소형왕복동식을 사용하였으며, 기타 부속장치는 압축기 용량에

Photo. 2 An installed air shifter.

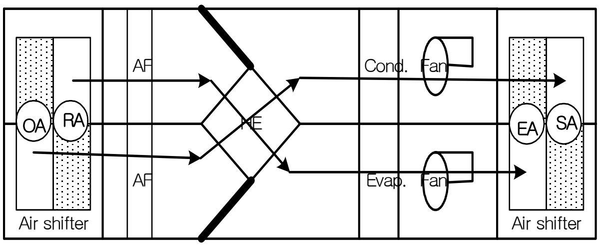
맞도록 선정하였다. 또한, 외기온도가 낮은 경우에 증발기 열원 보충 및 결상을 방지하기 위하여 증발압력의 신호를 받아서 자동으로 작동할 수 있는 0.5 kW 용량의 전기히터를 증발기 전면부에 설치하였고, 열교환기의 양쪽 측면에 바이패스댐퍼(BD)를 설치하여 혹한기에 환기를 외기와 열교환을 하지 않고 증발기의 증발열원으로 사용할 수 있도록 하였다. 급기 팬은 600 CMH의 소형 시로코팬을 사용하였고, 기류전환장치는 Fig. 2에서 알 수 있듯이 얇은 판에 축을 연결하여 모터로 운전조건에 따라 좌우로 움직여서 기류방향을 전환시킬 수 있도록 하였다.

온도는 측정범위가 -200℃에서 1370℃이고 정확도가 ±0.05℃인 K-type 열전대와 Almemo 2590-9 모델의 data logger를 이용하여 측정하였다. K-type 열전대의 온도 교정은 총 20개의 열전대를 만들어서 동일 항온조에 넣고 표준 막대온도계를 이용하여 얼음의 융해온도인 0℃에서 교정을 실시하였다. 풍속은 측정범위가 0.3 m/s에서 20 m/s이고 정확도가 ±0.1 m/s인 터빈 풍속센서와 Almemo 2590-9모델의 data logger를 이용하여 측정하였다.

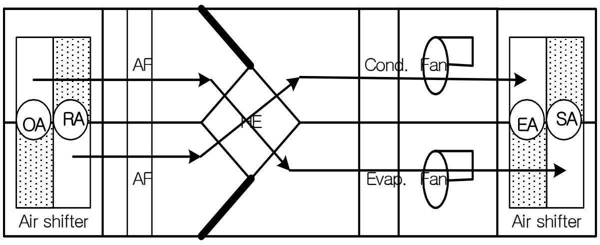
2.2 실험방법

기류전환형 히트펌프를 L8 m×W3.3 m×H2.7 m인 실내에 설치한 후 덕트를 이용하여 OA와 EA는 실외로 연결하고, RA와 SA는 실내에 설치하여 실내온도를 조절할 수 있도록 하였다. Fig. 3의 기류 흐름도 (a)에서와 같이 겨울철 난방운전을 할 경우에 OA와 RA 덕트를 통하여 외기와 환기가 유입 기류전환장치로 유입되어 열교환기를 통하여 현열을 교환한 후 OA는 응축기를 통과하면서 응축방열량으로 가열되어 SA 덕트를 통해 실내에 급기 되어 난방을 수행하고, RA는 증발기를 통과하면서 증발열원을 공급하고 EA 덕트를 통해 실외로 배기된다. 여름철 냉방운전인 경우에는 Fig. 3의 (b)에서와 같이 기류전환장치가 작동하여 RA 덕트로 유입된 환기는 응축기를 거쳐서 EA 덕트를 통해 실외로 배기되고, OA 덕트로 유입된 외기는 증발기를 거쳐서 SA 덕트를 통해 실내로 급기된다. 이와 같이 시스템을 운전함으로써, 신선한 외기로 실내를 냉·난방을 할 수 있기 때문에 난방과 동시에 외기도입 환기효과 및 냉방과 동시에 외기도입 환기효과를 얻을 수 있으므로 실내공기 청정도를 높일 수 있다. 또한, 환기를 증발기의 열원으로 활용함으로서 겨울철 외기의 온도에 영향을 안 받고 증발기의 증발열원을 확보할 수 있다.

실험은 동계 날씨변화에 따라 달라지는 외기온도 및 실내온도에 따라 실험조건을 달리하여 수행하였다. 외기온도는 -3~15℃, 실내온도는 12~17℃정도의 온도범위에서 기류전환형 히트펌프를 운전하면서 열교환기 입·출구, 증발기/응축기 입·출구,



(a) Heating mode



(b) Cooling mode

Fig. 3 Air flow diagram.

덕트 주요부 및 실내외 온도를 측정하여 실험결과를 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 4는 시스템의 급배기 풍량이 600 CMH(m^3/h)인 경우에 외기온도가 -3℃ 정도로 낮은 경우에 열교환기 입・출구에서 환기 및 외기온도와 증발기/응축기 출구온도 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 -3℃의 외기를 기류전환장치로 유입하여 실내공기와 열교환기를 통하여 열교환을 한 후에 응축기로 유입되어 응축방열량으로 온기가 되어 실내로 급기된다.

기존 열펌프시스템과는 다르게 온도가 낮은 신선한 외기를 응축기에 통과시켜 환기를 시키면서 동시에 난방을 할 수 있다. 외기온도가 -3℃로 유입되어 실내공기와 열교환기를 통하여 열교환하여 9℃ 정도로 온도가 상승한 후에 응축기를 통과하면서 응축방열량으로 온도가 30℃ 정도로 상승하여 실내로 급기된다. 외기온도가 -3℃로 낮은 경우에 실내로 급기되는 응축기 출구온도가 30℃로 낮아서 실내온도는 18℃ 정도로 낮지만 신선한 외기로 환기를 하면서 동시에 난방을 하는 것으로 실내를 쾌적한 상태로 유지할 수 있다면 에너지를 절약하는 측면에서 기류전환형 히트펌프의 난방과 동시에 환기 효과를 얻기에 충분히 가능하다.

Fig. 4는 외기온도가 영하로 낮아서 전반적으로 온도분포가 균일하지 못하지만 Fig. 5~Fig. 7에서 볼 수 있듯이 외기온도가 영상으로 상승한 경우에는 시스템 각부의 온도가 균일해지며, 어느 정도 시간이 지나면 시스템이 정상상태로 안정되게 운전되는 것을 알 수 있다. 또한, 외기온도가 높을수록 급기온도분포가 균일해지며, 안정적인 운전이 되며, 실내온도를 겨울철 난방에 적합한 20℃ 이상으로 유지한다.

이와 같이 기류전환장치를 통하여 열교환기 입구로 유입된 외기는 반대편 기류전환장치를 통하여 열교환기 입구로 유입된 환기와 열교환하여 온도가 상승하고 환기는 온도가 내려간다. 열교환으로 온도가 상승한 외기는 응축기 입구를 거쳐 응축기로

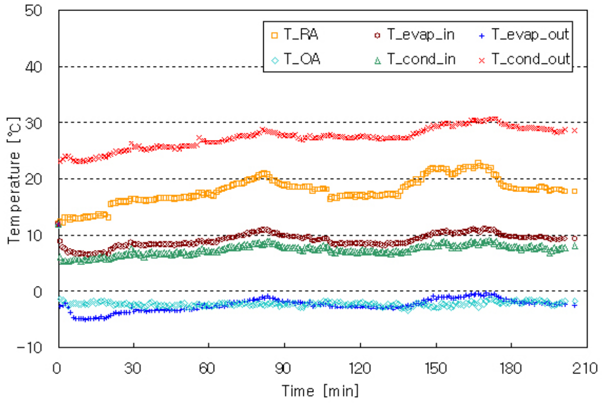


Fig. 4 Temperature profiles for T_OA = -3℃.

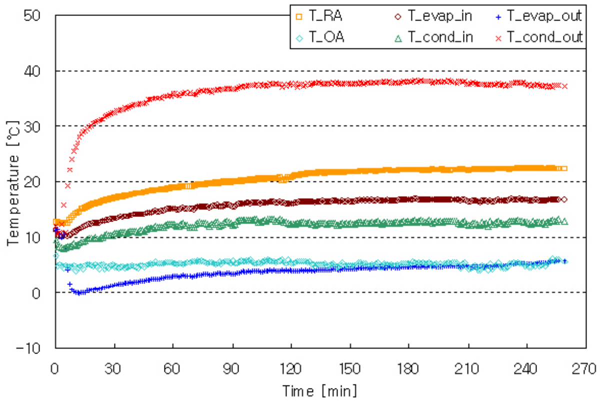


Fig. 6 Temperature profiles for T_{OA} = 5℃.

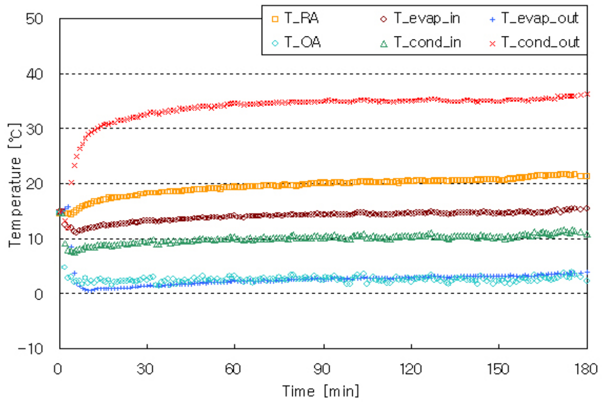


Fig. 5 Temperature profiles for T_OA = 2.6℃.

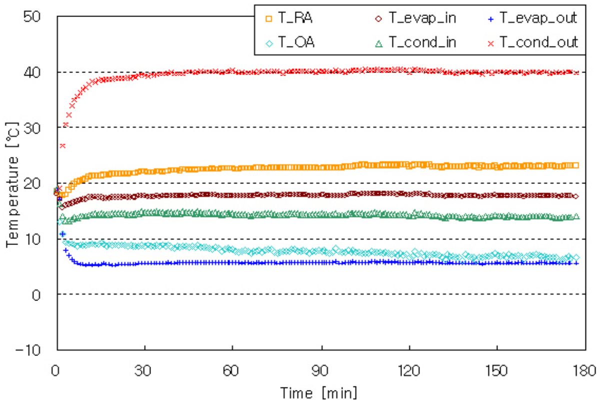


Fig. 7 Temperature profiles for T_{OA} = 7.6℃.

들어가서 응축방열량으로 온도가 상승한 후에 응축기 출구온도로 실내로 급기 되어 실내를 난방한다. 온도가 내려간 환기는 증발기 입구를 거쳐 증발기로 유입되어 온도가 더 내려간 후에 증발기 출구온도로 실외로 배기된다. 이러한 기류전환형 히트펌프의 특징은 외기가 실내로 급기 되고, 실내 오염된 공기인 환기는 열교환기로 열을 회수시킨 후에 실외로 배기된다. 이와 같이 함으로써 겨울철에 환기를 하면서 동시에 난방을 할 수 있다.

Fig. 4~Fig. 7에서 알아본 바와 같이 외기온도가 영하로 아주 낮게 내려가지만 않는다면 기류전환형 히트펌프로 겨울철에 실내를 신선한 외기로 환기를 하면서 동시에 적정한 온도로 난방이 가능한 것으로 평가된다.

Fig. 8은 외기온도 변화에 따른 열교환기 입・출구 온도변화를 나타낸 것으로 열교환기로 유입되는 외기와 환기가 열교환하여 온도가 얼마만큼 변하는지를 알 수 있다. 그림에서 알 수 있듯이 외기온도가 낮을수록 열교환기 입・출구 온도변화가 크고, OA의 온도변화가 RA의 온도변화보다 높게 나타나고 있다. 이것은 기류전환형 히트펌프를 설계하면서 압축기에서 발생하는 열을 효과적으로 이용하기 위하여 압축기를 응축기 측의 하단부에 설치하여 겨울철에는 압축기 배열이 실내로 급기되는 OA에 전달되어 난방효과를 높일 수 있도록 하였고, 여름철에는 실외로 배기되는 RA에 전달되어 냉방부하를 감소시킬 수 있도록 시스템 내부를 구성하였기 때문에 외기온도가 낮을수록 압축기 배열을 많이 회수하고, 압축기가 설치되어 있는 통로를 통과하는 OA가 압축기 배열을 더 많이 회수함으로써 OA의 열교환 온도차가 RA보다 높게 나타나고 있다.

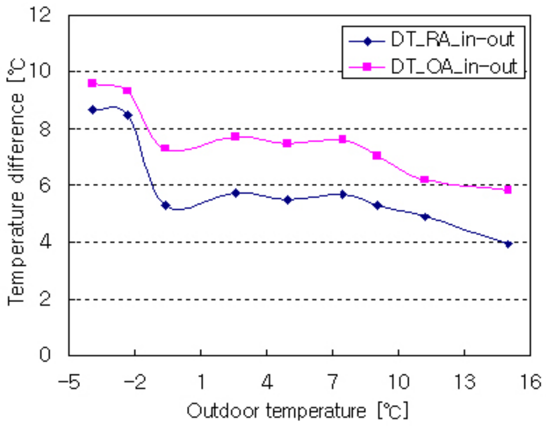


Fig. 8 Temperature difference between HX_in and HX_out due to variation of T_OA.

Fig. 9는 환기와 외기와의 온도차에 따른 열교환기 입・출구 온도변화를 나타낸 것으로 그림에서 볼 수 있듯이 환기와 외기의 온도차가 클수록 열교환기 입・출구 온도변화가 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 환기와 외기와의 온도차가 증가할수록 외기온도가 낮게 되고, 외기온도가 낮을수록 Fig. 8에서 살펴본 바와 같이 압축기 배열을 많이 회수할 수 있기 때문에 열교환기 입・출구 온도변화가 높게 나타나는 것과 같은 경향을 나타낸다.

Fig. 10은 열교환기 성능을 파악하기 위하여 열교환기 입구로 유입되는 RA와 OA의 온도차에 대한 실내로 급기되는 OA의 열교환기 입・출구 온도변화로 정의되는 온도효율을 분석한 것으로, 그림에서 볼 수 있듯이 외기온도 변화에 따라 열교환기의 온도효율이 일정한 것을 알 수 있다. 이것은 Fig. 8, Fig. 9에서 외기온도가 낮을수록 열교환기 입・출구 온도변화가 크게 나타나는 것과는 다르게

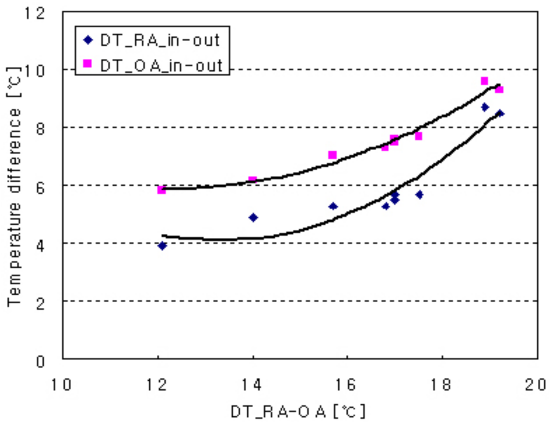


Fig. 9 Temperature difference between HX_in and HX_out due to DT_RA-OA.

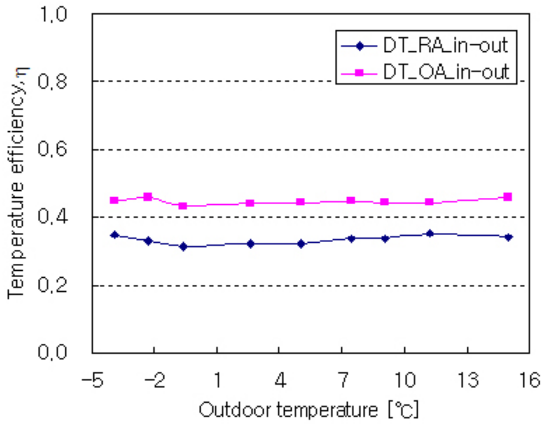


Fig. 10 Temperature efficiency due to variation of T_OA.

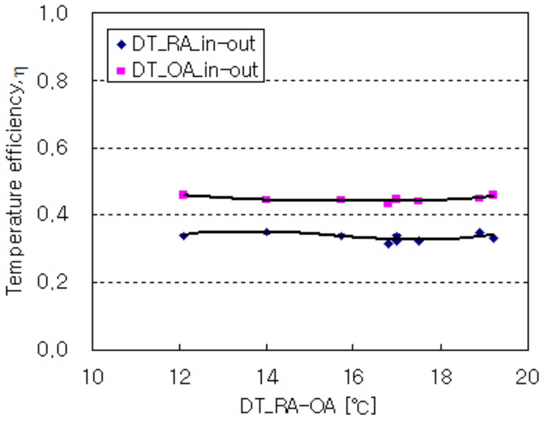


Fig. 11 Temperature efficiency due to variation of DT_RA-OA.

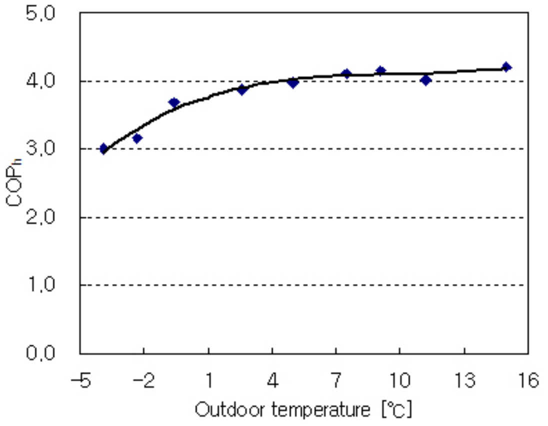


Fig. 12 The COP_h due to variation of T_OA.

열교환기의 온도효율은 38~45% 정도로 일정하다.

Fig. 11은 열교환기 입구로 유입되는 외기와 환기의 온도차에 따른 열교환기 온도효율을 나타낸 것으로 Fig. 10과 동일하게 열교환기의 온도효율이 일정하게 변화하고 있으며, 외기의 온도효율이 약간 높게 나타나고 있다. 이것은 열교환기의 온도효율의 기준이 되는 열교환기 입구로 유입된 외기와 환기의 온도차에 대하여 열교환기를 통하여 외기의 온도변화가 높게 나타나고 있기 때문이다.

Fig. 12는 외기온도 변화에 따른 시스템의 난방시 성적계수(COP_h)를 나타낸 것으로 외기온도가 영하로 낮은 경우의 COP_h는 4이하로 낮게 나타나지만 외기온도가 영상으로 증가하면서 난방 COP_h의 값이 4.2정도로 일정한 것을 볼 수 있다. 이것은 외기온도가 영하로 낮게 내려가면서 시스템의 증발기 흡열량의 부족과 증발기 결상 및 전체적인 시스템의 저압화로 응축기 압력이 저하되어 실내로 방열되는 열량이 감소되었기 때문이다.

4. 결 론

전외기로 난방함으로써 항상 쾌적한 실내환경을 유지할 수 있는 기류전환형 히트펌프의 동계운전특성을 파악하기 위하여 수행한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 겨울철에 외기온도가 -3℃ 정도로 낮은 경우에도 기류전환형 히트펌프로 실내를 적정한 온도로 난방을 하면서 동시에 신선한 외기로 환기를 할 수 있기 때문에 실내공기 청정도를 높일 수 있다.

(2) 겨울철에 압축기 배열을 이용할 수 있도록 압축기를 시스템 내부의 응축기측에 가깝게 설치하여 외기온도가 낮을수록 압축기 배열의 영향이 크기 때문에 열교환기 입・출구 온도변화가 크고, OA의 온도변화가 RA의 온도변화보다 높게 나타나고 있다.

(3) 외기온도 변화에 상관없이 열교환기 온도효율은 38~45% 정도로 일정하다.

(4) 외기온도가 -3℃~15℃의 경우 난방 COP 값은 3.0~4.2정도의 값을 나타내었다.

참고문헌

1. Kim, D. H., Lee, J. K., Hwang, Y. J., Park, J. H., and Seo, S. J., 2009, Analysys of comfortable environment in the classroom with humidification and ventilation in winter, Korean Journal of the Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 7, pp. 402-408.
2. Christensen, N. K., Berglund, B., Lindvall, T., and Sundell, J., 1984, Building Ventilation and Thermal Climate, Air movement and Draught Indoor Air, Stockholm Swedish Council for Building Research, Vol. 5, pp. 301-308.
3. Kwon, Y. I., Han, H. T., Kim, K. H., Chung, B. Y., and Lee, G. G., 2005, A study on the evaluation of air change efficiency of multi air conditioner with ventilation system for heating season, Korean Journal of the Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 17, No. 1, pp. 56-61.
4. Seo, P. H., Koh, J. Y., and Park, Y., 2009, Energy and economic analysis of heat recovery cogeneration loop integrated with heat pump system by detailed building energy simulation, Korean Journal of the Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 21, No. 2, pp. 71-78.