

핀-관, 평행류 열교환기를 적용한 공조기의 냉방성능 실험연구

권영철^{1*}, 박윤창², 권정태³, 박경만¹

¹선문대학교 기계공학과, ²선문대학교 정보통신공학과, ³호서대학교 기계공학과

Experimental Study on Cooling Performance of A/C applied Fin-tube and PF Heat Exchangers

Young -Chul Kwon^{1*}, Yoon -Chang Park², Jeong -Tae Kwon³
and Gyung-Man Park¹

¹Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University

²Department of Information and Communication Engineering, Sunmoon University

³Department of Mechanical Engineering, Hoseo University

요약 본 연구에서는 핀-관 열교환기와 평행류(PF) 열교환기를 실외 열교환기로 적용한 공조기의 실내의 온도/습도와 같은 환경변화에 대한 냉방성능을 비교 조사하고자 하였다. KS C 9306의 냉방표준 온도조건을 기준으로 핀-관, 2종류의 PF 열교환기를 적용한 공조기 성능변화를 이해하기 위하여 냉방능력과 COP를 획득하였다. 실험을 위해 공기엔탈피 방식의 칼로리미터를 사용하였다. PF 열교환기는 핀-관 열교환기보다 우수한 열전달 능력을 보였다. 그리고 사각형 핀을 적용한 PF형 공조기의 성능이 삼각형 핀의 경우보다 우수하였다. 실내 토출공기의 유속, 실내온도 그리고 실내상대습도가 높아질수록 냉방능력과 COP는 증가를, 실외온도가 높아질수록 냉방능력과 COP는 감소를, 그러나 실외 상대습도 증가에 따른 성능변화는 미미하였다.

Abstract In the present study, the cooling performance characteristics on environment changes of A/C applied fin-tube and PF heat exchangers were experimentally investigated. Capacity and COP on an air velocity, an indoor/outdoor temperature and an indoor/outdoor relative humidity were obtained. Fin types of PF heat exchanger were a triangler and squarer form. The experimental data for the three kinds of heat exchangers were measured using the air-enthalpy calorimeter. Performance of PF A/C was more excellent than that of a fin-tube A/C. Also, the performance of PF-2 A/C with the squarer fin was more excellent than that of PF-1 A/C with the triangler fin. As the air velocity, the indoor temperature and the indoor relative humidity increase, capacity and COP increase. And as outdoor temperature increases, capacity and COP decrease. But, the performance change on the outdoor relative humidity was insignificant.

Key Words : Heat exchanger, A/C, Fin-tube, Parallel flow(PF), Environment Condition, Capacity, COP(Coefficient of Performance)

1. 서론

최근 공조기의 에너지소비효율 규제를 강화함에 따라 업계는 공조기의 성능 및 에너지 소비효율 향상을 위해

노력하고 있다.[1] 산업의 발달과 삶의 질적 향상에 대한 인간의 욕구가 증가되면서 공조시스템은 가정 및 산업 전반에 걸쳐 사용이 증가되고 있다. 에너지의 급격한 수요 증가로 에너지 부족 현상이 야기됨에 따라 에너지를 효율적으로 이용하고 재료비를 절감하기 위한 열교환기

본 논문은 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과의 일부임.

*교신저자 : 권영철(yckweon1@sunmoon.ac.kr)

접수일 09년 06월 10일

수정일 09년 08월 05일

게재확정일 09년 08월 19일

고효율화, 소형화 연구는 그동안 꾸준히 수행되고 있다.

가정용 공조기에는 주로 핀-관 열교환기가 사용되고 있다. 핀-관 열교환기는 기계적인 확관에 의해 접합되어 접촉열저항이 존재한다. 또한 후류에 의한 유동저항 증가로 열전달 성능의 저하가 나타난다. 열교환기 공기측의 열저항은 매우 크므로, 공기측의 열전달성능을 향상시키기 위해 열전달면적 증가, 난류유발, 열경계층을 이용한 파형핀, 루버핀, 슬릿핀 등의 다양한 핀 형상이 개발되었으며, 냉매측도 관내 열전달면적 증가 및 유동 난류화를 위한 마이크로핀, 그로브핀 개발과 관경의 소구경화 등 열교환기의 전체성능 향상을 위한 연구가 상당히 진전되어 더 이상의 뚜렷한 향상은 기대하기 어려운 실정이다.

최근 열교환기의 성능향상을 위해 미세유로를 가진 평행류(parallel flow, PF) 열교환기를 공조기에 적용하고 있다. PF 열교환기의 냉매측 수력직경은 작고 공기측의 열유동 특성은 기존의 핀-관 열교환기보다 우수하다. 또한 핀과 평판관을 브레이징하므로 접촉저항도 배제할 수 있어 소형 고성능 열교환기 개발을 위해 연구가 진행 중이다.[2-5]

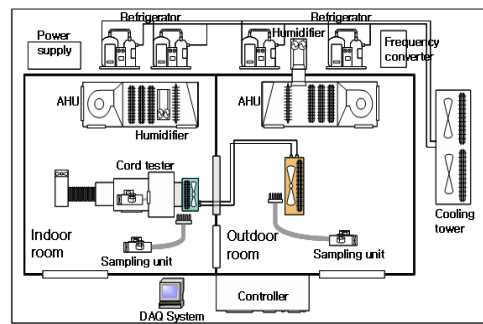
Webb과 Jung[6] 그리고 Bae와 Han[7]은 알루미늄 열교환기를 가정용 열교환기에 적용한 시험으로부터 핀-관 열교환기에 비해 성능이 크게 향상됨을 제시하였다. Kim 등[8]은 평판관형 알루미늄 열교환기의 단품 및 공조기의 응축기로 적용한 시스템의 성능시험을 수행하여 50%정도의 체적축소에서도 동일한 성능을 제공함을 보였다. Cho 등[9]은 알루미늄 열교환기의 중대형 에어컨 적용 시험을 수행하여 열교환기 체적이 기존 핀-관 열교환기에 비해 약 40% 축소되어도 동일한 냉방능력을 얻을 수 있다고 보고하기도 하였다.

전술된 것처럼, 그동안 기존 연구들은 PF 열교환기 또는 PF 열교환기를 적용한 공조기 성능의 우수성을 제시하기 위한 방향으로 수행되어 왔다. 그러나 공조기는 다양한 환경조건에서 작동되므로 환경변수에 따른 연구가 필요하지만, 실내의 환경변수의 변화에 따른 연구는 거의 수행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 기존 핀-관 열교환기와 알루미늄 PF 열교환기를 적용한 공조기의 성능을 여러 실내의 운전환경 조건에 따라 비교 평가하고자 하였다. 이를 위해 동일한 전면면적을 가지는 핀-관 열교환기, 그리고 삼각형 및 사각형 형태의 2종의 PF 열교환기의 형상에 따른 3종의 공조기 능력과 COP를 조사하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험연구는 핀-관 및 2종류의 PF 열교환기를 가정용 공조기의 실외 열교환기에 적용한 후에, 실내의 환경변화에 따른 공조기의 성능을 비교하기 위해 온습도 조절이 가능한 칼로리미터(그림 1)를 사용하였다. 공조기의 성능은 풍량측정장치에 의해 실내기 입구측 공기온도, 토출부 풍량과 온도를 측정한 후 KS C 9306에 규정된 방법으로 산출하였다.[10] 칼로리미터의 건/습구온도는 설정값의 허용범위($\pm 0.2^{\circ}\text{C}$) 내에서 유지되어 제어된다.



[그림 1] 향온향습 칼로리미터 개념도

실험에 사용된 칼로리미터는 온습도 조절이 가능한 향온향습 챔버로 냉동기, 가열기 및 가습기 등으로 구성되어 있어, 실내의 온습도를 일정한 상태로 제어할 수 있다. 성능측정부는 흡입형의 코드레스터로 향온향습 챔버 내에 설치되어 있으며 실내기를 통과한 공기풍량, 온습도를 측정함으로써 공조기 능력을 계산할 수 있다. 실내측 풍량측정장치에서 발생된 공기온도 및 풍량 신호는 디지털 기록계로 보내어지고 GPIB 통신을 통해 컴퓨터에 입력되어 능력계산이 이루어진다.

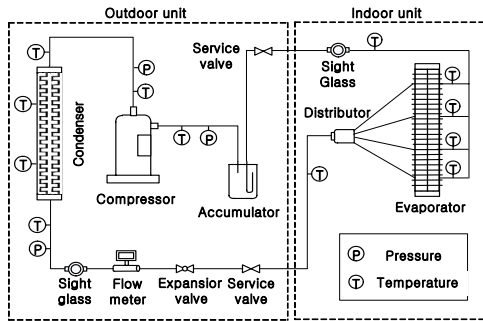
본 연구를 위해 8kW급(정속형 압축기) 정격 냉방능력의 공조기를 구성하였다(그림 2). 실외 열교환기의 전면면적은 동일하며 PF 열교환기 체적은 핀-관 열교환기에 비해 약 35% 정도 적다. 그림 3은 핀-관 열교환기와 핀형상을 그림 4는 PF 열교환기 외관구조, 평판관, 그리고 PF-1, 2의 핀구조를 보여준다. 표 1은 본 연구에 사용된 열교환기의 사양을 보여준다. FT는 핀-관 열교환기를 2종류의 PF 열교환기는 핀의 형태에 따라 PF-1과 PF-2로 나타내었다.

[표 1] 열교환기 사양 (mm)

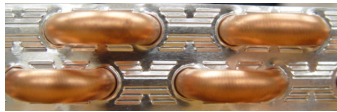
	Fin-tube(FT)	PF-1	PF-2
Fin type	slit	louver	
Fin shape	plate	triangular	square
Heat exchange size	805*75 (W*H)		
Fin pitch	1.25	2.35	
Fin width	25	16	
Tube size	∅7	16 × 1.87	
Tube pitch	21	7.4	
Row	2	1	

2.2 실험방법

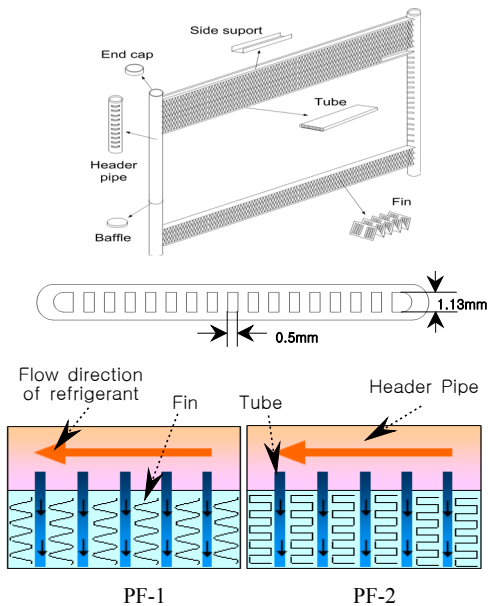
3종 열교환기는 공조기의 실외 응축 열교환기로 사용되었으며, 성능비교 실험은 표 2에 기술된 냉방표준 온도 조건 하에서 실내기 토출유속, 실내외 온도 그리고 실내외 상대습도를 변화하면서 수행되었다. 시스템 압력을 측정하기 위해 압축기의 입출구측에 오차범위 ±1% 이내의 압력계를, 과열도 조정을 위해 수동팽창밸브를, 응축기와 증발기의 각 패스와 입출구부 그리고 압축기와 수동팽창밸브의 입출구부에 열전대를 부착하였다. 시스템의 과열도는 수동팽창밸브의 개도조절을 통해 제어하였고, 시스템 과열도가 4℃일 때 데이터를 수집하였다. 시스템의 적정 냉매량을 확인하기 위해 냉매량을 50g씩 증량하면서 냉방능력과 COP 변화를 확인하였다. PF형 공조기의 적정 냉매량은 핀-관 공조기 대비 14.7% (PF-1)와 20% (PF-2)정도 적었다. COP는 냉방표준 온도조건에서의 공조기의 성능실험을 통해 획득한 냉방능력을 시스템의 소비전력으로 나눈 값이다. 본 논문에서 사용한 소비전력은 실내기 팬, 실외기 팬 그리고 압축기의 소비전력을 모두 포함한 값이다.



[그림 2] 본 연구에 사용된 공조기 실내/실외 개념도



[그림 3] 핀-관 열교환기와 핀형상



[그림 4] PF 열교환기 외관도, 평판관, 개념도

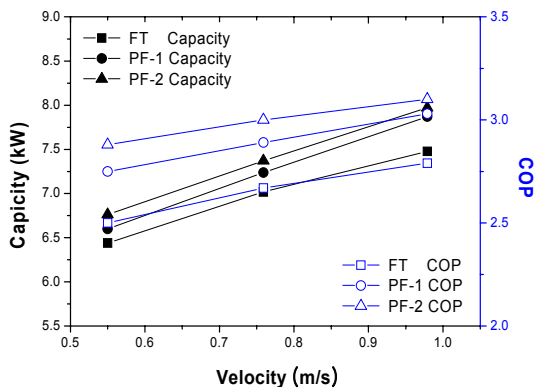
[표 2] 실험조건

Room temperature (℃)	Indoor	27(DB)/19.5(WB)
	Outdoor	35(DB)/24(WB)
Velocity (m/s)	0.55, 0.75, 0.95	
Temperature (℃)	Indoor	21, 24, 27, 32
	Outdoor	21, 29, 35, 43
Relative humidity (%)	Indoor	40, 50, 60, 70
	Outdoor	30, 40, 50, 60

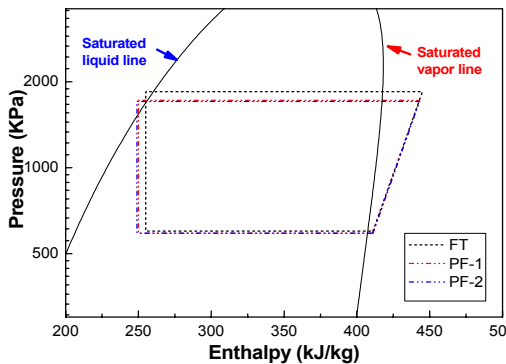
3. 실험결과 및 고찰

그림 5는 실내기 토출공기의 유속변화에 따른 냉방능력과 COP이다. 유속이 증가할수록 핀-관, PF-1 그리고 PF-2 열교환기를 적용한 공조기의 냉방능력은 각각 16.2%, 19.3% 그리고 17.9%로 거의 선형적으로 증가하였다. 본 연구의 실험범위 내에서 공기유속이 증가하면 증발기와 실내 유입공기와의 열전달이 활발하게 이루어지므로 공조기의 냉방능력은 증가하게 된다. 냉방능력은 PF 열교환기를 적용한 공조기가 핀-관 열교환기를 적용한 공조기보다 더 크다. 이는 PF 열교환기의 관이 미세채널로 이루어져 관내측 단위 면적당 열전달면적이 핀-관 열교환기보다 매우 크며 또한 단위체적당 열교환 능력이 크기 때문이다. 또한 핀-관 열교환기는 관의 구조적인 특성으로 공기유동에 의한 후류의 발생으로 열전달 감소효

과가 나타난다. 그러나 PF 열교환기의 관은 얇은 평판형상(두께 1.8mm, 표 1)이며 관의 전후면은 유선형으로 핀-관 열교환기의 관후면 보다 후류에 의한 영향이 크게 감소되어 PF 열교환기의 열전달능력이 향상되게 된다. 한편, 실내태출 공기의 유속증가는 팬 회전수와 관계가 있으므로 팬의 소비전력은 늘어나게 되고, 또한 열전달능력 향상에 따라 증발기 후단의 과열도도 커지게 된다. 따라서 압축기 출구온도는 상승하고 체적효율은 저하하여 압축기 소비전력은 증가하였다. 그 결과, 핀-관, PF-1 그리고 PF-2 열교환기를 적용한 공조기의 COP는 각각 11.6%, 10.2% 그리고 7.6% 증가하였다.



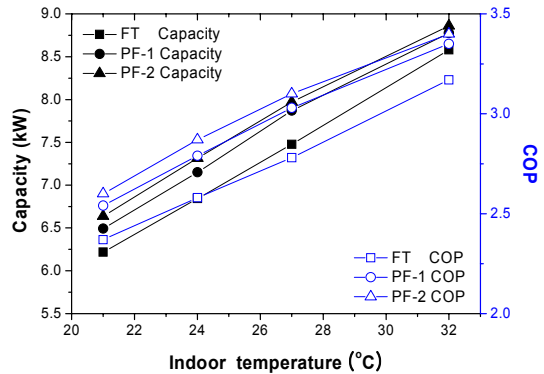
[그림 5] 실내기 토출공기 유속 변화에 따른 능력과 COP



[그림 6] 냉방표준 온도조건에서 P-h 선도

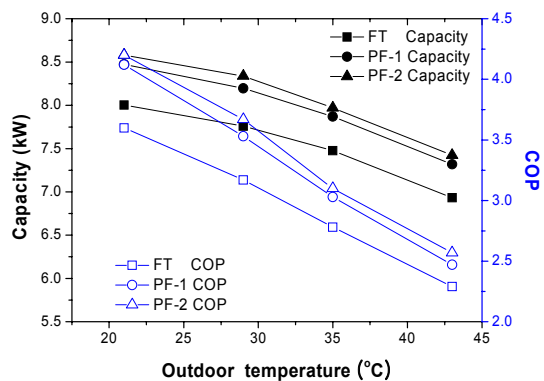
핀-관 열교환기를 적용한 공조기와 PF 열교환기를 적용한 공조기의 사이클 특성을 이해하기 위하여 냉방표준 조건에서 3종류 공조기의 P-h를 조사하여 그림 6에 나타내었다. 핀-관 열교환기를 적용한 공조기에 비해 PF 열교환기를 적용한 공조기의 응축압력은 핀-관 열교환기 적용 공조기에 비해 각각 PF-1 열교환기를 적용한 경우에 약 6.8%를 PF-2 열교환기를 적용한 경우에 약 7.5% 정도 감소하였다. 그러나 증발압력은 약 0.5% 이내로 변

화가 미미하였다. 공조기 냉방사이클에서 응축압력의 감소는 압축기의 압력비 감소로 이어져 압축기 소비전력이 감소한다. 즉, PF 열교환기 장착 공조기의 냉방능력은 핀-관 열교환기 장착 공조기보다 증가하며 소비전력은 상대적으로 감소하여, 그 결과 COP는 향상되게 된다.



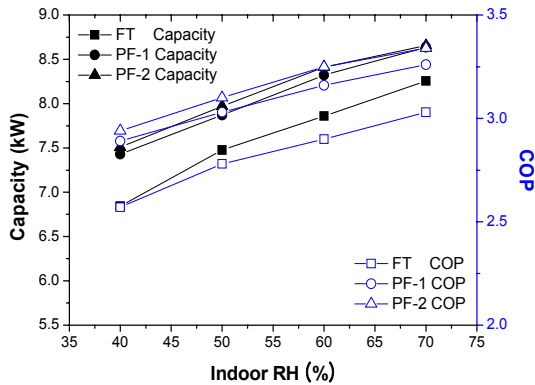
[그림 7] 실내온도 변화에 따른 능력과 COP

그림 7은 실내 온도변화에 따른 냉방능력과 COP이다. 실내온도가 높아질수록 핀-관, PF-1 그리고 PF-2 열교환기를 적용한 공조기의 냉방능력은 각각 37.9%, 35.2% 그리고 33.5%, COP는 33.8%, 31.9% 그리고 30.8% 증가하였다. 이는 실내온도 변화로 냉매 증발온도와 유입공기의 온도차가 증가하여 열전달능력이 향상되었기 때문이다. 소비전력은 거의 선형증가를 하였으나, 냉방능력 증가율에 비해 소비전력 증가율이 다소 크게 나타나 COP 증가율은 차츰 둔화하였다. 한편, 사각형 핀(PF-2)이 적용된 PF형 공조기가 삼각형 핀(PF-1)보다 성능측면에서 효과적임을 보여준다. 이는 PF-1 열교환기의 핀은 나사산 모양으로 핀과 관이 선(line) 접촉을 하는 반면 PF-2 열교환기는 오목볼록 모양으로 핀과 관이 면(area) 접촉을 하기 때문이다.



[그림 8] 실외온도 변화에 따른 능력과 COP

그림 8은 실외 온도변화에 따른 냉방능력과 COP이다. 실외온도가 높아질수록 핀-관, PF-1 그리고 PF-2 열교환기를 적용한 공조기의 냉방능력은 각각 13.4%, 13.6% 그리고 13.5%, COP는 36.4%, 40.1% 그리고 38.8% 감소하였다. 이는 실외온도 변화로 실외기의 응축온도와 유입공기의 온도차가 줄어들어 열전달 능력이 감소되었기 때문이다. 실내 온도변화 결과와는 달리 소비전력은 크게 감소하여 실외온도가 증가할수록 능력 증가율에 비해 소비전력 증가율이 크게 나타나 COP가 급격히 감소하였다.

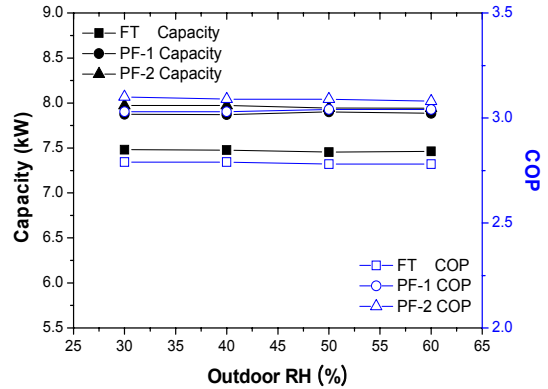


[그림 9] 실내 상대습도 변화에 따른 능력과 COP

그림 9는 실내 상대습도 변화에 따른 냉방능력과 COP이다. 실내 상대습도가 높아짐에 따라 냉방능력은 핀-관 20.6%, PF-1 16.2%, PF-2 15.3% 그리고 COP는 핀-관 17.9%, PF-1 12.8%, PF-2 14.1% 증가하였다. 증발기 표면온도가 노점온도보다 낮아지게 되면 실내 습증기가 응축되어 핀표면에 얇은 액막을 형성하여 습표면 상태가 된다. 습공기선도를 통한 본 실험연구 범위 내 상대습도 40~70RH(%)에서의 노점온도는 12~21℃로 상대습도 40RH(%)의 핀-관 열교환기 출구부분을 제외하고는 증발기 전 표면이 노점온도 이하이었다. 열교환기 표면에 맺힌 응축수량은 주어진 실험범위 내 습도에 따라 달라지며 이는 열교환기의 잠열에 영향을 준다. 본 실험결과로부터 상대습도가 증가할수록 잠열교환 효율이 증가되어 냉방능력이 향상됨을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서는 상대습도에 따른 열교환기 표면의 응축현상은 가시화하지 못하였다.

그림 10은 실외 상대습도 변화에 따른 냉방능력과 COP이다. 실외 상대습도 증가에 따른 냉방능력과 COP는 ±1% 미만의 미비한 변화를 보여준다. 이는 실외기에 설치된 열교환기의 표면조건이 건표면 상태로 실외 습도 변화 따른 영향이 매우 적기 때문이다. 습공기선도를 통

한 본 실험연구 범위 내 상대습도 30~60RH(%)에서의 노점온도는 15~26℃로 응축기 표면이 약 40~90℃로 노점온도보다 크게 높아 현열교환이 이루어진다.



[그림 10] 실외 상대습도 변화에 따른 능력과 COP

4. 결론

본 실험에서는 핀-관, PF 열교환기를 공조기의 실외 열교환기로 적용하여 실내기의 토출공기 유속, 실내외 온도와 상대습도를 변화하면서 공조기의 성능을 비교하기 위하여 능력과 COP를 평가하여 다음의 결론을 얻었다.

- (1) 핀-관 공조기에 비해 PF 열교환기를 적용한 경우 사이클의 응축압력이 약 7% 정도 낮아져 압축기 소비전력의 감소로 에너지효율 측면에서 우수함을 확인하였다.
- (2) 실내기 토출공기의 유속이 증가할수록 냉방능력은 약 16~19% 증가를 그러나 압축기 소비전력의 증가폭이 냉방능력 증가폭보다 커 COP의 증가율은 점차 둔화하여 약 7~11% 증가하였다. 한편, PF 공조기가 핀-관 공조기보다 열전달 성능면에서 더 유리하며, 사각형 핀이 적용된 PF 공조기가 삼각형 핀의 경우보다 우수하였다.
- (3) 실내, 실외온도와 증발, 응축 열교환기와의 온도차 거동이 다르기 때문에, 실내온도가 높아질수록 냉방능력은 약 33~38%, COP는 30~34% 크게 증가하였으나, 실외온도가 높아질수록 냉방능력은 약 13%, COP는 36~40% 크게 감소하였다. 또한 증발기의 잠열교환 효과로 실내 상대습도가 높아짐에 따라 냉방능력은 15~20%, COP는 12~18% 증가하였으나, 응축기는 현열교환을 하므로 실외 상대습도 증가에 따른 성능변화는 거의 나타나지 않았다.

참고문헌

[1] 권영철 외, “실내기 조합에 따른 3실형 열펌프의 냉방성능 실험연구”, 한국산학기술학회논문집, 제9권, 제6호, pp. 487-493, 2008.

[2] Chang, Y. J., Wang, C. C. and Chang, W. R., Air side performance of brazed aluminum heat exchanger, Journal of Enhanced Heat Transfer, Vol. 3, pp. 15-28, 1996.

[3] Kim, M. H. and Kim, K. J, Chu, E. S. and Bae, Y. D. and Bark, Y. S., Performance evaluation of brazed aluminum heat exchangers, Proc. of the SAREK, pp. 209-215, 1997.

[4] Sa, Y. C., Hwang, Oh, S. Y., Chung, B. Y., Development of Aluminum Micro-Channel Condenser For Air-Conditioners, Proc. of the SAREK, pp.1372-1377, 2002.

[5] 권영철, 박윤창, “PF 열교환기를 적용한 공조기의 성능 비교 실험연구”, 한국산학기술학회논문집, 제10권, 제3호, pp. 470-475, 2009.

[6] Webb, R. L. and Jung, S. H., Air-side performance of enhanced brazed aluminum heat exchangers, ASHRAE Trans., Vol. 98, pp. 391-401, 1992.

[7] Bae, T. S. and Han, C. S., A feasibility study on room air conditioner with parallel flow condenser, Proceedings of the SAREK, pp. 402-407, 1996.

[8] Kim, M. H. and Kim, K. J., Performance evaluation of brazed aluminum heat exchangers for a condenser in Residential air-conditioning applications, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 10, pp. 44-55, 1998.

[9] Cho, J. P., Choi, Y. H., Kim, N. H. and Kim, J. H., Performance evaluation of PF condenser adapted to package air-conditioner, KSME, pp. 1-6, 2000.

[10] Korean Standards Association, KS air conditioner: KS C 9306, 2003.

권영철(Young-Chul Kwon) [정회원]



- 1989년 2월 : 부산대학교 정밀기계공학과 (공학사)
- 1991년 9월 : 포항공과대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1996년 8월 : 포항공과대학교 기계공학과(공학박사)
- 1996년 9월 ~ 1999년 2월 : 한구전력 전력연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 부교수

<관심분야>
냉동공조, 열교환기/시스템 설계, 열전달

박윤창(Yoon-Chang Park) [정회원]



- 1983년 2월 : 부산대학교 기계공학과 (공학사)
- 1988년 2월 : 한국과학기술원 생산공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 한국과학기술원 정밀공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 정보통신공학부 부교수

<관심분야>
정밀측정, 동작기계, 냉동공조제어

권정태(Jeong-Tae Kwon) [정회원]



- 1988년 2월 : 서울대학교 기계공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 포항공과대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 포항공과대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 2005년 2월 : 남부대학교 자동차기계공학과 조교수
- 2003년 3월 ~ 2004년 3월 : Kyushu University (Post-Doc.)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 기계공학과 부교수

<관심분야>
2상유동, 열전달, 냉동공조

박경만(Gyung-Man Park) [준회원]



- 2008년 2월 : 선문대학교 기계공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학과 (대학원)

<관심분야>
히트펌프, 열교환기, 폐열회수장치 성능평가 및 실험