

PF 열교환기를 적용한 공조기의 성능에 대한 실험연구

서동남, 엄유식, 박경만, 이상재*, 김대훈*, 권영철**,†

선문대학교 대학원, *한국산업기술시험원, **선문대학교 기계공학과

Experimental Study on Performance of Air-conditioner with PF Heat Exchanger

D.N. Seo, Y.S. Um, K.M. Park, S.J. Lee*, D.H. Kim*, Y.C. Kwon**

Graduate school, Sunmoon University, Chungnam

** Korea Testing Laboratory, Seoul 152-848, Korea*

*** Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University, Chungnam*

ABSTRACT: In the present study, the cooling performances of the air-conditioner applied the fin-tube and aluminum PF heat exchangers have been experimentally investigated by using the calorimeter. The experiment is carried out in the conditions of the standard temperature and the low temperature. Fin type of PF heat exchanger is a triangler and squarer form. PF heat exchanger has smaller refrigerant weight and larger capacity and COP than the fin-tube heat exchanger. The performance of PF-2 heat exchanger with the squarer fin is more excellent than that of PF-1 heat exchanger with the triangler fin. The high pressure of PF heat exchanger decreases about 7%, compared to the fin-tube heat exchanger. Also, CSPF of the fin-tube and PF heat exchanger is evaluated.

Key words: PF heat exchanger(PF 열교환기), Air-conditioner(공조기), Performance(성능), CSPF(냉방에너지소비효율)

1. 서론

현재 대부분의 공조기에는 핀-관 열교환기가 주로 사용되고 있다. 핀-관 열교환기는 원형의 관 후단부의 후류형성에 의해 유동저항이 발생하게 되고 이는 열전달성능의 감소를 가져온다. 핀-관 열교환기는 핀에 관을 삽입하고 삽입된 관을 확관하는 공정으로 제작되며 이로 인해 접촉 열저항이 존재한다. 또한 열교환기의 고효율화와 소형화에 효과적이지 못하다. 이를 개선하기 위

해 최근 자동차용 공조기에 사용되고 있는 PF(parallel flow) 열교환기를 가정용 공조기에 적용하는 연구들이 활발히 진행되고 있다. PF 열교환기는 평판관을 사용하여 원관의 후류형성에 의한 저항을 감소시킬 수 있으며⁽¹⁾ 핀과 관을 브레이징 용접하므로 접촉저항을 배제할 수 있다. 또한 평판관 내부에는 여러 개의 미세 유로가 형성되어 있어 관내측 단위면적당 열전달 향상의 효과를 얻을 수 있다. 이러한 PF 열교환기의 특성을 고려하여 가정용 공조기에 적용할 경우에 열교환 효율 증대로 인한 시스템 효율 향상을 기대할 수 있으리라 판단된다. 또한 열전달 효율 증대에 따른 PF 열교환기의 체적감소 효과를 이용하면 가정용 공조기의 충전냉매량 절감효과를

† Corresponding author
Tel.: +82-41-530-2396; fax: +82-41-530-2981
E-mail address: yckweon1@sunmoon.ac.kr

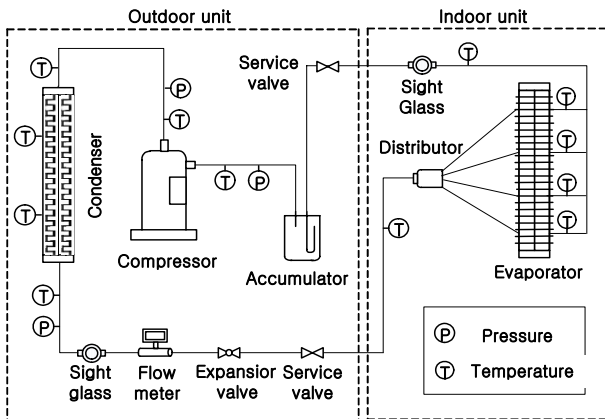


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

볼 수 있다. 그리고 관과 핀 모두 알루미늄으로 제작되어 무게와 제작단가를 핀-관 열교환기에 비해 줄일 수 있을 것으로 예상된다.

Bae and Han⁽²⁾은 자동차용으로 사용되고 있는 PF 열교환기의 가정용 공조기 적용 가능성에 대해 검토하여, 동일한 용량의 핀-관 열교환기에 비해 PF 열교환기의 체적을 40% 축소하는 것이 가능하고 이때 적정 냉매량은 22% 감소한다고 보고하였다. Kim et al.⁽³⁾은 창문형 공조기를 대상으로 기존 핀-관 열교환기에 비해 PF 열교환기의 체적이 50% 정도 감소하여도 동등수준의 성능을 나타내며 적정 냉매량도 35% 감소함을 보고하였다. Cho et al.⁽⁴⁾은 PF 열교환기의 체적이 핀-관 열교환기의 40.41% 수준일 때 동일한 냉방능력을 나타내었으며, 핀피치를 2.0 mm와 2.5 mm 그리고 3.0 mm로 변화시킨 PF 열교환기를 적용한 경우 적정 냉매량이 핀-관 열교환기 대비 35~45% 정도 감소함을 보고하였다. Yun⁽⁵⁾은 PF 열교환기를 적용한 가정용 에어컨의 SEER(Seasonal Energy Efficiency Ratio)을 연구하였다. 핀-관 열교환기에 비해 PF 열교환기의 적정 냉매량이 10% 감소함을 나타내었고 응축압력이 6.5% 감소하였으며, COP는 6% 증가 그리고 SEER이 7.7% 증가함을 보고하였다.

기존의 연구들에서는 삼각형 형상의 핀을 가진 PF 열교환기를 적용한 연구들로, 본 연구에서는 가정용 공조기의 실외기에 동일 전면면적의 핀-관 열교환기, 그리고 삼각형 및 사각형 형태의 2종의 PF 열교환기를 적용하여 열교환기 형상에 따른 공조기의 성능을 비교 평가하였다. 또한 냉

PF-1(triangular type) PF-2(square type)

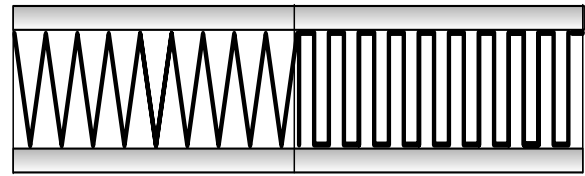


Fig. 2 Fin shape of PF exchanger.

방저온 온도조건에서 실험을 진행하여 핀-관 열교환기와 2종의 PF 열교환기를 적용한 시스템의 냉방기간 에너지 효율(Cooling Seasonal Performance Factor)을 비교하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1. 실험장치

본 실험연구에서는 핀-관 및 PF 열교환기가 적용된 가정용 공조기의 효율 및 능력추정을 위해 공기 엔탈피식 칼로리미터를 이용하였다. 실험에 사용된 칼로리미터는 실내룸과 실외룸으로 나뉘어져 있어 별도의 온습도조절이 가능한 향온향습 챔버로 구성되어 있다. 실내룸에는 실내기의 풍량을 측정하는 코드테스터가 내장되어 있어 실내기 입구측의 공기온도와 실내기 토출부의 풍량과 온도를 측정한 다음에 KS C 9306⁽⁶⁾에 규정된 방법으로 성능을 산출한다. 공조기의 성능은 실내룸과 실외룸의 온도와 습도가 안정적으로 유지($DB \pm 0.3^{\circ}C/WB \pm 0.2^{\circ}C$)되는 동안 측정된다. 칼로리미터는 $\pm 1.5\%$ 이내의 신뢰오차를 가진다.

본 연구에 사용된 공조기는 최대 냉방능력 8 kW의 정속형 압축기를 사용한 냉방용 에어컨으로 Fig. 1에 냉방 시스템의 개략도를 나타내었다. 실외기에 적용된 열교환기의 전면면적은 동일하며 PF 열교환기의 체적은 핀-관 열교환기에 비해 약 35% 정도 적다. PF 열교환기의 핀 형상은 삼각형과 사각형으로 Fig. 2에 나타내었다. 그리고 Table 1은 본 연구에 사용된 열교환기의 사양을 보여준다.

2.2 실험조건 및 실험방법

실험은 Table 2에 기술된 KS C 9306의 온도

Table 1 Specifications of heat exchangers
(unit : mm)

	Fin-tube	PF-1	PF-2
Fin type	Slit	Louver (triangular)	Louver (square)
Heat exchanger size (WxHxD)	805x750x25	805x750x16	805x750x16
Tube size	∅7	16 X 1.8	16 X 1.8
Tube pitch	21	7.4	7.4
Fin pitch	1.25	2.35	2.35
Number of row	2	1	1

Table 2 Test temperature conditions⁽⁶⁾

Cooling Condition	Setting temperature (°C)			
	Indoor room		Outdoor room	
	DB	WB	DB	WB
Standard	27	19.5	35	24
Low temp	27	19.5	29	19.5

조건하에서 수행되었다. 시스템 내의 압력 측정을 위해 압축기의 입구측과 출구측에 압력계를 부착하였으며 압력계의 오차범위는 ±1% 이내이다. 과열도 조정을 위해 수동 팽창 밸브를 부착하였으며 냉매의 상태변화를 확인하기 위해 가시창(sight glass)을 부착하였다. 응축기와 증발기의 각 패스와 입·출구부 그리고 압축기와 수동 팽창 밸브의 입·출구부에 열전대를 부착하였다.

핀-관 열교환기와 PF 열교환기를 적용한 가정용 공조기와의 성능비교를 위해 핀-관 열교환기가 부착된 시스템에 가시창과 수동 팽창밸브 그리고 압력계, 열전대를 부착한 후에 냉방표준 및 냉방저온 온도조건에서 성능시험을 수행하였다. 시스템의 적정 냉매량을 확인하기 위해 냉방표준 온도조건에서 냉매량은 50 g씩 증량하면서 냉방 능력과 COP를 계산하였다. 동일 시스템에서 핀-관 열교환기 대신에 PF 열교환기로 교체하여 동일 실험조건에서 반복 실험을 수행하였다. 시스템의 과열도는 수동 팽창 밸브의 개도조절을 통해 제어하였고, 시스템의 과열도가 5°C(±1°C)일 때의 데이터를 수집하였다.

2.3 냉방기간 에너지 효율의 산출방법

냉방기간 에너지효율은 실제 냉방기간 중 냉방을 필요로 하는 각 온도의 발생시간을 고려하여

공조기를 일정기간 사용하였을 때의 기간 에너지 효율을 나타내는 값이다. 이는 냉방기간 동안 공조기가 발휘하는 총 냉방능력을 총 소비전력으로 나눈 값이다.

본 연구에서는 KS C 9306에 제시된 시험 방법에 따라 냉방표준과 냉방저온 온도조건에서의 실험을 수행하였고, 이때 얻어진 냉방능력과 소비전력을 토대로 하여 다음의 식으로 냉방기간 에너지효율(CSPF)을 산출하였다. 효율저하계수는 KS C 9306의 부속서에 제시된 값을 사용하였으며, 냉방 기간 중 냉방을 필요로 하는 각 온도에서의 발생시간을 고려하여 산출하였다.

$$CSPF = \frac{\sum Q_c}{\sum P_c} \quad (1)$$

여기서 Q_c 는 냉방기간 총냉방량 합계이며 냉방을 필요로 하는 온도에 대해 그 시간 내에 건물을 냉방하기 위한 요구 열량이다. P_c 는 냉방기간 총 소비전력량의 합계이며 냉방을 필요로 하는 온도에 대해 그 시간 내에 건물을 냉방하기 위해 필요한 소비전력이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 적정 냉매량 선정

Fig. 3은 냉방표준 온도조건에서 냉매량 변화에 따른 시스템의 냉방능력과 COP 변화를 나타낸다. 시스템 적정 냉매량의 선정은 냉매량을 증진하면서 측정된 냉방능력과 COP가 최대인 점을 고려하였다. 시스템의 적정 냉매량은 핀-관 열교환기에서 1,700 g, PF-1 열교환기에서 1,450 g, PF-2 열교환기의 경우 1,350 g이었다. PF 열교환기를 적용한 시스템은 열교환기 체적감소로 핀-관 열교환기를 적용한 시스템 대비 14.7% (PF-1)와 20% (PF-2) 냉매량이 감소하였다. 열교환기 형태에 따라 시스템 COP는 핀-관 열교환기에서 2.78, PF-1에서 3.03, PF-2에서 3.1을 보였다. 또한 냉매량 변화에 따른 냉방능력과 COP 변화곡선은 핀-관 열교환기를 적용한 시스템에 비해 PF 열교환기를 적용한 시스템에서는 뚜렷한 변곡 형태를 보이고 있다. 이는 PF 열교환기를 적용한 시스템이 핀-관 열교환기 시스템에 비

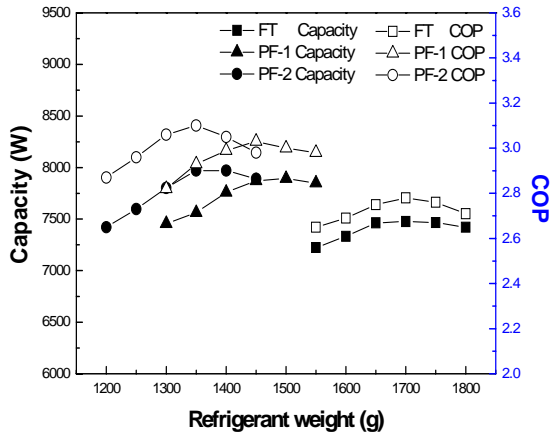


Fig. 3 Cooling capacity and COP on refrigerant weight under cooling standard condition.

해 냉매량 변화에 더 민감함을 보여주는 것으로, 특히 냉매량이 부족할 경우에 시스템의 성능저하가 더 크게 나타남을 알 수 있다.

3.2 열교환기 형태에 따른 시스템의 성능변화

Fig. 4는 열교환기 형태에 따른 냉방표준 온도 조건에서 시스템의 적정 냉매량과 그에 따른 냉방능력, 소비전력 그리고 COP 변화를 보여준다. 핀-관 열교환기를 적용한 시스템 성능을 기준으로 PF 열교환기를 적용한 시스템의 성과 비교하였다. PF 열교환기를 적용할 경우에 시스템의

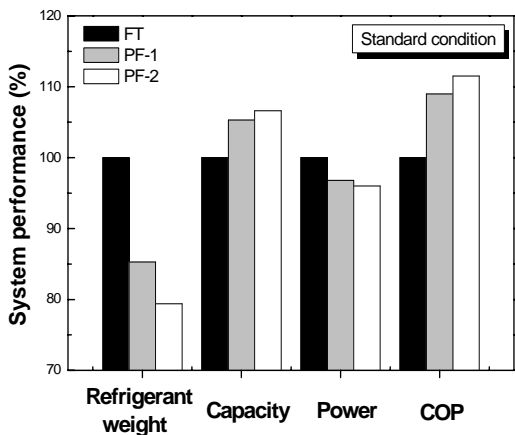


Fig. 4 System performance under cooling standard condition.

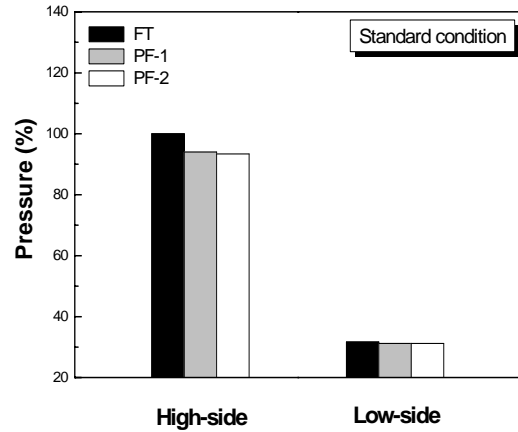


Fig. 5 Comparison of system pressure under cooling standard condition.

적정 냉매량은 핀-관 열교환기의 경우보다 감소하지만 냉방능력은 PF-1, PF-2에서 각각 5.3%, 6.6% 상승하였고 소비전력은 3.2%, 4% 감소하여 COP가 9.5%, 11.5% 상승하였다.

핀-관 열교환기에 비해 PF 열교환기의 접촉저항은 무시할 수 있다. 미세채널로 이루어진 관 내부의 단위 면적당 열전달성능은 우수하며, 평판관으로 이루어진 PF 열교환기의 관 형상은 원관 후류에 의한 유동저항을 감소시킨다. 이러한 효과들은 PF 열교환기를 적용한 시스템에 우수한 열전달 특성을 제공하여 시스템의 냉방능력을 향상시키고 소비전력을 줄이게 된다.

한편, PF-1 열교환기를 적용한 경우보다 PF-2 열교환기를 적용한 경우에 시스템의 능력과 COP가 더 우수한 것으로 나타났다. 이는 PF-1 열교환기의 핀 형태가 삼각형으로 납작관과 핀은 선접촉을 가지지만, PF-2 열교환기의 핀은 사각형으로 납작관과 핀의 접촉부위가 면을 이루고 있다. 이 접촉면적의 차이가 시스템의 냉방능력에 영향을 준 것으로 보여진다.

열교환기 형태에 따른 고·저압측의 압력을 살펴보기 위해, 핀-관 열교환기를 적용한 시스템의 고압측을 기준으로 PF 열교환기를 적용한 시스템의 고·저압측을 비교하여 Fig. 5에 나타내었다. 핀-관 열교환기 시스템 대비 PF-1, PF-2 열교환기를 적용한 시스템의 저압측 압력 감소는 0.5% 이내로 나타나지만 고압측 압력은 각각 6.8%, 7.5% 감소하였다. Yun⁽⁵⁾의 연구에서도 응

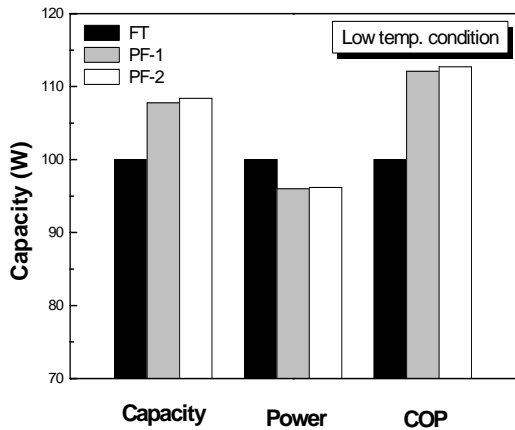


Fig. 6 System performance under cooling low temperature condition.

축압력이 약 6.5% 감소하는 결과가 보고되었다. 시스템의 압력비는 핀-관 열교환기에 비해 각각 5.3%, 6.3% 감소하였다. PF 열교환기를 가정용 공조기에 적용한 경우에 실외 열교환기의 응축압력이 줄어들므로 시스템의 소비전력은 낮아지게 된다. 따라서 에너지소비효율이 형성될 것으로 판단된다.

3.3 냉방저온 시험

냉방저온 온도조건에서 핀-관 열교환기를 적용한 시스템과 PF 열교환기를 적용한 시스템을 비교하기 위하여 핀-관 열교환기를 기준으로 시스템의 냉방능력, 소비전력 그리고 COP를 Fig. 6에 나타내었다. PF-1, PF-2 열교환기를 적용한 시스템은 핀-관 열교환기를 적용한 시스템보다 냉방능력이 각각 7.8%, 8.4% 증가하였으며, 소비전력은 4%, 3.8% 감소하였다. 또한 COP는 12.1%, 12.7% 증가하였다. 이는 외기온도와 실외 열교환기의 온도차가 증가하였기 때문으로, 냉방저온 온도조건은 냉방표준 온도조건에 비해 고·저압의 압축비 감소를 가져오며, 이 압축비 감소는 소비전력 감소와 시스템 효율 증가로 이어질 수 있다.

Fig. 7은 냉방저온 온도조건에서 열교환기 형태에 따른 고·저압축 압력의 비교를 보여준다. 냉방저온 온도조건 시, PF-1, PF-2 열교환기를 적용한 시스템의 고압축의 압력은 핀-관 열교환

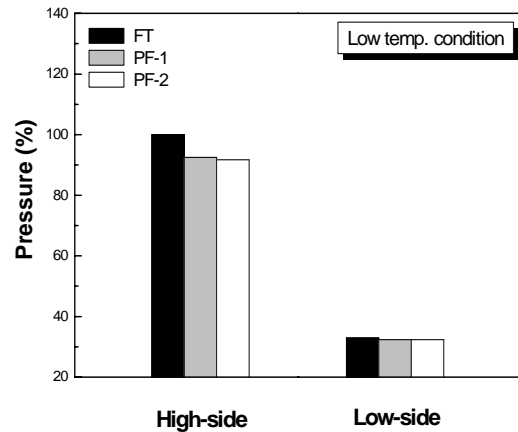


Fig. 7 Comparison of system pressure under cooling low temperature condition.

기를 적용한 시스템에 비해 각각 7.5%, 8.3% 감소하였고, 저압축 압력은 약 0.5% 감소하였다.

3.4 냉방기간 에너지 효율

시스템의 COP는 냉방표준 온도조건에서 측정된 성능으로 실환경과 같이 온도조건이 다양하게 나타나는 경우에 에너지효율 기준으로 사용하기에는 미흡하다. 따라서 시간에 따라 변화하는 실환경 온도조건을 효과적으로 반영할 수 있는 냉방기간 에너지효율을 계산하였다.

핀-관 열교환기와 PF 열교환기 시스템의 냉방기간 에너지효율을 Fig. 8에 나타내었다. 식 (1)에 의해 산출된 냉방기간 에너지효율은 핀-관 열교환기를 적용한 시스템의 경우에 2.8 그리고 PF-1과 PF-2를 적용한 시스템의 경우에 각각 3.13과 3.15로 나타났다. 즉, 냉방기간 에너지효율의 증가율은 핀-관 열교환기를 적용한 시스템에 비해 PF-1과 PF-2 열교환기를 적용한 경우에 각각 11.8%와 12.5% 크게 나타났으며, 냉방기간 에너지효율은 COP보다 다소 크게 관찰되었다.

4. 결론

본 실험에서는 FP 열교환기를 가정용 공조기에 적용하여 냉방표준, 냉방저온에서의 성능을 핀-관 열교환기 공조기와 비교하며, 또한 냉방기

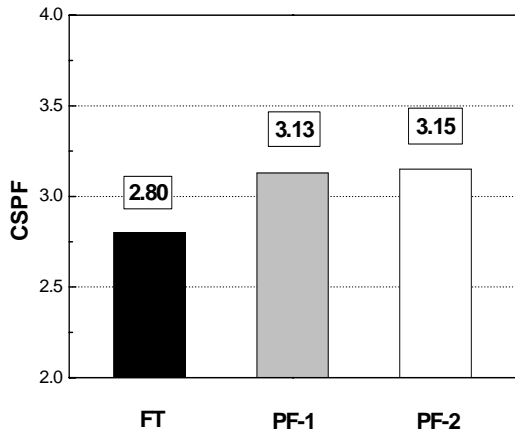


Fig. 8 Cooling Seasonal Performance Factor.

간 에너지효율을 평가하여 다음의 결론을 얻었다.

(1) PF 열교환기 적용 시스템은 냉매량 변화에 대해 핀-관 열교환기의 경우보다 더 민감하였으며, 적정 냉매량은 핀-관 열교환기의 경우보다 14.7%(PF-1)와 20%(PF-2) 감소하였다.

(2) PF 열교환기를 적용한 경우에 관 내부 단위 면적당 열전달 향상과 관 후단의 유동저항 감소에 의해 핀-관 열교환기의 경우보다 냉방능력은 증가, 소비전력은 감소하여 COP는 향상되었다. 그리고 접촉면적의 차이로 PF-2 열교환기를 적용한 경우가 PF-1보다 시스템의 능력과 COP가 더 우수하였다.

(3) PF 열교환기 적용 시스템의 저압측 압력은 0.5% 정도, 고압측 압력은 냉방표준과 냉방저온에서 약 7%와 8%정도 감소하였다. 응축압력의 감소는 시스템 소비전력의 저감을 유도하므로 상대적으로 우수한 에너지효율을 제공하게 된다.

(4) 실환경 온도조건을 반영하기 위해 냉방표준과 저온실험을 통해 냉방기간 에너지효율을 계

산하였다. 핀-관 열교환기 적용 시스템에 비해 PF 열교환기를 적용한 경우에 약 12% 정도 우수한 에너지효율을 나타내었다.

후 기

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. Critoph, R. E., Holland, M. K., and Turner, L., 1996, Contact resistance in air-cooled plate fin-tube air-conditioning condensers, *Int. J. Refrig.*, Vol. 19, p. 400-406.
2. Bae, T. S. and Han, C. S., 1996, A feasibility steady on room air conditioner with parallel flow condenser, *Proceedings of the SAREK*, pp. 402-407.
3. Kim, M. H., Kim, K. J., Chu, E. S., and Bae, Y. D., and Bark, Y. S., 1997, Performance evaluation of brazed aluminum heat exchangers, *Proceedings of the SAREK*, pp. 209-215.
4. Cho, J. P., Choi, Y. H., Kim, N. H. and Kim, J. H., 2000, Performance evaluation of PF condenser adapted to package air-conditioner, *KSME* pp. 1-6.
5. Yun, R., 2007, Evaluation of performance of a residential air-conditioning system using micro-channel and fin-tube heat exchanger, *proceedings of the SAREK*, pp. 28-35.
6. Korean Standards Association, 2003, KS air-conditioner: KS C 9306.