

# 대형 에어컨에 적용된 PF열교환기의 성능평가

조진표\*, 최영훈, 김재호, 김내현, 김정오

## Performance evaluation of PF-condenser adapted to Large Size air-conditioner

J. P. Cho, Y. H. Choi, J. H. Kim, N. H. Kim and J. H. Kim

**Key words:** PFC(Parallel Flow condenser, 평행류형 응축기)

### ABSTRACT

In this study, We evaluated the performance of PFC and the system performance of large size air-conditioner applying to outdoor condenser. PFC can meet the same cooling capacity in 40.42% of volume to fin-tube condenser. Although the fin-tube condenser requires 3600g of refrigerant charging, PFC requires 1700g, 1800g, 1900g, 2000g refrigerant charging for each 2.0mm, 2.5mm, 3.0mm and 3.5mm fin pitches. Difference of condensing and evaporation pressure is the biggest point 2.0mm fin pitch and the smallest point 2.5mm fin pitch.

### 기 호 설 명

- Fd : 유동방향의 핀 길이 [mm]
- Theta : 루버 앵글각 [°]
- S1 : 핀의 입출구 영역의 길이 [mm]
- S2 : 핀의유동 절환 지점의 길이 [mm]
- Lp : 유동방향의 핀 길이 [mm]
- Fp : 핀 피치 [mm]
- N : 루버갯수 [EA]
- Ll : 루버부의 길이 [mm]
- H : 핀 높이 [mm]
- hal : 실내측 흡입공기 엔탈피 [kcal/kg]
- ha2 : 실내측 토출공기 엔탈피 [kcal/kg]
- Cd : 노즐유량계수
- P : 노즐부의 기압[kpa]
- X : 측정위치에서의 공기의 절대습도

- A : 노즐부의 면적[m<sup>2</sup>]
- Q<sub>vr</sub> : 룸에어컨의 풍량
- V'n : 노즐부의 공기의 비체적

### 1. 서론

에너지를 효율적으로 이용하고 재료비를 절감하기 위하여 열교환기를 고효율화, 소형화 하려는 연구는 지난 수 십년간 미국, 일본등 구미 선진국을 중심으로 꾸준히 수행되어 오고 있다. 그간 공조기에는 주로 핀-관형 열교환기가 사용되어 왔다. 핀-관형 열교환기는 다수의 원관과 관외측에 부착된 핀으로 구성되는 열교환기로 관내측으로는 냉매가 증발 또는 응축을 하며 핀 사이를 흐르는 공기와 열교환을 한다. 이경우 대부분의 열저항은 공기측에 있고 따라서 공기측 전열 성능을 향상시키기 위해서 평판핀 대신에 물결핀(WAVY FIN), 오프셋 스트립핀(OFFSET STRIP FIN), 갈매기형 루버핀(CONVEX LOUVE R FIN)과 같은 고성능 핀을 사용하고 냉매측도 평판관 대신에 미세

\* 대우전자(주)

\*\* 인천대학교 기계공학과

\*\*\* 인천대학교 대학원

핀관(MICRO FIN TUBE)을 사용하는 등 전열성능을 향상시키기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다. 공조용 핀-관 열교환기의 형상은 비교적 간단하나 구리원관의 밴딩, 알루미늄 핀의 삽입 및 확관에 의한 접합, 배관의 용접, 표면처리 및 세척, 진공 테스트 등 생산공정이 매우 복잡하고 자동화에 어려움이 있다. 또한 기계적 접촉에 의한 전열효율의 감소, 원관에서의 유동저항 증가 및 후류에 의한 전열성능의 감소 등으로 기존 열교환기 대비 고효율화 소형화 하는 데는 상당히 어려움이 있다. 이러한 단점은 PF 열교환기를 사용함으로써 개선될 수 있는데 PF 열교환기는 핀과 관을 브레이징(brazing)을 하여 접촉저항을 없애고 관의 형상도 원관 대신에 평판관(flat tube)를 사용해서 유동저항을 줄일 수가 있다. PF 열교환기는 자동차 에어컨의 응축기로 사용되고 있고 가정용 에어컨의 열교환기로의 적용은 90년도 초 일본의 Sharp사와 Daikin사가 룸에어컨에 적용 생산한 바 있으나 이 종급속의 전위차에 의한 부식 등의 신뢰성의 문제와 높은 가격 때문에 크게 확산되지 못했다. 현재는 소재기술이 발달해서 이전과 같은 문제는 없으나, Heat Pump 위주의 일본 시장에서는 크게 메리트 주지 못해서 일본내 현재 적용하고 있는 기업은 없다. 국내에서의 이와 관련된 연구로서는 배태식<sup>(2)</sup> 등, 김만회<sup>(3)</sup> 등, 김내현<sup>(4)</sup> 등이 PF 열교환기의 가능성 타진, 실제 창문형 셀트 시험의 수행과 관내측 응축열전달계수 상관식 등을 제시한 바 있다. 또 조진표<sup>(5)</sup> 등은 냉방능력 7,100 Kcal/h (20평형) 가정용 패키지 에어컨에 PF 열교환기를 적용하여 기준이 되는 루버형상에 핀 피치 3종류와 냉매량을 각각 바꾸어가면서 시험했으며 최대 성능을 내는 냉매 봉입량이 핀치에 따라서 다르게 나타남을 보고하였다.

본 연구에서는 업소용에 주로 사용되는 중대형 냉방기 냉방능력 9,600Kcal/h(30평형)급 에어컨에 PF 열교환기를 적용시켜 시험하였다. PF 열교환기는 기준이 되는 루버형상에 대하여 핀 피치를 2.0 ~ 3.5 mm로 0.5mm씩 변화시켜 총 4셋트를 제작하였다. 시험은 열교환기 단품의 공기측 압력강하량과 에어컨 실외 응축기 적용 시험으로 나누어서 수행 하였다.

## 2. 실험장치

열교환기 압력강하 시험에 쓰인 시험 장치는 Torrington사의 FM-3600 Flow Meter로서 Fig. 1에 보여진다. 시험장치의 구성은 4개의 압력탭이 상하좌우로 각각 1개씩 노즐 전후와 시험부와 안

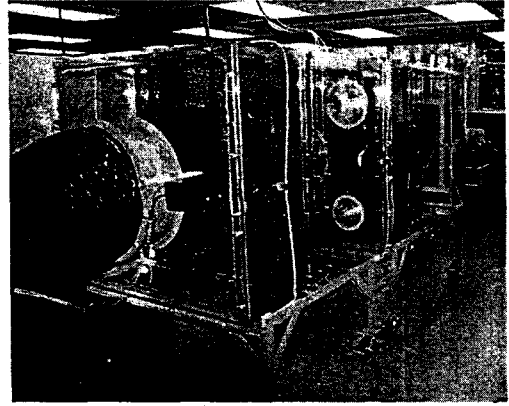


Fig. 1 Torrington FM-3600 Flow Meter  
(Flow Range 0.1CMM ~ 100CMM)

정부에 가공되어져 있어 총 16개의 압력탭이 가공되어져 있다. 모여진 공기는 4개의 압력 센서에서 압력을 측정하게 된다. 시험장치와 시험 열교환기는 간이 덕트로 연결하였다. 공조기 적용 시험은 국내 B사에서 제작한 공기 열량계식 칼로리메타로 5RT급 열량계이다. 시험 조건은 KS 9306 조건하에서 시험을 수행하였다.

### 2.1 단품 성능시험

현재 에어컨의 실외기의 평균전방유속은 1.0 ~ 2.0m/s로 자동차의 4.5 ~ 6.3 m/s보다 상당히 작다. 그런 이유로 자동차용에 최적으로 설계되어 있는 루버핀을 가정용 공조기에 사용하기 위해서는 루버핀의 인자들을 적당히 바꾸는 것이 필요한데 그 인자들은 Table. 1에 자세히 보여진다. 그중 Lp/Fp의 비는 루버핀의 성능을 결정짓는 중요한 인자로 Lp가 정해져있을 때 Fp만을 조정함으로써 간단하게 변화시킬 수 있다.

Table. 1 Specification of the various geometric parameters

항목	PFC-1	PFC-2	PFC-3	PFC-4
Fd [mm]	20	20	20	20
Theta[°]	25	25	25	25
S1 [mm]	1.41	1.41	1.41	1.41
S2 [mm]	0.8	0.8	0.8	0.8
Lp [mm]	1.14	1.14	1.14	1.14
Fp [mm]	2.0	2.5	3.0	3.5
N [EA]	13	13	13	13
LI [mm]	7.3	7.3	7.3	7.3
H [mm]	9	9	9	9

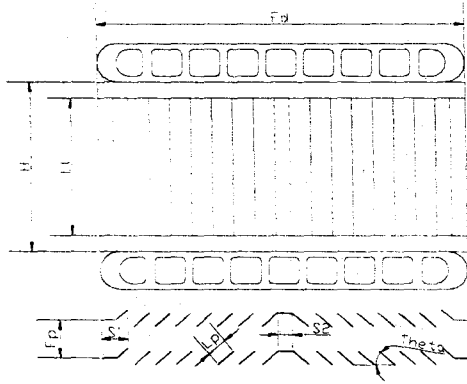


Fig. 2 Definition of various geometric parameters.

본 시험에서 열교환기의 전방유속은 0.5 ~ 3.0 m/s로 0.5m/s씩 변화 시켜 총 6번 측정하였고 흡입 공기 온도는 20℃로 일정하게 유지되었다. 참고로 본 시험에 사용된 중대형 에어컨의 실외기의 전방 풍속은 1.08 m/s로 이 범위에서의 압력 강하량이 중요하리라 판단된다.

## 2.2 공조기 적용시험

시험에 사용된 중대형 에어컨은 공칭냉방능력이 9600Kcal/h이고 자세한 스펙은 Table. 2 에 보여진다. 에어컨의 구성은 크게 실내기와 실외기로 나뉘어 지는데 본 시험에 사용된 에어컨은 증발기와 시로코팬으로 구성된 실내기와 압축기, 응축기, 팽창밸브, 프로펠라팬으로 구성된 실외기로 나누어

Table. 2 Specification of Target air-conditioner

항목	SPEC	PFC-1 ~ 4
CAPA[Kcal/h]	9,600	-
Watts[W]	3,840	-
EER[Kcal/wh]	2.5	-
R22냉매량[g]	3,600	1,500 ~ 2,100
COMP	RECIPRO [38,200Btu/h]	좌 동
핀 피치[mm]	1.95	2.0 ~ 3.5
응축기 [W*H*D]	2 열 6 circuit [1065*1019*38.1]	2 circuit [820*1019*20]
Capillary[mm]	1.3*600[5ea]	좌 동

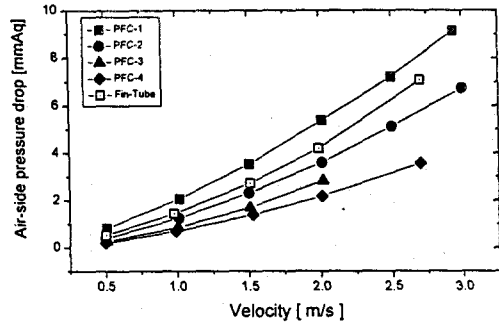


Fig. 3 air-side pressure drop

진다. 공조기의 냉동능력 및 소비전력 측정은 공기-엔탈피식 칼로리메타를 이용하는데 기본 구성은 항은 항습의 실내룸과 실외룸으로 나누어져 있고 풍량을 측정하는 코드테스터가 장착되어 있다. 열량 측정은 공조기 전단의 흡입공기의 건구/습구 온도 와 토출공기의 건구/습구 온도를 측정하고 장착된 코드테스터로 토출공기의 풍량을 측정하여 공조기의 냉방 능력을 계산하는 공기-엔탈피 방식의 열량계이다. 시험 수행시 실외측 풍량은 2개의 팬모타에 슬라이더스를 연결해 RPM을 가변하는 방법으로 응축기를 통과하는 공기의 풍량을 기준 편-관 열교환기와 동일하게 유지시켰다.

공기-엔탈피 방법에서의 능력계산식은 다음과 같다.

냉방능력 Q는

$$Q = Q_{vr} \frac{ha1 - ha2}{un*(1+xn)} + Q_l \quad (1)$$

룸에어컨의 풍량  $Q_{vr}$ 은

$$Q_{vr} = 1.414 \times Cd \times A \times (hp \times V'n^{0.5}) \quad (2)$$

여기서  $V'n$ 은 노즐부에서의 공기의 비체적으로 다음과 같다.

$$V'n = \frac{101.3 \times Vn}{(1+X) \times P} \quad (3)$$

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 압력강하 실험결과

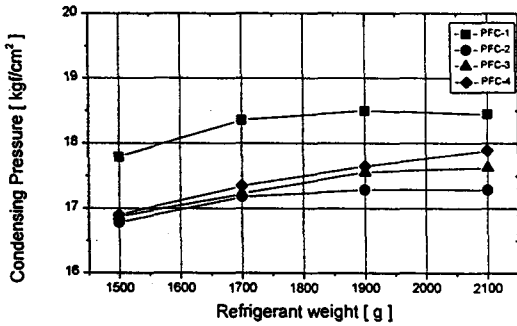


Fig. 4 Condensing Pressure Various of Refrigerant Weight.

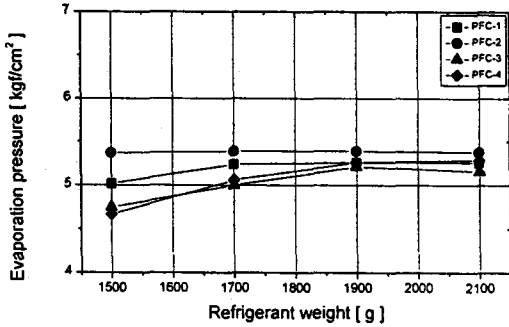


Fig. 5 Evaporating Pressure Various of Refrigerant Weight.

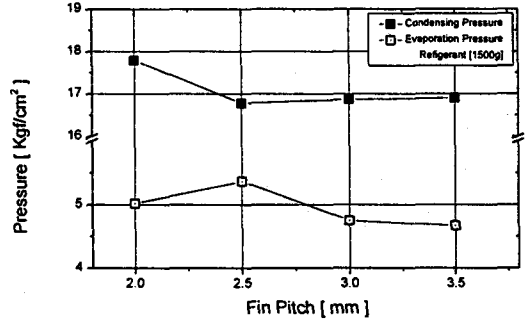


Fig. 6 Condensing and Evaporating Pressure Various of Fin Pitches.[R-22, 1500g]

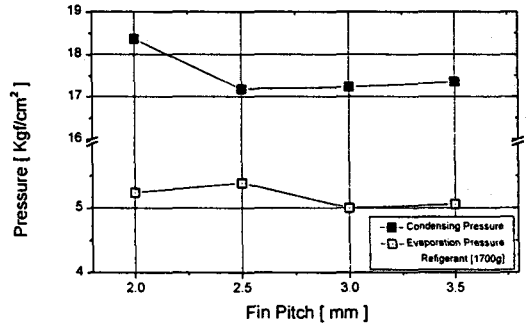


Fig. 7 Condensing and Evaporating Pressure Various of Fin Pitches.[R-22, 1700g]

압력강하 시험시 흡입공기 온도는 20℃로 일정하게 유지시키면서 실험을 수행하였다. 유량의 조절은 FM3600에 달려있는 인버터로 팬의 회전수를 가감함으로써 조절하였다.

Fig. 3 에는 열교환기의 공기측 압력강하가 보여진다. 공기측의 압력강하는 PFC-1을 제외하고는 모든 PF열교환기가 기존의 핀-튜브형 열교환기에 비해서 낮게 나타났다. 풍량을 동일하게 유지시킬 경우 PF열교환기는 기존 핀-관 열교환기에 비해 풍음 감소에 의한 소음저감의 효과를 볼 수 있리라 판단된다. 핀-관 열교환기와 PF열교환기의 공기측 압력강하량은 전방공기 유속과 핀 피치에 따라 선형적인 증가를 보인다.

### 3.2 공조기 적용 실험결과

시험에 사용된 PF열교환기의 체적은 기존 핀-관 열교환기 체적의 40.42% 정도의 크기인데 김민희<sup>(6)</sup> 등은 창문형 공조기 적용시험에서 50% 정도의 체적에서 동일 성능을 낸다고 보고하였고 조진표 등은 패키지 에어컨 적용 시험에서 37.6%의 체적에서 동일 성능을 보고하였다.

Fig. 4는 시스템 운전중의 응축압력을 냉매봉입량을 변화시켜 가면서 측정한 값이다. 응축압력은

냉매 봉입량의 증가에 따라서 증가하고 그 증가량은 냉매량이 증가하면서 감소하였다. 응축 압력은 핀 피치가 2.0mm일 때가 가장 높았고 핀 피치가 2.5mm일때가 가장 낮았다. 이는 공기측 압력강하의 증가로 응축압력이 높아진 것으로 사료된다.

Fig.5는 증발압력을 냉매 봉입량에 따라 나타낸 것으로 핀 피치가 2.5mm일때가 증발 압력이 가장 높았고 2.0, 3.0, 3.5mm순 이었다. 증발압력도 냉매량의 증가에 따라서 그 기울기가 줄어들었다.

Fig. 6, 7, 8, 9는 위의 결과를 냉매량에 따라서 도시해본 것으로서 냉매량이 1500, 1700, 1900, 2100g 일 때 응축압력과 증발압력을 나타내었다. 증발압력과 응축압력의 차이는 모든 냉매 봉입량에서 핀 피치가 2.0mm일 때 가장 크게 나타났으며 2.5mm일 때 가장 적었다. 냉매 봉입량이 증가하면 응축압력과 증발압력은 모두 증가하였다. 응축압력과 증발압력의 증감 폭은 냉매 봉입량이 1500, 1700g일때는 핀 피치가 2.0, 2.5mm일때가 상대적으로 크게 나타나고 냉매 봉입량이 1900, 2100g일때는 핀 피치가 3.0, 3.5mm일때가 상대적으로 크게 나타났다.

Fig. 10, 11, 12에는 에어컨 시스템의 냉방능력, 소비전력량, EER이 보여진다. 냉매 봉입량은 기존 핀-관열교환기의 3600g에 대하여 1700 ~ 2100g

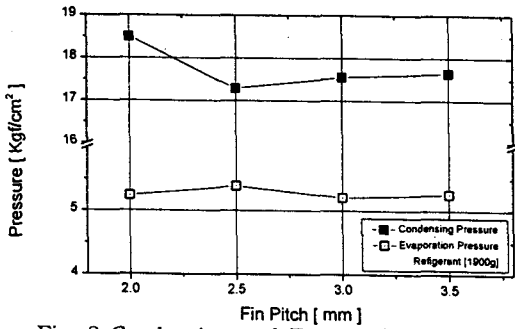


Fig. 8 Condensing and Evaporating Pressure Various of Fin Pitches.[R-22, 1900g]

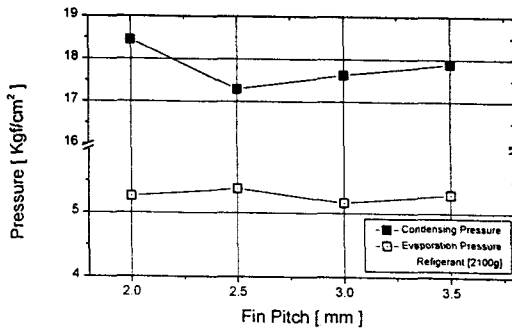


Fig. 9 Condensing and Evaporating Pressure Various of Fin Pitches.[R-22, 2100g]

으로 53 ~ 42% 감소하였는데 김만희<sup>(3)</sup> 등은 창문형 공조기 적용 시험에서 35%의 냉매 봉입량이 감소한다고 보고하였고 조진표<sup>(5)</sup> 등은 패키지 에어컨 적용 시험에서 45 ~ 35%의 냉매 봉입량이 감소한다고 보고하였다. 또 최적 냉매 봉입량은 핀 피치에 따라서 다르게 나타남을 볼수가 있는데 핀 피치가 2.0mm 일때는 1700g, 핀 피치가 2.5mm는 1700g ~ 1800g, 핀 피치가 3.0mm는 1900g, 핀 피치가 3.5mm는 1900g ~ 2100g의 경향을 나타내었다. 냉매 봉입량에 따른 성능변화 추이는 냉매량이 1500g일 때를 제외하고는 핀 피치가 클수록 그 기울기가 완만했고 핀 피치가 작을수록 상대적으로 심하게 나타났다. 김만희<sup>(3)</sup> 등도 핀 피치가 1.4mm 일때 같은 결과를 보고하였다.

시험결과 PF열교환기의 핀 피치가 3.0mm일 때 최적의 성능을 나타내었다. SANADA<sup>(6)</sup> 등은 PF열교환기의 가로길이에 따라 최적 냉매 분배가 존재함을 제시하였는데 그들이 제시한 방법에 의거하여 시험한 결과 열교환기 체적은 더욱 작게 설계가 될 수 있고 에너지소비효율도 증가시킬 수가 있었다. PF열교환기를 가정용 공조기에 적용할 경우 저속영역에 적합한 루버핀의 설계와 에어컨의 용량대에 따른 성능 추이와 냉매봉입량의 철저한 관리가 수행 되어야한다.

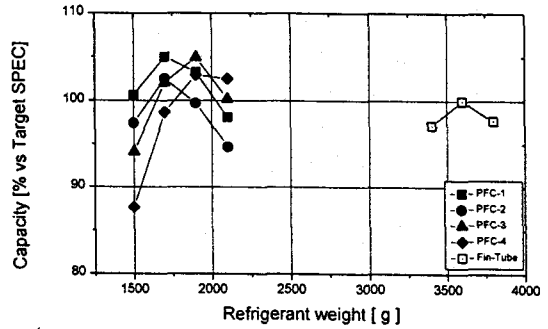


Fig. 10 Cooling Capacity of package air-conditioner

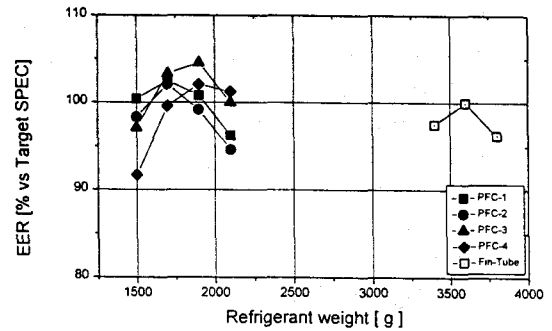


Fig. 11 Energy efficiency ratio of package air-conditioner

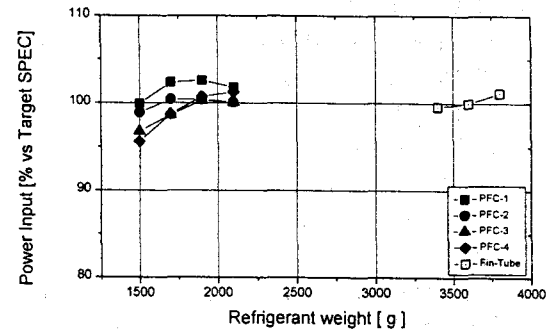


Fig. 12 Power consumption of package air-conditioner

#### 4. 결론

PF열교환기의 단품 시험 및 증대형 에어컨 적용 시험을 수행한 결과 결론은 다음과 같다.

(1) 열교환기 체적은 기존 핀-관열교환기의 40.42% 수준일 때 동일한 냉방능력을 얻을 수 있었다.

(2) 냉매 봉입량은 기존 핀-관 열교환기의 3600g에 대해 핀 피치가 2.0mm 일때는 1700g, 핀 피치가 2.5mm는 1700g ~ 1800g, 핀 피치가 3.0mm는 1900g, 핀 피치가 3.5mm는 1900g ~ 2100g로 53 ~ 42% 감소하였다.

(3) 증발압력과 응축압력의 차이는 모든 냉매 봉

입장에서 핀 피치가 2.0mm일 때 가장 크게 나타났으며 2.5mm일 때 가장 적었다.

(4) 냉매 봉입량의 증가에 따라 응축압력과 증발압력은 모두 증가하였다.

(5) 냉매 봉입량에 따른 성능변화 추이는 냉매량이 1500g일 때를 제외하고는 핀 피치가 클수록 그 기울기가 완만했고 핀 피치가 작을수록 상대적으로 기울기가 가파랐다.

### 참고문헌

1. Sahnoun, A., and Webb, R.L., 1992 "Prediction of Heat Transfer and Friction for Louver Fin Geometry". J. of Heat Transfer, Vol.114, pp893-900.
2. 배태식, 한창섭, 1996, "차량용 응축기의 립에어컨 적용 가능성 연구", 공기조화 냉동공학회 하계학술대회 논문집. pp.402-407.
3. 김만희, 김권진, 주의성, 배영돈, 박윤서 1997, "평판관형 알루미늄 열교환기의 성능평가", 공기조화 냉동공학회 하계학술대회 논문집. pp.209-215.
4. 김내현, 조진표, 김정오, 김태형, 1998, "알루미늄 다채널 평판관 R-22응축에 관한 연구", 공기조화 냉동공학회 하계학술대회 논문집. pp.433-434.
5. 조진표, 최영훈, 김내현, 김정오 1999, "패키지에 여권에 적용된 PF열교환기의 성능평가" 공기조화냉동공학회 동계학술대회 논문집. pp.46-51.
6. Ryouichi SANADA, Ken YAMAMOTO 1994.7.8 "Development of Hight Performance Multi Flow Condenser" 일본기계학회 강연 논문집. pp.7-8.