

가정용 공조기의 응축기 적용 알루미늄 열교환기의 성능 평가

Performance evaluation of brazed aluminum heat exchangers for a condenser in residential air-conditioning applications

김 만 회*, 김 권 진*
M. H. Kim, K. J. Kim

Key words : Air-conditioner(에어컨), Heat exchanger(열교환기), Condenser(응축기), Evaporator(증발기), Cooling capacity(냉방능력), Energy efficiency ratio(에너지효율)

Abstract

The evaluation of aluminum flat tube and louver fin heat exchangers for a condenser in residential air-conditioning applications has been conducted. A series of tests for two-different brazed aluminum heat exchangers was performed and the results were compared with conventional fin and tube heat exchangers for residential air-conditioning system. Refrigerant charge amount for a window-system air-conditioner with the brazed aluminum condenser is decreased by 35% and the volume and material of heat exchanger can be reduced by 50% compared to the conventional fin and tube heat exchangers.

1. 서 론

산업의 고도화와 쾌적한 삶의 추구에 대한 인간의 욕구가 증가되면서 에너지의 사용이 크게 증가하고 있으며, 이에 따른 에너지자원의 고갈 및 지구의 환경파괴에 대한 문제가 심각한 상황으로 대두되고 있어 이를 해결하기 위한 노력이 다각적으로 검토되고 있다. 가정 및 산업 전반에 걸쳐 사용이 증가하고 있는 냉동공조시스템의 경우도 제품의 재 활용성의 증대 및 에너지소비효율을 향상시켜 제품이 지구환경에 미치는 영향을 최소화하는 것이 요구되고 있다. 냉동공조시스템의 효율을 향상시키

기 위해서는 시스템을 구성하는 요소부품의 고성능화가 선행되어야 하는데 열교환기는 시스템의 크기 및 성능에 크게 영향을 미치는 핵심 구성 요소이다.^(1,2)

공조용 열교환기에는 증발기와 응축기의 두 종류가 있으며 핀-관형 열교환기가 주로 사용되고 있는데 핀-관형 열교환기는 냉매가 흐르는 원형의 구리관과 공기측의 알루미늄 핀이 기계적인 확관에 의해 접합되어 제작되고 있다. 이 경우 열저항은 구리관의 전도저항을 무시하면 공기측, 냉매측, 그리고 접촉열저항으로 크게 구분할 수 있는데 공기측의 열저항이 상대적으로 매우 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 그 동안 공기측의 전열성능을 향상시키기 위해 파형 핀, 루버 핀, 슬릿트 핀 등 다양한

* 삼성전자 기술총괄 생활시스템연구소

핀 형상이 개발되어 왔으며 냉매측도 여러 형태의 그루브 형상이 개발되는 등 열교환기의 전체 성능을 향상시키기 위한 연구가 지속적으로 수행되고 있다.^(3~6) 그러나 기존의 가정용 공조기에 사용되고 있는 핀-관 열교환기는 원관 후류에서의 유동저항의 증가와 전열성능의 감소, 그리고 기계적 확관에 의한 접촉열저항의 존재 등으로 성능향상에는 한계가 있다. 최근의 연구결과에 의하면 접촉열저항의 경우 관과 핀의 접합상태에 따라 총괄열전달계수 값이 최고 20%까지 차이가 나는 것으로 보고되고 있다.⁽⁷⁾

알루미늄 열교환기는 냉매측의 수력직경이 작고 공기측의 열유동 특성이 기존의 핀-원관 열교환기보다 우수할 뿐 아니라 핀과 평판관을 일체로 용착하여 제작하기 때문에 고성능의 소형 열교환기의 개발이 가능할 것으로 판단된다. 또한 열교환기 전체가 알루미늄으로만 구성되기 때문에 열교환기의 중량도 크게 줄일 수 있고 재 활용성이 기존의 구리관-알루미늄핀 열교환기보다 우수하여 친환경 제품의 개발이 강조되고 있는 현재의 상황에 잘 부합된다. 알루미늄 열교환기에 대한 연구는 많은 사람들에 의해 진행되어 왔으며 가정용 공조기의 열교환기에 적용하기 위한 연구를 지속적으로 수행하고 있다.^(8~14) Webb and Jung⁽¹³⁾은 평판관형 알루미늄 열교환기를 가정용 열교환기에 적용하기 위한 시험을 수행하였는데 핀-관형 열교환기에 비해 50% 정도 성능을 향상시킬 수 있음을 보였다. 국내에서도 배태식 및 한창섭⁽¹⁴⁾은 자동차용 응축기로 사용되고 있는 열교환기를 가정용 룸 에어컨의 응축기로 적용하기 위한 가능성을 평가하였다. 일본에서는 평판관형 알루미늄 열교환기를 일부 공조기의 응축기로 적용하여 판매하고 있으나 열교환기의 가격이 기존보다 비싸 크게 확대되지는 않고 있는 실정이다. 그러나 현재 공조기에 적용되고 있는 열교환기는 자동차에 사용되고 있던 응축기의 형상을 그대로 사용하고 있어 개선할 사항이 많을 것으로 판단된다. 자동차용 응축기로 사용되고 있는 알루미늄 열교환기는 냉매로 R12 또는 R134a를 사용하고 있으며 시스템의 운전조건도 가정용 공조기의 경우와는 크게 다르므로 가정용 공조기에 적용하기 위해서는 시스템의 특성에 맞도록 열교환기를 재설

계해야 한다.

본 연구에서는 자동차용 응축기로 사용되고 있는 알루미늄 열교환기를 가정용 공조기의 응축기로의 적용 가능성을 평가한다. 먼저 열교환기의 성능을 열교환기 시험장치를 이용하여 측정하고 이를 실제 창문형 공조기에 장착하여 제품의 성능에 미치는 영향을 평가하고 기존의 핀-관 열교환기와 비교 분석한다.

2. 열교환기 단품의 성능 평가

평판관형 알루미늄 열교환기의 성능을 열교환기 칼로리미터에서 냉매(R22)를 이용하여 측정하고 기존의 핀-원관 열교환기의 해석결과와 비교 분석한다. 알루미늄 열교환기의 실험은 한국공업규격에 의한 공조기의 고온냉방시험의 실외기(응축기) 조건에서 진행하며 공기 및 냉매측에 대한 전열 및 압력강하 특성, 냉매의 질량유량 등을 구한다. 비교대상으로 선정된 기존의 핀-원관 열교환기의 성능은 실험자료를 기초로 한 열교환기 성능평가 프로그램을 사용하여 구한다.⁽¹⁵⁾

2.1 실험

2.1.1 실험장치

본 실험에 사용된 열교환기 실험장치는 일본의 S사에서 제작 판매하고 있는 상용장비로 항온항습실, 열교환기의 성능측정부 및 관내를 흐르는 열매(물 또는 R22 냉매)의 구동 및 제어장치로 구성된다. 항온항습실은 냉동기, 가열기 및 가습기 등으로 구성되며 실내의 온·습도를 일정한 상태로 제어하여 실험하고자 하는 열교환기의 전면 입구공기의 조건을 원하는 상태로 설정할 수 있다. 성능측정부는 흡입형 풍동으로 항온항습실 내에 설치되어 있으며 열교환기를 통과한 공기풍량, 온·습도를 측정하여 열교환기의 능력을 계산한다. 또한 작동유체의 유량 및 입구온도, 압력 등을 제어하여 관내측의 조건을 설정할 수 있으며 관내측의 전열량을 산출하여 공기측의 엔탈피 차로 계산한 값과 비교하여 실험값의 신뢰도를 확인한다. 공기측과 관내측에서의 열교환기를 통한 압력강하량을 측정할 수 있는 압력센서가 공기측과 관내측에 각각 설

Table 1 Specifications for brazed aluminum heat exchangers

		AL1	AL2
Heat exchanger	Size : WxHxD(mm)	560×400×15.9	560×400×21.1
	Weight(g)	1,800	2,500
Tube	Major diameter(mm)	13.5	18.8
	Minor diameter(mm)	1.9	1.9
	Wall thickness(mm)	0.45	0.45
	Membrane thickness(mm)	0.35	0.35
	Tube pitch(mm)	9.83	9.83
	Membrane type	Triangular	Triangular
	Number of membranes	10	15
Fin	Pitch(mm)	1.4	1.4
	Height(mm)	7.93	7.93
	Width(mm)	15.9	21.1
	Thickness(mm)	0.115	0.115
	Louver pitch(mm)	1.4	1.4
	Louver length(mm)	6.3	6.3
	Louver angle(°)	27	27
	Number of louvers	8	12

치되어 있다. 본 연구에서 측정된 범위내에서 실험 장치의 정확도는 온도 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, 압력 $\pm 10\%$, 공기유속 $\pm 1\%$, 냉매질량유량 $\pm 2\%$ 정도로 작동유체의 물성치에 대한 불확실성을 감안하여도 열교환기의 전열량은 3% 이내의 오차내에서 신뢰성을 갖는다.

2.1.2 실험 열교환기

실험 대상 열교환기는 일본의 N사에서 자동차용 에어컨의 응축기로 생산 판매하고 있는 것으로 그 종류와 사양을 Table 1에 나타내었다. 열교환기는 단 패스이며 평판관의 간단한 형상을 Fig. 1에 나타내었다.

2.1.3 실험 조건 및 방법

실험대상 열교환기를 시험부인 풍동입구에 설치하고 단열재 등을 사용하여 열 및 공기의 누설이 없도록 열교환기 주위를 밀폐하였다. 실험조건은 공기측의 경우 열교환기 입구의 건구 및 습구 온도를 공조기의 고온냉방실험의 실외기조건과 동일하게 설정하였으며 열교환기의 전면 공기유속은 0.75, 1.0, 1.5m/s로 변화시켰다. 냉매는 R22를

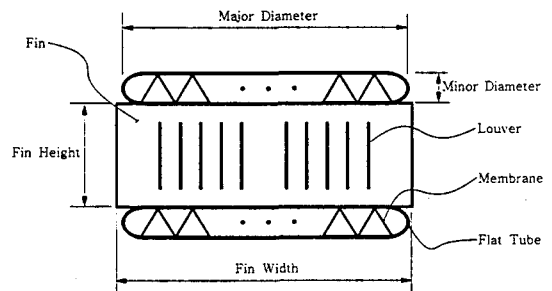


Fig.1 Definition of geometric parameters for flat tube heat exchangers

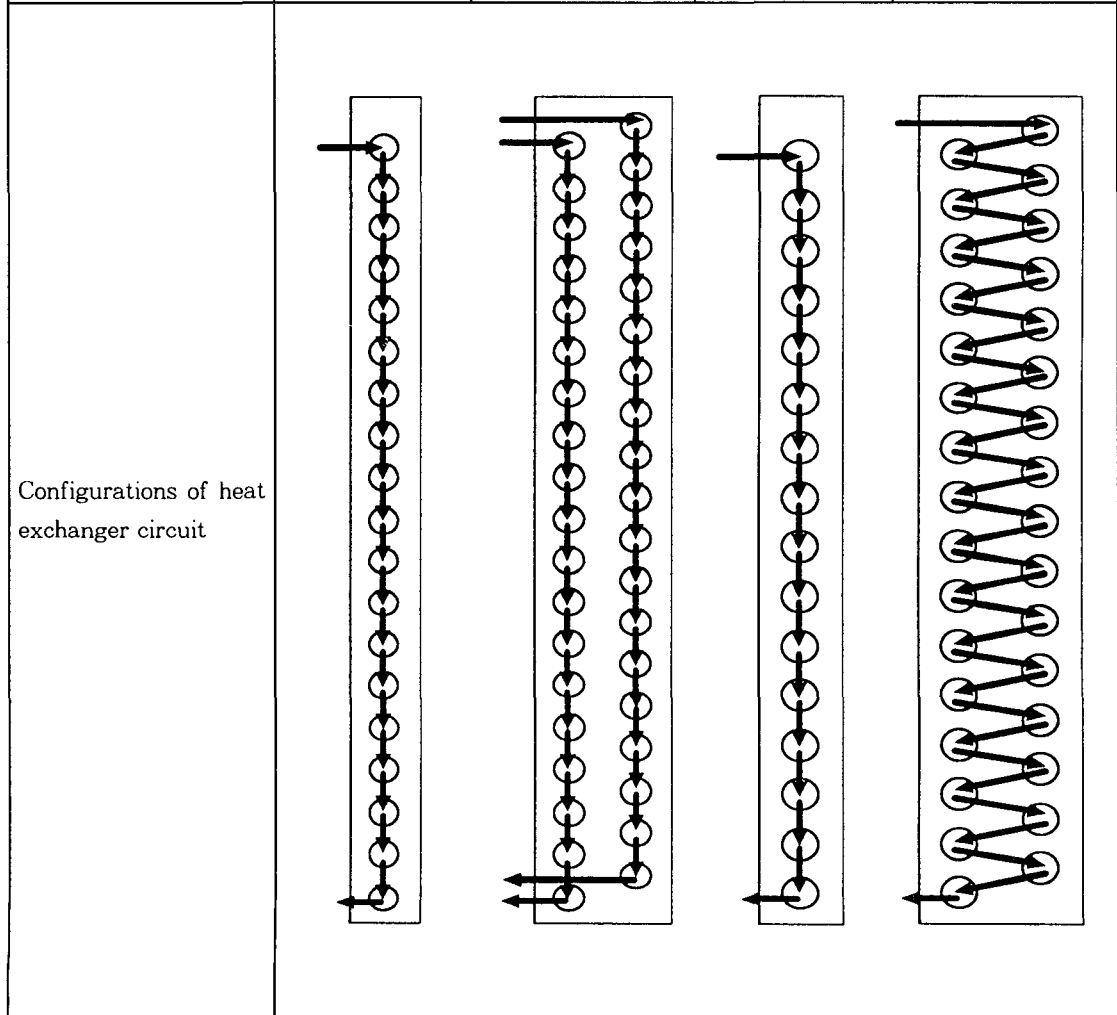
사용하였으며 실험 열교환기(응축기)의 입구압력 (18.08kg/cm²G), 입구온도(78.0^oC) 및 출구 과냉도(8.5^oC)를 일정하게 유지하면서 증발기 출구압력을 5.0kg/cm²G, 압축기의 입구온도를 15.0^oC로 일정하게 제어하였다.

상기의 실험조건에서 기술한 설정변수 값을 입력한 후 장치를 가동시키고 설정변수가 정해진 값에 근접하도록 냉매량을 조절하여 실험을 진행한다.

Table 2 Specifications for finned tube heat exchangers

(unit : mm)

	FT1	FT2	FT3	FT4
Heat exchanger size	560 × 400 × 12.7	560 × 400 × 25.4	560 × 400 × 21.6	560 × 400 × 43.3
Number of rows	1	2	1	2
Number of tubes	19	19	16	16
Number of circuits	1	2	1	1
Tube diameter	7.0	7.0	9.52	9.52
Tube thickness	0.27	0.27	0.3	0.3
Longitudinal tube pitch	—	12.7	—	21.65
Transverse tube pitch	21	21	25	25
Fin type	plane	slit	wave-slit	wave
Fin pitch	1.3	1.3	1.3	1.3
Fin thickness	0.115	0.115	0.11	0.11



실험은 입구공기의 건 습구온도, 냉매의 입구온도와 공기풍량 등의 설정변수들의 평균값과 표준편차를 계산하여 설정한계에 들어오면 실험자료를 취득하게 되는데 보통 공기측과 냉매측의 전열능력의 편차가 5% 이내에 들어오면 안정되었다고 판단할 수 있다.

2.2 기존 열교환기의 성능 해석

알루미늄 열교환기의 성능 실험결과와 비교할 기존의 핀-원관 열교환기의 성능특성은 열교환기 성능해석 프로그램을 사용하여 실험과 동일한 조건하에서 구한다. 성능해석 프로그램은 핀 형상, 관 형상, 열교환기의 구조 및 운전조건 등에 따른 실험자료를 토대로 구성한 것으로 $\pm 2\%$ 이내의 오차 범위내에서 핀-원관 응축기의 성능을 예측할 수 있다. Table 2에 나타난 바와 같이 비교대상 열교환기는 알루미늄 열교환기와 동일한 전면면적($560 \times 400\text{mm}$)이 되도록 길이와 단수를 결정하였다. 현재 가정용 공조기의 열교환기로 가장 널리 사용되고 있는 두 종류의 원관(외경: $\phi 7.0\text{mm}$, $\phi 9.52\text{mm}$)에 대해, $\phi 7.0\text{mm}$ 의 경우 FT1(1열, 12.7mm)과 FT2(2열, 25.4mm), $\phi 9.52\text{mm}$ 의 경우는 FT3(1열, 21.65mm)과 FT4(2열, 43.3mm)의 4종류를 선정하였다. Fig.2에는 원관의 직경에 따른 상세한 핀의 사양을 나타내었다. 열교환기의 회로(circuit)는 직경 $\phi 7.0\text{mm}$ 의 2열을 제외하고는 전부 하나의 회로로 구성하

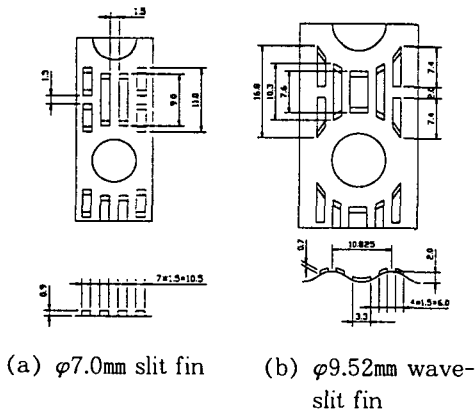


Fig.2 Detailed specifications for different fins

였는데 이는 실제품의 적용조건에 따른 것이다. 열교환기의 해석은 알루미늄 열교환기의 실험조건과 동일한 조건에서 수행하였고 열교환기의 전열능력, 공기 및 냉매의 출구온도, 냉매 및 공기측의 압력강하 특성, 냉매의 질량유량 등을 결과로 구하였다.

2.3 결과 및 고찰

Fig.3에서 Fig.6에 알루미늄 열교환기(2종류: AL1, AL2)의 실험결과를 기존의 핀-원관 열교환기(4종류: FT1, FT2, FT3, FT4)의 성능 해석 결과와 비교 도시하였다. Fig.3에 나타난 열교환기의 전열능력을 보면 알루미늄 열교환기 AL2를 기준으로 체적이 약 20% 작은 AL1의 전열능력은 AL2에 비해 유입공기의 속도에 따라 4~13% 정도 작게 나타났는데 공기의 유속이 작을수록 전열능력의 차이가 작게 나타났다. 이는 공기유속이 작을수록 열전달에 미치는 대류의 영향이 상대적으로 작고 전도에 의한 영향이 크기 때문일 것으로 사료된다. FT3과 거의 동일한 열교환기의 체적을 갖는 AL2의 전열량은 FT3의 전열량을 기준으로 48~79% 정도 크게 나타났다. 열교환기 체적이 AL2의 약 2배이고 3장에서 실험에 사용한 기본모델인 창문형 공조기의 응축기로 사용되고 있는 FT4(관

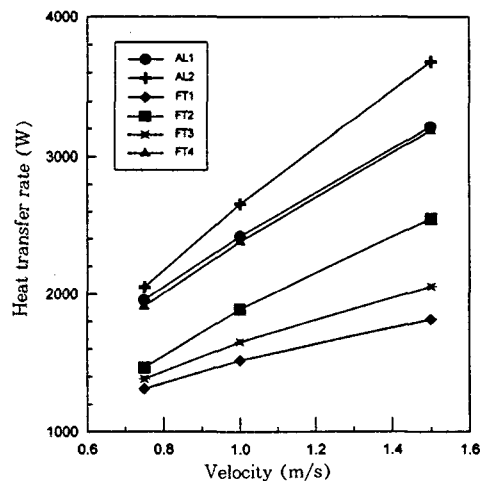


Fig.3 Heat transfer rates for different air velocities

경 9.52mm, 2열 16단)의 전열능력은 AL1과는 유사한 값을, AL2에 비해서는 7~13% 정도 작게 나타났다. 그러나 이는 열교환기를 구성하고 있는 핀 형상이나 핀 피치 등에 크게 의존하는 것으로 알루미늄 열교환기와 핀-관 열교환기의 차이에 대한 일반적인 경향으로 보기는 어렵다. 또한 알루미늄 열교환기 AL2에 비해 체적이 20% 정도 크며 공조기의 증발기로 주로 사용되는 관경 7mm 열교환기 FT2의 전열능력은 AL2에 비해 28~33% 작게 나타났는데, 전반적으로 알루미늄 열교환기의 전열능력이 동일체적의 핀-관 열교환기에 비해 높게 나타나는 경향을 볼 수 있다. 그러나 열교환기를 실제 공조기에 적용시는 열교환기를 통과하는 공기풍량이 열교환기의 압력강하 특성에 따라 변하게 되므로 열교환기의 공조기 적용시의 성능은 추가로 평가해야 한다.

Fig.4에는 열교환기의 종류별 입구공기의 유속에 따른 냉매의 질량유량을 나타내었는데, 냉매의 질량유량은 전열능력의 특성과 유사한 거동을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 열교환기의 평가시 응축기 입출구 온도와 응축기 입구 압력을 일정한 값으로 고정해 놓고 실험 및 성능해석을 수행하였기 때문이다.

열교환기의 종류별 입구공기의 유속에 따른 공기

측 압력강하 특성을 Fig.5에 나타내었다. 평가대상 모든 종류의 열교환기에 대해 공기측의 압력강하는 유속의 증가에 따라 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있다. AL2의 공기측 압력강하량이 평가된 열교환기 중 가장 큰 값을 보였고, FT4와는 유속이 1m/s 이상에서만 약간 높은 값을 나타냈으며 전체적인 압력강하는 동일한 특성을 보였다. 동일 전열능력을 갖는 AL1과 FT4의 압력강하 특성을 비교해 보면 FT4가 약 26% 정도 큰 값을 갖는다. 또한 FT3과 동일체적이며 전열능력이 48~79% 정도 큰 값을 갖는 AL2와 압력강하 특성을 비교해보면 AL2를 기준으로 볼 때 FT3의 압력강하량이 22~24% 정도 작음을 알 수 있다. 이는 공기측의 압력손실을 공기가 열교환기를 통과할 때 생기는 유로에서의 마찰손실과 관의 모양에 따라 결정되는 형상 손실로 구분할 때, 알루미늄 열교환기의 경우는 원관형 열교환기에 비해 상대적으로 마찰에 의한 압력강하가 지배적이기 때문인 것으로 보인다. 또한 공기유로에서의 마찰에 의한 압력강하는 핀 형상이나 핀피치 등에 크게 좌우되는데, FT3의 경우는 공기측의 핀 형상이 압력강하가 비교적 작은 파형핀을 사용하였기 때문에 루버 핀을 사용한 동일체적의 알루미늄 열교환기에 비해 공기측 압력강하가 작은 것으로 판단된다.

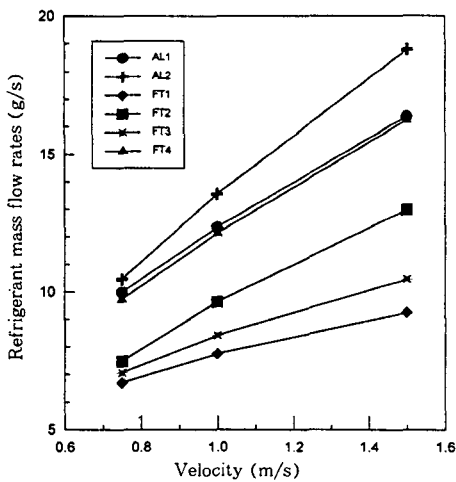


Fig.4 Refrigerant mass flow rates for different air velocities

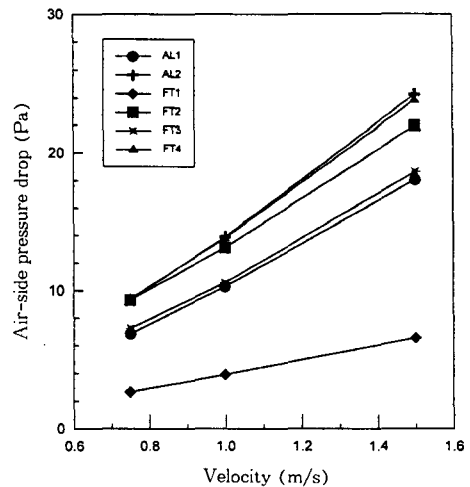


Fig.5 Air-side pressure drops for different air velocities

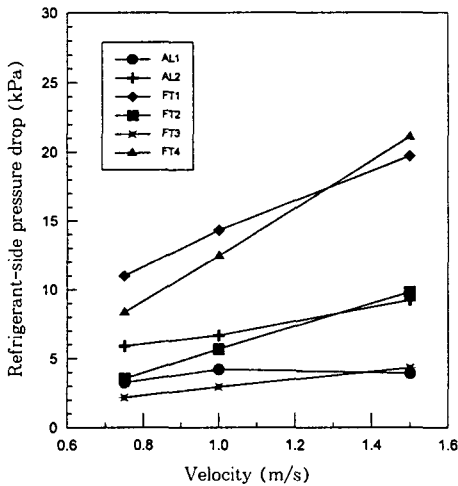


Fig.6 Refrigerant-side pressure drops for different air velocities

Fig.6에는 냉매측의 압력강하 특성을 도시하였다. AL1의 냉매측 압력강하는 AL2와 비교하여 약 50% 정도 수준으로 나타났으며 알루미늄 열교환기의 경우가 원관 열교환기에 비해 비교적 작은 냉매측 압력강하를 보였다. 이는 알루미늄 열교환기가 비록 원관에 비해 수력직경은 작지만 냉매가 통과하는 단면적을 기준으로 보면 알루미늄 열교환기가 원관의 열교환기에 비해 크기 때문으로 생각된다.

3. 공조기 적용 성능 평가

본 실험에서는 창문형 공조기의 응축기를 기존의

핀-관 열교환기에서 알루미늄 열교환기로의 변경 시 공조기의 성능특성을 조사한다. 열교환기의 단품 성능평가 결과를 토대로 알루미늄 열교환기를 창문형 공조기의 응축기로 적용하여 성능 및 사이클 특성을 기존의 핀-관 열교환기의 사용시와 비교 분석하여 열교환기의 성능변화가 실제 시스템에 미치는 영향을 평가한다. 이를 통하여 가정용 공조기에의 알루미늄 열교환기의 적용 가능성을 검토하고 향후 알루미늄 열교환기의 설계에 대한 기초자료로 활용하고자 한다.

3.1 실험 공조기

실험에 사용된 기본모델은 S사에서 생산중인 공칭 냉방능력이 4.13kW(3,550kcal/hr)인 가정용 냉방전용 창문형 공조기이며 로터리압축기, 응축기, 팽창장치인 모세관, 증발기 등의 증기압축시스템의 기본 사이클의 구성요소와 어큐뮬레이터 및 열교환용 송풍기 등의 부속장치로 구성되어 있다. 본 실험에 사용된 기본모델의 사양을 Table 3에 간단히 나타내었다.

공조기의 성능은 열교환기의 입·출구 공기의 엔탈피와 풍량을 측정하여 능력을 평가하는 공조기 열량계(Psychrometric calorimeter)를 이용하였는데 이는 실내측 및 실외측의 온도와 습도 분위기를 유지시키는 두개의 항온항습조로 구성되어 있다. 실내외측 모두 열교환기의 입구공기의 건구온도 및 습구온도를 측정하여 실험조건에 맞도록 제어하게 되며 실내측의 경우 열교환기를 통과하는 풍량 및 토출공기의 건구온도 및 습구온도를 동시에 측정한다.

Table 3 Specifications for the basic model

Item	Specifications
Rated cooling capacity	4.13kW(3,550kcal/h)
Refrigerant/oil	R22(900g)/Mineral oil(VG56)
Compressor	Rotary(1.5HP, 19.35cc)
Evaporator	2-row 15 tubes, 2 circuits(370×375×25.4mm)
Condenser	2-row 16 tubes, 1 circuit(540×400×21.65mm)
Expansion device	Capillary tube
Indoor fan	Sirroco fan
Outdoor fan	Axial flow fan

다. 열량계에서 측정하는 건구온도 및 습구온도의 오차한계는 0.1°C(KS규격 : 건구온도 1.0°C, 습구온도 0.5°C)이며 공조기의 능력은 실내측 열교환기를 통과하는 공기의 엔탈피 차와 풍량을 이용하여 구한다.

3.2 실험조건 및 방법

실험은 한국공업규격(KS B-6369)에 따라 고온 냉방조건(실내측 건구/습구 온도 : 27/19.5°C, 실외측 건구/습도 온도 : 35/24°C)에 대해서만 진행하였다. 먼저 기본모델(응축기 : FT 4 적용)을 일부 수정(팽창장치를 2개의 모세관에서 모세관 및 니들밸브의 결합으로 변환)하여 냉매에 따른 과냉도 및 과열도의 제어를 용이하게 한 후 기본실험을 수행하였다. 기본시스템에 대한 실험은 냉매량을 800g에서 950g까지 50g씩 증가시키면서 총 4가지 경우에 대한 사이클매칭 실험을 수행하였다. 기본실험 완료 후 시스템의 응축기를 알루미늄 열교환기(AL1, AL2)로 교체한 후 냉매봉입량의 최적화 실험을 수행하였으며 AL1의 경우는 냉매량을 510g에서 590g까지 20g씩 증가시키면서 실험을 진행하였다. AL2도 같은 방법으로 550g에서 630g까지 20g씩 냉매량을 증가시키면서 실험을 진행하였으며 증발기의 과열도 및 응축기의 과냉도

는 팽창밸브의 개도를 조절하여 제어하였다.⁽¹⁶⁾

3.3 결과 및 고찰

Fig.7에서 Fig.13까지 평판관형 알루미늄 열교환기를 창문형 공조기의 응축기에 적용하여 시스템의 성능을 평가한 결과를 기본시스템의 실험결과와 비교하여 도시하였다. Fig.7부터 Fig.9에는 알루미늄 열교환기를 응축기로 사용하는 시스템에 대한 냉매봉입량에 따른 냉방능력, 소비전력, 에너지효율(EER)을 기본시스템의 결과와 비교하여 나타내었다. 냉매봉입량에 따른 시스템의 성능특성은 열교환기의 종류에 관계없이 서로 유사하게 나타났다. Fig.7와 Fig.8에 도시한 냉방능력과 소비전력을 보면 냉매봉입량의 증가에 따라 세가지 경우 모두 증가하며 알루미늄 응축기를 적용한 시스템의 냉매봉입량에 따른 냉방능력 및 소비전력의 증가의 폭이 기본시스템에 비해 상대적으로 크게 나타났다. 이는 냉매봉입량이 기본시스템에 비해 상대적으로 작고 시스템에 사용된 팽창장치가 저 유량영역에서는 제어가 잘 안되고 있음을 보여주는 것이다.

Fig.9에 나타난 에너지효율의 냉매봉입량에 따른 특성을 살펴보면 알루미늄 열교환기를 채용한 시스템의 경우 최고 에너지효율을 갖는 냉매봉입량

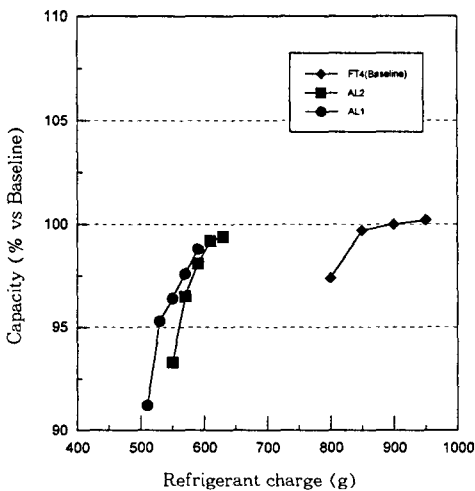


Fig.7 Cooling capacity ratios with various refrigerant charges

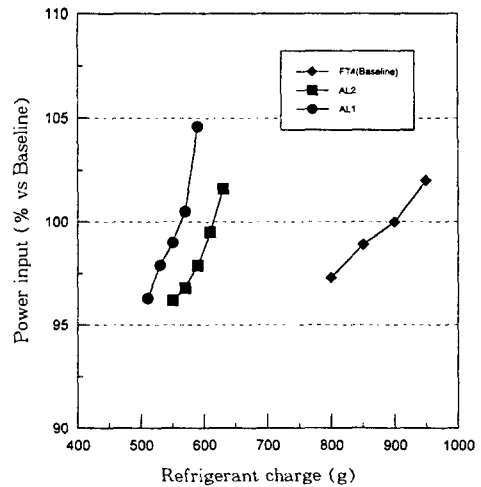


Fig.8 Power consumption ratios with various refrigerant charges

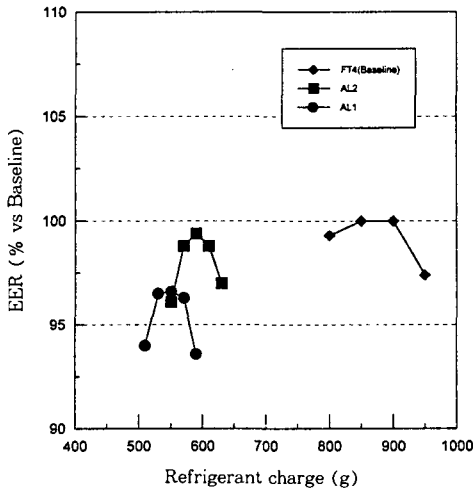


Fig.9 Energy efficiency ratios with various refrigerant charges

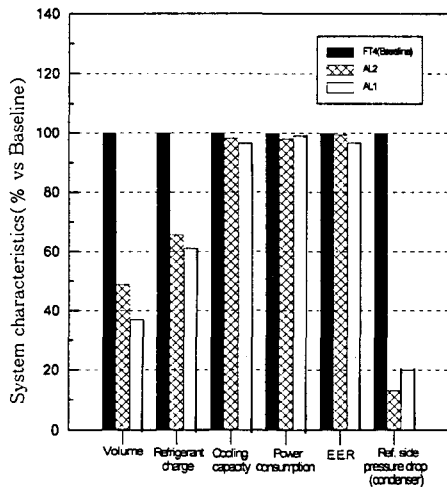


Fig.10 System characteristics with fin-tube and aluminum heat exchangers

부근에서 봉입량에 따른 에너지효율의 변화가 기본 시스템에 비해 상대적으로 급격하게 나타나는데, 이는 냉매의 최적 봉입량에 대한 정확한 관리를 필요로 하게 된다. 그림에서 알 수 있듯이 열교환기 단품성능이 기존의 응축기(FT4)와 유사한 AL1을 응축기로 적용시 냉방능력과 EER이 약 3% 감소하였으며, 열교환기의 단품성능이 10% 정도 우수한 AL2를 응축기로 적용했을 때는 기본시스템

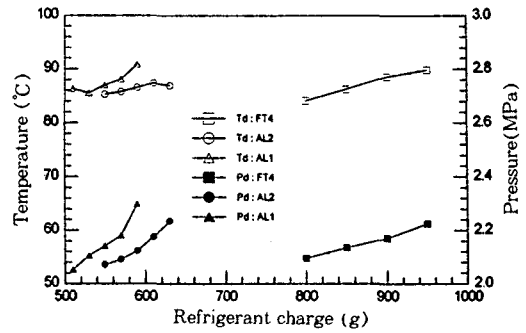


Fig.11 Discharge temperatures(Td) and pressures(Pd)

과 거의 동등수준의 성능을 나타냈다. 이는 열교환기의 단품성능 시험조건과 실제 공조기의 운전조건이 다른데 일부 기인하는 것이며 응축기 자체의 성능이 우수하더라도 시스템의 다른 구성요소와의 균형이 잘 이루어지지 않으면 성능이 향상될 수 없음을 보여주는 것이다. 최고효율을 나타내는 냉매봉입량은 AL1의 경우 530g, AL2의 경우는 590g으로 기본시스템의 900g에 비해 각각 61% 및 65% 수준으로 나타났는데, 성능이 기본시스템과 동일한 AL2의 경우를 살펴보면 냉매봉입량이 기본시스템에 비해 35% 정도 감소한 것이다. 실제 공조기를 고온냉방실험조건에서 운전할 경우 응축기측을 포함한 고압단의 냉매의 비체적이 저압단에 비해 작기 때문에 시스템 운전시 냉매의 상당부분이 고압단의 응축기에 존재하게 된다.⁽¹⁷⁾ 따라서 응축기내의 체적이 감소하면 냉매봉입량을 줄일 수 있게 되는데, 본 연구에서 사용한 알루미늄 응축기는 냉매측의 수력저항이 기존의 열교환기에 비해 상대적으로 작아 응축기의 관내측 체적이 작아서 냉매 봉입량이 감소한 것으로 볼 수 있다.

Fig.10에는 최고효율이 나오는 경우에 대한 응축기의 종류별 시스템의 특성을 요약하여 나타내었는데 동등 수준의 성능을 갖는 알루미늄 열교환기(AL2)의 크기가 기존의 응축기에 비해 약 50% 수준으로 나타났다. 또한 응축기내에서의 냉매측 압력강하량은 평판관형 알루미늄 응축기의 경우가 기존 핀-관 응축기에 비해 약 20%이하의 값을 보였다. 이는 알루미늄 열교환기의 평판관의 수력저항이 기존의 원관 응축기에 비해 작지만 평행한 단

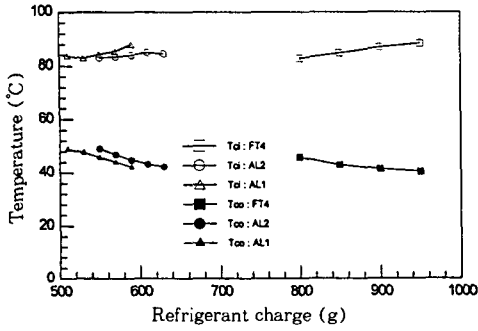


Fig.12 Condenser inlet(Tci) and outlet(Tco) temperatures

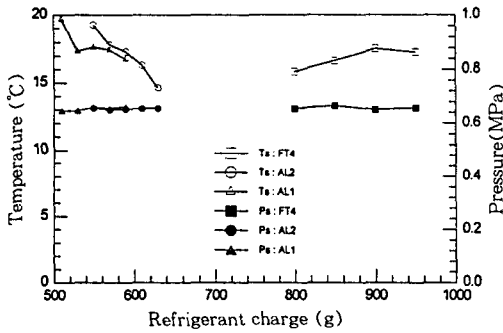


Fig.13 Suction temperatures(Ts) and pressures(Ps)

패스를 사용하므로 냉매가 순환하는 전체 단면적은 기존 열교환기에 비해 크기 때문이다.

Fig.11에는 냉매봉입량에 따른 토출압력과 온도를 각각 도시하였는데 토출압력은 냉매봉입량의 증가에 따라 대상 응축기 모두 증가하였으며 토출온도도 증가하는 경향을 보였다. 이는 냉매량의 증가에 따라 압축기에서 토출하는 냉매량이 모세관에서 보낼 수 있는 용량보다 커지고 따라서 응축기에 액냉매가 증가하면서 생기는 결과로 볼 수 있는데 이는 냉매량에 따른 응축기 출구의 온도를 살펴보면 알 수 있다.

Fig.12에 냉매봉입량에 따른 응축기 입구 및 출구 온도를 나타내었는데 응축기의 입구온도는 압축기의 토출온도와 같이 냉매봉입량의 증가에 따라 커지고 출구온도는 냉매량에 따라 감소하였다. 압

축기의 토출압력이 냉매량에 따라 증가함에도 불구하고 응축기 출구온도가 낮아지는 것은 응축기의 과냉도가 커지는 것을 뜻하고 응축기의 출구부에 액냉매가 증가하고 있다는 것을 의미한다.

Fig.13에는 냉매봉입량에 따른 흡입온도와 압력을 도시하였는데 흡입압력은 냉매봉입량에 따라 크게 변하지 않았다. 흡입온도는 알루미늄 열교환기의 경우 냉매봉입량에 따라 감소하는 경향을 보였으며 기본시스템의 경우는 냉매량에 따라 증가하다가 최고 효율점을 지나면 다시 감소하는 경향을 보이고 있으나 최고효율을 나타내는 냉매량에서의 흡입온도는 응축기의 종류에 관계없이 거의 동일한 17.5°C 정도를 나타내었다. 알루미늄 열교환기의 경우 냉매량에 따라 흡입온도가 급격히 저하하는 것은 기본시스템의 팽창장치로는 제어가 용이하지 않아서 나타나는 현상으로 볼 수 있다. 최고 효율점에서의 흡입온도가 동일한 것은 팽창장치의 개도를 시스템의 효율이 최대가 되도록 제어하였는데 시스템의 최고효율에서의 과열도가 동일하기 때문일 것으로 판단된다.

본 연구에서 검토한 알루미늄 열교환기는 자동차용 응축기로 사용되고 있는 루버핀 및 평판관을 그대로 사용하여 제작한 것으로 열교환기의 큰 구조변경 없이 가정용 공조기의 응축기로 사용할 수 있을 것으로 보인다. 그러나 시스템의 성능을 더욱 향상시키기 위해서는 가정용 공조기의 운전조건에 적합한 열교환기의 구조(루버 형상, 관형상, 냉매분배 유로 등)에 대한 최적화 연구가 필요할 것으로 생각된다.

4. 결 론

평판관형 알루미늄 열교환기의 단품 및 공조기의 응축기로 적용한 시스템의 성능시험을 수행하고 그 결과를 기존의 핀-관 열교환기의 결과와 비교 분석하여 다음과 같이 결론을 얻었다.

(1) 알루미늄 열교환기 단품(AL2)의 전열능력은 동일체적의 핀-관 열교환기(FT3)에 비해 48~79% 정도 높게 나타났으며 열교환기의 종류에 따른 전열능력의 차이는 열교환기의 유입공기의 속도가 작을수록 작게 나타났다.

(2) 열교환기의 체적이 기존 열교환기에 비해 50% 정도인 알루미늄열교환기(AL2)를 창문형 공조기의 응축기로 사용할 경우 기본시스템과 동일 수준의 냉방능력을 얻을 수 있다.

(3) 알루미늄 응축기는 기존의 핀-관 응축기에 비해 냉매봉입량을 35% 감소시킬 수 있는데 이는 알루미늄 열교환기의 수력직경이 작아 관내체적이 상대적으로 작기 때문이다.

(4) 알루미늄 열교환기를 공조기의 응축기로 사용할 때 냉매봉입량에 따른 성능변화가 기존의 경우보다 급격하여 냉매봉입시에 보다 정확한 관리가 필요할 것으로 사료된다.

(5) 공기측 압력강하량은 알루미늄 열교환기(AL2)가 동일체적의 핀-관 열교환기(FT3)에 비해 약 22~24% 크게 나타났으며, 동일한 전열능력을 갖는 알루미늄열교환기(AL1)는 핀-관 열교환기(FT4)에 비해 약 26% 정도 작은 압력강하량을 보였다.

(6) 알루미늄 응축기의 냉매측 압력강하는 기존 열교환기에 비해 약 20%이하로 나타났으며 이는 알루미늄 열교환기의 냉매 분배형식이 평행 단 패스이기 때문이다.

(7) 자동차용 응축기로 사용되는 알루미늄 열교환기는 사용냉매가 R12 또는 R134a로 가정용 공조기의 냉매와는 다르므로 이에 적합한 평판관의 개발이 필요하며 운전조건도 가정용 공조기와 크게 다르므로 공기측 편형상의 최적화를 포함한 체계적인 연구가 요구된다.

후 기

본 연구의 일부는 통상산업부에서 시행한 에너지 절약기술사업의 사업수행 결과이며, 이에 깊이 감사드린다. 또한 실험에 일부 참여한 삼성전자의 김영생, 주희성 전임연구원에게 감사드린다.

참 고 문 헌

1. Kruse, H. et al, 1992, "Compression cycles for environmentally acceptable refrigeration, air conditioning and heat pump

- systems", IIR, Paris, France.
2. McQuiston, F.C. and Parker, J.D., 1994, "Heating, ventilating and air conditioning analysis and design", 4th ed., John Wiley & Sons, Inc., New York.
3. Taboek, J., Hewitt, G.F. and Afgan, N., 1983, "Heat exchangers: Theory and practice", Hemisphere Pub. Corp., Washington D.C.
4. Kays, W.M. and London, A.L., 1984, "Compact heat exchanger", 3rd ed., McGraw-Hill, New York.
5. Webb, R.L., 1994, "Principles of enhanced heat transfer", John Wiley & Sons, Inc., New York.
6. Roetzel, W., Heggs, P.J., and Butterworth, D., 1992, "Design and operation of heat exchangers", Spring-Verlag, New York.
7. 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, No. 6, p. 400~406.
8. Sahnoun, A. and Webb, R.L., 1992, "Prediction of heat transfer and friction for the louver fin geometry", J. of Heat Transfer, Vol. 114, pp. 893~900.
9. 전창덕, 1994, "루우버핀형 고밀도 열교환기의 유동 및 열전달 측정에 관한 연구", 연세대학교 대학원 기계공학과 박사학위논문.
10. Chang Y. and Wang, C., 1996 "Air side performance of brazed aluminum heat exchangers", J. of Enhanced Heat Transfer, Vol. 3, No. 1, pp. 15~28.
11. Chang Y. and Wang, C., 1997, "A generalized heat transfer correlation for louver fin geometry", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 40, No. 3, pp. 533~544.
12. Muramoto, H., Namal K. and Mochizuki, S., 1997, "Flow visualization in louvered fin heat exchangers using three dimensional models", The First Symposium on Flow

- Visualization and Image Processing, Honolulu, February 23-26, pp. 491~496.
13. Webb, R.L. and Jung, S.-H., 1992, "Air-side performance of enhanced brazed aluminum heat exchangers", ASHRAE Trans., Vol. 98, Part 2, pp. 391~401.
 14. 배태식, 한창섭, 1996, "차량용 응축기의 룸에 어킨 적용 가능성 연구", 공기조화냉동공학회 하계학술대회논문집, pp. 402~407.
 15. 윤백, 김영생, 박현연, 1996, "직교류 핀-관 열교환기의 성능평가", 공기조화 냉동공학 제 25권 제2호, pp. 151~160.
 16. 김만희, 신정섭, 김권진, 박윤서, 1996, "열교환기 구조에 따른 R-407C 공조기의 성능연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 B, pp. 732~736.
 17. Mulroy, W.J. and Didion, D.A., 1985, "Refrigerant migration in a split-unit air conditioner", ASHRAE Trans., Vol. 91, Pt.1A, pp. 193~206.