

핀-튜브 열교환기와 알루미늄 열교환기의 전열성능과 압력강하 특성비교

장근선^{1*}, 이현수¹, 김재덕¹

Comparison of Heat Transfer Performance and Pressure Drop of Fin-Tube and Aluminum Heat Exchangers

Keun-Sun Chang^{1*}, Hyun-Su Lee¹ and Jae-Duck Kim¹

요약 본 논문에서는 루버형 핀 형상을 가진 핀-튜브 열교환기와 알루미늄 평행류 열교환기의 에어컨 응축기 조건에서의 열전달 성능과 공기측 압력강하 특성을 비교하였다. 모든 실험은 ASHRAE 표준에 근거해 제작된 공기엔탈피형 칼로리미터를 사용하여 수행하였다. 관외 측 공기 속도는 0.7-1.6 m/s 까지 0.3 m/s 간격으로 변화시켰으며 건구온도는 20℃, 상대습도는 60%로 유지하였다. 관내 측 물의 입구온도는 70℃, 유량은 10 LPM로 고정하였다. 알루미늄 열교환기의 열전달 성능은 루버 핀-튜브 열교환기보다 단위질량당, 단위질량당, 단위열전달면적당 약 17-163%정도 높게 나타나는 연구결과를 보였으며 반면에 공기측 압력강하는 핀-튜브 열교환기에 비해 약 19-81%정도 낮게 나타났다.

Abstract This study presents comparison of heat transfer and air side friction characteristics in a condenser condition of air conditioner between Louver fin-tube heat exchangers and aluminum parallel heat exchangers. All experiments are performed using an air-enthalpy type calorimeter, which is designed based on the method described in ASHRAE standards. The air velocities crossing the heat exchanger tubes are varied from 0.7 to 1.6 m/s with 0.3 m/s interval, maintaining air dry temperature and relative humidity at 20℃ and 60% respectively. Water temperature and flow rate inside the tube are 70℃ and 10 LPM, respectively. Experimental results show that the heat transfer performances of aluminum heat exchangers are 17-163% higher than those of Louver fin-tube heat exchangers based on the data per unit volume, mass, and heat transfer area, whereas air side pressure drops of aluminum heat exchangers are 19-81% lower.

Key Words : Fin-tube heat exchanger, Aluminum heat exchanger, Heat transfer, Pressure drop

1. 서론

현재 산업의 고도화와 쾌적한 삶의 추구에 대한 인간의 욕구가 증가되면서 에너지의 사용이 크게 증가하고 있으며, 이에 따른 에너지 자원의 고갈 및 지구의 환경 파괴에 대한 문제가 심각한 상황으로 대두되고 있어 이를 해결하기 위한 노력이 다각적으로 검토되고 있다. 가정 및 산업 전반에 걸쳐 사용이 증가하고 있는 냉동 공조시스템의 경우도 제품의 재활용성의 증대 및 에너지 소비 효율을 향상시켜 제품이 지구환경에 미치는 영향을 최소화하는 것이 요구되고 있다. 냉동 공조시스템의 효율을

향상시키기 위해서는 시스템을 구성하는 요소부품의 고성능화가 선행되어야 하는데 열교환기는 시스템의 크기 및 성능에 크게 영향을 미치는 핵심 구성 요소이다. 공조용 열교환기에는 증발기와 응축기의 두 종류가 있으며 핀-튜브 열교환기가 주로 사용되고 있다. 핀-튜브 열교환기는 냉매가 흐르는 원형의 구리 관과 공기 측의 알루미늄 핀이 기계적인 확관에 의해 접합되어 제작되고 있다. 이 경우 열 저항은 구리관의 전도저항을 무시하면 공기 측, 냉매 측, 그리고 접촉 열 저항으로 크게 구분할 수 있는데 공기 측의 열 저항이 상대적으로 매우 큰 것으로 알려져 있다. 따라서 그 동안 공기 측의 전열성능을 향상시

본 논문은 지역혁신인력양성사업 연구과제로 수행되었음.

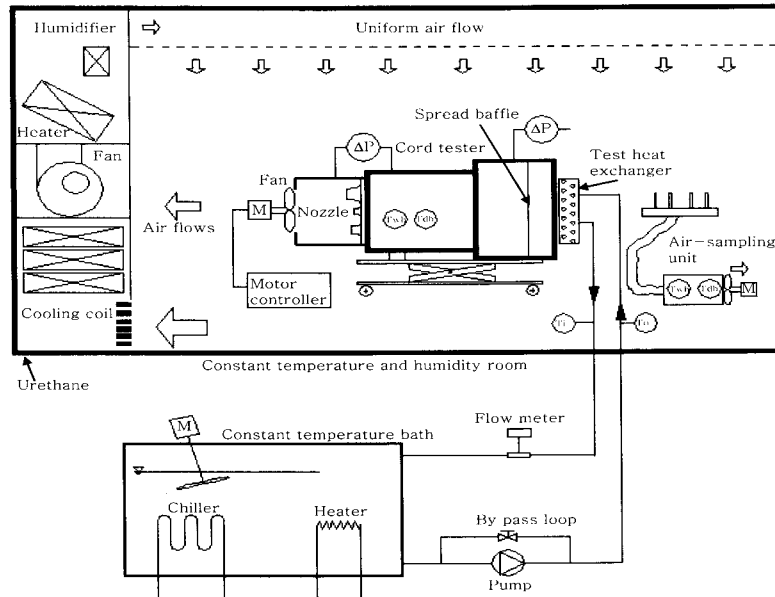
¹선문대학교 기계공학부

접수일 08년 11월 05일

수정일 09년 01월 14일

*교신저자: 장근선(chang@sunmoon.ac.kr)

계재확정일 09년 02월 18일



[그림 1] 실험장치 개략도

키기 위해 파형 핀, 루버 핀, 슬릿 핀의 우수하고 다양한 핀 형상이 개발되었으며, 냉매측도 마이크로 튜브 핀, groove 핀의 가공기술 접목과 관경의 소구경화가 이루어지는 등 열교환기의 전체 성능을 향상시키기 위한 연구가 상당히 진전되어 더 이상의 괄목할 만한 성능향상은 기대하기 어렵다.

그에 반해 현재 자동차의 응축기로 주로 사용되고 있는 알루미늄 평행류 열교환기는 냉매 측의 수력저항이 작고 공기 측의 열 유동 특성이 기존의 핀-튜브 열교환기보다 우수할 뿐 아니라 핀과 평판 관을 일체로 용착(brazing)하여 제작하기 때문에 고성능의 에어컨용 소형 열교환기의 개발이 가능하다. 또한 열교환기 전체가 알루미늄으로만 구성되기 때문에 열교환기의 중량도 크게 줄일 수 있고, 재 활용성이 기존의 핀-튜브 열교환기보다 우수하여 친환경 제품의 개발이 강조되고 있는 현재 상

황에 잘 부합된다.

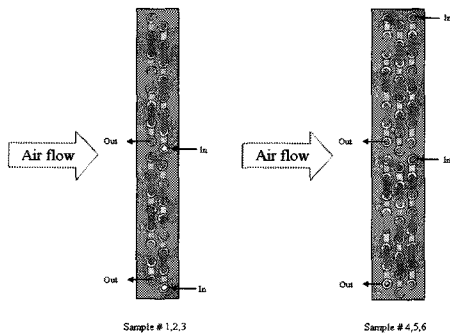
지금까지 알루미늄 평행류 열교환기의 마이크로 핀관 내에서 다양한 종류의 냉매에 대한 증발 및 응축 열전달 특성 연구가 이루어 졌다[1-4]. 이들 연구에서는 냉매의 물성치와 평판, 마이크로 핀관 등 기하학적 변수의 함수로 나타난 다양한 열전달 상관식이 제시되었다. 핀-튜브 열교환기의 공기측 열전달 및 압력강하 특성에 대한 연구도 활발히 이루어졌다[5-8]. 이들 연구의 주류는 핀형상, 핀간격, 열수등 기하학적 변수가 열전달 및 압력강하에 미치는 영향을 고찰한 것이다. 알루미늄 열교환기의 공조시스템 적용성 연구는 최근에 수행되기 시작하였으며[9-11], 일반적으로 알루미늄 열교환기를 기존에 사용되고 있는 핀-튜브 열교환기 대신에 공조기의 응축기로 사용할 경우 약 30%의 부피를 절감하는 것으로 나타났다.

[표 1] 실험 열교환기의 사양 및 제원

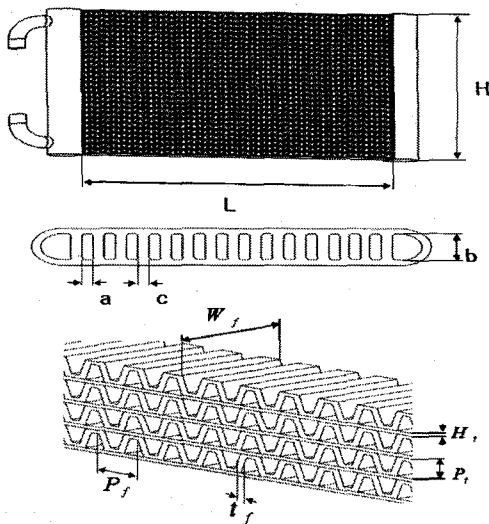
Specification	Fin tube HX						Aluminum HX			
	FT1	FT2	FT3	FT4	FT5	FT6	AL1	AL2	AL3	AL4
Fin shape	Louver						Triangle			Trapezoid
Number of tube row	2	2	2	3	3	3	Micro tube [mm]			
							a*	b*	c*	
							0.7	1.2	0.22	
Number of fin							40			52
Fin pitch [mm]	1.2	1.4	1.6	1.2	1.4	1.6	2.22	2.35	2.5	2.5

*주 그림 3 참조

본 연구의 목적은 현재 자동차 컨테이너로 사용되고 있는 알루미늄 평행류 열교환기의 에어컨 실외기에 적용가능성을 평가하는데 있다. 이를 위해 기존 에어컨 실외기에 상용화되고 있는 7 mm 직경 루버 핀-튜브 열교환기와 다양한 형태의 알루미늄 열교환기 원형(prototype)을 제작하여 실험을 통해 열전달 성능 및 압력강하 특성을 일차적으로 비교하고 이후 에어컨 실외기에 실제 장착하여 열량, 소비전력, 효율의 사이클 특성을 평가하고자 한다. 알루미늄 열교환기가 에어컨 실외기에 적용할 경우 소형화, 경량화, 가격절감을 도모할 수 있다.



[그림 2] 실험에 사용된 핀-튜브 열교환기 개략도



[그림 3] 실험에 사용된 알루미늄 열교환기 개략도

2. 실험장치 및 실험 방법

2.1 실험장치

그림 1에 본 연구에 사용된 공기엔탈피식(psychrometric)

칼로리미터와 항온수조 및 실험장치 구성에 대한 개략도를 나타냈다. 이 장치는 크게 흡입식 챔버(chamber), 물 공급장치, 공기 샘플링장치, 자료획득 및 처리장치로 구성되며 물 공급장치를 제외하고 모두 항온 항습실 내에 위치한다. 챔버 입구에 설치된 열교환기로 유입되는 공기의 입구조건(온도, 습도)은 항온항습실에 설치된 HVAC 계통에 의해 정밀 제어되며, 챔버 입·출구 모두에서 공기 샘플링장치에 의해 건구 및 습구온도가 측정된다. 공기 유량은 챔버 후단에 설치된 흡입팬과 모터제어기에 의해 조절되며, 중간 챔버 후단에 설치된 5개의 노즐을 유량 크기에 따라 개폐 상태를 선택하고 개방된 노즐을 통과하는 차압을 측정함으로써 유량이 계산된다. 공기측 압력강하는 챔버 벽에 설치된 4개의 차압노즐에 의해 측정된다. 열교환기 튜브 내로 공급되는 물의 온도는 항온조에 설치된 냉각기(chiller)와 가열기(heater)의 PID 제어에 의해 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 오차 이내로 일정 온도가 가능하며 물의 유량은 펌프 회전수를 조절함으로써 얻어진다. 열교환기 입구 및 출구에 RTD 센서와 압력계를 설치하여 물의 온도와 압력을 측정하며 유량은 터빈 유량계에 의해 측정된다. 모든 데이터 신호는 자료획득장치(hybrid recorder)에 의해 수집되고 변환된다. 자료획득장치는 이 변환된 신호를 GPIB 연계장치를 거쳐 컴퓨터로 보내고 이후 분석을 위해 저장된다. 이 칼로리미터는 ASHRAE[12]에 규정된 국제 규격에 맞게 설계되었고, 공기측 전열량 측정에 있어서 오차는 정상상태에서 $\pm 1.5\%$ 이내이며 재현성은 $\pm 0.5\%$ 이내이다.

실험 데이터 획득은 실험을 시작하여 공기의 온도 및 유속, 물의 입구온도, 유량 등이 정상상태에 도달한 후, 온도변동이 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 이내로 안정되면 공기의 풍량 및 입·출구 건습도온도, 압력차, 물의 유량 및 입·출구온도 등의 데이터를 10초 간격으로 추출하여 컴퓨터로 보내 적산하고 이를 10분 평균값과 70분 평균값으로 출력한다.

실험에 사용된 핀-튜브 열교환기는 7 mm 동관을 사용한 루버핀 열교환기로 핀 피치와 열수를 달리한 6개의 시료를 제작하였으며, 알루미늄 열교환기는 기존 자동차 컨테이너에 사용되고 있는 산형(triangle) 루버핀을 사용한 열교환기 3종(AL 1, 2, 3)과 핀과 튜브의 접촉면적을 개선한 사다리꼴형(trapezoid)의 루버핀 열교환기 1종(AL 4)을 제작하였다. 그림 2, 3은 본 연구의 실험에 사용된 열교환기의 형상을 나타내었고, 표 1에는 열교환기의 사양 및 제원을 요약하였다. 그림 3은 사다리꼴 형 핀의 형상을 보여주며 산형 핀은 핀이 나사산 형태이다. 산형 핀은 핀과 튜브가 선(line) 접촉을 하는 반면 사다리꼴 형 핀은 면적(area) 접촉을 하여 열저항을 줄일 수 있다.

2.2 실험방법

실험데이터는 유입공기의 온도와 속도 그리고 물의 입구온도와 유량 등이 정상상태에 도달한 후, 공기와 물의 온도변동이 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 이내로 안정되면 공기의 속도, 입구 및 출구의 건구와 습구온도, 압력차 그리고 물의 유량과 입구 및 출구온도 등이 획득되었다. 본 연구에 사용된 난방 온도에서의 열교환기 실험조건은 다음과 같다.

공기측 :

- 유입 공기온도 : 20°C
- 유입공기 상대습도 : RH 60%
- 유입공기 속도 : $0.7 \sim 1.6 \text{ m/s}$ (4 단계)

물측 :

- 열교환기 유입 물온도 : 70°C
- 물유량 : 10 lpm

열교환기의 비교실험을 위해 핀-튜브와 알루미늄 열교환기 모두 물의 유량을 10 lpm 동일 값으로 유지하여 실험하였으며, 측정된 공기측과 물측의 열평형(heat balance)은 최대 $\pm 3\%$ 이내에서 만족하는 실험값만을 선택하여 실험 결과에 대한 신뢰도를 높였다.

2.3 데이터 처리방법

열교환기의 공기측과 물측의 전열량은 다음 식으로 각각 표현된다. 본 연구에서는 실험에서 얻은 측정값과 알고 있는 물질의 특성치를 사용하여 열교환기의 전열량을 계산하였다.

$$Q_a = \dot{m}_a (i_{a,i} - i_{a,o}) \quad (1)$$

$$Q_w = \dot{m}_w C_{p,w} (T_{w,i} - T_{w,o}) \quad (2)$$

실험의 신뢰도를 높이기 위하여 측정된 공기와 물의 전열량은 다음과 같은 열평형식을 사용하였다.

$$\text{Heat balance}(\%) = \frac{Q_a - Q_w}{Q_a} \times 100 \quad (3)$$

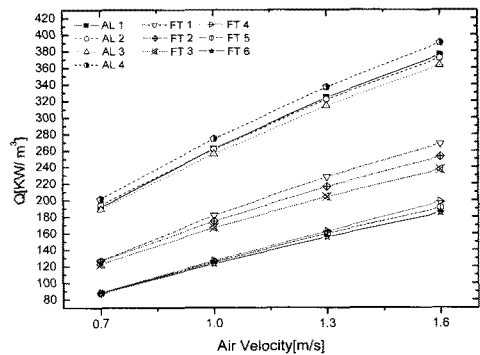
여기서, Q , \dot{m} , i , C , T 는 각각 열량, 질량유량, 엔탈피, 비열, 온도 이고, 하첨자 a , w , i , o , p 는 각각 공기측, 물측, 입구, 출구, 정압을 나타낸다.

3. 실험 결과 및 고찰

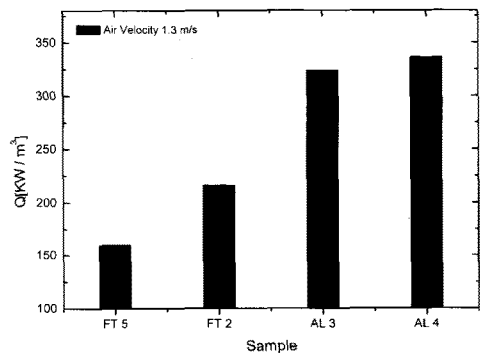
3.1 전열량 비교

그림 4와 5는 핀-튜브 열교환기와 알루미늄 열교환기의 단위체적당 전열량을 비교한 그림이다. 단위 체적당 전열량은 총 전열량을 외형체적으로 나눈 값을 의미한다. 단위 체적당 비교는 두 가지형의 열교환기가 형상과 크기가 달라 직접 비교하기가 어렵기 때문에 사용한 것이다.

핀-튜브 열교환기를 비교해 보면 3열 열교환기(FT 4, 5, 6)보다는 2열 열교환기(FT 1, 2, 3)가 단위체적당 전열량이 더 크게 나타나고, 알루미늄 열교환기가 핀-튜브 열교환기보다 전열량이 더 큰 것을 알 수 있다. 그림 4에서 핀 간격이 작을수록 열전달 면적이 커져 전열량도 증가하며 공기속도가 커질수록 그 차이가 커짐을 알 수 있다. 이는 공기속도가 커질수록 공기측 열전달계수가 커지기 때문이다.



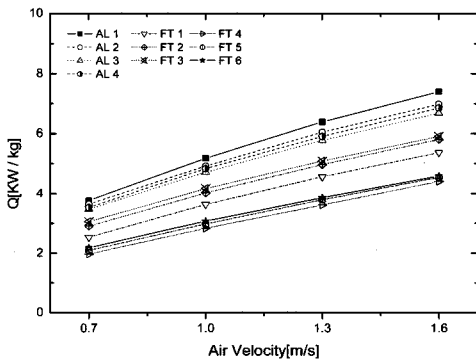
[그림 4] 전체 열교환기의 단위체적당 전열량



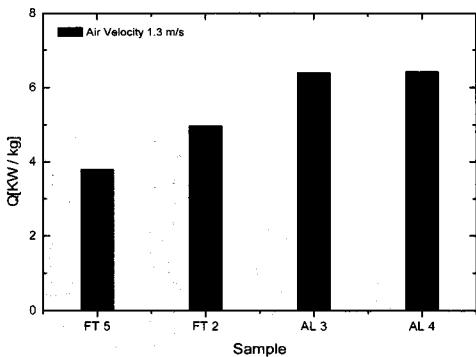
[그림 5] 대표 열교환기의 단위체적당 전열량

그림 5와 같이 공기 전면 속도 1.3 m/s에서 각 열교환기의 대표 샘플의 단위체적당 전열량을 비교해 보면 산형 핀 알루미늄 열교환기(AL 3)는 2열 핀-튜브 열교환기

(FT 2)보다 약 45% 정도 높은 전열량을 나타냈으며 3열 핀-튜브 열교환기(FT 5)보다는 97%정도 높은 전열량을 나타내었다. 사다리꼴 핀형 알루미늄 열교환기(AL 4)는 2열 핀-튜브 열교환기보다 55%, 3열 핀-튜브 열교환기보다는 111%정도 높은 단위체적당 전열량을 보였다. 알루미늄 열교환기 비교에서는 사다리꼴 핀형(AL 4)이 산형(AL 3)보다 약 7%정도 높게 나타났다. 알루미늄 열교환기가 핀-튜브 열교환기보다 전열량이 높은 것은 알루미늄 열교환기의 튜브가 미세채널로 구성되어 있어 원형 튜브로 되어 있는 핀-튜브 열교환기보다 열전달 계수가 높고 단위 체적당 핀 면적이 큰 것이 주된 원인이다. 사다리꼴 핀형 알루미늄 열교환기가 산형 핀보다 전열량이 높은 것은 핀과 튜브 접촉면적이 면 접촉으로 이루어져 선 접촉으로 이루어진 산형보다 상대적으로 열저항이 줄어들기 때문이다.



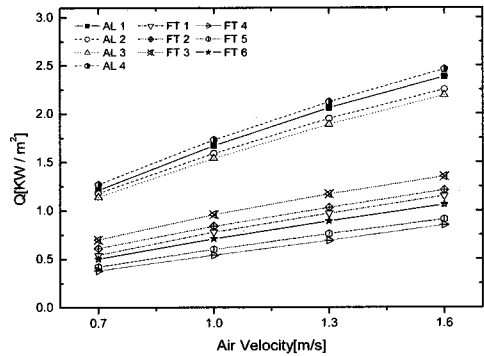
[그림 6] 전체 열교환기의 단위질량당 전열량



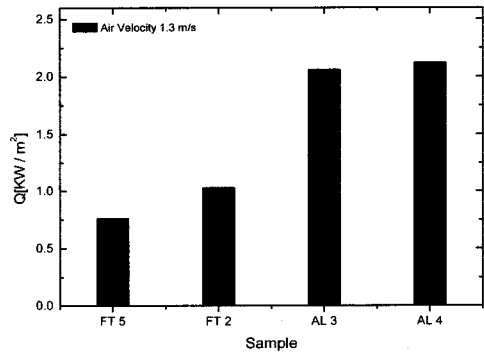
[그림 7] 대표 열교환기의 단위질량당 전열량

그림 6과 7은 핀-튜브 열교환기와 알루미늄 열교환기의 단위질량당 전열량을 비교한 그림이다. 단위 질량당 전열량은 총 전열량을 질량으로 나눈 값이다. 단위 질량당 전열량 비교에서도 알루미늄 열교환기가 핀-튜브 열

교환기보다 우수하며 2열 핀-튜브 열교환기가 3열 핀-튜브 열교환기 보다 크게 나타났다. 공기 전면 속도 1.3 m/s 에서 각 열교환기의 대표 샘플의 단위질량당 전열량을 비교해 보면, 산형 핀 알루미늄 열교환기(AL 3)는 2열 핀-튜브 열교환기(FT 2)에 비해서는 16%정도 높게 나타났으며 3열 핀-튜브 열교환기(FT 5)에 비해서는 52%정도 높게 나타났다. 사다리꼴 핀형 알루미늄 열교환기(AL 4)는 2열 핀-튜브 열교환기 보다는 19% 높은 전열량을 나타내었고 3열 핀-튜브 열교환기 보다는 55% 높게 나타났다. 알루미늄 열교환기 경우에는 사다리꼴 핀형이 산형 핀형보다 2%정도 높게 나타났다.



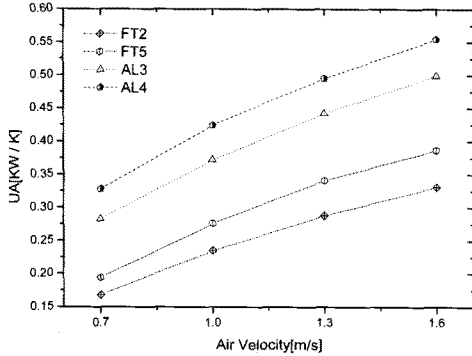
[그림 8] 전체 열교환기의 단위면적당 전열량



[그림 9] 대표 열교환기의 단위면적당 전열량

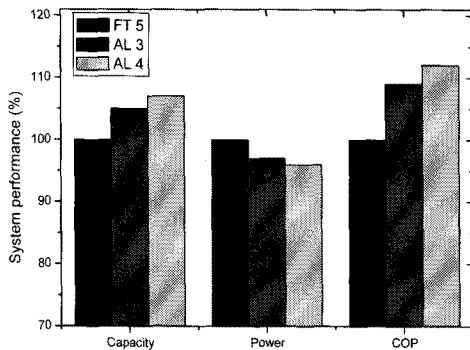
그림 8, 9는 열전달이 일어나는 단위 열전달 면적당 전열량을 비교한 그림이다. 단위 면적당 전열량은 총 전열량을 공기측 전열면적으로 나눈 값이다. 공기 속도 1.3 m/s 일 때 산형 핀 알루미늄 열교환기(AL 3)의 경우에는 2열 핀-튜브 열교환기(FT 2) 보다 83%정도 높게 나타났고 3열 핀-튜브 열교환기(FT 5) 보다는 148%정도 높게 나타났다. 사다리꼴 핀형 알루미늄 열교환기(AL 4)는 2열 핀-튜브 열교환기에 비해서는 105%정도 높게 나타났

고 3열 핀-튜브 열교환기 보다는 178%정도 크게 나타났
다. 알루미늄 열교환기의 핀형상 비교에서는 사다리꼴 핀
형이 12%정도 크게 나타났다.



[그림 10] 대표 열교환기의 총괄열전달계수(UA)

그림 10에는 각 열교환기 대표 샘플에 대한 총괄열전
달계수(UA)를 비교하였다. 앞서 전열량 결과에서도 나타
났듯이 알루미늄 열교환기가 핀-튜브 열교환기 보다 미
세채널에서의 열전달 향상 효과와 핀 면적의 증가로 총
괄열전달계수가 크게 나타나게 된다. 사다리꼴 핀형(AL
4)의 총괄열전달계수가 가장 크게 나타난 것은 앞서 기술
했듯이 핀과 튜브의 접촉이 면적으로 이루어져 열저항이
줄어들었기 때문이다.

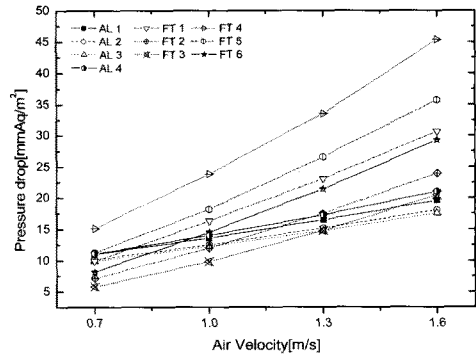


[그림 11] 대표 열교환기의 공조사이클 적용시 성능비교

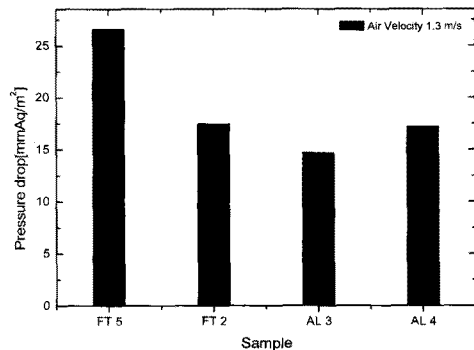
그림 11에는 산형 핀 알루미늄 열교환기 (AL 3), 사다
리꼴 핀 알루미늄 열교환기(AL 4), 3열 핀-튜브 열교환기
(FT 5) 각각 1종을 선정, 공조기 실외기에 장착하여 사이
클 특성을 비교 실험한 결과이다. 냉매는 R-22를 사용하
였으며 실내기, 압축기등 다른 부품은 동일한 상용제품을
사용하였으며 KS C 9306에서 규정한 시험방법을 따랐다
[13]. 사다리꼴 핀형 알루미늄 열교환기(AL 4)는 산형 알

루미늄 열교환기(AL 3)와 핀-튜브 열교환기(FT 5)보다
열량이 각각 2%, 7% 높으며 소비전력은 반대로 1%, 4%
낮아 결과적으로 성능계수(COP)는 각각 2.8%, 12% 높게
나타났다. 이는 사다리꼴 핀형 알루미늄 열교환기(응축기
로 작동)의 전열량이 다른 경우 보다 높아 사이클에서 고
압측 압력과 저압측 압력 조건을 낮추어 주고 이 결과는
증발기에서의 전열량은 높여주는 반면 시스템 압력차는
줄게 되어 소비전력이 감소하기 때문이다.

3.2 압력강하 비교



[그림 12] 전체 열교환기의 공기측 압력강하



[그림 13] 대표 열교환기의 공기측 압력강하

그림 12, 13은 열교환기를 지나가는 공기측 압력강하
를 나타낸 그림이다. 공기 속도가 증가함에 따라 압력강
하도 거의 선형적으로 증가하나 대체적으로 핀-튜브 열
교환기는 알루미늄 열교환기에 비해 증가속도가 급격함
을 알 수 있다. 핀-튜브 열교환기의 경우 공기속도가 커
질수록 복잡한 구조의 핀 패턴에서의 마찰과 튜브 주변
에서의 마찰이 상대적으로 크게 증가하기 때문이다. 압력
강하는 핀-튜브 열교환기의 경우 열수가 많을수록, 핀 피
치가 작을수록 크며 알루미늄 열교환기의 경우 핀 피치
가 작을수록 압력강하가 증가하나 그 영향은 핀-튜브 열

교환기에 비해 미미한 편이다.

공기속도 1.3 m/s에서 보면 산형 알루미늄 열교환기 (AL 3)가 가장 낮은 압력강하를 보였으며 산형 알루미늄 열교환기를 기준으로 3열 핀-튜브 열교환기는 81%, 2열 핀-튜브 열교환기는 19%, 사다리꼴 핀형 알루미늄 열교환기는 17%정도 압력강하가 높게 나타났다. 사다리꼴 핀형이 산형 핀 보다 압력강하가 높은 것은 튜브 간격이 작아 유로가 좁기 때문이며, 핀-튜브 열교환기의 압력강하가 알루미늄 열교환기보다 크게 나타난 것은 유로 방향의 길이가 알루미늄 열교환기 보다 크고 핀 패턴이 복잡하기 때문이다.

4. 결론

본 연구에서는 2열과 3열 핀-튜브 열교환기와 2가지 핀형상의 알루미늄 열교환기에 대해 단위체적, 단위질량, 단위열전달면적당 전열량 및 공기측 압력강하를 실험을 통해 비교하였으며, 이중 대표 열교환기에 대해 공조사이클에서의 시스템 성능특성을 비교분석하였다. 본 연구를 통해 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 공기속도 1.3 m/s를 기준으로 알루미늄 열교환기가 핀-튜브 열교환기 보다 단위체적당 전열량은 50~104%정도 크고 단위질량당 전열량은 17~53%, 단위열전달면적당 전열량은 94~163% 크게 나타나 알루미늄 열교환기가 핀-튜브 열교환기 보다 소형화, 경량화 면에서 더 유리함을 알 수 있었다.
- (2) 알루미늄 열교환기에서 산형 핀 보다 사다리꼴 핀형이 단위체적당, 단위질량당, 단위열전달면적당 우수하게 나타나 사다리꼴 핀 형태의 열교환기가 고효율화에 더 유리함을 알 수 있었다.
- (3) 공조사이클에 적용했을 때의 성능비교에서는 사다리꼴 핀형 알루미늄 열교환기(AL 4)가 산형 알루미늄 열교환기(AL 3)와 핀-튜브 열교환기(FT 5)보다 열량은 각각 2%, 7% 높게 나타났으며, 성능계수(COP)도 각각 2.8%, 12% 높게 나타났습니다.
- (4) 핀-튜브 열교환기 보다 알루미늄 열교환기가 압력강하가 적어 에어컨 시스템에 적용 시 팬의 부하를 감소시켜 시스템 성능이 향상될 수 있다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부와 한국 산업기술재단의 지역혁

신 인력양성 사업의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사한다.

참고문헌

- [1] Yun, R., Heo, J. H., Kim, Y.. (2006), "Evaporative heat transfer and pressure drop of R410A in microchannels", *International Journal of Refrigeration* 29, pp. 92-100.
- [2] Choi, K. I., Pamitran, A. S., Oh, J. T., (2002), "Boiling heat transfer of R410A in horizontal small diameter tubes", *Proceedings of 2002 winter annual conference, The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, pp. 283-288.
- [3] Coleman, J. W., Krause, P. E., (2004), "Two-phase pressure losses of R134A in microchannel tube headers with large free flow area ratios", *Exp. Therm. Fluid Sci.* 28, pp. 219-226.
- [4] Park, K. J., Lee, K. Y., Jung, D. S., (2005), "Flow condensation heat transfer coefficients of R22, R410A and propane in aluminum multi-channel tube", *Korean Journal of Air-conditioning and Refrigeration Engineering* Vol. 17, No. .7, pp. 649-658.
- [5] Wang, C. C., Tao, W. H., Chang, C. J., (1999), "An investigation of the air side performance of the slit fin-and-tube heat exchangers", *Int. J. of Refrigeration*, Vol. 22, pp. 595-603.
- [6] Du, Y. J., Wang, C. C., (2000), "An experimental study of the air-side performance of the super slit fin-and-tube heat exchangers", *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 43, pp. 4475-4482.
- [7] Wang, C. C., Lee, W. S., Sheu, W. J., (2001), "A comparative study of compact enhanced fin-and-tube heat exchangers", *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, Vol. 44, pp. 3565-3573.
- [8] Dejong, N. C., Jacobi, A. M., (1997), "An experimental study of flow and heat transfer in parallel-plate arrays: local, row-by-row and surface average behavior", *Int. J. Heat and Mass Transfer*, Vol. 40, pp. 1365-1378.
- [9] Bae, T. S., Han, C. S., (1996), "A feasibility study on room air conditioner with parallel flow condenser", *Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Proceedings of the SAREK 1996 Summer Annual Conference*, pp. 402-407.
- [10] Kim, M. H., Kim, K. J., Chu, E. S., Bae, Y. D.,

Park, Y. S., (1997), "Performance evaluation of brazed aluminum heat exchangers", Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Proceedings of the SAREK 1997 Summer Annual Conference, pp. 209-215.

[11] Cho, J. P., Choi, Y. H., Kim, J. H., Kim, N. H., Kim, J. H., (2000), "Performance evaluation of PF-condenser adapted to Large Size air-conditioner", KSME, pp. 1-6.

[12] ASHRAE Standard 33-78, (1978), "Methods of testing forced circulation air cooling and air heating coils", pp. 33-78.

[13] Korean Standard Association, 2003, KS Air-Conditioner: KS C 9306.

김 재 덕(Jae Duck Kim)

[준회원]



- 2006년 2월 : 선문대학교 기계공학부 (공학사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학부 (공학석사)

<관심분야>

냉동공조 열교환기 및 시스템 설계

장 근 선(Keun Sun Chang)

[정회원]



- 1979년 2월 : 서울대학교 기계공학 (공학사)
- 1986년 5월 : 미루이지애나주립대 기계공학 (공학석사)
- 1989년 8월 : 미루이지애나주립대 기계공학 (공학박사)
- 1989년 10월 ~ 1995년 2월 : 한국원자력 연구소 선임연구원(실장)

- 1995년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학부 교수

<관심분야>

냉동공조 열교환기 및 시스템 설계

이 현 수(Hyun Su Lee)

[준회원]



- 2006년 2월 : 선문대학교 기계공학부 (공학사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 선문대학교 기계공학부 (공학석사)

<관심분야>

냉동공조 열교환기 및 시스템 설계