

장력 감김으로 부착된 가로방향 흰-미니채널의 공기측 열전달 특성

임용빈† · 김종수*

(원고접수일 : 2005년 7월 22일, 심사완료일 : 2005년 8월 22일)

Air Side Heat Transfer Characteristics of Tension Wound Transverse Fin with Minichannel

Yong-Bin Im† · Jong-Soo Kim**

Abstract : Pipes, tubes, and tubular sections with external transverse high fins have been used extensively for heating, cooling, and degumidifying air and other gases. This work was performed to investigate an air side heat transfer characteristics of minichannel with tension wound transverse fin. This estimate was confirmed conversion heat capacity the air side surface area enlargement and heat transfer characteristics performed available inlet tube side hot water mass flux or outlet tube side air frontal air velocity. The most suitable tension wound transverse finned minichannel was measured extremely low in air side pressure drop and fin effectiveness 3.3~4.4. The pressure drop 0.9~2.8 Pa was ranged frontal air velocity 0.5~1.2 m/s. It is also appeared that heat transfer in air side could be better conversion heat area which has been increased 330% of heat capacity compared with the bare tube.

Key words : Tension wound(장력 감김), Transverse fin(가로방향 흰), Minichannel(미니채널), Heat transfer(열전달), Fin efficiency(흰 효율)

1. 서 론

냉동 및 공조기에 적용되고 있는 흰-관 열교환기의 경우 에너지 절약과 공기측 압력강하 감소, 제작비용 절감 및 팬(fan)의 소비전력 감소 등을 중심으로 진보가 이루어져 왔다. 공조기용 열교환기중 주류를 이루고 있는 알루미늄 흰과 원형 동관으로 구성된 흰-튜브형 열교환기의 열 저항은

관내측과 공기측 대류 열저항, 관 벽면의 열 전도 저항, 관과 흰사이의 접촉 열저항으로 나눌 수 있다. 나관(bare tube)의 경우 공기측 대류열저항은 관내측 작동유체와 관 사이의 열저항에 비하여 매우 크며, 열교환기 전체 열저항의 50~80%로 가장 크고, 관내측 대류 열저항 및 접촉저항이 각각 10~20% 정도이다. 그러므로 공기측 열저항을 감소시키기 위한 공기측 표면적 확장과 열전달계수 향상을 통해 전체 열교환기의 성능을 효과적으

† 책임저자(부경대학교 대학원 냉동공조공학과), E-mail : iyongbin@hanmail.net, Tel : 051)620-1502

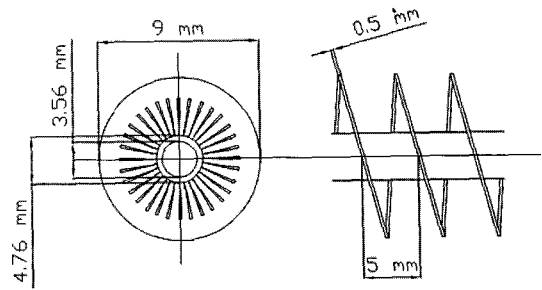
* 부경대학교 기계공학부

로 증대시킬 수 있다^[1].

환-관 열교환기의 공기측 압력강화와 열전달량을 향상시키기 위하여 기존의 연구들은 아래와 같은 관점에서 진행되었다. 첫째, 속도가 동일한 유체의 유동에 대하여 관의 직경이 작아지면 열전달 계수는 상승한다^[2]. 열교환기의 전열관이 미니채널이나 마이크로채널로 수력직경이 감소 할수록 경계층의 두께가 감소하여 열전달이 촉진되기 때문이다. 둘째, 동일한 대표길이에 대하여 환의 표면에 난류 촉진기구(turbulence promoter)를 설치하는 것이다. 평판환의 형상을 파형(wavy), 굴곡형상(corrugated) 또는 루우버환(louvered fin)으로 만듦으로써 난류를 유발시키고 환과 접하는 유동길이를 증가시켜 열전달을 촉진시키는 방법이다^{[3], [4]}.

가로방향 환-관을 적용한 열교환기의 경우 공기나 기체의 가열, 냉각, 제습등을 목적으로 하는 다양한 분야에 적용되고 있다. 가로방향 환(transverse fin)과 반경방향 환(radial fin)은 원주방향으로의 환 높이가 일정하다는 공통점은 있으나, 전자의 경우 Fig.1과 같이 각각의 환이 연결된 헬리컬 형식이지만 후자의 경우 환 하나하나 독립된 형상으로 전열관 외표면에 부착된다. 일반적으로 전열관과 같은 재질 또는 이종 재질의 환을 전열표면에 부착하는 High Fin의 경우 접착저항을 줄이기 위해 용접(welding, brazing), 납땜(soldering), 억지 끼워맞춤(interference fit) 등의 방법을 사용한다. 억지 끼워맞춤은 가로방향 환으로 감기는 환 재료에 인장력을 부여하여 전열관과의 접촉압력을 유지하도록 하는 장력 감김(tension wound) 또는 전열관을 확관(tube expanding)하여 환과 결합시키는 방법으로, 환과 관의 기계적 결합을 통해 접촉 저항을 줄인다. 용접이나 납땜에 비해 제조공정이 간단하며, 대량 생산에 유리한 장점을 갖는다^[5].

공조기 메이커인 LG전자와 일본의 Daikin의 경우 현재 채널 크기가 5 mm와 4 mm의 전열관을 적용한 제품을 시판하고 있으며, 생산비용 절감과 성능향상을 위해 향후 전열관의 채널 크기는 지속적으로 감소할 것으로 예상된다.



(a) Schematic diagram



(b) Photograph

Fig. 1 A tension wound transverse fin with minichannel.

따라서 본 연구에서는 직경 3 mm 이하의 미니채널에 적용 될 수 있는 여러 가지 환 종류 중, 가로방향 환을 적용하여 제작하였다. 환과 전열관의 결합은 장력 감김(tension wound)으로 제작하였으며, 다양한 관 내·외측 대류열전달 조건에서의 열전달 성능을 실험적 연구를 통해 해석함으로써 장력 감김 방식으로 제작한 가로방향 환의 미니채널에 대한 적용 타당성을 확인하고, 이를 적용한 열교환기 설계에 요구되는 공기측 압력강화 특성, 환 효율, 총합표면 효율을 제시하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 사용된 가로방향 환-관의 형상은 Fig. 1과 같으며 상세 제원을 Table 1에 나타내었다. 환으로써 두께 0.2 mm, 폭 9 mm의 알루미늄 테잎을 사용하였으며, 내경 3.56 mm 두께 0.6 mm인 미니채널의 외측 표면에 환 피치 5 mm로 장력 감김 방식으로 부착하여 제작하였다.

Table 1 Specification of the test section

Specification	Dimension
Fin Material	Aluminum
Fin Pitch	5 mm
Fin Thickness	0.2 mm
Fin Height	9 mm
Tube Material	Copper
Inner Diameter of Tube	3.56 mm
Outer Diameter of Tube	4.76 mm
Tube Thickness	0.6 mm

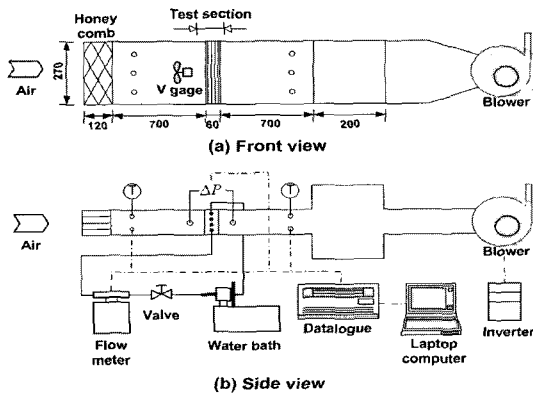


Fig. 2 Schematic of experimental setup.

열전달 특성 실험을 위하여 개방형(open circuit) 풍동장치 내부에 시험부를 설치하여, 공기가 전열관을 통과하면서 얻은 열량 및 전·후 압력강하를 측정할 수 있도록 구성하였다. 풍동장치의 덕트는 높이 150 mm, 폭 550 mm, 길이 2,500 mm이며, 시험부에 대한 열 평형은 $\pm 7\%$ 이내임을 확인하였다.

실험장치는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 덕트계통, 송풍장치, 열원 공급을 위한 순환 항온조, 온도·압력 측정장치, 그리고 시험부로 구성되어 있다. 나관 대비 가로방향 환-미니채널의 압력강하 증가 정도 및 열전달성능 향상 정도를 파악하기 위해 내경 3.56 mm, 외경 4.76 mm, 길이 500 mm인 동관 및 동일 길이의 가로방향 환-관을 시험부로 구성하여 실험을 수행하였다.

2.2 실험방법

시험부를 통과하는 공기의 유량은 인버터를 사용하여 팬의 회전수를 변화시켜 조절하였으며, 열교환기에 공급되는 공기의 유속은 시험부를 지난 후 배치되어 있는 덕트의 플레이넘에 노즐(ASME Standard)^[6] 전후에서 측정된 차압을 풍속으로 환산하여 공기유량을 측정하였다.

공기측의 압력강하를 측정하기 위하여 시험부 전후에 각각 3개의 정압공을 덕트표면에 가공하여 차압을 측정하여 압력강하를 구하였다. 차압을 측정하기 위해 경사마노미터 내부에 에탄올(비중 : 0.7850, 25℃)을 주입하여 차압을 측정하였다.

Table 2 Uncertainty of measuring system

Specification	Uncertainty	Measure
Thermocouples	T Type Sheath	$\pm 0.2\%$ Temperature
	T Type	$\pm 0.3\%$ "
Nozzle	D : 45mm	$\pm 0.5 \sim 2.0\%$ Air flow rate
Mass Flow Meter	OVAL 社	$\pm 0.5\%$ Water flow rate

공기측 전열량은 시험부 전·후 50 mm 지점에 각 6개의 열전대(T type)를 ASHRAE Fundamental 14.17^[6]에 제시된 규격으로 격자모양으로 설치하여 측정하였다. 시험부로 공급되는 물의 온도는 순환항온조를 사용하여 일정온도로 조절하였고, 순환항온조 출구측에 니들 밸브를 설치하여 일정유량으로 조절하였다. 유량은 Oval의 Micro Motion Flow Meter(질량 유량계)를 사용하여 측정하였으며, 시험부 입·출구측 배관내부로 Sheath 열전대(T type)를 삽입하여 물측 전열량을 측정하였다. 온도측정에 사용된 열전대는 수은 표준온도계를 사용하여 보정하였으며, 측정에 사용된 열전대와 계측기의 불확실도를 Table 2에 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 공기측 압력강하 특성

휀이 표면적을 효과적으로 증가시킴으로써, 표면으로부터의 열전달을 증가시키기 위해 사용되지만, 유체역학적 관점에서는 공기측 유동에 대한 저항으로 작용하게 된다. 열전달 성능을 향상시키더라도, 압력강하가 크다면 이것은 송풍기측 소요 동력을 증가시키게 되므로 휀 선정시 고려해야할 주요 사항이 공기측 압력강하 특성이다.

전면풍속 변화에 따른 나관과 가로방향 휀-미니채널의 공기측 압력강하 측정결과에 대해 Fig. 3에 나타내었다. 전면풍속이 증가함에 따라 압력손실이 증가하였으며, 측정된 차압은 0.9-2.8 Pa 이었고, 이를 공기측 유동방향을 기준으로 하여 단위길이당 압력 손실로 환산하면 100-310 Pa/m이다.

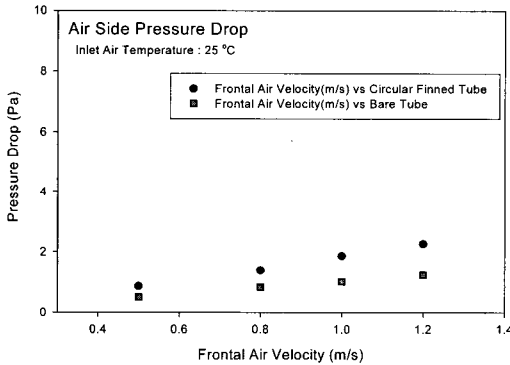
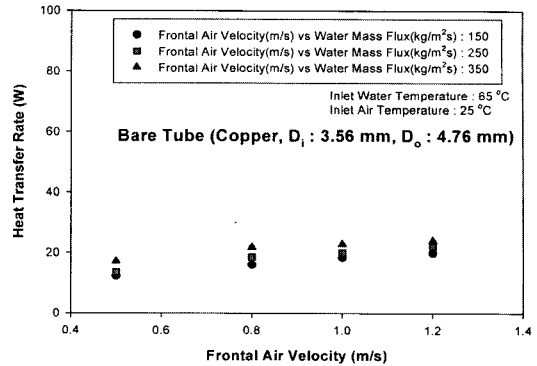


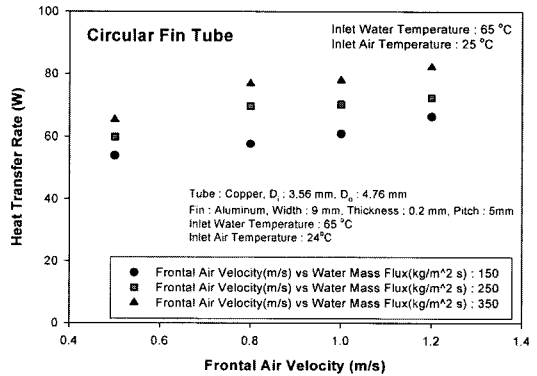
Fig. 3 Comparison of pressure drops with bare tubes as a function of frontal air velocity.

3.2 열전달 성능

Fig. 4에 관 1분당 열전달률을 나타내었다. 실험에 사용된 나관 및 가로방향 휀-관 1분의 공기측 전열면적은 $7.477 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 과 $75.335 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ 이다. 열전달량은 공기측 수열량과 온수측 방열량의 산술평균값을 사용하였으며, 관 내측 온수의 질량유속과 관 외측 공기의 전면풍속이 증가함에 따라 열전달량이 증가하였고, 공기측 전열면적의 증가로 인해 나관 대비 동일 실험 조건에서 330-440% 정도 전열성능이 향상되었다.



(a) Heat transfer rate of bare minichannel



(b) Heat transfer rate of transverse finned minichannel

Fig. 4 Heat transfer rate of bare and transverse finned minichannel as a function of frontal air velocity for various water mass fluxes.

3.3 휀유용도, 휀효율 및 총합표면효율

휀유용도 (ϵ_{fin} : fin effectiveness)와 휀효율 (η_{fin} : fin efficiency)^[7] 그리고 총합표면효율 (η_o : overall surface efficiency)^[8]는 다음의 식 (1)과 (2)로부터 구하였다.

$$\epsilon_{fin} = \frac{Q_{fin}}{Q_{nofin}} = \frac{Q_{fin}}{hA_b(T_b - T_{air})} = \frac{A_{fin}}{A_b} \eta_{fin} \quad (1)$$

$$\eta_o = \frac{Q_{fin}}{hA_{fin}(T_b - T_{air})} \quad (2)$$

여기서 Q_{fin} 은 환이 부착된 경우의 열전달률 [W], Q_{nofin} 은 환이 부착되지 않은 나관의 열전달률 [W], h 는 공기측 대류 열전달계수 (W/m^2K), T_b 와 T_{air} 는 각각 전열관의 공기측 표면온도와 공기온도를 나타낸다. 환효율과 총합표면 효율을 구하기 위해 필요한 T_b 는 일정 열유속 조건 하에서의 관내측 층류유동 열전달 상관식인 Nu (Nusselt number) = 4.36을 적용하여 관내측 대류 열저항을 구하고, 이를 다시 관벽에서의 전도저항으로 역산하여 표면온도를 결정하였다.

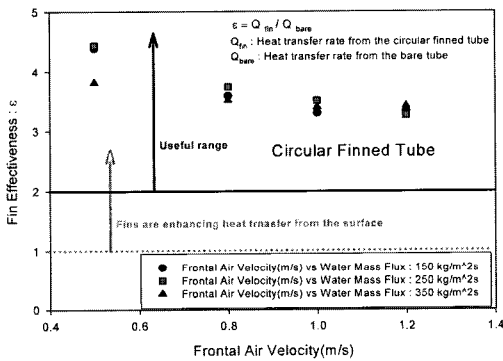


Fig. 5 Fin effectiveness of circular finned tube as a function of frontal air velocity for various water mass fluxes.

환은 표면적을 효과적으로 증가시킴으로써, 표면으로부터의 열전달률을 증가시키기 위해 사용된다. 그러나 환 그 자체가 원래의 표면으로부터의 열전달에 대한 전도 저항을 나타내는 것이므로, 열전달률이 환들의 사용을 통하여 증가 될 것이라는 확신은 있을수 없다. 환유용도는 “환 열전달률의 환이 없을 때의 열전달률에 대한 비”로써 정의되며, 환 유용도를 통해서 환을 평가 할 수 있다. 환 유용도(ϵ)는 $\epsilon \leq 1$: 단열재, $\epsilon \geq 1$: 열전달 촉진, $\epsilon \geq 2$: 환으로 적용 가능함을 나타내는 지표이다^[7]. Fig. 5에 가로방향 환-미니채널의 환 유용도를 나타 내었으며, 환 유용도는 3.3-4.4로 나타났다.

공기측 대류에 대한 최대의 열전달 구동 포텐셜은 관외표면 온도와 공기의 온도차이다. 그러므로 환이 에너지를 소산할 수 있는 최대의 비율은 환

전체의 온도가 관외표면 온도와 동일 할 때 존재하는 비율이다. 그러나 어떠한 환도 전도저항을 가지며, 이로 인한 온도구배가 환을 따라 존재하므로, 환효율과 총합표면효율을 알아야만 환관 열교환기를 실제 설계하는데 사용할 수 있다. 미니채널에 적용된 가로방향 환의 환효율과 총합표면효율을 Fig. 6에 나타내었다.

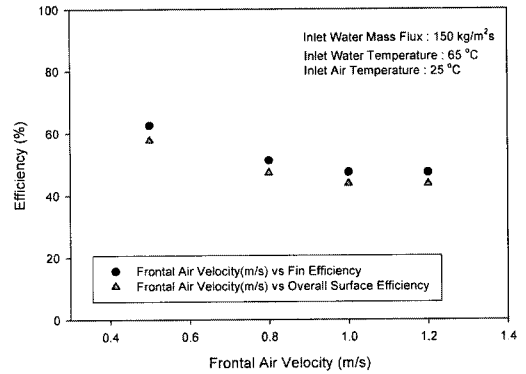


Fig. 6 Fin efficiency and overall surface efficiency of circular finned tube as a function of frontal air velocity.

4. 결 론

본 논문에서는 미니채널의 장력 감김 방식으로 접합된 가로방향 환-미니 채널을 제작하여, 공기측 전면 풍속 0.5-1.2 m/s 범위에서 열전달 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 장력 감김 방식으로 제작된 가로방향 환-미니채널의 경우, 환 유용도가 3.3-4.4의 값을 나타내었으며, 미니채널을 전열관으로 사용하는 열교환기의 공기측 환으로 적용 타당성이 검증 되었다.
- (2) 공기 유동방향을 기준으로 한 단위길이상 공기측 압력강하는 100-310 Pa/m으로 나타났다.
- (3) 환 효율과 총합표면 효율은 62-47% 및 57-43%로 나타났다.

후 기

본 연구는 산업자원의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

- [1] 김창덕, "공조기용 환-관 열교환기의 열전달 및 압력강하 특성", 연세대학교 대학원 박사학위논문, pp.2-7, 2001.
- [2] P. Baggio, E. Fronascri, "Air-side heat transfer and flow friction : theoretical aspects", Energy Technology, Denmark, pp. 91-159, 1994.
- [3] D.T. beecher, T.J.Fagan, "Effect of fin pattern on the air-side heat transfer coefficient in plate finned- tube heat exchanger", ASHRAE Transactions, Vol. 93, Part 2, 1987.
- [4] L.J. Goldstein, E.M. Sparrow, "Experiments on the transfer characteristics of a corrugated fin and tube heat exchanger configuration", Journal of Heat Transfer, Vol. 98, pp.23-24, 1976.
- [5] Allan D. Kraus, Abdul Aziz, James Welty, "Extended Surface Heat Transfer", John Wiley & Sons Inc, pp.540-571, 2001.
- [6] ASHRAE Hand Book (Fundamentals), Chap. 14. "Measurements and Instruments", ASHRAE, 2001.
- [7] Yunus A. Cengel, "Heat Transfer - A Practical Approach", McGraw Hill, pp.179-192, 1998.
- [8] Frank P. Incropera, David P. DeWitt, "Introduction to Heat Transfer", pp.114-115, 1990.
- [9] 강희찬, 김무환, 김명수, "액정법을 이용한 환-관 열교환기 환의 열적특성에 관한 연구", 설비공학 논문집, 제12권 제4호 pp. 414-421, 2000.

저자 소개



임용빈 (林湧彬)

1975년 11월생, 1998년 부경대학교 졸업, 냉동공학 전공 (학사), 2002년 동대학원 냉동공학전공학과 졸업(석사), 현 동대학원 박사과정



김종수 (金鍾秀)

1955년 3월생, 1977년 부산수산대학교 식품공학과 졸업(학사), 1982년 동대학원 냉동공학과 졸업(석사), 1988년 일본 와세다 대학교 기계공학과 졸업(박사), 현 부경대학교 기계공학부교수.