

미소 전열촉진관내 R-22 및 R-410A 의 증발열전달 및 압력강하 특성 연구

황준현* · 윤 린* · 김용찬†

(2001년 1월 31일 접수, 2001년 5월 10일 심사완료)

Evaporation Heat Transfer and Pressure Drop of R-22 and R-410A in Small Sized Micro-Fin Tubes

Junhyeon Hwang, Lin Yun and Yongchan Kim

Key Words : R-22, R-410A, Evaporation Heat Transfer Coefficient(증발열전달계수), Pressure Drop(압력강하), Micro-Fin Tube(전열촉진관)

Abstract

Characteristics of evaporation heat transfer in 6.2 and 5.1 mm OD micro -fin tubes were investigated in the present study. The data were taken at evaporation temperatures of -5°C and 5°C and heat fluxes from 5 kW/m² to 10 kW/m². Mass flux was consequently maintained at 210, 300 and 410 kg/m²s for the 6.2 mm OD tube and 465, 500 and 600 kg/m²s for the 5.1 mm OD tube. The effects of heat flux, mass flux, and outer diameter on the heat transfer coefficient are explored in the present study. The data showed that the evaporation heat transfer coefficient for the 6.2 mm OD tube was averagly higher by 16% than that for a 7.0 mm OD tube, while the 5.1 mm OD tube had approximately 30% higher value than the 6.2 mm OD tube.

기호설명

w : 관 내벽

- G : 질량유속 [kg/m²s]
- h : 열전달계수[W/m²K]
- \bar{h} : 평균 열전달계수[W/m²K]
- i : 엔탈피 [kJ/kg]
- l : 시험부 길이 [m]
- m : 질량유속 [kg/m²s]
- q'' : 열유속 [kW/m²]
- T : 온도 [K]
- x : 건도
- OD : 외경 (mm)

하첨자

- e : 증발상태
- in : 시험부 입구
- out : 시험부 출구
- r : 냉매측

1. 서론

소형의 고효율 열교환기에 대한 요구가 커짐에 따라 작은 관경의 마이크로핀관이 냉동이나 공기 조화용으로 널리 사용되고 있다. 마이크로핀관은 삼각형 또는 사다리꼴의 단면을 가진 핀을 관 내부에 8° 에서 30° 사이의 각을 가지도록 가공한 열전달 촉진관이다. 마이크로핀관이 널리 사용되는 가장 큰 이유는 열전달의 향상이 압력강하의 증가에 비해서 크기 때문이다. Schlager et al.⁽¹⁾에 의하면 마이크로핀관에 있어서 응축이나 증발열전달계수의 향상은 50 부터 100%이지만 압력강하의 증가량은 20%부터 50% 사이로 보고하였다.

Kuo 와 Wang^(2,3)은 R-22 를 사용하여 질량유속, 열유속 그리고 증발온도를 바꾸어 가며 외경 9.52 mm 와 7.0 mm 마이크로핀관에 대해서 실험하였다. 특히 이들의 결과는 평균적인 값이 아니라 건도에 따른 열전달계수의 변화를 잘 나타내고 있다. Seo 와 Kim⁽⁴⁾은 7 mm 와 9.52 mm 의 평활관과 마이크로핀관에 대해 R-22 를 사용하여 증발열전달

* 고려대학교 대학원 기계공학과

† 책임저자, 회원, 고려대학교 기계공학과

E-mail : yongckim@korea.ac.kr

TEL : (02)3290-3366 FAX : (02)921-5439

과 압력강하에 대해 실험하였다. 마이크로핀관의 평활관에 대한 열전달계수 증가량은 9.52 mm의 경우가 7.0 mm의 열전달계수 증가량보다 크게 나타났다. 이와 같이 기존 대부분의 연구는 외경 7.0 mm 이상의 마이크로핀관에 집중되어 있으며, 외경 6.2 mm 이하 작은 직경의 증발 열전달 연구는 극히 제한되어 있다. 또한 R-22 대체냉매로 적용되고 있는 R-410A에 대한 작은 직경 열교환기에서, 열전달 특성에 대한 설계 자료가 열교환기 최적설계를 위하여 필요한 실정이다.

본 논문에서는 외경 6.2 mm와 5.1 mm의 마이크로핀관에 대한 증발열전달계수와 압력강하를 R-22와 R-410A에 대하여 측정하고, 그 결과를 비교 고찰하였다. 특히 외경, 열유속 그리고 질량유속의 변화가 증발열전달계수에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치 및 방법

본 연구에 사용한 실험장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 액체펌프, 질량유량계, 예열기, 시험부, 열교환기, 수액기와 냉매량 조절탱크 등으로 구성되어 있다. 전체적인 냉매의 순환은 마그네틱 기어 펌프를 통해서 이루어지고, 질량유량계를 이용하여 과냉상태의 냉매유량을 측정한다. 질량유량계를 통과한 냉매는 예열기를 지나면서 원하는 건도를 조절하고, 시험부로 들어가며, 시험부에서 증발 과정을 거쳐, 열교환기를 지나면서 응축되어 수액기로 들어간다. 수액기에 모인 과냉상태의 냉매는 다시 펌프로 유입된다.

증발온도 변화에 따라 냉매 비체적이 크게 변하므로 액체 펌프의 안정적인 운전을 위해서는 전체 시스템에 들어있는 냉매의 양을 조절하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 냉매량 조절탱크를 액체펌프의 흡입부에 설치하여 냉매를 시스템에 주입 또는 배출시키는 기능을 하도록 하였다. 시험부의 증발온도는 펌프를 통과한 냉매의 바이패스량과 항온조와의 열교환량을 통해 조절하였다.

시험부는 외경 6.2 및 5.1 mm인 마이크로핀 동관을 사용하였으며, Table 1은 시험용 마이크로핀관의 사양을 나타내고 있다. 관 주위는 열선을 사용하여 일정 열유속으로 냉매를 가열하는 방법을 택하였다. 시험부의 총 길이는 3 m이고 벽면온도를 측정하기 위하여 25 cm 간격으로 열전대를 이용하여 12 곳에서 온도를 측정하였다. 각 측정점은

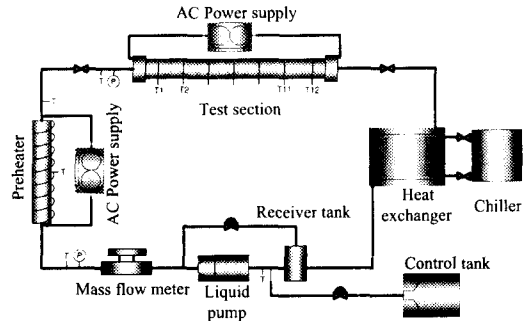


Fig. 1 Schematic of the test setup

Table 1 Specification of tube

	Tube #1	Tube #2	Tube #3
OD (mm)	6.2	5.1	7.0
Average tube thickness (mm)	1.2	1.2	0.32
Fin height (mm)	0.13	0.13	0.16
Fin pitch (mm)	0.29	0.29	0.34
Helix angle (°)	10.3	9	18
Apex angle (°)	40	40	53
Number of fins	60	60	60

6.2 mm에서는 3 개를, 5.1 mm에서는 2 개의 T형 열전대를 납땜을 사용하여 부착하였다.

온도, 압력센서, 질량유량계 그리고 차압계로부터의 신호는 다채널 기록계로 전송되어 GPIB 통신으로 컴퓨터에 기록된다.

2.2 실험조건 및 데이터처리

본 연구에서는 R-22와 R-410A에 대하여 Table 2에 나타낸 실험조건에 따라 실험하였다. 증발열전달 실험에서 가장 중요하다고 생각되는 질량유속의 조건을 6.2 mm에서는 210, 300 및 410 kg/m²s으로, 5.1 mm에서 R-410A에 대해서는 465, 500, 600 kg/m²s, R-22에서는 600, 700, 800 kg/m²s으로 변화시키면서 수행하였다.

관내의 증발열전달계수의 계산은 식 (1)을 사용

Table 2 Experimental conditions

Test section	Tube #1	Tube #2
Mass flux (kg/m ² s)	210, 300, 400	R-410A:465, 500, 600 R-22:600, 700, 800
Heat flux (kW/m ²)	5, 10	5, 10
Evaporating temperature(°C)	-5, 5	-5, 5

한다. 여기서 q'' 는 단위 면적당 가열열량이고 전력계를 사용하여 측정하였다. T_w 과 T_r 는 각각 시험부 길이방향으로 어떤 위치에서 국부적인 관내 벽면 온도와 냉매 온도를 나타낸다. 시험부의 임의의 위치에서 관내벽면 온도는 외벽면의 온도를 측정한 후, 관벽을 통한 전도를 고려하여 계산하였다.

$$h = \frac{q''}{T_w - T_r} \quad (1)$$

시험부의 입구 및 출구에서 냉매의 절대압력과 포화온도를 동시에 측정하였다. 이때 시험부의 입구 및 출구에서 측정된 압력으로부터 구한 포화온도는 측정온도와 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ 내에서 일치하였다. 시험부에서 압력강하로 인하여 점차 냉매온도가 감소하는 데, 선형적인 감소를 가정하여 시험부 중간 부분에서 냉매온도를 식 (2)와 같이 계산하였다.

$$T_r = T_{in} - (T_{in} - T_{out}) \times \frac{l_x}{l} \quad (2)$$

시험부의 건도는 식 (3)을 적용하여 계산한다.

$$\Delta x = \frac{Q_{in}}{\dot{m} \cdot i_{fg}} \quad (3)$$

시험부의 길이가 짧기 때문에 임의의 조건에 대하여 한 번에 모든 건도 범위를 얻을 수 없었다. 따라서, 모든 시험조건을 고정하고 시험부의 입구 건도만을 변화시키면서 3 내지 6 회 연속적인 실험을 통하여 모든 건도 범위에 대한 데이터를 얻었다. 시험범위의 모든 건도에 대한 평균 증발열 전달계수는 식 (4)를 이용하여 계산하였다.

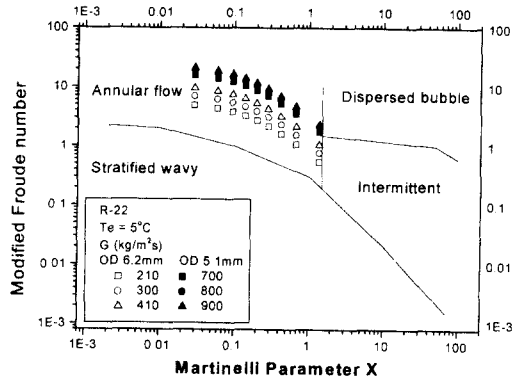


Fig. 2 Experimental data for R-22 in flow pattern map⁽⁶⁾

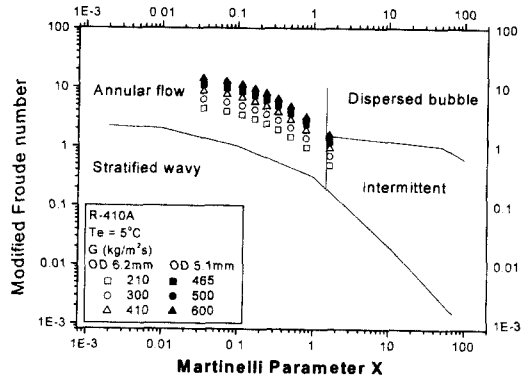


Fig. 3 Experimental data for R-410A in flow pattern map⁽⁶⁾

$$\bar{h} = \frac{\int_{x_{in}}^{x_{out}} h dx}{x_{out} - x_{in}} \quad (4)$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 증발 열전달 특성

Figs. 2 과 3 은 본 연구에서 측정한 실험결과를 Taitel 와 Dukler⁽⁶⁾의 유동양식선도에 나타낸 그림이다. R-22 는 증발 전과정에 걸쳐 환상류 영역에 있으며, R-410A 의 경우에는 저건도에서 간헐유동을 보이다가 안정적인 환상유동의 양식을 보임을 알 수 있다. 질량유속이 낮은 210 kg/m²s 에서는

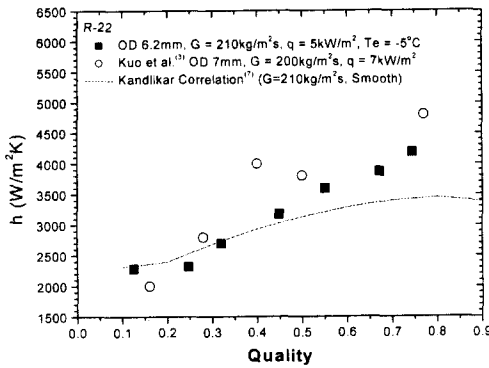


Fig. 4 Comparison of R22 data with Kuo et al.⁽³⁾

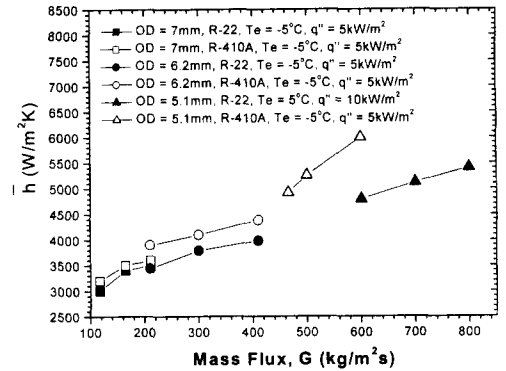


Fig. 6 Effect of mass flux on average evaporation heat transfer coefficient

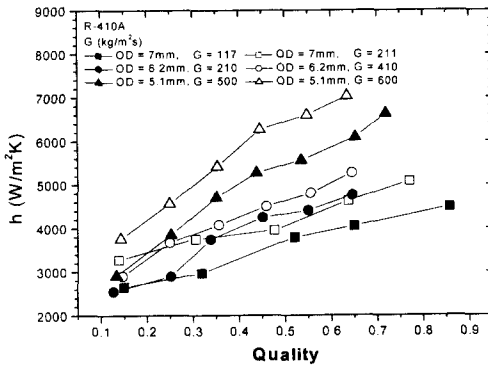


Fig. 5 Effects of mass flux and diameter on local evaporation heat transfer coefficient

환상유동을 띄고는 있지만, 성층류의 경계선에 접근하고 있으므로 더 낮은 열전달계수가 예상되고, 질량유속이 높은 410 kg/m² 인 경우에는 안정적인 환상류의 형태를 가지기 때문에 더 높은 열전달계수가 예측된다. 또한 외경 5.1 mm 에서 유동이 6.2 mm 의 경우보다 더 안정적인 환상류 영역에 있음을 알 수 있으며, 이로 인해 더 높은 열전달계수를 나타내고 질량유속에 비해 유동영역의 변화폭이 작아진다는 사실도 알 수 있다. 이는 관경이 작아지면 질량유속 증가에 따른 강제대류 영역의 활성화가 크게 영향을 미치지 못함을 의미한다.

Fig. 4 는 건도에 따른 국부 열전달계수의 변화를 기존연구에서 얻은 실험결과 및 상관식의 예측치와 비교하여 나타내고 있다. 외경 6.2 mm, 질량유속 210 kg/m²s, 열유속 5 kW/m²의 조건에서 측정된 열전달 계수는 Kandlikar⁽⁷⁾ 상관식과 비교하여

평균 13% 높게 나타났다. Kandlikar 상관식이 평활관에 관한 식이라는 점을 감안할 때, 본 연구에서 고찰한 전열촉진관의 열전달 향상계수 EF (enhancement factor)는 건도에 따라 1.05 ~ 1.15의 값을 가짐을 알 수 있다. 여기서 열전달 향상계수는 동일한 조건에서 전열촉진관과 평활관의 열전달계수의 비를 나타낸다. 또한 본 연구에서 측정된 외경 6.2 mm 결과를 외경 7 mm에 대한 Kuo et al.⁽³⁾의 실험결과와 비교하면, 약 13%정도 작은 값을 나타냈다. 이는 Kuo et al.과 본 연구의 실험조건이 서로 일치하지 않는데 기인하지만, 전체적으로 저건도에서 고건도로 갈수록 국부 열전달계수의 값이 증가하는 경향은 서로 일치하였다. 이는 기존 Muzzio et al.⁽⁸⁾ 및 Chamra 와 Webb⁽⁹⁾ 등이 발표한 자료와도 일치하며, 저건도 보다는 고건도에서 강제대류의 영향이 더 활성화되는데 기인한다.

Fig. 5 는 관경과 질량유속이 국부 열전달계수에 미치는 영향을 비교하여 나타낸 그림이다. 여기서 외경 7 mm에 관한 실험결과는 Seo 와 Kim⁽⁴⁾의 연구를 인용하였다. 외경 7, 6.2 및 5.1 mm 모두 질량유속이 증가함에 따라 국부 열전달계수는 증가하는 경향을 보인다. 또한, 저건도 보다 고건도 영역에서 질량유속의 변화에 따른 열전달계수의 변화가 민감함을 알 수 있다. 고건도로 갈수록 강제대류에 의한 열전달이 우세하므로 질량유속으로 인한 냉매의 속도 효과가 커지기 때문이다. 또한, 관경이 줄어들수록 열전달계수값이 증가하는 경향을 보인다. 외경 6.2 mm의 열전달계수는 7 mm 대비 16%, 외경 5.1 mm는 6.2 mm 대비 30% 향상을 보였다. 이는 관경 감소에 따른 액막두께의 감소와 질량유속의 증가로 인하여 각각 열전달 저항이

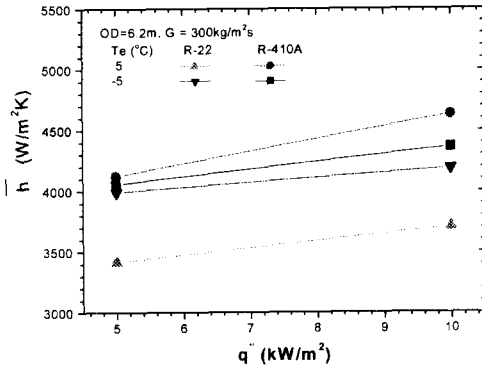


Fig. 7 Effect of heat flux on average evaporation heat transfer coefficient

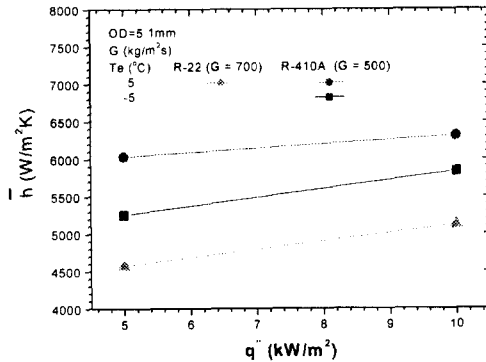


Fig. 8 Effect of heat flux on average evaporation heat transfer coefficient

감소되고 난류도가 향상되어 증발 열전달이 향상되는 것으로 판단된다. 그리고 관경이 줄어들수록 저건도에서 고건도로 변할 때 열전달계수의 증가 폭이 커짐을 알 수 있다. 이는 관경이 작아질수록 저건도에서의 핵비등의 영향은 감소된다고 유추할 수 있는데, 관경의 감소가 유동 자체에 저항으로 작용하여 핵비등이 지연된다고 추정할 수 있다.

Fig. 6 은 질량유속에 따른 평균 열전달계수의 변화를 나타내고 있다. 외경 5.1 mm 냉매 R-22 인 경우를 제외하고 모든 경우에 실험조건을 동일하게 조절한 결과를 나타내었다. 질량유속이 증가할수록 평균 열전달계수의 값은 증가하였으며, 동일한 관경에서도 R-22 보다는 R-410A 가 더 큰 평균 열전달계수를 나타낸다. 이는 R-410A 의 점성이나 표면장력이 R-22 에 비해 작아 기체상과 액체상 사이의 표면파형의 변화가 심하여 열전달의 메커

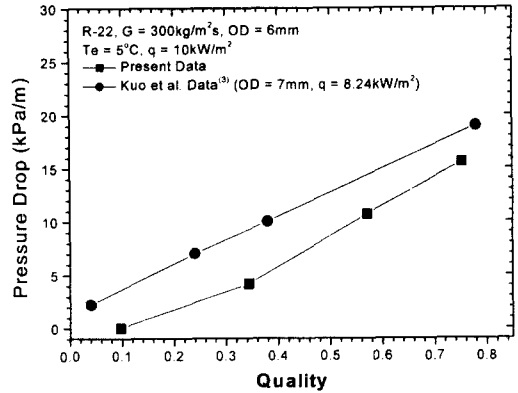


Fig. 9 Comparison of R-22 pressure drop with Kuo et al.'s⁽³⁾

니즘이 활성화될 가능성이 더 크며, 또한 액상의 열전도계수가 크기 때문이라고 사료된다. 또한, R-410A 가 R-22 보다 외경 7 mm 에서 6%, 외경 6.2 mm 에서 13%의 더 높은 평균 열전달계수를 가짐을 알 수 있다. 그리고 외경 5.1 mm 에서도 6.2 mm 의 증가 폭보다 더 큰 증가값을 가짐을 알 수 있다. R-410A 가 R-22 보다 관경에 따른 평균 열전달계수의 증가 폭이 크고, 질량유속 증가에 따른 평균 열전달계수의 증가 기울기도 크게 나타나고 있다.

Fig. 7 은 열유속의 변화에 따른 평균 증발열전달계수를 나타낸 것이다. 각 조건에 대하여 열유속이 증가함에 따라 평균 열전달계수가 증가하였다. 이는 저건도에서 열유속이 증가함에 따라 핵비등이 활성화 되기 때문이다. 또한, 증발온도 5°C 에서 R-22 는 평균 열전달계수의 증가 폭은 5% 정도였지만, 같은 조건에서 R-410A 는 12% 증가 폭을 나타내고 있다. 그리고 증발온도 -5°C 에서는 열유속 증가에 따른 R-22 의 열전달계수가 4% 증가한 반면에 R-410A 는 8% 증가를 나타냈다. 따라서 R-410A 의 평균 열전달계수는 R-22 보다 열유속에 더 민감하다는 사실을 알 수 있다. 이는 R-410A 가 R-22 보다 열유속에 따른 핵비등의 영향이 전 증발과정에서 더 큰 비중을 차지한다는 것을 의미하고 있다. Fig. 8 은 외경 5.1 mm 에서도 열유속의 증가에 따라 평균 증발 열전달계수의 증가를 나타내고 있으며, 외경이 작은 경우에도 열유속 증가에 따라 평균 열전달계수가 증가하고 있음을 알 수 있다.

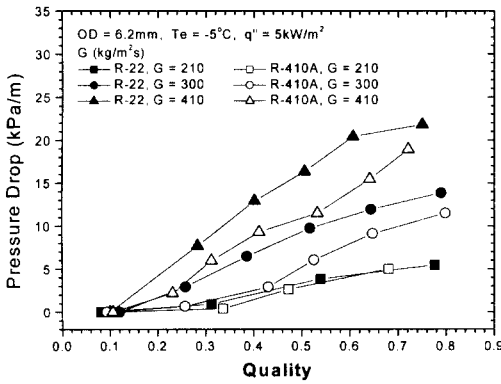


Fig. 10 Pressure drops for R-22 and R-410A

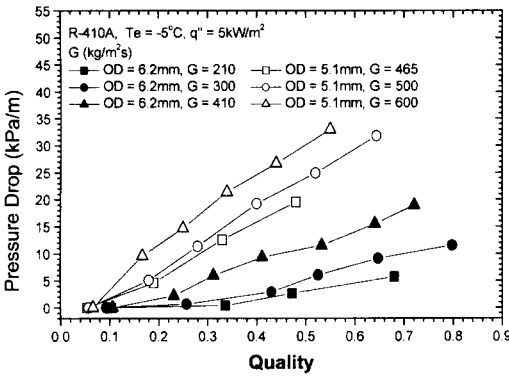


Fig. 11 Pressure drop as a function of outer diameter and mass flux

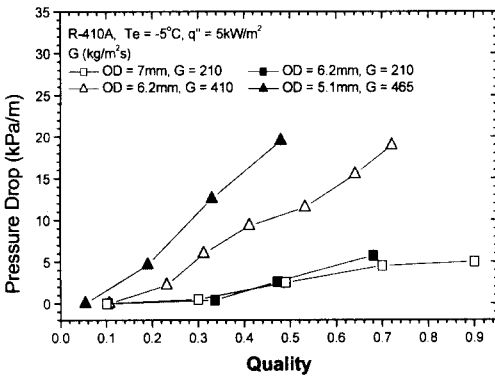


Fig. 12 Pressure drop as a function of outer diameter

3.2 증발 압력강하 특성

Fig. 9 는 R-22 의 단위길이 당 압력강하를 Kuo et al.⁽³⁾의 실험값과 비교한 그림이다. 실험조건이 다소 다른 Kuo et al.의 결과가 본 연구에서 측정된 값보다 약 20% 정도 크게 나타났으나, 고건도로 갈수록 압력강하가 커지는 경향은 일치하였다.

Fig. 10 은 외경 6.2 mm 에서 R-22 와 R-410A 의 질량유속 변화에 따른 단위길이당 압력강하를 나타낸 그림이다. R-22 가 R-410A 보다 전 건도영역에서 질량 유속 210 kg/m² 인 경우에 2%, 300 kg/m² 인 경우에는 40%, 410 kg/m² 인 경우에는 60%의 더 큰 압력강하를 나타내었다. 이는 이상 유동에서 압력강하가 기체상과 액체상의 속도 변화에 의한 마찰항이 제일 큰 값을 차지하는 요인이라는 점을 감안할 때, R-22 가 R-410A 에 비해 압력강하가 큰 것은 액체의 점성계수가 크고 기체의 밀도가 작기 때문이다. 또한 R-22 에 대한 포화 액체와 포화기체의 점성의 차이가 R-410A 에 비해서 크므로 증발현상이 진행될수록 R-22 의 압력강하 기울기도 점차로 커지게 됨을 알 수 있다. 질량유속의 증가에 따라서 단위길이당 압력강하도 크게 나타났다. R-22 의 압력강하는 전 건도영역에서 질량유속이 210 에서 300 kg/m² 으로 증가할 때 160% 증가하고, 질량유속이 300 에서 410 kg/m² 로 증가할 때 110% 증가하였으며, R-410A 는 각각의 경우에 66% 및 100% 만큼 압력강하가 증가하는 경향을 나타냈다. R-22 는 R-410A 보다 단위길이 당 압력강하도 클 뿐만 아니라 질량유속 증가에 따른 상대적인 증가폭도 큼을 알 수 있다.

Fig. 11 은 R-410A 의 외경에 따른 질량유속과 단위길이 당 압력강하를 나타내고 있다. 외경 5.1 mm 에 대한 압력 강하가 6.2 mm 보다 더 크게 나타났

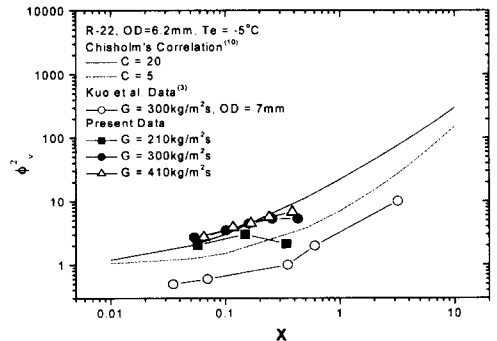


Fig. 13 Frictional multiplier vs. Martinelli parameter for R-22 in 6.2 mm OD

또한 Martinelli 변수는 다음과 같이 정의된다.

$$X_{tt} = \left(\frac{\rho_v}{\rho_l} \right)^{0.5} \left(\frac{\mu_l}{\mu_v} \right)^{0.125} \left(\frac{1-x}{x} \right)^{0.875} \quad (6)$$

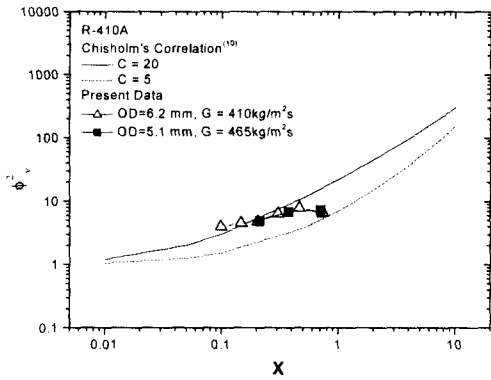


Fig. 14 Frictional multiplier vs. Martinelli parameter for R-410A

다. 각각의 외경 6.2 mm 및 5.1 mm 에서 질량유속이 증가함에 따라 압력강하가 증가함은 Fig. 10 에서 지적한 바와 같다. 외경 6.2 mm 에서는 질량유속 210 에서 300 및 410 kg/m²s 으로 증가함에 따라, 전 건도영역에서 각각 66% 및 100% 증가하지만, 5.1 mm 에서는 각각 30% 및 35% 증가하였다. 따라서 관경이 감소함에 따라 질량유속 증가로 인한 단위길이 당 압력강하는 증가하지만, 그 증가 폭은 감소함을 알 수 있다. 이는 단위길이 당 압력강하에 영향을 미치는 요인 중 질량유속의 증가도 큰 영향을 미치고 있지만, 그 보다 관경의 감소에 의한 영향이 더 크다는 사실을 의미한다.

Fig. 12 는 외경에 의한 단위길이 당 압력강하를 비교하여 나타내고 있다. 질량유속을 210 kg/m²s 로 고정시키고 외경을 7 mm 에서 6.2 mm 로 감소시킨 결과 전 건도영역에서 약 10% 정도 압력강하가 증가하였으나, 외경 6.2 mm 에서 5.1 mm 로 감소하였을 때는 약 40% 정도 압력강하가 증가하였다. 따라서, 외경이 줄어들수록 압력강하의 증가 폭도 더 커짐을 알 수 있다. 이는 같은 외경에서, 질량유속의 증가에 따른 압력강하의 증가 폭보다 더 크다는 사실을 확인할 수 있다.

Fig. 13 은 외경 6.2 mm, R-22 실험에서 Martinelli 변수와 2 상 마찰계수 (two-phase frictional multiplier) 의 관계를 나타낸 그림이다. 2 상유동에서 액체와 기체가 각각 난류라 한다면, Martinelli 변수와 2 상 마찰계수의 관계를 Chisholm⁽¹⁰⁾이 제안한 방법으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_v^2 = 1 + CX_{tt} + X_{tt}^2 \quad (5)$$

평활관의 경우 Chisholm 이 제안한 식 (5)에서 상수 C 는 액상과 기상이 층류인지, 난류인지에 따라 5 에서 20 의 범위에 있다. R-22 외경 7 mm 실험조건에서 Kuo et al.⁽³⁾의 실험값은 상수 C 가 5 인 범위보다 더 작은 값을 나타내었으나, 실험조건과 동일한 본 실험에서는 상수 C 가 도리어 20 의 값을 넘어서는 경향을 보였다. 이는 건도와 Martinelli 변수가 서로 반비례 관계에 있다는 점을 감안할 때, 증발과정이 진행될수록 기체상의 속도가 점차 빨라지고, 난류도가 증가하여, Chisholm 이 제안한 식에서 액상과 기상이 모두 난류일 때의 상수 C 를 20 이라고 한 경계를 벗어난 것이 아닌가 추측된다. 또한 질량유속이 증가함에 따라 점차 2 상 마찰계수도 증가하는 모습을 보인다. 이는 질량유속이 증가할수록 단위길이 당 압력강하가 증가한다는 Fig. 11 의 내용과 일치한다. 질량유속 410 kg/m²s 의 실험값은 Wambsganss et al.⁽¹¹⁾이 제안한 높은 질량유속 (G > 400 kg/m²s)에서 상수 C = 21 와 잘 일치한다는 사실에 잘 부합된다.

Fig. 14 는 관경에 따른 Martinelli 변수와 2 상 마찰계수의 관계를 나타낸 그림이다. 외경 감소로 인하여 단위길이 당 압력강하는 증가 하지만, 이상유동의 압력강하와 기체상의 압력강하의 비인 2 상 마찰계수의 값은 거의 일치함을 알 수 있다. 이는 6.2 mm 나 5.1 mm 와 같이 외경이 작아지면, 증발 과정 중 기상의 압력강하가 큰 값을 차지하여 그 비는 일정하게 나타나는 것이라고 생각된다.

4. 결론

(1) 증발 열전달계수는 냉매 건도의 증가에 따라 증가하고 저건도보다 고건도영역에서 질량유속의 변화에 따른 열전달계수의 변화가 민감하다. 또한 같은 조건에서 R-410A 의 증발 열전달계수가 R-22 보다 크게 나타났다.

(2) 외경이 작아질수록 건도에 따른 증발 열전달계수의 변화가 더 심해짐을 볼 수 있는데 이는 미세 마이크로핀에 의한 내부유동의 불규칙성에 기인한다고 예상된다. 또한 R-410A 가 R-22 보다 관경에 따른 평균 열전달계수의 증가 폭이 더 크

게 나타났다.

(3) 열유속이 증가할수록 평균 열전달계수의 값은 증가하였으며, R-410A 가 R-22 보다 더 열유속에 민감하다.

(4) 고건도의 경우에 압력강하량이 저건도보다 월등히 크고, 질량유속의 변화에 따른 압력강하는 저건도보다 고건도에서 더욱 민감하게 영향을 미친다.

(5) 점성과 밀도의 차이로 인해서 R-22 의 압력강하량이 R-410A 보다 크게 나타났으며, 단위길이당 압력강하의 값은 질량유속의 증가로 인한 증가보다는 외경의 감소로 인한 증가 폭이 더 큼을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 특장기초 연구사업 (1999-1-304-006-3) 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Schlager, L. M., Pate, M. B., and Bergles, A. E., 1989, "Heat Transfer and Pressure Drop During Evaporation and Condensation of R22 in Horizontal Micro-Fin Tubes," *Int. J. Refrig*, Vol 12. pp 6~14.
- (2) Kuo, C. S. and Wang, C. C., 1996, "In-Tube Evaporation of HCFC-22 in a 9.52mm Micro-Fin/Smooth Tube," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol 39. pp 2559~2569.
- (3) Kuo, C. S., Wang, C. C., Cheng, W. Y. and Lu, D. C., 1995, "Evaporation of R22 in a 7 mm micro-fin tube," *ASHRAE Trans*, Vol 95. pp 1055~1061.
- (4) Seo, K. and Kim, Y., 2000, "Evaporation heat transfer and Pressure Drop of R22 in 7mm and 9.52mm Smooth/Micro-fin Tubes," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol 43. pp 2869~2882.
- (5) 조은석, 윤석호, 김민수, 2000, "수평원관 내 이산화탄소의 증발열전달 특성 연구," 대한기계학회 2000년도 춘계학술대회 논문집 B. pp 104~107.
- (6) Taitel, Y. and Dukler, A. E., 1976, "A Model for Predicting Flow Regime Transitions in Horizontal and Near Horizontal Gas-Liquid Flow," *A. I. Ch. E. Jl*, Vol 22. pp 47~55.
- (7) Kandlikar, S. G., 1990, "A General Correlation for Saturated Two-Phase Flow Boiling Heat Transfer Inside Horizontal and Vertical Tubes," *J. Heat Transfer*, Vol 112. pp 219~228.
- (8) Muzzio, A., Niro, A. and Arosio, S., 1998, "Heat Transfer and Pressure Drop During Evaporation and Condensation of R22 Inside 9.52mm O.D. Micro-Fin Tubes of Different Geometries," *J. Enhanced Heat Transfer*, Vol 5. pp 39~52.
- (9) Chamra, L. M. and Webb, R. L., 1995, "Condensation and Evaporation in Micro-Fin Tubes at Equal Saturation Temperatures," *J. Enhanced Heat Transfer*, Vol 2. pp 219~229.
- (10) Chisholm, D., 1967, "A Theoretical Basis for the Lockhart-Martinelli Correlation for Two-Phase Flow," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol 10. pp 1767~1778.
- (11) Wambsganss, M. W., Jendrzejczyk, J. A., France, D. M. and Obot, N. T., 1992, "Friction Pressure Gradients in Two-Phase Flow in a Small Horizontal Rectangular Channel," *Exp Thermal and Fluid Sci*, Vol 5. pp 40~56.
- (12) Ha, S. C., 2000, "Some Aspects of Experimental in-Tube Evaporation," *Int. J. KSME*, Vol 14. pp 537~546.