

## 응축용 특수 전열관의 열전달 특성에 관한 연구

한 규 일, 박 종 운\*, 권 영 철\*\*, 조 동 현\*\*\*

부경대학교 제어기계공학과, \*순천제일대학 기계전기제어과, \*\*선문대학교 기계공학과, \*\*\*대진대학교 기계설계과

### Experimental Study on Condensation Heat Transfer Characteristics of Special Heat Transfer Tubes

Kyu-il Han, Jong-Un Park\*, Young-Chel Kweon\*\*, Dong-Hyun Cho\*\*\*

*Department of Control and Mechanical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea*

*\*Department of Mechanical and Electrical Control, Suncheon First College, Suncheon 540-744, Korea*

*\*\*Department of Mechanical Engineering, Sunmoon University, Asan 336-840, Korea*

*\*\*\*Department of Mechanical Design Engineering, Daejin University, Pochon 487-711, Korea*

*(Received December 12, 2000; revision received June 23, 2001)*

**ABSTRACT:** In this study, condensation heat transfer characteristics were conducted with special heat transfer tubes of SH-C type. Experiments were carried out the saturated vapor temperature of 334 K and the wall subcooling of 1.5~4.5 K. The refrigerant was R-113 and the enhanced tubes used in the present study were SH-CDR, SH-CYR and SH-CHR. The experimental results showed that the condensation heat transfer coefficients of SH-C type tubes were about 23~66% higher than those of a low integral-fin tube. It was visualized that the condensed liquid on the outer surface of SH-C type tubes flowed continuously down unlike a low integral-fin tube and a plain tube, due to a 3-D extending fin on the outer surface of SH-C type tubes. As a result, the thermal resistance of the condensed liquid decreased and the heat transfer coefficient increased. Also, the enhancement ratio of SH-CDR tube was the highest, and it was about 9~11 times as compared to that of a plain tube.

**Key Words:** Thermal resistance(열저항), Enhancement ratio(열전달 촉진비), Low integral-fin tubes(낮은 핀관), Condensation heat transfer(응축열전달)

#### 기 호 설 명

$A$  : 전열면적(공칭치수) [ $m^2$ ]

$A_o$  : 전열면적(핀의 외경) [ $m^2$ ]

$A_r$  : 전열면적(핀의 뿌리) [ $m^2$ ]

$C_p$  : 정압비열 [ $J/kg \cdot ^\circ C$ ]

$D_o$  : 전열관의 지름(핀부의 외경) [ $m$ ]

$D_r$  : 전열관의 지름(핀부의 뿌리) [ $m$ ]

$g$  : 중력가속도 [ $m/s^2$ ]

$h$  : 열전달계수 [ $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ]

$h_{fg}$  : 응축잠열 [ $J/kg$ ]

$k$  : 열전도율 [ $W/m \cdot ^\circ C$ ]

$L$  : 특성길이 [ $m$ ]

$\dot{m}$  : 질량유량 [ $kg/s$ ]

$P$  : 유체가 접하는 둘레의 길이 [ $m$ ]

$\Delta T$  : 포화증기와 벽면의 온도차 [ $K$ ]

† Corresponding author

Tel.: +82-41-530-2396; fax: +82-41-530-2986

E-mail address: yckweon1@email.sunmoon.ac.kr

$Q$  : 전열량 [W]

$T$  : 온도 [K]

### 그리스 문자

$\mu$  : 점성계수 [ $N \cdot s/m^2$ ]

$\rho$  : 밀도 [ $kg/m^3$ ]

$\eta$  : 효율

### 하첨자

$c$  : 냉각수

$f$  : 액체상태

$i$  : 입구

$o$  : 출구

$p$  : 일정압력

$r$  : 냉매

$s$  : 포화온도

$v$  : 증기상태

$w$  : 벽면

## 1. 서 론

열교환기의 효율을 향상시키기 위해 고성능 전열관에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 들어, 냉동공조시스템의 고효율화를 위하여 평활관 대신에 열전달능력이 보다 우수한 고성능 전열관을 많이 사용하고 있는 추세이다. 이는 갈수록 심화되고 있는 사용공간의 제약성으로 단위부피당 전열면적을 극대화할 필요성이 절실하기 때문이다. 고성능 전열관은 튜브 표면에 사다리꼴 모양의 핀이나 미세한 증발구를 가공하거나 또는 튜브 내면에 폴(rib)을 내어 열전달능력을 향상시킨다. 고성능 전열관을 사용할 경우에 전열면적의 증가로 전열효율은 향상되는 반면에 마찰손실도 증가하게 되어 전열 촉진효율이 실제로 크지 못한 경우도 있다. 따라서 열교환기의 용도에 적절하게 고성능 전열관을 선택하는 것이 매우 중요하므로, 이들 전열관들에 대한 열전달 특성을 정확히 이해할 필요가 있다.

지금까지 낮은 핀관(low integral-fin tubes)에 대한 연구는 많이 수행되어 왔다. Cheng and

Tao<sup>(1)</sup>는 외경 15.77~19.65 mm의 동관실험으로부터 수평원형 전열관의 경우에 R152a의 응축열전달계수가 R12 경우보다 약 20~25% 높다고 보고하였다. 이는 R152a가 R12에 비하여 잠열과 열전도율이 크고, 액체의 점성계수가 작기 때문이다. Hwang et al.<sup>(2)</sup>는 외경 18.9 mm인 낮은 핀관과 Turbo-C관을 R22의 대체냉매인 R410A, R407C를 이용하여 실험하였다. R410A의 경우, Turbo-C관은 핀관에 비하여 열전달 촉진비가 높게 나타났으나, R407C에서는 비슷한 열전달능력을 나타내었다. 또한 Hsieh and Weng<sup>(3)</sup>은 외경이 27 mm인 동관을 사다리꼴로 가공하여 사다리꼴의 각도를 30°, 45°, 60°, 90°로 변화시키면서 열전달계수를 측정하여, 증류수의 경우는 45°에서, R134a의 경우는 30°에서 가장 열전달효과가 뚜렷함을 보였다. Webb and Murawski<sup>(4)</sup>는 고성능 전열관의 열(row) 효과에 대하여 연구하여, 1열의 경우에는 Turbo-C관에서 측정한 응축열전달계수가 가장 높게 나타났으나, 5열로 수직으로 세워서 설치한 경우는 그 값이 상당히 감소하였다. 또한 Tred-D관의 응축열전달계수는 1열의 경우에 Turbo-C관의 80%에 불과하였으나, 5열의 전열관 실험에서는 가장 큰 값을 가진다는 것을 보여 주었다.

응축성 증기와 접하고 있는 전열면에서 증기의 포화온도가 전열면의 온도보다 높을 경우에는 증기가 응축되어 응축액이 전열 표면을 적시게 되는데 이 응축을 막상응축(film condensation)이라고 한다. 액체가 전열면에 액막을 형성하기 어려운 조건이 되면 응축액은 전열면 표면에 액적의 형태로 성장하여 불규칙적으로 떨어지게 된다. 이 응축을 적상응축(drop condensation)이라고 한다. 적상응축의 열전달량은 막상응축보다 매우 크다고 잘 알려져 있다.<sup>(5)</sup>

본 연구는, 전열관 표면에 막상응축으로 인한 응축액의 역류현상을 제거하여 적상응축의 상태를 지속적으로 유지하는 데 관심이 있다. 관 표면에서 응축액이 계속 흐르면 열저항이 감소하게 되어 열전달이 향상된다. 이 효과를 관찰하기 위해 본 실험에서는 응축용 특수 전열관인 SH-C형(SH-CDR, SH-CYR, SH-CHR) 전열관을 사용하여 응축열전달과 마찰계수를 획득하였으며, 실험으로부터 얻어진 응축열전달계수를 낮은 핀관 및 여러 상관식들과 서로 비교하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

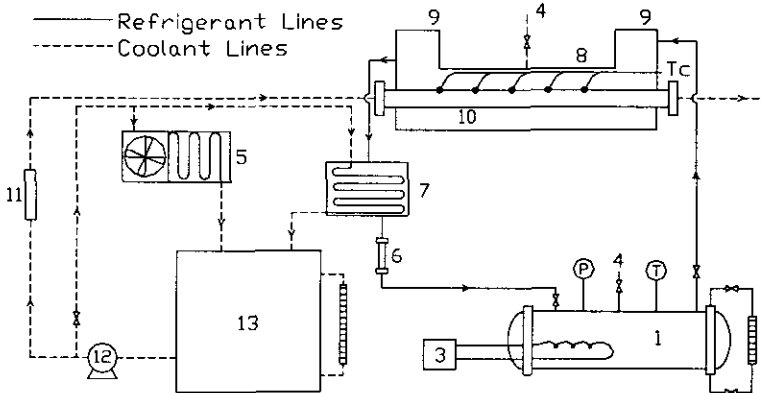
2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다. 실험장치는 냉매 순환회로와 냉각수 공급회로로 이루어져 있다. 냉매 순환장치에는 냉매를 가열하여 포화증기로 만드는 보일러, 전열관이 내장되어 있는 시험구간, 미응축된 냉매를 응축시키는 보조응축기, 냉매유량을 측정하기 위한 유량계로 구성되어 있다. 냉각수는 순환펌프와 유량제한밸브에 의하여 일정한 유량 및 온도로 시험구간을 흐른다. 그리고 시험구간을 포함한 냉매 순환부와 냉각수 순환부 모두 단열

시커 외부로의 열에너지의 손실을 최소화하였다.

냉매를 증발시키는 보일러는 직경 350 mm, 길이 1,000 mm로 20 kW 용량의 히터를 내장하고 있다. 보일러 온도제어는  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 의 범위에서 유지되었으며, 히터의 가열로 고압력 상태인 냉매 증기의 유속을 일정하게 유지시키기 위하여 증기 완충장치를 설치하였다.

시험구간은 Fig. 2에 나타나 있으며, 시험구간 출구에 공기 배출밸브를 설치하여 전열관 내의 미 응축 증기를 원활히 배출할 수 있도록 하였다. 보조응축기는 시험구간에서 충분히 응축되지 못한 포화증기를 응축시켜서 보일러로 순환시키기 위해 설치되었다. 이 보조응축기를 냉각시키는 냉각기는  $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 의 편차를 유지한다.



1. Boiler 2. Liquid level indicator 3. Voltage transformer 4. Air vent 5. chiller  
6. Mass flow meter 7. Auxiliary condenser 8. Test section 9. Vapor tank  
10. Coil tube 11. Coolant flow meter 12. Coolant pump 13. Coolant tank

Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus.

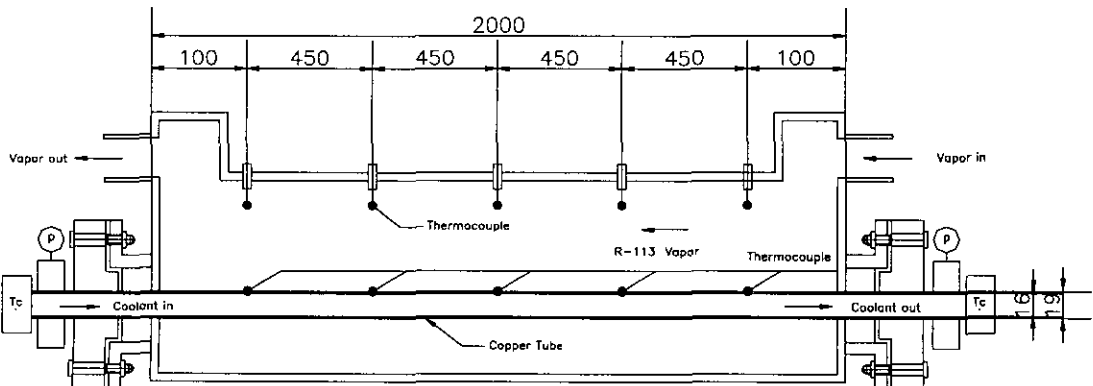


Fig. 2 Sectional view of test section.

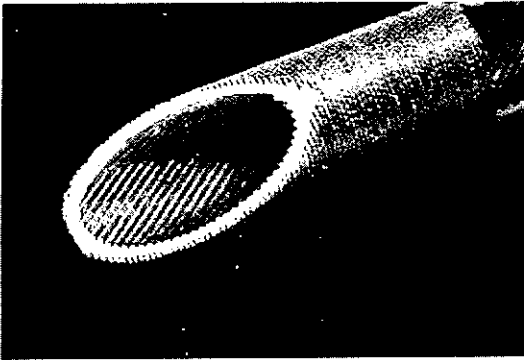


Fig. 3 SH-CDR.

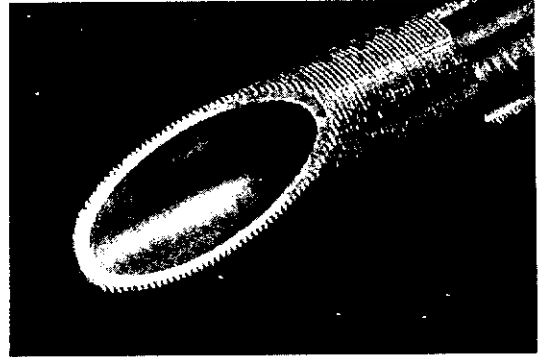


Fig. 5 SH-CHR.

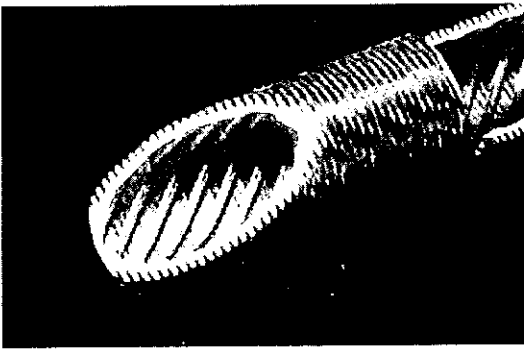


Fig. 4 SH-CYR.

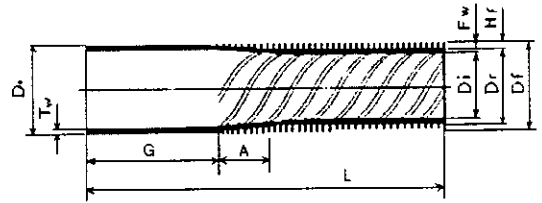


Fig. 6 A cross section of tube.

본 실험에 사용한 SH-C관(SH-CDR, SH-CYR, SH-CHR)은 냉매를 전열관 표면에서 가늘고 많은 양을 계속적으로 응축시킬 수 있도록 원주 방향으로 확장된 핀 형태의 돌기가 가공되어 있기 때문에 응축성능이 우수하다. Figs. 3, 4, 5는 SH-C 전열관의 형상을 그리고 Fig. 6은 단면도이다. SH-C관의 제원은 Table 1에 소개되어 있다. SH-CDR과 SH-CYR은 외관상 비슷하지만 Table 1에 제시되어 있는 것처럼 전열관 바깥쪽 표면의 사다리꼴 핀과 내부 표면의 골의 크기가

다르다. 그리고 SH-CHR의 바깥 표면은 SH-CDR 및 SH-CYR과 유사한 형태이지만 내부는 골이 없어 매끈한 평활관의 형태로 가공되어 있다. 실험에 사용한 튜브는 외경 19.05 mm로, 재질은 인탈산동(C1220T)이다.

보일러 내부 온도와 압력을 측정하기 위해 온도센서와 압력계를 설치하였다. 시험구간의 온도는 T형의 열전대를 전열관의 입출구에 삽입하여 측정하였고, 표면의 온도는 시험구간의 입출구 끝단에서부터 100 mm되는 지점에 상하좌우 4점에 열전대를 부착하여, 입구에서 450 mm 간격으로 5곳에서 획득하였다. 이곳에 부착한 열전대는 먼저 길이 15 mm, 폭 2 mm, 깊이 0.3 mm의 홈에 열전대를 완전히 삽입하고 그 위에 은납으로 봉

Table 1 Specification of SH-C tubes

Type	Fin/m	Plain and section dimensions (mm)		Finned section dimensions (mm)				Internal dimensions (mm)	
		Out( $D_o$ ) dia.	Wall( $T_w$ ) thickness	Out( $D_f$ ) dia.	Root( $D_r$ ) dia.	Wall( $F_w$ ) thickness	Fin( $H_f$ ) height	Depth of ridged	Number of ridged
SH-CDR	1299	19.05	1.30	18.80	16.50	0.6	1.15±0.1	0.1±0.05	20
SH-CYR	1023	19.05	1.25	18.80	16.40	0.6	1.2±0.1	0.3±0.05	10
SH-CHR	1023	19.05	1.24	18.80	16.60	0.6	1.1±0.1	-	-

한 후에 예폭시로 마감하였다. 열전대선은 냉점을 통하여 보정하였다. 온도측득은 ALMEMD R-5590의 데이터 취득장치에 의하여 열전대에서 감지한 전류를 변환하여 온도를 저장하고 Dos-Control 3.0 자료처리 프로그램으로 분석하였다. 압력은 전열관의 입구와 출구에  $\pm 0.2\%$  정밀도의 압력변환계를 설치하여 측정하였으며, 실험 전에 압력보정계로 보정하였다.

## 2.2 실험방법

먼저 본 실험을 수행하기 전에 물을 이용한 예비실험을 통하여 실험장치의 순환 계통들에 대한 신뢰성을 확인하였다. 냉매는 진공펌프로 냉매 순환계통 내에 남아 있는 물을 완전히 제거한 후에 보일러 내부에 주입하였다. 본 실험에서는 냉매로 R113을 사용하였다. R113은 비등점이 47.6℃로 상온에서 액상으로 존재하기 때문에 압축기를 사용하지 않아도 냉매의 순환을 시킬 수 있는 장점이 있다. 가열된 냉매가 포화증기상태가 되면 시험구간 입구에 설치된 증기 완충장치로 유입되며, 유입된 증기는 증류상태로 유지하게 된다. 이렇게 안정화된 냉매증기는 고성능 시험 전열관을 흐르게 된다. 이때 시험구간 입구에서 측정된 온도와 압력자료는 데이터 로그로 보내진다. 전열관을 통과한 냉매증기는 내부에 흐르는 냉각수에 의하여 열교환이 이루어지며 증기상태의 냉매가 관 외부에서 응축되어 전열관 하부로 떨어지게 된다.

실험장치의 기밀도를 확인하기 위하여 공기 압축기를 이용하여 20기압을 가한 후에 24시간 동안 압력의 변화의 유무를 확인한 후 이상이 없다고 판단되었을 때 실험하였다. 그리고 본 실험의 신뢰성을 확인하기 위하여, 냉매의 손실에너지량과 냉각수가 얻은 에너지량을 서로 비교하였다. 시험구간을 통과하여 응축된 냉매와 시험구간에서 미응축된 냉매증기가 보조응축기에서 응축된 냉매의 손실 에너지량과 전열관 내부로 흐르는 냉각수가 얻은 에너지량을 서로 비교한 결과  $\pm 8\%$  이내에서 열평형이 이루어짐을 확인하였다.

## 2.3 실험데이터 계산

냉매의 손실열량과 냉각수가 얻은 열량은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$Q_r = hA(T_s - T_w) \quad (1)$$

$$Q_c = \dot{m}_c C_p (T_o - T_i) \quad (2)$$

여기서,  $Q_r$ 은 냉매의 손실에너지량,  $h$ 는 응축열전달계수,  $A$ 는 열전달면적,  $T_s$ 는 냉매의 포화증기온도,  $T_w$ 는 전열관의 벽면온도이다. 그리고  $Q_c$ 는 냉각수가 얻은 에너지량,  $\dot{m}_c$ 는 냉각수량,  $C_p$ 는 냉각수의 비열,  $T_o$ 는 전열관의 출구온도,  $T_i$ 는 전열관의 입구온도를 나타낸다.

식(1)과 식(2)에 의하여, 응축열전달계수를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$h = \frac{\dot{m}_c C_p (T_o - T_i)}{A(T_s - T_w)} \quad (3)$$

응축면이 넓거나 응축량이 많은 경우에 응축액막은 난류흐름을 가진다. 이 난류유동은 높은 열전달효과를 제공한다. 응축액막의 흐름이 층류인지 난류인지를 판정하는 기준은 레이놀즈수로 결정하게 되며, 막상응축에서는 막 레이놀즈수에 의하여 정해진다. 식(4)는 막 레이놀즈수를 나타낸 것이다.

$$Re_f = \frac{4\dot{m}_r}{P\mu_f} \quad (4)$$

여기서,  $P$ 는 유체가 접하는 둘레의 길이,  $\mu_f$ 는 응축액막의 점성계수를, 그리고  $\dot{m}_r$ 은 냉매의 응축액막의 임의의 단면을 통과하는 질량유량을 나타낸다.

층류에서 난류로 천이를 하는 임계 레이놀드수는 약 1800으로, 레이놀즈수가 큰 경우는 난류 열전달의 관계식을 사용해야 하지만, 본 실험범위는 약 70에서 950의 레이놀즈수를 만족하므로 층류 상관식을 적용하였다.

낮은 핀관에서의 열전달계수는 Beatty and Katz<sup>(6)</sup>에 의해 식(5)와 같이 제시되어 있다.

$$h = 0.689 \left( \frac{k_f^3 \rho_f^2 g h_{fg}}{\mu_f \Delta T} \right)^{0.25} \times \left( \frac{A_r}{A_o} \frac{1}{D_r^{0.25}} + 1.3 \frac{\eta_f A_f}{A_o} \frac{1}{L_f^{0.25}} \right) \quad (5)$$

여기서,  $A_o$ 는 공칭지름( $D_o$ )에 대한 전열관의 면적을,  $A_r$ 은 핀 부의 근원지름( $D_r$ )에 대한 전열 면적을,  $A_f$ 는 핀 표면의 면적을, 그리고  $L_f$ 는 특성길이를 나타낸다. 식(5)에 나타난 특성길이는 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$L_f = \frac{\pi(D_o^2 - D_r^2)}{4D_o} \quad (6)$$

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 7은 과냉도에 따른 SH-CDR 전열관의 응축열전달계수를 보여준다. 냉매증기의 포화압력이 154 kPa이고 포화온도가 334 K인 경우에 SH-CDR

전열관의 응축열전달계수는 Beatty and Katz<sup>(6)</sup>의 열전달계수에 의해 계산된 값보다 약 66% 정도 그리고 Han and Cho<sup>(7)</sup>가 제시한 낮은 핀관(1299 fpm)보다 약 40% 정도 크게 나타났다. 이는 SH-CDR 전열관 표면에 사다리꼴 모양의 확장된 핀이 형성되어 있어 관 표면에서 응축된 액이 사다리꼴 핀 사이로 원활히 흐르기 때문이다.

Fig. 8은 과냉도에 따른 SH-CYR 전열관의 응축열전달계수를 보여준다. 본 연구에서는 단위길이당 핀의 수가 1023 fpm인 전열관을 사용하여 실험으로부터 얻어진 응축열전달계수를 Beatty and Katz<sup>(6)</sup>의 식과 비교하였다. 냉매증기의 포화압력이 154 kPa이고 포화온도가 334 K인 경우에 SH-CYR 전열관의 응축열전달계수는 Beatty and Katz<sup>(6)</sup>의 열전달계수에 의해 계산된 값보다 약

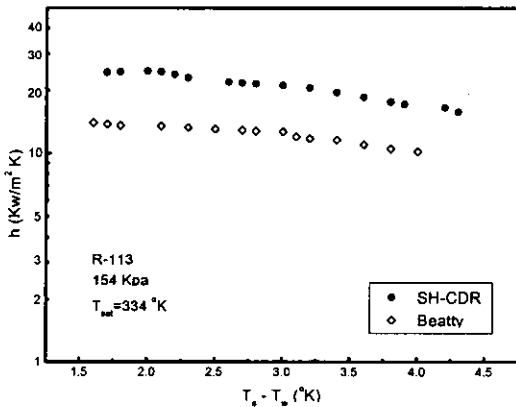


Fig. 7 Condensation heat transfer coefficients of SH-CDR tube.

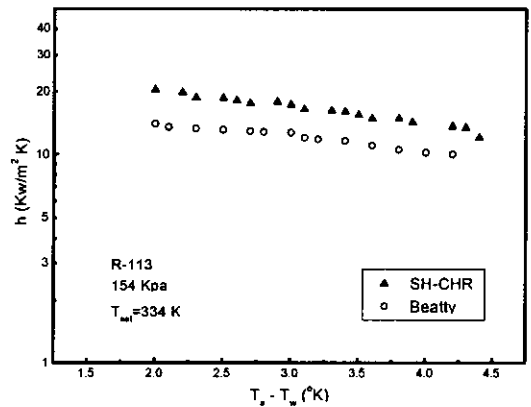


Fig. 9 Condensation heat transfer coefficients of SH-CHR tube.

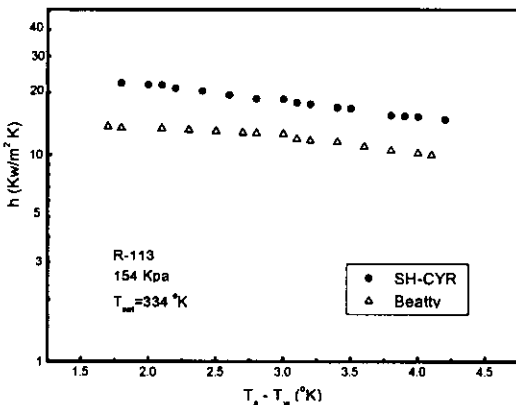


Fig. 8 Condensation heat transfer coefficients of SH-CYR tube.

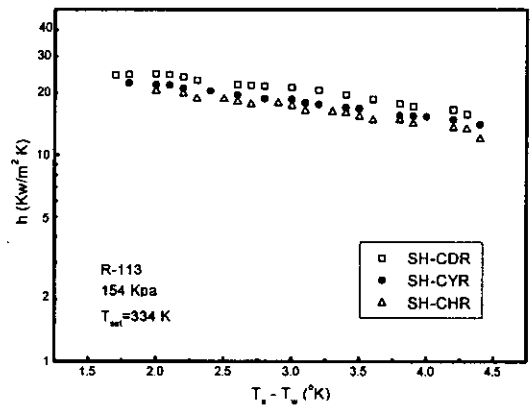


Fig. 10 Condensation heat transfer coefficients of SH-CHR, SH-CYR, SH-CDR tubes.

48% 정도 그리고 Han and Cho<sup>(7)</sup>가 제시한 값보다 약 23% 정도 크게 나타났다. 이는 SH-CYR 전열관 표면에 원주 방향으로 핀의 높이를 증가시켜서 냉매증기를 관 표면에서 계속 응축할 수 있으며, 내부에 골이 있어서 냉각수가 유동하면서 관 내부에 난류를 촉진시키기 때문이다.

Fig. 9는 과냉도의 변화에 따른 SH-CHR 전열관의 응축열전달계수의 변화를 보여준다. 냉매증기의 포화압력이 154 kPa이며, 포화온도가 334 K에서의 응축열전달계수는 Beatty and Katz<sup>(6)</sup>의 열전달계수보다 약 33% 정도 큰 값을 보인다. 이는 SH-CHR 전열관 표면에 응축액막이 가늘게 유지되면서 표면을 흐를 수 있는 구조로 되어 있어 응축액이 잘 흐르기 때문이다.

Fig. 10은 SH-CDR, SH-CYR, SH-CHR 전열관의 냉매증기의 포화온도와 전열면의 벽면온도

차에 따른 응축열전달계수를 나타낸다. 본 연구에 사용된 SH-C형 전열관은 낮은 핀관에 비하여 약 23~66%까지 높은 값을 가지는데, 이것은 전열관의 표면이 3차원의 핀 형태로 가공되어 낮은 핀관과 평활관에 비하여 응축액이 역류되지 않으며, 표면의 응축액이 서로 이동하면서 흘러 열저항을 감소시키기 때문이다. 그리고 세 가지 전열관의 응축열전달계수를 서로 비교한 결과, SH-CDR, SH-CYR 그리고 SH-CHR의 순서로 응축열전달계수가 우수함을 확인하였다. 이는 Figs. 3, 4, 5와 Table 1에서 알 수 있는 것처럼, SH-CDR은 관 바깥 표면에 사다리꼴 형상의 확장된 핀이 단위길이당 1,299개로 SH-CYR과 SH-CHR보다 많으며, 내부 표면의 골의 수도 SH-CYR보다 2배 정도 많아 열전달능력이 증진되었기 때문이다.

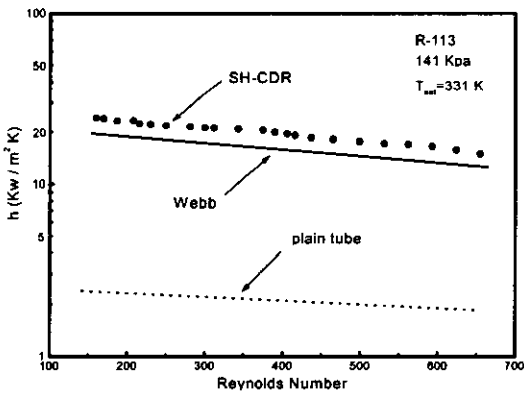


Fig. 11 Condensation heat transfer coefficients vs. Re (SH-CDR tube).

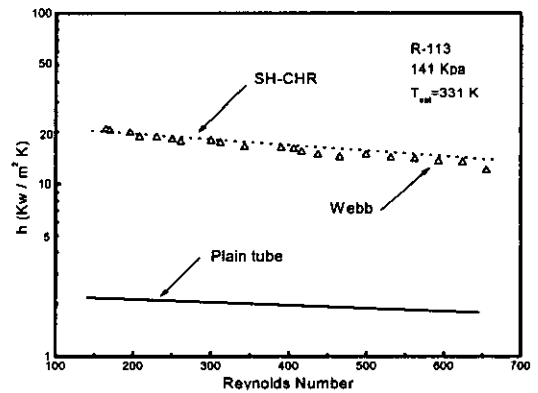


Fig. 13 Condensation heat transfer coefficients vs. Re (SH-CHR tube).

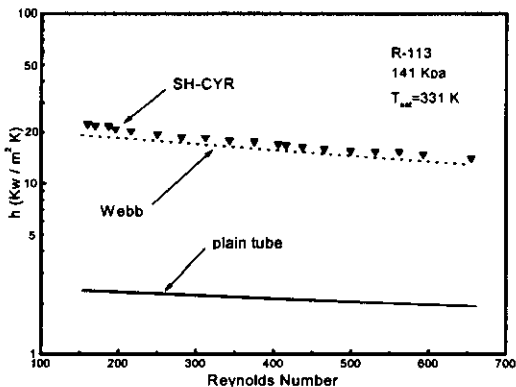


Fig. 12 Condensation heat transfer coefficients vs. Re (SH-CYR tube).

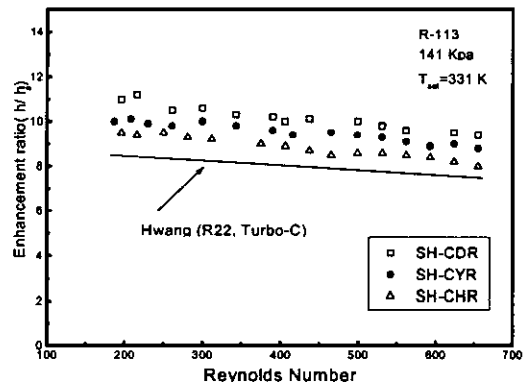


Fig. 14 Enhancement ratio vs. Re (SH-CDR, SH-CYR, SH-CHR tubes).

Figs. 11, 12, 13은 포화증기의 압력이 141 kPa 이고 포화온도가 331 K의 조건에서 레이놀즈수에 대한 응축열전달계수의 변화를 보여준다. Fig. 11은 SH-CDR 전열관의 응축열전달계수로 평활관에 비하여 약 10배 정도 그리고 Webb and Murawski<sup>(4)</sup>의 값보다 약 20% 정도 높게 나타나고 있다. 이들에 의해 제시된 식은 수직 평판 편에 대하여 표면장력과 응축액 역류현상이 고려되어 있다. Fig. 12는 SH-CYR 전열관의 응축열전달계수로, 평활관에 비하여 약 9배 정도 그리고 Webb and Murawski<sup>(4)</sup>의 결과보다 약 5% 정도 큰 값을 보이고 있다. Fig. 13은 SH-CHR 전열관의 응축열전달계수 변화로 평활관에 비하여 약 8배 정도의 큰 값을 보이고 있으며 낮은 편관과는 거의 유사한 경향을 나타내고 있다.

Fig. 14는 SH-CDR, SH-CYR 그리고 SH-CHR 전열관의 냉매증기의 레이놀즈수에 따른 열전달 촉진비를 나타낸다. 열전달 촉진비는 열전달능력의 향상 정도를 나타내는 척도로 평활관 열전달계수에 대한 고성능 전열관의 열전달계수의 비를 의미한다. 실험의 결과, SH-CDR 전열관의 경우는 9.4~11배, SH-CYR 전열관의 경우는 8.8~10.1배, SH-CHR 전열관의 경우는 7.6~9.5배 정도 열전달성능이 향상됨을 확인할 수 있었다. 이들 값은 Hwang et al.<sup>(2)</sup>에 의한 실험의 결과(R22, Turbo-C)보다 더 크다. 이는 전열관의 표면형상이 3차원의 핀 형태를 가지므로 낮은 편관과 평활관에 비하여 응축액의 역류가 쉽지 않아 표면에 생성된 응축액이 전열관 하부로 원활히 흘러내리기 때문임을 가시화로부터 관찰할 수

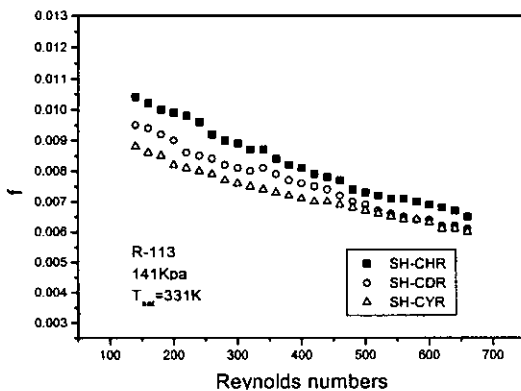


Fig. 15 Friction Factors (SH-CDR, SH-CYR, SH-CHR tubes).

있었다. 그 결과 열저항이 감소하게 되는 것이다.

Fig. 15는 SH-CDR, SH-CYR 그리고 SH-CHR 전열관의 냉매증기의 레이놀즈수에 따른 마찰계수를 나타낸다. 레이놀즈수는 내경을 기준으로 하였다. 마찰계수는 튜브 표면에 나선 홈이 있는 경우와 없는 경우에 따라 그 값은 다르게 측정되었으며, 레이놀즈수가 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

응축용 특수 전열관인 SH-C형(SH-CDR, SH-CYR, SH-CHR) 고성능 전열관을 사용하여 응축열전달 실험을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) SH-C형 고성능 전열관의 응축열전달계수는 낮은 편관의 열전달계수보다 약 23~66% 정도 높았다.

(2) SH-CDR 전열관의 응축열전달계수가 SH-CYR과 SH-CHR보다 크게 나타났다. 이는 전열관의 기하학적인 형상에 기인하는 것으로 판단된다.

(3) 냉매증기의 레이놀즈수에 따른 열전달 촉진비를 서로 비교해 본 결과, SH-C형 전열관의 열전달성능이 평활관과 Turbo-C보다 우수하였다.

(4) SH-C형 전열관의 표면형상이 3차원 핀 형태이므로 낮은 편관과 평활관에 비하여 응축액의 역류가 쉽지 않아, 표면에 생성된 응축액이 전열관 하부로 원활히 흘러내림을 가시화로부터 확인할 수 있었다. 이로 인하여 열저항이 감소됨을 알 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 한국과학재단 지정 선문대학교 공조기술연구센터(RRC)와 성형금속의 지원에 의한 것입니다. 이에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

1. Cheng, B. and Tao, W. Q., 1994, Experimental study of R-152a film condensation on single horizontal smooth tube and enhanced tubes, Tran. of the ASME, Vol. 116,



- pp. 266-270.
2. Hwang, S. M., Kim, K. K., Jung, D. S. and Kim, C. B., 1999, Condensation heat transfer coefficients of R22 Alternative Refrigerants on Enhanced Tubes, *KSME, B*, Vol. 23, No. 4, pp. 459-469.
  3. Hsieh, S. S. and Weng, C. J., 1997, Nucleate pool boiling heat transfer coefficients of distilled water(H<sub>2</sub>O) and R134a/oil mixtures from rib-roughened surfaces, *Tran. of the ASME Journal of heat transfer*, Vol. 119, pp. 142-151.
  4. Webb, R. L. and Murawski, C. G., 1990, Row effect for R-11 condensation on enhanced tubes, *Tran. of the ASME Journal of heat transfer*, Vol. 112, pp. 768-774.
  5. Graham, C. and Griffith, P., 1973, Drop size distributions and heat transfer in dropwise condensation, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 16, p. 337.
  6. Beatty, K. O. and Katz, D. L., 1948, Condensation of vapors on outside of finned tubes, *Chemical Engineering Progress*, Vol. 44, No. 1, pp. 55-70.
  7. Han, K. I. and Cho, D. H., 1994, A study on improvement of condensation and boiling heat transfer on horizontal tube by fin effect ( $\Pi$ ), *KSME Journal*, Vol. 18, No. 5, pp. 1275-1287.