

# HFC 순수냉매 및 3성분 혼합냉매의 수평관내 응축열전달

오 종 택\* · 飛原 英治\*\*

(1999년 7월 12일 접수)

## Condensation Heat Transfer for Pure HFC Refrigerants and a Ternary Refrigerant Mixture Inside a Horizontal Tube

Jong Taek Oh and Eiji Hihara

**Key Words:** Convective Condensation(대류응축), Heat Transfer Coefficient(열전달계수), Pure HFC Refrigerants(HFC 순수냉매), Ternary Refrigerant Mixture(3성분혼합냉매), Horizontal Tube(수평관)

### Abstract

An experimental study of condensation heat transfer was performed for pure refrigerants HFC32, HFC125, and HFC134a, and a ternary refrigerant mixture of HFC32/125/134a (23/25/52wt%). The heat transfer coefficients were measured inside a horizontal smooth tube 5.8 mm I.D. and 8.0 m long. The refrigerant temperature at inlet was 40 °C, and the mass flux was varied from 150 to 400 kg/m<sup>2</sup>s. As for the pure refrigerants, the heat transfer coefficient of HFC32/125/134a decreased as the quality decreased. In addition, the heat transfer coefficient of HFC32/125/134a was about 20 % lower than HFC134a at a low mass flux but showed no reduction at a high mass flux. The heat transfer coefficient of ternary refrigerant mixtures was 30% lower on the average than that of the pure refrigerant.

### 기호설명

$c_p$  : 정압비열 [kJ/kg·K]

$d$  : 관내경 [m]

$D_b$  : 기포직경 [m]

$g$  : 중력가속도[m/s<sup>2</sup>]

$G$  : 질량속도 [kg/m<sup>2</sup>·s]

$Ga$  : Galileo수  $\left[ \frac{g \rho^2 d^3}{\mu} \right]$

$h$  : 엔탈피 [kJ/kg]

$k$  : 열전도계수 [W/m·K]

$M$  : 질량유량[kg/s]

$Nu$  : Nusselt수  $\left[ \frac{\alpha d}{k} \right]$

$Pr$  : Prandtl수  $\left[ \frac{c_p \mu}{k} \right]$

$q$  : 열유속 [kW/m<sup>2</sup>]

$Q$  : 열량[kW]

$Re$  : Reynolds수  $\left[ \frac{G d}{\mu} \right]$

$T$  : 온도[K]

$X$  : 건도

그리스문자

$\alpha$  : 열전달계수 [W/m<sup>2</sup>·K]

$\rho$  : 밀도 [kg/m<sup>3</sup>]

$\mu$  : 점성계수 [Pa·s]

$\Phi_G$  : 이상유동변수

$X_{tt}$  : Lockhart-Martinelli 파라미터

\* 회원, 여수대학교 냉동공학과

E-mail : ohjt@yosu.yosu.ac.kr

TEL : (0662)659-3272 FAX : (0662)659-3003

\*\* 동경대학 기계공학과

$\zeta$  : 보이드율

#### 하첨자

B : 자유대류응축  
 F : 강제대류응축  
 G : 기상  
 i : 관내면  
 L : 액상  
 S : 포화  
 W : 관벽

## 1. 서 론

CFC 및 HCFC를 작동유체로 사용하고 있는 냉동 및 공기조화 시스템에 HFC 순수냉매 및 혼합냉매를 대체시키기 위해서는 기기재료와의 친화성, 윤택유와의 혼합성, 유독성 및 인화성 등과 같은 냉매로서의 적합성에 대한 검토뿐만 아니라 시스템의 성능에 영향을 미치는 열전달계수와 에너지효율 등도 조사를 해야만 한다. 최근 실험이나 모사(simulation)에 의해 CFC 대체냉매로서 거의 확실시되고 있는 HFC 순수냉매의 전열특성 및 여러 가지 장단점에 대해서는 어느 정도 밝혀졌으나 HCFC 대체냉매로서 미국 및 일본 등에서 연구하고 있는 HFC 혼합냉매에 대한 자료는 부족한 실정이다. 특히 냉매로서 가장 많이 사용하고 있는 HCFC22의 대체냉매를 개발하기 위해서는 증발기 및 응축기와 같은 열교환기에서 작동하는 혼합냉매의 열역학적 성능 및 전열특성에 대한 검토가 필요함에도 불구하고 이에 대한 연구는 아직 미흡하다.

일반적으로 비공비 혼합냉매의 열역학적 특성에 의하면 기액계면(interface)에서 비점이 높은 냉매가 비점이 낮은 것보다 먼저 응축한 후 비점이 낮은 냉매의 순서로 응축이 일어난다. 이와 같은 응축현상 때문에 계면에서 열전달을 감소시키는 물질확산이 일어나며, 이것은 순수냉매보다 열전달을 저하시키는 원인이 되고 있다.

2성분 비공비 혼합냉매 응축열전달 저하에 대한 연구는 1980년 Bokhanovskiy<sup>(1)</sup>가 코일로 된 평활관내에서 혼합냉매 HCFC22/CFC12의 평균열전달계수는 순수냉매보다 저하한다는 실험보고 이래 물질확산을 고려한 열전달 상관식<sup>(2-3)</sup> 및

HFC32/134a를 일정한 비율로 혼합시켜 실험한 결과등<sup>(4-5)</sup> 비교적 많은 보고가 있다.<sup>(6-9)</sup> 그러나 3성분 혼합냉매의 응축열전달물에 관한 연구는 HFC32/125/134a(23/25/52wt%)가 HCFC22보다 30~40% 정도 감소한다<sup>(10-11)</sup>는 것과 HFC134a보다 저질량속도에서는 평균 20% 저하하지만 고질량속도에서는 비슷한 경향을 나타낸다는 실험적인 연구<sup>(12)</sup>가 있을 정도이고 열전달저하 모델을 제시하고 이것을 실험데이터와 비교연구한 것은 대단히 부족한 실정이다.

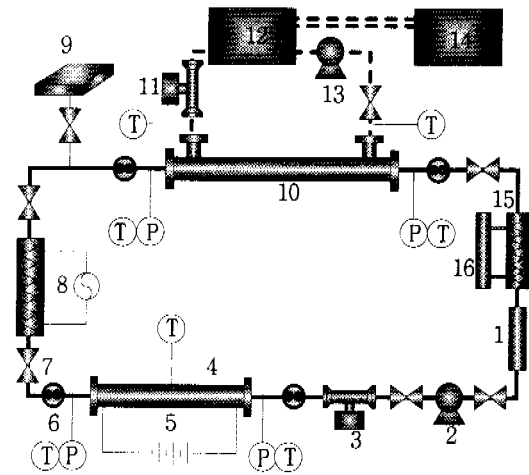
따라서 본 연구는 HFC 혼합냉매의 응축열전달에 대하여 이론해석 및 실험을 병행하여 응축진열특성에 대한 메커니즘을 규명하는 것을 최종 목적으로 하고 있으며, 우선 본 발표에서는 제품 생산에 사용중인 공조용 열교환기 중에서도 비교적 작은 관경이라고 할 수 있는 내관의 내경이 5.8 mm인 수평 2중관형 응축기에서 HFC 순수냉매 및 3성분 혼합냉매 HFC32/125/134a(23/25/52 wt%)에 대해 실험한 데이터를 타 연구자들의 응축열전달 상관식과 비교 검토하고 실험에 의한 응축진열특성을 밝히고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

Fig 1에 본 연구를 위해 사용한 실험장치의 전체적인 개략을 나타내었다. 즉 냉매순환부, 응축기를 위한 냉각시스템, 증발기를 위한 열원부 및 데이터를 얻는 데이터 시스템 등이다. 냉매의 순환을 간단히 설명하면 펌프에 의해 냉매탱크에서 나온 냉매는 질량유량계에서 유량이 측정된 후 증발기로 유입된다. 증발기에서 증발한 냉매증기는 전기히터로 가열된 온수에 의해 과열도가 조절된 후 시험구간인 응축기(test section)로 순환된다. 응축기에서 응축되지 못한 냉매액은 보조응축기에서 완전히 응축되어 냉매탱크로 들어간 후 위의 순서대로 재순환 된다. 응축기 입구 및 출구와 증발기 입구 및 출구 냉매의 유동양식을 관찰하기 위하여 길이 100mm인 sight glass를 설치하였다.

또한 응축기의 냉매증기를 응축시키기 위한 냉각수는 냉각유니트 및 냉각수 탱크에서 일정한 온도로 조절되어 유량계에서 유량이 측정된 후 응축기로 흐르게 하였다.

시험부인 응축기는 수평 2중관의 동관으로써



- |                     |                      |                         |
|---------------------|----------------------|-------------------------|
| 1. Refrigerant tank | 6. Sight glass       | 11. Flow meter          |
| 2. Refrigerant pump | 7. Valve             | 12. Water tank          |
| 3. Flow meter       | 8. Superheater       | 13. Water pump          |
| 4. Evaporator       | 9. Gaschromatography | 14. Chilling unit       |
| 5. DC power supply  | 10. Test section     | 15. Auxiliary condenser |
| — Refrigerant       | Ⓟ Pressure gauge     | 16. Chilling unit       |
| --- Cooling water   | Ⓢ Thermocouple       | ⓧ Valve                 |

Fig. 1 Schematic diagram of the experimental apparatus

내관의 내경 5.8 mm, 외경 7.0 mm, 외관의 내경 11.1 mm, 외경 12.7 mm, 유효길이가 1000 mm인 8개의 응축관을 4개씩 수평 2열로 구성하였으며 내관 및 외관에 각각 냉매와 냉각수가 흐르는 향류형 열교환기이다. 냉매 및 냉각수 온도측정은 각 응축관의 출입구에서 K형 열전대와 Pt100Ω 측온저항체로 하였다. 또한 냉매의 압력은 응축기의 입구, 중간, 출구에 설치한 정밀 브로돈관 압력계로 측정하였고, 혼합냉매의 조성은 과열기 출구에서 추출한 기체를 가스크로마토그래프로 분석하였다. 그리고 실험은 HFC 순수냉매의 데이터를 측정후 혼합냉매의 순으로 실시하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 실험데이터의 정리

순수냉매 및 3성분 혼합냉매의 시험부 입구 온도를 40℃로 일정하게 유지하고 열유속 및 질량속도를 각각 2~25 kW/m<sup>2</sup>과 150~400 kg/m<sup>2</sup>s로 하였으며, 순수냉매의 관길이 방향 극소평균 응

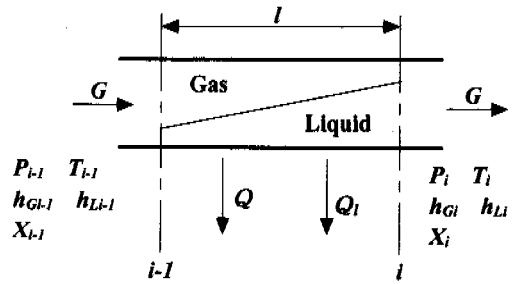


Fig. 2 Physical model used in calculation for condensation

축열전달계수를 다음의 식 (1)과 같이 구하였다.

$$\alpha = \frac{q}{T_s - T_{wi}} \quad (1)$$

또한 건도는 Fig. 2에 나타난 열평형모델을 이용하여 계산하였다. 즉 관축의 같은 단면내에 기상 및 액상 내부의 온도분포가 없다고 가정하면 다음의 방정식 (2)와 같이 열평형식을 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} &G(h_{Gi-1}X_{i-1} + h_{Li-1}(1 - X_{i-1})) + Q \\ &= G(h_{Gi}X_i + h_{Li}(1 - X_i)) + Q_i \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $G$ 는 냉매의 질량속도,  $X_{i-1}$  및  $X_i$ 는 입구와 출구의 건도,  $h_{i-1}$  및  $h_i$ 는 입구와 출구의 냉매 엔탈피,  $Q$  및  $Q_i$ 은 응축열량과 손실열량이다.

혼합냉매의 열전달계수도 순수냉매의 열전달계수 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다. 그러나 혼합냉매는 등압응축시의 상변화 과정에서 냉매의 포화온도가 변화하므로 단순히 구할 수는 없다. 즉 기액 평형상태에서 기상 및 액상의 온도와 압력은 같고 기상 및 액상의 퓨가시티(fugacity)는 일정하다고 가정하여 다음의 방정식 (3)과 같이 물성평형건도  $X_m$ 을 구하고 Fig. 2 및 방정식 (2)를 이용하여 열평형건도를 구하면 방정식 (1)에서 혼합냉매의 열전달계수를 구할 수 있다.

$$X_m = \frac{x_{oj} - x_{ij}}{y_{ij} - x_{ij}} \quad (j=1,2) \quad (3)$$

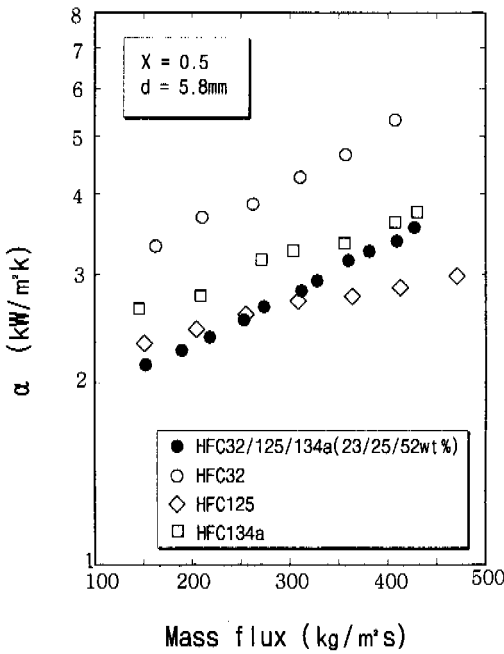


Fig. 3 Heat transfer coefficients versus mass flux for all the refrigerants tested

단,  $x_o$ 는 순환하는 3성분 냉매중의 저비점 성분의 농도,  $x_i$  및  $y_i$ 는 각각 기액계면에서 액상중의 저비점 성분의 농도와 기상중의 저비점 성분의 농도,  $j$ 는 저비점 성분 냉매의 종류를 나타낸다.

Fig. 3은 건도 0.5일 때 전 실험범위에 대하여 순수냉매 HFC32, HFC125 및 HFC134a와 3성분 혼합냉매 HFC32/125/134a(23/25/52wt%)의 응축열전달 실험결과를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 순수냉매 및 혼합냉매 모두 질량속도가 증가함에 따라 국소 열전달계수도 증가하고 있다. 질량속도 200 kg/m²s 정도까지는 3성분 혼합냉매의 열전달계수가 순수냉매인 HFC134a보다 약 20% 저하하고 있지만 질량속도가 증가함에 따라 그 차이는 점점 작으며 질량속도가 375 kg/m²s 이상에서는 열전달계수가 거의 같음을 알 수 있다. 또한 HFC32와 HFC125의 국소열전달계수는 HFC134a의 국소열전달계수와 비교한 결과 각각 30% 정도 증가하거나 저하하였다. 이것은 각 냉매의 기액 밀도비, 열전도율, 점도 등의 물성치 차이에 의해 나타나는 현상이라고 생각할 수 있다.

### 3.2 순수냉매의 응축열전달

수평관내 응축은 증기류의 방향과 중력의 방향이 직교하므로, 응축이 진행되어 건도가 저하함에 따라서 기액 2상류의 유동양식은 다양하게 변화하며 그 유동양식에 따라 응축열전달이 달라지므로 열전달계수를 구하는 이론해석의 향상에는 한계가 있다. 그러므로 응축을 고건도 영역의 강제대류응축과 저건도 영역의 자유대류응축으로 구분하여 열전달을 해석하고 있으며, 강제대류응축이 응축과정의 대부분을 지배한다. 1974년 Cavallini 등<sup>(13)</sup>은 방정식 (4) 및 (5)와 같이 강제대류 응축영역에서 순수냉매의 열전달 정립식을 제안하였다.

$$Nu = 0.05 Re_{eq}^{0.8} Pr^{0.33} \tag{4}$$

$$Re_{eq} = \left( \frac{Gd}{\mu_L} \right) \left[ (1-X) + X \left( \frac{\rho_L}{\rho_G} \right)^{0.5} \right] \tag{5}$$

Haraguchi 등<sup>(14)</sup>은 대향류형 응축기의 수평평활관내에서 HCFC22, HFC134a 및 HCFC123을 작동유체로 하고 응축전열 특성에 대한 실험을 행하여 열전달을 해석하였으며, 강제대류응축과 자유대류응축을 고려한 순수냉매의 열전달 관계식을 식 (6)과 같이 나타내었다.

$$Nu = (Nu_F^2 + Nu_B^2)^{1/2} \tag{6}$$

여기서  $Nu_F$  및  $Nu_B$ 는 강제대류응축 및 자유대류응축 영역에서의 Nusselt 수로써 각각 다음의 방정식 (7) 및 (8)과 같다.

$$Nu_F = 0.0152(1 + 0.6 Pr_L^{0.8}) \left( \frac{\Phi_G}{X_{tt}} \right) Re_L^{0.77} \tag{7}$$

$$Nu_B = 0.725 H(\zeta) \left( \frac{Ga Pr_L}{H_L} \right)^{1/4} \tag{8}$$

단,  $H_L$ 은 상변화 수,  $Ga$ 는 Galileo 수,  $Re_L$ 은 냉매액의 Reynolds 수,  $\Phi_G$ 는 이상유동변수,  $X_{tt}$ 는 Lockhart -Martinelli의 파라미터,  $\zeta$ 는 보이드올로써 Smith식<sup>(15)</sup>을 이용하여 구하였으며, 그 각각에 대한 방정식을 나타내면 다음과 같다.

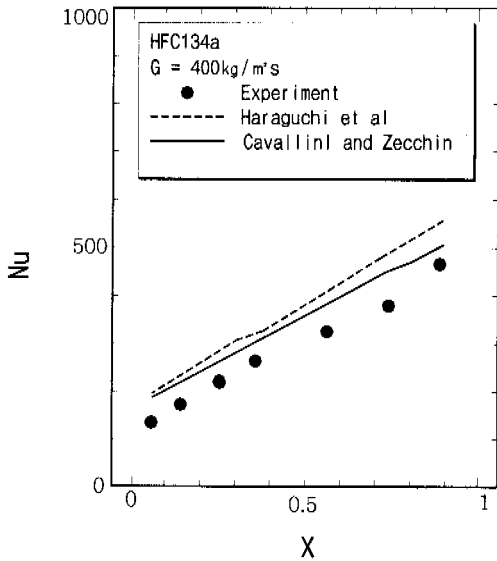


Fig. 4 Experimental Nusselt number versus quality for HFC134a

$$H_L = \frac{C_{PL}(T_s - T_{wi})}{\Delta h} \quad (9)$$

$$Re_L = G(1-X)\left(\frac{d}{\mu_L}\right) \quad (10)$$

$$\Phi_G = 1 + 0.5 \left[ \frac{G}{\sqrt{gd\rho_G(\rho_L - \rho_G)}} \right]^{0.75} X_{tt}^{0.35} \quad (11)$$

$$H(\xi) = \xi + \left\{ [(1-\xi)^{0.1} - 1] + 1.7 \times 10^{-4} Re_e \sqrt{\xi(1-\sqrt{\xi})} \right\} \quad (12)$$

$$\xi = \left[ 1 + \frac{\rho_G}{\rho_L} \left\{ 0.4 + 0.6 \sqrt{\frac{\frac{\rho_L}{\rho_G} + 0.4 \frac{1-x}{x}}{1 + 0.4 \frac{1-x}{x}}} \right\} \right]^{-1} \quad (13)$$

Fig. 4는 질량속도가 실험범위의 최대값인 400 kg/m<sup>2</sup>s이고 응축기 입구의 냉매증기 온도가 40 °C

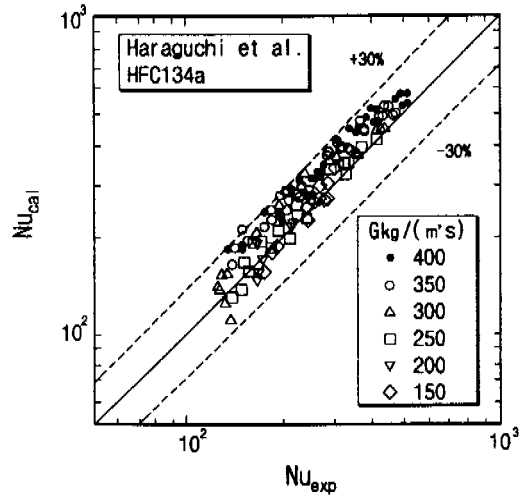


Fig. 5 Comparison of experimental Nusselt number with Haraguchi's correlation for HFC134a

일 때 HFC134a의 전도와 국소 Nusselt수의 관계를 나타낸 것이다. 응축이 진행됨에 따라 열전달 계수가 서서히 저하하고 있다. Nusselt수는 응축기 입구부분에서 약 500이지만 출구부분에서는 약 120정도로써 응축과정 동안 열전달계수의 변화가 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 종래의 상관식과 비교하면 Haraguchi 등 및 Cavallini 등의 계산값 모두 실험치보다 상승하였으며, 그 중에서도 Haraguchi 등의 계산값이 Cavallini 등의 계산값보다 약 5~10% 더 증가하였다.

Fig. 5 및 Fig. 6은 순수냉매 HFC134a의 질량속도 150 kg/m<sup>2</sup>s에서 400 kg/m<sup>2</sup>s까지 변화시킨 전 실험범위에서 Haraguchi등과 Cavallini등의 열전달 상관식으로 구한 계산값과 실험데이터를 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 Fig. 5는 저질량속도에서 계산값과 실험데이터가 어느 정도 잘 일치하지만 전반적으로 계산값이 높으며, Fig. 6은 계산값이 실험값보다 저질량속에서는 낮고 고질량속에서는 조금 높은 열전달계수를 나타내고 있다. 즉 Fig. 6은 Fig. 5보다 열전달계수 편차가 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 Haraguchi등의 상관식이 자유대류 및 강제대류를 모두 고려한 것이라면 Cavallini등은 강제대류만 상관식에 고려했기 때문이라고 할 수 있다. 그러므로 열전달상관식을 나타낼 때는 저질량속도의 자유대류 응축 영향을 고려해야 될 것으로 사료된다.

3.3 3성분 혼합냉매의 응축열전달

다성분 혼합냉매의 응축열전달 특성은 기액계면 근방에서 비점이 높은 성분의 냉매가 비점이 낮은 성분의 냉매보다 먼저 응축되어 응축량이 많아지기 때문에 기액계면의 기상층에 있어서는 저비점 성분의 질량농도가 높게 되고 계면 온도는 감소한다. 따라서 열전달의 유효온도차가 작게 되어 응축열전달률이 저하된다. 혼합냉매의 응축열전달 상관식은 대부분 순수냉매의 열전달 상관식에 물질전달의 영향을 고려하여 제안되고 있다. 그러므로 순수냉매의 열전달 상관식을 3성분 혼합냉매의 응축열전달계수에 대한 비교의 기준으로 이용할 수가 있다.

Fig. 7은 3성분 혼합냉매 HFC32/125/134a의 질량속도가 실험범위의 최대값인 400 kg/m's일 때 건도와 국소 Nusselt 수의 관계를 나타낸 것이다. 응축이 관축의 유동방향으로 진행됨에 따라 열전달계수가 저하하고 있다. 종래의 상관식과 비교하면 Haraguchi 등 및 Cavallini 등의 계산값 모두 실험값보다 증가함을 알 수 있다. 이것은 혼합냉매의 물질확산에 의해 3성분 혼합냉매의 열전달계수가 감소했기 때문이라고 사료된다. 그 중에서도 Haraguchi 등의 계산값이 Cavallini 등의 것보다 약 5% 더 상승하였다.

Fig. 8은 3성분 혼합냉매 HFC32/125/134a의 전

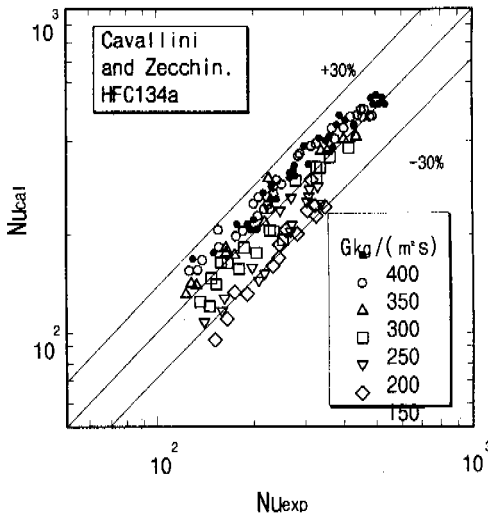


Fig. 6 Comparison of experimental Nusselt number with Cavallini-Zecchin's correlation for HFC134a

실험범위에 대하여 Haraguchi 등의 계산값과 실험치를 비교한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 계산값이 실험값보다 평균 30% 정도 증가함을 알 수 있으며 데이터의 편차가 큰 곳은 약 50% 정도 까지 증가하고 있다.

Fig. 9는 Fig. 8과 마찬가지로 3성분 혼합냉매

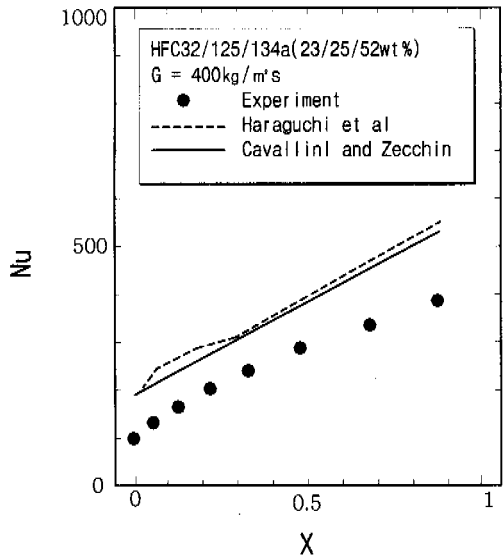


Fig. 7 Experimental Nusselt number versus hold up for HFC32/125/134a mixture

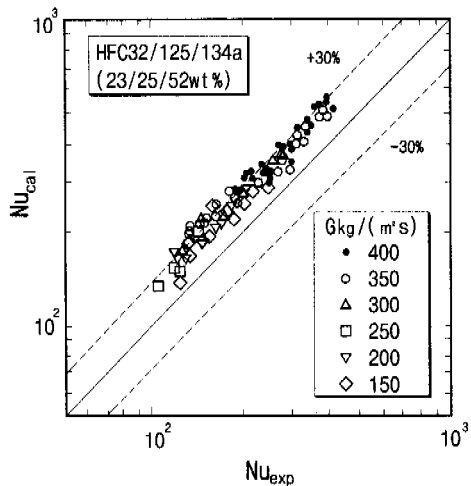


Fig. 8 Comparison of experimental Nusselt number with Haraguchi's correlation for HFC32/125/134a mixture

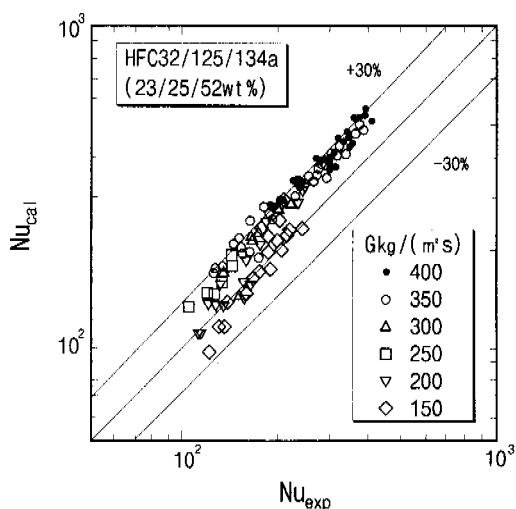


Fig. 9 Comparison of experimental Nusselt number with Cavallini-Zecchin's correlation for HFC32/125/134a mixture

HFC32/125/134a의 전 실험범위에 대하여 Cavallini 등의 계산값과 실험치의 비교결과이다. 저 질량 속도 영역에서 계산값이 실험값보다 저하하는 데이터의 일부분을 제외하면 Fig. 8과 같이 계산값이 실험치보다 상당히 증가함을 알 수 있다.

#### 4. 결론

관경이 작은 수평 2중관형 응축기에서 순수냉매 HFC32, HFC125, HFC134a 및 3성분 혼합냉매 HFC32/125/134a(23/25/52wt%)의 응축열전달 실험을 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) HFC32 및 HFC125의 열전달계수는 HFC134a보다 각각 평균적으로 30% 증가하거나 저하하였다.

(2) 3성분 혼합냉매의 열전달계수는 HFC134a보다 저 질량속도에서 20% 정도 저하하였지만 고 질량속도에서는 거의 같았다.

(3) 3성분 혼합냉매 응축열전달계수의 실험데이터는 기존의 순수냉매 열전달상관식으로 구한 계산값보다 평균 30%정도 저하하였다.

#### 참고문헌

(1) Bokhanovskiy, 1980, " Heat Transfer from

Freon-12, Freon-22, and Their Mixture in a Coiled-Tube Condenser," *Heat Transfer Sov. Res.*, Vol. 12, No. 4. pp. 43~45.

(2) 小山繁, 高雷, 今材巨城, 藤井哲, 1991, " 非共沸混合冷媒 HFC22+CFC114의 水平平滑管内凝縮," *日本機械學會論文集(B)*, Vol. 57, pp. 106~112.

(3) Koyama, S., Ishibashi, A. and Yu, J., 1996, " A Prediction Model for Condensation of Binary Refrigerant Mixtures Inside a Horizontal Smooth Tube," *Proceedings of the 3rd KSME-JSME Thermal Engineering Conf.*, Vol. 3, pp. 191~196.

(4) 内田麻里, 伊藤正昭, 工藤光夫, 1993, " HFC系非共沸混合冷媒의 水平溝付管内凝縮伝達率," 第30回日本傳熱シンポジウム講演論文集, pp. 337~339.

(5) 原口英剛, 小川季彦, 小山繁, 藤井哲, 1994, " 混合冷媒HFC134a/HFC123의 水平管内凝縮의 實驗," 第31回日本傳熱シンポジウム講演論文集, pp. 742~744.

(6) Lu, D. C. and Lee, C. C., 1994, " Investigation of Condensation Heat Transfer of Non-Azeotropic Refrigerant Mixtures in a Horizontal Tube," *Proceedings of 10th, International Heat Transfer Conference*, Brighton, U. K. Vol. 3, pp. 353~358.

(7) Wang, W. C., Yu, C. and Wang, B. X., 1995, " Condensation Heat Transfer of a Non-Azeotropic Binary Mixture on a Horizontal Tube," *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 38, No. 2, pp. 233~240.

(8) 황수민, 김경기, 정동수, 김종보, 1999, " 열전달촉진관에서 R-22 대체냉매의 외부 응축열전달계수," 대한기계학회논문집 B권, 제23권, 제4호, pp. 459~469.

(9) 五島正雄, 神戸孝治, 井上順廣, 佐藤全秋, 1994, " HCFC22およびHFC32/125/134a의 水平面溝付管内의 凝縮熱傳達," 第31回日本傳熱シンポジウム講演論文集, pp. 736~738.

(10) 五島正雄, 井上順廣, 小山和秀, 1994, " HFC C22代替冷媒의 水平管内蒸發及凝縮熱傳達," 平成6年度日本冷凍協會學術講演論文集, pp. 125~128.

(11) 鳥越邦和, 蛭子毅, 戸田一美, 大西晴夫, 1994, " 3成分非共沸混合冷媒의 水平溝付管内熱傳達特

- 性,” 第28回空氣調和·冷凍連合講演會講演論文集, pp. 145~148.
- (12) Zhang, L., Oh, J. T., Hihara, E., Saito, T. and Ijima, H., 1995, “ Condensation Heat Transfer of HFC's Refrigerant Mixtures Inside a Horizontal Smooth Tube,” *JSME Thermal Engineering Symposium*'95, No. 95-51, pp. 68~69.
- (13) Cavallini, A. and Zecchin, R., 1974, “ A Dimensionless Correlation for Heat Transfer in Forced Convective Condensation,” *Proc. 6th Int. Heat Transfer Conf.* Tokyo, Vol. 3, pp. 309~313.
- (14) Haraguchi, H., Koyama, s. and Fujii, T. 1994, “ Condensation of Refrigerant HCFC22, HFC134a, HCFC123 in a Horizontal Smooth Tube (2nd Report, Proposal of Empirical Expressions for the Local Heat Transfer Coefficient),” *Trans. of the JSME(B series)*, Vol. 60, No. 574, pp. 2117~2124.
- (15) Smith, S. L., 1970, “ Void Fraction in Two-Phase Flow: A Correlation Based on an Equal Velocity Heated Model,” *Proc. Inst. Mech. Engng*, Vol. 184, pp. 647~657.