

## 수평 전열관내 냉매의 이상유동 압력강하에 관한 연구

임 태 우<sup>†</sup>, 김 준 효<sup>\*</sup>

부경대학교 기계공학부, \*목포해양대학교 기관시스템공학부

### A Study on Pressure Drop in Two-Phase Flow Boiling of Refrigerants in Horizontal Tube

Tae Woo Lim<sup>†</sup>, Jun Hyo Kim<sup>\*</sup>

School of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

\*Division of Marine Engineering, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

(Received February 14, 2003; revision received May 7, 2003)

**ABSTRACT:** An experimental study on the pressure drop during flow boiling for pure refrigerants R134a and R123, and their mixture was carried out in a uniformly heated horizontal tube. Tests were run at a pressure of 0.6 MPa and in the ranges of heat flux 5~50 kW/m<sup>2</sup>, vapor quality 0~100 percent and mass velocity of 150~600 kg/m<sup>2</sup>s. Generally, the two-phase frictional multiplier is used to predict the frictional pressure drop during the two-phase flow boiling. The obtained results have been compared to the existing various correlations for the two-phase multiplier. Also, the frictional pressure drop was compared to a few available correlations; The Lockhart-Martinelli correlation considerably overpredicted the frictional pressure drop data for mixture as well as pure components in the entire mass velocity ranges employed in the present study, while the Chisholm correlation underpredicted the present data. The Friedel correlation was found to satisfactorily correlate the frictional pressure drop data except for a low quality region.

**Key words:** Acceleration pressure drop(가속압력강하), Frictional pressure drop(마찰압력강하), Pure refrigerant(순수냉매), Two-phase flow boiling(이상유동비등)

#### 기 호 설 명

$d$  : 관 내경 [m]

$f$  : 마찰계수

$Fr$  : Froude 수

$G$  : 질량유속 [kg/m<sup>2</sup>s]

$L$  : 관 길이 [m]

$\Delta P$  : 압력 [Pa]

$Pr$  : Prandtl 수

$Re$  : Reynolds 수

$s$  : 슬립비

$T$  : 온도 [K]

$We$  : Weber 수

$X_{tt}$  : 마티넬리 변수

$z$  : 축방향 거리 [m]

#### 그리스 문자

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-51-620-1575; fax: +82-51-620-1574

E-mail address: kyunlim@hanmail.net

$\alpha$  : 기공률

$\beta$  : 건도

- $\rho$  : 밀도 [ $\text{kg/m}^3$ ]
- $\mu$  : 점성계수 [ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ]
- $\phi$  : 이상마찰승수

**하첨자**

- $a$  : 가속
- $f, F$  : 마찰 또는 액체
- $F$  : 마찰
- $f_0$  : 전 흐름을 액체로 가정
- $TP$  : 이상(Two-phase)
- $v$  : 증기

**1. 서 론**

냉동기나 공조시스템과 같은 열교환기의 설계 시 중요한 요소인 2상 압력강하에 관한 실험적인 연구와 경험적인 예측방법이 관내 유동비등에 대해서 이루어져 왔다. 이러한 결과로써 수평관내 2상 압력강하에 대한 수많은 경험식이 개발되었으나, 이들의 대부분은 증기-스팀 또는 물-공기 혼합물을 토대로 개발된 것이다. 따라서, 이들 상관관계식을 그대로 냉매 혼합물에 적용하기는 어렵다. 즉, 물-공기 시스템에서의 2상 유동현상은 냉매시스템의 것과는 다르기 때문이다.

2상 마찰특성을 안다는 것은 냉동이나 공조시스템의 설계시 대단히 중요하다. 이것은 열시스템을 설계할 때 그 정확성을 향상시킬 수 있기 때문이다.

2상 유동비등시 측정된 압력강하는 두 가지 성분의 합으로 구성된다. 즉, 마찰압력강하와 가속에 의한 압력강하이다. 마찰압력강하는 예측하기 가장 어려운 성분으로 총 압력강하에 가장 중요한 기여를 한다. 반대로, 상변화에 따른 운동량 유속의 변화에 의해 기인되는 가속에 의한 압력강하는 마찰압력강하에 비해 일반적으로 작다. 유동비등시 마찰압력강하는 두 가지 방법에 의해 예측되는데, 즉 각 상의 속도가 똑같다고 가정하는 균질 모델<sup>(1)</sup>과 슬립류 모델로 언급되는 분리 모델이다.

Pierre<sup>(2)</sup>는 균질 모델을 토대로 냉매 R12, R22, 그리고 R502에 대해 측정된 압력강하로부터 상관식을 개발하였다. Lockhart-Martinelli<sup>(3)</sup>는 분리

모델을 처음 사용하여 그들의 유명한 상관법을 제안하였다. 이것은 나중에 수평유동비등시 압력강하를 예측하기 위해 Martinelli-Nelson<sup>(4)</sup>에 의해 수정되었다. Jung et al.<sup>(5)</sup>은 냉매 R22, R114, R12, 그리고 R152a를 사용하여 수평유동비등의 압력강하에 관한 실험적인 연구를 수행하여, Martinelli-Nelson의 상관식을 수정함으로써 새로운 상관식을 개발하였다.

본 연구의 목적은 작동유체로서 순수냉매 R134a와 R123, 그리고 이들의 혼합냉매를 사용하여 수평관내 유동비등시 압력강하에 대한 실험 데이터를 얻는 것이며, 본 연구에서 얻어진 냉매의 압력강하에 대한 실험결과로부터 2상 마찰승수를 사용하여 증기건도와 질량유속에 따른 압력강하 특성을 고찰하는 것이다. 또한, 측정된 데이터를 여러 상관관계식들과 비교·검토함으로써 기존 상관식의 적용 가능성을 조사하고자 한다.

**2. 실험장치 및 방법**

본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다. 시스템은 저장탱크, 펌프, 유량계, 혼합실, 예열기, 시험구간, 관찰부(sight glass section), 응축기, 그리고 보조장치들로 구성된다. 모든 실험은 혼합실의 입구에서 과냉액으로 진행되었다. 과냉액 상태의 냉매는 먼저 예열기에서 시험구간 입구의 주어진 엔탈피까지 가열되며, 시험구간으로 들어가 다시 가열된다. 유동양식은 시험부 출구에 놓인 관찰부를 통해 관찰되었으며, 이 관찰부는 시험부와 동일한 내경을 가진다.

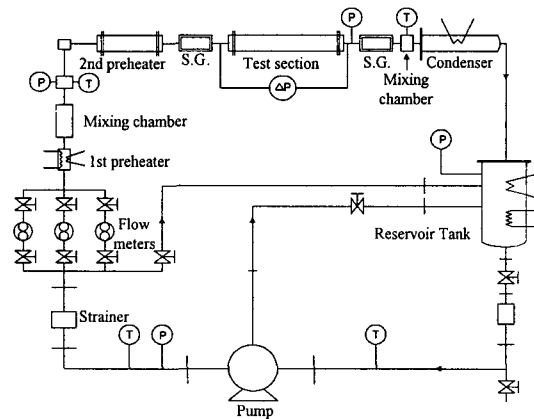


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus.

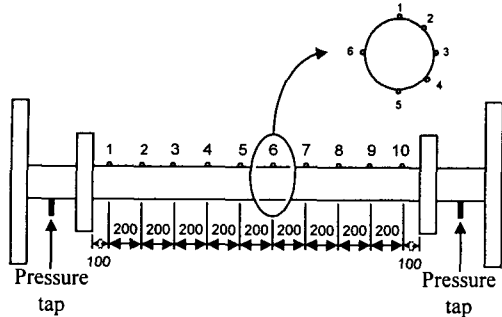


Fig. 2 Detail of test section.

Fig. 2는 2 m의 길이를 가지는 스테인레스 스틸 튜브인 시험부로 내경은 10 mm, 두께는 1.5 mm이다. 시험부는 저전압 고전류 변압기를 통해 안정화되는 교류에 의한 전기적 가열방법에 의해 가열된다. 시험구간의 바깥 벽면온도는 200 mm 간격으로 튜브의 바깥 표면상에 점용접(spot-welded)된 크로멜-알루멜(Chromel-Alumel) 열전대에 의해 측정되었다.

시험부와 예열기는 파이버 글래스(fiber glass)로 잘 단열되어 있지만, 주위로의 열손실은 필연적이다. 따라서, 주위로의 열손실은 튜브 벽면과 주위온도 사이의 온도차의 함수로 계산되어 벽면온도와 열유속을 평가할 때 사용된다.

유체온도와 압력은 입·출구에 있는 혼합실에서 측정되었으며, 시험부 입·출구에 아주 가까이 설치된 압력 탭을 가로지르는 압력강하는 차압계를 사용하여 측정되었다. 유체온도와 압력에 대한 이들 데이터는 시험부에 따른 국소유체온도와 압력을 결정하기 위해 사용된다.

냉매 R134a와 R123은 순냉매들에 대한 작동유체로 사용되며, 각각은 혼합냉매를 구성하기 위해 저증발성분(more volatile component)과 고증발성분(less volatile component)으로 구성된다. 혼합물에서 저증발성분(R134a)의 몰비는 27, 49, 그리고 75%로 설정되었다. 유동비등시 열전달과 압력강하에 영향을 미치는 주요 변수로는 질량유속과 열유속, 그리고 증기건도라 할 수 있다. 혼합물의 열역학적인 물성치(thermodynamic properties)는 BWR<sup>(6)</sup>(Benedict-Webb-Rubin) 상태방정식으로부터 계산되며, 전달 물성치(transport properties)는 Reid<sup>(7)</sup>에 의해 추천된 방법을 사용하여 계산하였다. 본 연구에서 질량유속은 150, 225, 300, 그리고 600 kg/m<sup>2</sup>s에서, 그리고 열유속

은 5, 10, 20, 그리고 50 kW/m<sup>2</sup>에서 수행되었으며, 건도의 범위는 0에서 거의 1까지이다.

### 3. 마찰압력강하와 가속압력강하

수평관내 유동비등시 총 압력강하는 두 가지 성분의 합으로 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta P = \Delta P_f + \Delta P_a \quad (1)$$

여기서,  $\Delta P_f$ 는 마찰압력강하를 나타내고,  $\Delta P_a$ 는 가속으로 인한 압력강하를 나타낸다.

앞에서 언급하였듯이, 마찰압력강하는 예측하기에 가장 어려운 성분이며, 총 압력강하에 가장 중요한 기여를 한다. 반면, 가속으로 인한 압력강하는 일반적으로 마찰압력강하와 비교해서 작은 값을 가진다.

#### 3.1 마찰압력강하

일반적으로 2상 마찰계수는 마찰압력강하를 예측하기 위해 사용되며, 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_{fo}^2 = \frac{\Delta P_{TP}}{\Delta P_{fo}} \quad (2)$$

여기서,  $\Delta P_{TP}$ 는 2상 마찰압력강하이며,  $\Delta P_{fo}$ 는 2상 유동이 액체 단상으로 흐른다고 가정했을 때의 단상마찰 압력강하를 나타내며, 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta P_{fo} = \frac{2f_{fo} G^2 L}{D \rho_f} \quad (3)$$

여기서 난류유동에 대한 마찰계수는 다음과 같이 주어진다.

$$f_{fo} = 0.079 \text{Re}^{-1/4} \quad (4)$$

앞에서도 언급하였듯이 유동비등시 압력강하를 해석할 때 여러 연구자들에 의해 언급되는 두 가지 물리적인 모델이 존재한다. 즉, 균질 모델과 분리 모델이다. 일반적으로 분리 모델을 토대로

한 상관식들은 압력강하를 과대평가하는 경향이 있는 반면, 균질 모델을 토대로 한 상관식들은 압력강하를 낮게 예측하는 경향이 있다.

2상 마찰계수는 흔히 2상 유동비등시 마찰압력강하를 예측하기 위해 사용되며, 여기서는 몇몇 상관식들에 관한 이들의 정의가 간략하게 주어진다.

균질 모델은 2상 마찰압력강하를 계산하기에 가장 쉬운 상관식 중에 하나이며, 다음과 같이 정의된다.

$$\phi_{fo}^2 = \left[ 1 + \beta \left( \frac{\rho_f}{\rho_v} - 1 \right) \right] \left[ 1 + \beta \left( \frac{\mu_f}{\mu_v} - 1 \right) \right]^{-1/4} \quad (5)$$

Lockhart and Martinelli의 상관식은 다음과 같이 주어진다.

$$\phi_{fo}^2 = \phi_f^2 (1 - \beta)^{1.75} \quad (6)$$

여기서,  $\phi_f^2$ 는 가스-액체 혼합물의 유동비등시 Martinelli 변수  $X_{tt}$ 의 함수로 다음과 같이 표시된다.

$$\phi_f^2 = 1 + \frac{C}{X_{tt}} + \frac{1}{X_{tt}^2} \quad (7)$$

여기서,  $C$ 는 액상과 기상의 유동영역이 층류인지 난류인지에 따라 5에서 20까지 변한다.  $X_{tt}$ 는 액체의 단상 마찰압력강하의 가스의 단상 압력강하에 대한 비로 다음과 같이 정의된다.

$$X_{tt}^2 = (dp/dz)_{F,f} / (dp/dz)_{F,v} \quad (8)$$

Martinelli and Nelson의 상관식은 수평관내 유동비등시 압력강하를 예측하기 위해 널리 사용되어 온 상관식으로 2상 마찰계수는 식(6)에 의해 정의되며, 여기서  $\phi_f^2$ 는 다음과 같이 정의될 수 있다.<sup>(8)</sup>

$$\phi_f^2 = \left( 1 + \frac{1}{X_{tt}^{0.5}} \right)^2 \quad (9)$$

Chisholm<sup>(9)</sup>은 매끈한 관내에서 가스-액체 혼합물의 유동비등시 Lockhart and Martinelli 변수의

함수로 2상 마찰계수를 상관하였다. 그는 나중에<sup>(10)</sup> 2상 마찰계수를  $\phi_{fo}^2$ 와 같은 일반적인 형태로 변환하였다.

$$\phi_{fo}^2 = 1 + (\Gamma^2 - 1) \times \{ B \beta^{(2-n)/2} (1 - \beta)^{(2-n)/2} + \beta^{2-n} \} \quad (10)$$

여기서, 물성치계수  $\Gamma$ 와  $B$ 는 다음과 같이

$$\Gamma = \left( \frac{\rho_f}{\rho_v} \right)^{0.5} \left( \frac{\mu_v}{\mu_f} \right)^{n/2} \quad (11)$$

$$B = \frac{C\Gamma - 2^{2-n} + 2}{\Gamma^2 - 1} \quad (12)$$

정의된다. 식(11)과 (12)에서  $n$ 은 마찰계수에 대한 Blasius식에서의 지수를 나타낸다.  $B$ 의 값은 계수  $\Gamma$ 의 범위에 대하여 질량유속에 따라 결정되며, 이것은 Table 1에 주어진 것과 같다.

Friedel<sup>(11)</sup>의 경험식은 수많은 데이터를 토대로 2상 마찰계수에 대한 다음과 같은 식을 얻었다.

$$\phi_{fo}^2 = A + 3.24\beta^{0.78}(1 - \beta)^{0.224} \left( \frac{\rho_f}{\rho_v} \right)^{0.91} \times \left( \frac{\mu_v}{\mu_f} \right)^{0.19} \left( 1 - \frac{\mu_v}{\mu_f} \right)^{0.7} Fr_{TP}^{-0.0454} We_{TP}^{-0.035} \quad (13)$$

여기서,  $A = (1 - \beta)^2 + \beta^2 \rho_f f_w (\rho_v f_{fo})^{-1}$ 이다.

2상 Froude 수와 Weber 수는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$Fr_{TP} = \frac{G^2}{gD\rho_{TP}^2}, \quad We_{TP} = \frac{G^2 D}{\sigma \rho_{TP}} \quad (14)$$

Table 1 Value of  $B$  according as  $\Gamma$  for smooth tubes

$\Gamma$	$G$ (kg/m <sup>2</sup> s)	$B$
	$\leq 500$	4.8
$\leq 9.5$	$500 < G < 1900$	$2400/G$
	$\geq 1900$	$55/G^{0.5}$
$9.5 < \Gamma < 28$	$\leq 600$	$520/(\Gamma G^{0.5})$
	$> 600$	$21/\Gamma$
$\geq 28$		$15000/\Gamma^2 G^{0.5}$

Friedel의 2상 마찰계수는 원래 단 성분 2상류 데이터를 토대로 유도되었지만, 두 성분에 대한 현재의 실험결과도 잘 예측하고 있다.

Jung 등은 Martinelli and Nelson의 상관식을 수정하여, 2상 마찰계수를 증기건도와 환산압력의 함수로 다음과 같이 제시하였다.

$$\phi_{fo}^2 = 30.78 \beta^{1.323} (1-\beta)^{0.477} \text{Pr}^{-0.7232} \quad (15)$$

### 3.2 가속압력강하

시험구간을 가열할 경우 압력강하는 가속에 의한 압력강하가 고려되어야 한다. 즉, 식(1)에서처럼 총 압력강하는 마찰압력강하와 가속에 의한 압력강하의 합으로 이루어진다. 본 연구에서 가속압력강하는 다음 식을 사용하여 계산하였다.

$$\Delta P_a = G^2 \left[ \left\{ \frac{\beta^2}{\alpha \rho_v} + \frac{(1-\beta)^2}{(1-\alpha) \rho_f} \right\}_{out} - \left\{ \frac{\beta^2}{\alpha \rho_v} + \frac{(1-\beta)^2}{(1-\alpha) \rho_f} \right\}_{in} \right] \quad (16)$$

여기서,  $\alpha$ 는 기공률을 나타내며, 건도와 슬립비로 나타낼 수 있다.

$$\alpha = \frac{1}{1 + \left( s \frac{1-\beta}{\beta} \frac{\rho_v}{\rho_f} \right)} \quad (17)$$

슬립비에 관한 여러 상관관계식이 존재하지만, 본 연구에서는 아래의 CISE<sup>(12)</sup> 상관식을 사용하

여 슬립비를 계산하였다.

$$s = 1 + E_1 \left( \frac{y}{1 + yE_2} - yE_2 \right)^{0.5} \quad (18)$$

여기서, 계수  $y$ ,  $E_1$ , 그리고  $E_2$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$y = \frac{\gamma}{1-\gamma}, \quad \gamma = \frac{\rho_f \beta}{\rho_f \beta + \rho_g (1-\beta)}$$

$$E_1 = 1.578 \text{Re}^{-0.19} \left( \frac{\rho_f}{\rho_g} \right)^{0.22}$$

$$E_2 = 0.02733 \text{We} \text{Re}^{-0.51} \left( \frac{\rho_f}{\rho_g} \right)^{-0.08}$$

Fig. 3은 순수냉매와 혼합냉매에 대하여 여러 가지 모델과 상관관계식으로부터 예측된 슬립비의 변화를 나타내고 있다. Fig. 3에 나타난 슬립비에서 발생하는 차이로 인해 식(17)로부터 계산된 기공률에서 편차가 발생하게 되며, Fig. 4는 이러한 결과를 나타낸다. Whalley<sup>(13)</sup>에 언급되었듯이 CISE 상관식은 슬립비에 대해 가장 정확하게 일반적으로 적용할 수 있는 상관식이며, 또한 질량 유속에 관한 영향을 반영하고 있다. Fig. 5는 CISE 모델로부터 평가된 슬립비의 질량유속에 따른 변화를 나타내고 있다.

Fig. 6은 열유속에 따른 마찰압력강하와 가속압력강하의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 마찰압력강하는 총 압력강하에서 가속압력강하를 뺀 것으로 계산된다. 그림으로부터 가속압력강하는 저건도 영역에서는 그다지 중요하지 않지만, 건도

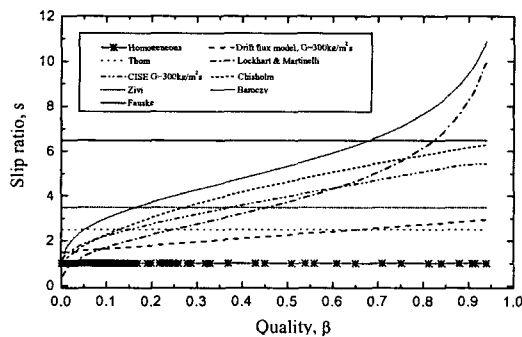


Fig. 3 Variations of slip ratio for various correlations with R134a.

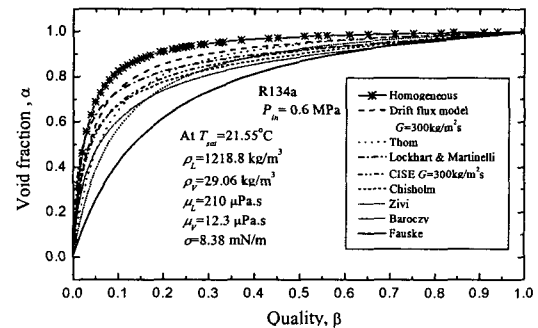


Fig. 4 Variations of the void fraction predicted from various correlations.

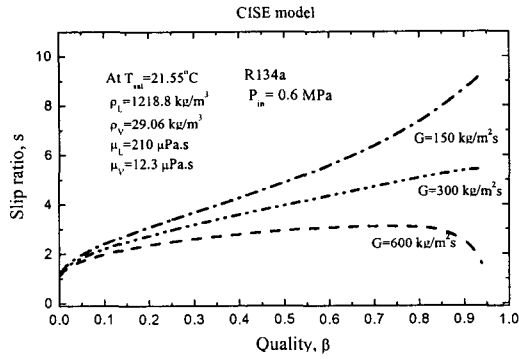


Fig. 5 Variation of slip ratio with respect to mass velocity with R134a.

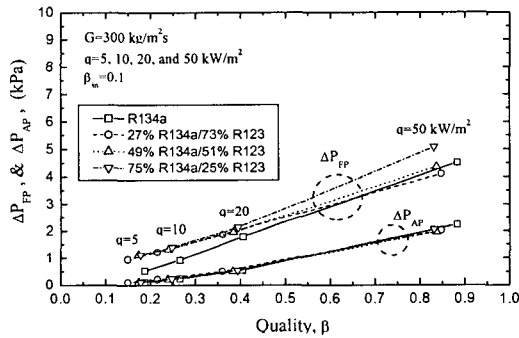


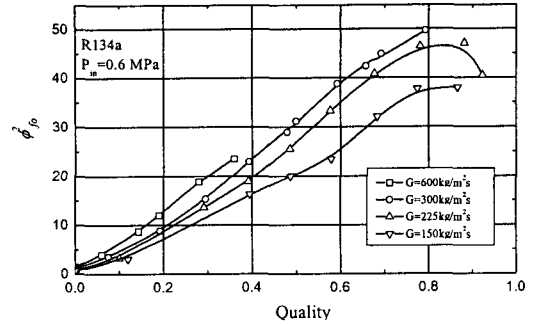
Fig. 6 Variations of the frictional and acceleration pressure drop as a function of exit quality.

가 증가함에 따라 가속압력강하는 총 압력강하의 약 30%까지 차지하였다.

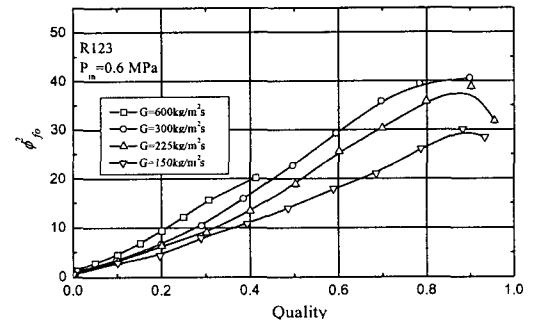
#### 4. 결과 및 고찰

Fig. 7의 (a)와 (b)는 측정된 마찰압력강하로부터 식(2)를 사용하여 계산된 2상 마찰승수의 변화를 나타낸 것이다. 본 연구에서 사용된 전 질량유속에 대하여 얻어진 2상 마찰승수는 건도와 질량유속의 증가와 더불어 증가한다는 것을 알 수 있다. 그리고 순수냉매와 혼합냉매에 있어서 건도와 질량유속에 따른 마찰압력강하의 변화는 유사하게 나타났다.

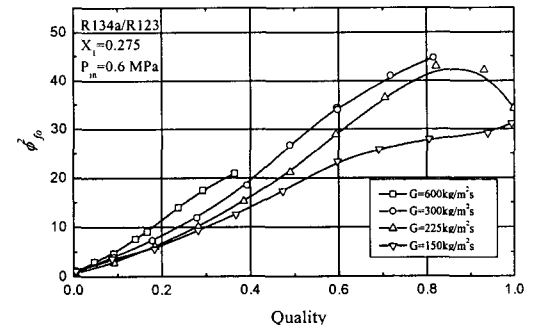
Fig. 8의 (a)와 (b)는 실험에 의해 측정된 마찰 압력강하로부터 얻어진 2상 마찰승수를 여러 가지 상관관계식에 의해 평가된 것과의 비교를 나타낸 것이다. 기존의 상관식들은 본 연구에서 얻



(a) Pure refrigerant, R134a



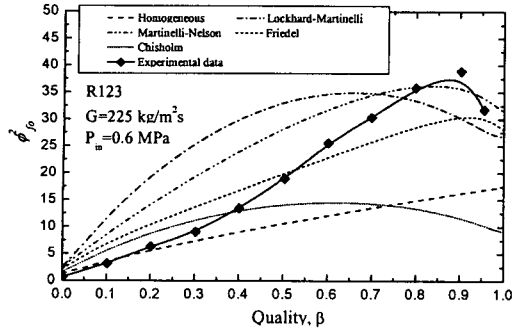
(b) Pure refrigerant, R123



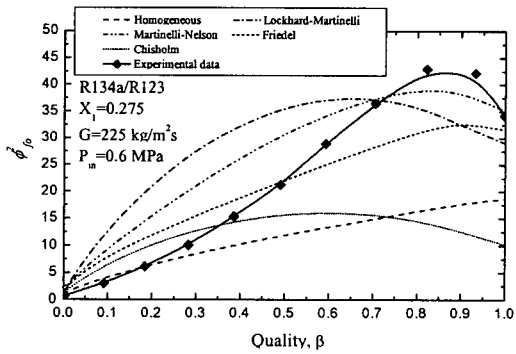
(c) Mixture

Fig. 7 Variations of the two-phase frictional multipliers against quality.

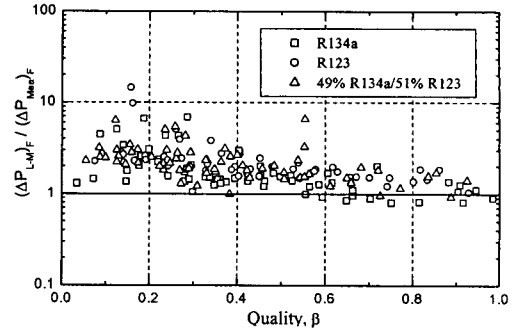
어진 마찰승수의 변화와 아주 다르다는 것을 알 수 있다. 그림에 나타나 있듯이 균질류 모델은 다른 상관관계식들보다 훨씬 작은 값을 나타내고 있다. Friedel 상관식은 거의 선형적으로 변하면서 다른 상관식의 중간에 위치하는 반면, Lockhart-Martinelli와 Martinelli-Nelson 상관식은 다른 상관식들과 비교했을 때 비선형적으로 변화하면서 보다 큰 값을 나타내고 있다. 결과적으로 기존의 상관관계식으로 현 데이터를 예측하기에



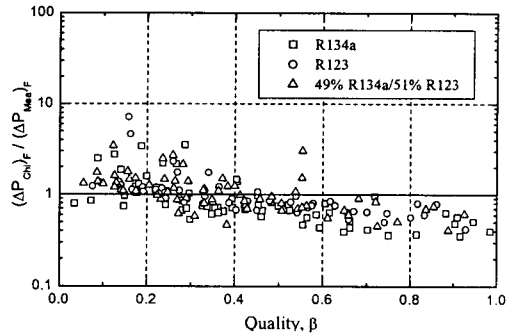
(a) R123



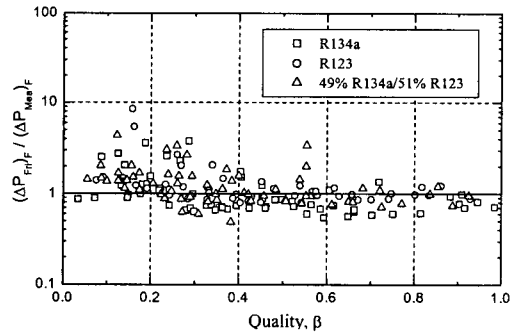
(b) Mixture



(a) Lockhard-Martinelli correlation



(b) Chisholm correlation



(c) Friedel correlation

Fig. 8 Comparison between the measured frictional multiplier and several correlations.

는 어려울 것으로 사료된다.

Fig. 9는 순수냉매와 혼합냉매에 대하여 측정된 마찰압력강하를 Lockhart & Martinelli, Chisholm, 그리고 Friedel 상관식을 사용하여 계산된 결과와의 비를 나타내고 있다. Lockhart & Martinelli 상관식은 본 연구에서 사용된 전 질량유속 영역과 건도에서 순수냉매뿐만 아니라 혼합냉매에 대한 마찰압력강하를 높게 예측하였다. 반면, Chisholm 상관식은 Lockhart & Martinelli 상관식과 반대로 현 데이터를 다소 낮게 예측하였다. Friedel 상관식은 저건도( $\beta < 0.2$ ) 영역을 제외하고 건도 영역에서는 현 데이터를 만족스럽게 예측하였다.

5. 결론

수평관내 유동비동시 순수냉매 R134a와 R123, 그리고 이들의 혼합냉매의 압력강하에 관한 실험을 통해 2상 마찰승수는 건도와 질량유속의 증가

Fig. 9 Comparisons between measured data and several correlations.

와 더불어 증가한다는 것을 알 수 있었다. 그리고 순수냉매와 혼합냉매에 있어서 건도와 질량유속에 따른 마찰압력강하의 변화는 유사하게 나타났다. 가속에 의한 압력강하는 저건도 영역에서는 그다지 중요하지 않지만, 건도가 증가함에 따라 가속압력강하는 총 압력강하의 약 30%까지 차지하였다.

Lockhart & Martinelli 상관식은 전 질량유속

과 건도 영역에서 현 데이터를 높게 예측하였고, Chisholm 상관식은 반대로 낮게 예측하였다. 그리고 Friedel 상관식은 순수냉매와 혼합냉매에 대한 마찰압력강하를 잘 예측하였지만, 저건도 영역에서는 다소 높게 예측하였다. 이러한 결과를 토대로 Friedel 상관식이 현 데이터를 가장 잘 예측하는 것으로 나타났다.

### 참고문헌

1. Collier, J.G. and Thome, J.R., 1994, Convective Boiling and Condensation, 3rd ed., Oxford University Press, London.
2. Pierre, B., 1964, Flow resistance with boiling refrigerants, ASHRAE Trans., pp.58-77.
3. Lockhart, R.W. and Martinelli, R.C., 1949, Proposed correlation of data for isothermal two-phase, two-component flow in pipes, Chemical Engineering Progress, Vol.45, pp.39-48.
4. Martinelli, R.C. and Nelson, D.B., 1948, Prediction of pressure drop during forced-circulation boiling of water, Trans. of American Society Mechanical Engineers, Vol.70, pp.695-702.
5. Jung, D.S. and Radermacher, R., 1989, Prediction of pressure drop during horizontal annular flow boiling of pure and mixed refrigerants, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.32, pp.2435-2446.
6. Nishiumi, H. and Saito, S., 1977, Correlation of the binary interaction parameter of the modified generalized BWR equation of state, Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol.10, pp.176-180.
7. Reid, R.C., Prausnitz, J.M. and Sherwood, T.K., 1977, The Properties of Gases and Liquids, 3rd ed., McGraw-Hill, New York.
8. Singal, L.C., Sharma, C.P. and Varma, H.K., 1983, Pressure drop during forced convection boiling of binary refrigerant mixtures, Int. J. Multiphase Flow, Vol.9, pp.309-323.
9. Chisholm, D., 1967, A theoretical basis for the Lockhart-Martinelli correlation for two-phase flow, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.10, pp.1767-1778.
10. Chisholm, D., 1973, Pressure gradients due to friction during the flow of evaporating two-phase mixtures in smooth tubes and channels, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol.16, pp.347-358.
11. Friedel, L., 1979, Improved friction pressure drop correlations for horizontal and vertical two-phase pipe flow, Presented at the European Two-phase Flow Group Meeting, Ispra, Italy, Paper E2, June, Vol.18, pp.485-492.
12. Premoli, A., Francesco, D. and Prina, A., 1970, An empirical correlation for evaluating two-phase mixture density under adiabatic conditions, European Two-Phase Flow Group Meeting, Milan.
13. Whalley, P.B., 1987, Boiling Condensation and Gas-Liquid Flow, Oxford University Press.