

R134a 및 R123과 비공비 혼합냉매 R134a/R123의 수평관내 이상유동양식에 관한 연구

임 태 우* · 김 준 효*
(2002년 9월 13일 접수, 2003년 6월 13일 심사완료)

A Study on Two-Phase Flow Pattern of Pure Refrigerants R134a and R123 and Zeotropic Mixture R134a/R123 in Horizontal Tube

Tae-Woo Lim and Jun-Hyo Kim

Key Words: Annular Flow(환상류), Intermittent Flow(간헐류), Stratified Flow(층류), Two-Phase Flow Pattern Map(이상 유동 양식 선도)

Abstract

Two-phase flow pattern data during horizontal in-tube flow boiling are presented for pure and mixed refrigerants of R134a and R123. The flow pattern is observed through tubular sight glasses located at inlet and outlet of the test section, which is made of a stainless steel tube, 2m long with 10mm I.D., 1.5mm wall thickness. The obtained results are compared with the available various correlations for flow pattern. The flow pattern map of Hashizume was in good agreement with the present data except the region of low mass velocity. Weisman flow pattern map was also known to satisfactorily predict data for refrigerants in the region of annular flow. In this study, the flow pattern are simply classified into two groups; stratified(including intermittent, stratified and stratified-wavy) flow and annular flow. The transition quality from stratified to annular flow was obtained by modifying the liquid Froude number.

————— 기호설명 —————

C_{FrL} : 식 (2)에 의해 정의된 계수
 Fr_L : Froude수
 g : 중력가속도 [m/s²]
 G : 질량유속 [kg/m²s]
 m_{ij} : 이중분자간 상호 파라메타
 V_G^S : 가스의 겉보기 속도 [m/s]
 V_L^S : 액체의 겉보기 속도 [m/s]

X_L : 액체의 물비
 Y_L : 증기의 물비

그리스문자

β : 건도
 ρ : 밀도 [kg/m³]
 λ : Hashizume 선도에서 사용된 계수

$$= \left(\frac{\rho_V - \rho_L}{\rho_{air} \rho_{water}} \right)^{1/2}$$
 ϕ : Hashizume 선도에서 사용된 계수

$$= \left(\frac{\sigma_{water}}{\sigma_L} \right)^{1/4} \left[\frac{\mu_L}{\mu_{water}} \left(\frac{\rho_{water}}{\rho_L} \right)^2 \right]^{1/3}$$

† 책임저자, 회원, 부경대학교 기계공학부
 E-mail : kyunlim@hanmail.net
 TEL : (051) 620-1575 FAX : (051)-620-1574
 * 목포해양대학교 기관시스템공학부

σ : 표면장력 [N/m]

하첨자

c : 입계
 i : 저온 증발 성분
 j : 고온 증발 성분
 L : 액체
 G : 가스

1. 서론

수평관내 강제대류 비등시 이상유동 양식은 증력, 전단력 그리고 표면 장력과 같은 여러 가지 요인들에 의해 영향을 받게 된다. 즉, 증력은 저질량유속에서 층류나 파형류에 큰 영향을 미치며, 전단력은 고질량유속에서 환상류에 큰 영향을 주게 된다. 표면 장력은 직경이 작은 관에서 중요한 요소로 작용할 수 있다.

어떤 한 유동양식에서 다른 유동 양식으로의 천이는 압력 강하에 영향을 미치는 중요한 인자로 작용할 수 있다. Hosler⁽¹⁾에 의하면, 이상유동에서 유동양식을 아는 것은 단상류에서 유동이 층류인지 난류인지를 아는 것과 같다고 보고되어 있다. 이것은 압력 강하가 유동양식과 밀접하게 관련되어 있다는 것을 나타낸다.

가장 많이 사용되는 유동양식 선도 중의 하나는 Baker⁽²⁾선도이며, 이것은 대기압하에서 공기-물 이상류에 대해 나타낸 것으로, 증기와 액체의 겹보기 질량유속을 좌표축으로 하여 6개의 유동양식 영역으로 분류하였다. Scott⁽³⁾는 다른 유체에도 이 선도를 적용할 수 있도록 좌표축에 수정 계수를 도입하여 Baker선도를 수정하였다.

Hashizume⁽⁴⁾는 직경 10 mm의 수평관내 R12와 R22의 유동양식 실험에서 유동양식에 가장 큰 영향을 미치는 표면장력을 수정항으로 하여 Baker 선도를 수정하였다. Weisman⁽⁵⁾ 등은 직경이 0.012-0.051 m의 범위인 수평관에 대한 유동양식 선도를 개발하였다. 그들은 액체·증기 겹보기 속도를 좌표로 하는 선도를 사용하였으며, 점성 계수, 밀도, 표면장력 그리고 관 직경에 관한 체계적인 연구를 통해 4개의 천이 기준을 제시하였다. Kattan⁽⁶⁾ 등은 질량유속과 건도의 광범위한 영

역에 대하여 5개의 서로 다른 냉매에 대한 유동양식 데이터를 토대로 수평관내 증발시 적용시킬 수 있는 새로운 선도를 개발하였다. 즉, VDI⁽⁷⁾ 유동양식 선도를 수정하여, 가열 유동뿐만 아니라 비가열 유동에도 유효한 새로운 유동 양식 선도를 개발하였다.

Kim⁽⁸⁾은 수평관내 공기-물 이상유동시 서로 다른 유동 양식들에 대한 열전달 실험을 수행하였다. 그는 실험에 의해 관측된 유동 양식을 Taitel⁽⁹⁾ 등의 유동 양식 선도를 토대로 하여 공기와 물의 질량 유량을 사용한 새로운 천이 경계를 제안하였다.

본 연구의 목적은 작동 유체로서 순수 냉매 R134a 및 R123과 혼합 냉매 R134a/R123을 사용하여 수평관내 유동비등시 유동 양식 데이터와 그 데이터를 기존의 여러 유동 양식 선도와 비교·검토하며, 그리고 액체 Froude수를 건도의 함수로 수정하여 환상류로의 천이 건도를 예측하는 것이다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다. 시스템은 저장 탱크(reservoir tank), 펌프(pump), 유량계(flow meters), 혼합실(mixing chamber), 예열기(preheater), 시험 구간(test section), 관찰부(sight glass section), 응축기(condenser) 그리고 보조 장치들로 구성하였다. 모든 유동양식 관찰을 위한 실험은 혼합실 입구에서 과냉액으로 진행되었다. 과냉액 상태의 냉매는 먼저 예열기에서 시험구간 입구의 주어진 엔탈피까지 예열되며, 시험구간으로 들어가 다시 가열된다. 유동 양식은 시험부 출구에 놓인 시험부와 같은 환경인 관찰부를 통해 관찰되었다.

Fig. 2는 시험부 길이 2 m인 스테인리스 스틸로써 내경 10 mm, 두께 1.5 mm이고, 저전압 고전류 변압기를 통해 안정화되는 교류에 의한 전기적 가열방법으로 가열시켰다. 시험구간의 외벽면 온도는 200 mm 간격으로 관 표면상에 점 용접(spot-welded)된 크로멜-알루멜(chromel-Alu-mel) 열전대에 의해 측정되었다.

튜브의 내 벽면 온도는 튜브 벽면 내에서 균일

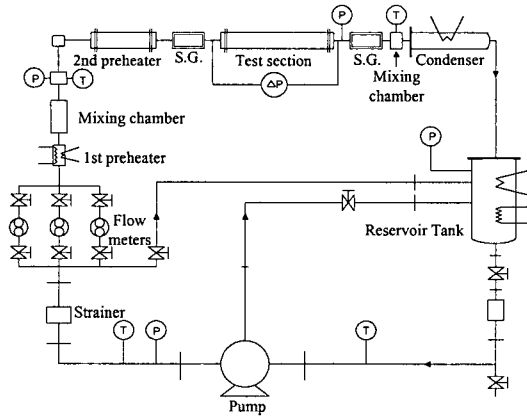


Fig. 1 Schematic of experimental apparatus

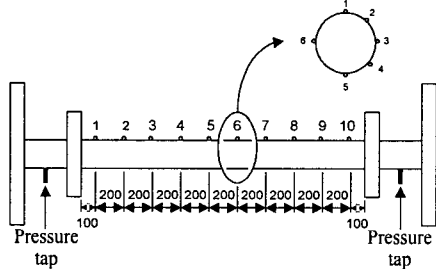


Fig. 2 Detail of test section

Table 1 Physical properties for the saturation temperature at 0.6MPa

Property		Pure fluid		Mixture
		R-134a	R-123	(X ₁ =0.49) R134a/ R123
Saturation temperature	°C	21.6	88.2	38.9
	[K]	[294.7]	[361.4]	[312.1]
Density (kg/m ³)	liquid	1218.8	1285.3	1304
	vapor	29.06	35.92	29.07
Viscosity (μPa · s)	liquid	210	223	251
	vapor	12.3	12.9	12.6
Specific heat (kJ/kg · K)	liquid	1.42	1.107	1.21
	vapor	1.01	0.85	1.02
Latent heat (kJ/kg)		181.1	140.6	171.1
Surface tension (mN/m)		8.38	8.03	9.87

하게 열이 생성된다는 가정하에 일차원 열전도 방정식을 사용하여 측정된 외 벽면 온도로부터 계산하였다. 시험부와 예열기는 파이버 클래스(fiber glass)로 잘 단열되어 있지만, 주위로의 열 손실이

Table 2 Acentric factor and properties at critical state

	R134a	R123
Acentric factor	0.332	0.276
임계 온도 [K]	374.30	456.86
임계 밀도 [kg/m ³]	511	555

발생된다. 따라서, 주위로의 열손실은 관 벽면과 주위 온도와의 온도차 함수로 계산되어 벽면 온도와 열 유속을 평가할 때 사용된다.

유체 온도와 압력은 입·출구에 있는 혼합실에서 측정되었으며, 시험부 입·출구의 압력 강하는 차압계를 사용하여 측정하였다.

작동 유체는 순수 냉매 R134a 및 R123 그리고 혼합 냉매를 사용하였으며, 그 때 혼합 냉매는 저온 증발 성분(more volatile component)인 R134a와 고온 증발 성분(less volatile component)인 R123으로 구성된다. Table 1은 순수 냉매와 혼합 냉매에 대한 여러 가지 물성치를 나타내고 있으며, 혼합물의 열역학적인 물성치(thermodynamic properties)는 BWR⁽¹⁰⁾ (benedict-webb-rubin) 상태 방정식⁽¹¹⁾으로부터 계산되며, 전달 물성치(transport properties)는 Reid⁽¹²⁾ (filippov의 열전도 계수 등)와 Kandlikar⁽¹³⁾(즉, 점성 계수)가 추천한 방법으로 계산하였다. 또한, BWR 상태방정식을 적용할 때, 편심 계수(acentric factor)와 이종분자간 상호 파라메타(binary interaction parameter)가 필요하며, Table 2는 이러한 편심 계수와 임계 상태의 물성치들을 나타내고 있다. 그리고 이종분자간 상호 파라메타는 다음과 같은 Hudson-McCoubrey⁽¹⁴⁾의 식에 의해 0.991로 계산되었다.

$$m_{ij} = 64 \left[\left(\frac{v_{ci}}{v_{cj}} \right)^{1/6} + \left(\frac{v_{cj}}{v_{ci}} \right)^{-1/6} \right]^{-6} \quad (1)$$

혼합물의 혼합 평균 온도는 시험 구간의 입구에서부터 어느 지점까지 다음의 열평형 방정식을 만족하도록 결정되어진다.

$$h = h_m + 4qz/Gd \quad (2)$$

여기서 h_m 는 입구에서의 유체 엔탈피, G 는 질량 유속 그리고 d 는 관 내경을 나타낸다. 열역학적인 평형을 가정함으로써 혼합물의 엔탈피, h 와 건도, β 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$h = h_L(1-\beta) + h_V\beta \quad (3)$$

$$\beta = \frac{X_{1,in}^* - X_1^*}{Y_1^* - X_1^*} \quad (4)$$

여기서 위 첨자 *는 질량비(mass fraction)를 나타내며, 액체와 증기 엔탈피는 압력, 온도 그리고 조성의 함수로써 각각 다음과 같다.

$$h_L = h_L(P, T_b, X_1) \quad (5)$$

$$h_V = h_V(P, T_b, Y_1) \quad (6)$$

따라서, P , h 그리고 $X_{1,in}^*$ 는 각 단면에서 알 수 있는 값이므로, 미지의 변수들인 T_b (혼합 평균 온도), β (건도), X_1 (mole fraction of R134a in liquid phase) 그리고 Y_1 (mole fraction of R134a in vapor phase)는 Benedict-Webb-Rubin 상태방정식으로부터 식(3)에서 (6)을 만족시킬 때 결정되어진다.

본 연구에서 사용된 실험 조건은 질량유속 150, 300 및 600 kg/m²s이고, 열유속은 5, 10, 20과 50 kW/m²이다. 본 실험에서 직접 측정된 양은 유량, 압력 강하, 입·출구 압력, 그리고 열 유속(즉, 전압과 전류) 등이다. 혼합 평균 온도는 냉매의 압력측정(전형적으로⁽¹⁵⁾ 1 kPa은 포화온도에서 0.12°C에 해당된다.) 및 유량측정(1%는 포화온도에서 0.1 °C에 해당된다.)값으로 결정되며, 냉매의 물성치는 BWR상태방정식으로 계산하였고, 그 오차는 ±0.2°C로 평가되었다. 압력 강하 측정은 ±2.5%의 정확성을 가지는 차압계(differential pressure drop transducer)로 하였다. 열 유속은 계측된 전압과 전류계로 계산하였고, 그것의 오차는 2~3%로 예측되었다.

3. 유동양식

3.1 유동양식 분류

수평관내 유동비등시 본 연구에서 관측된 이상 유동양식을 다음과 같이 몇 가지 기본 형태로 분류하였다.

- (1) 간헐류(intermittent flow) ; 액체는 슬러그류(slug flow)처럼 관내를 흐른다. 슬러그내 유입된 증기 기포는 관의 상부 근처에서 집중된다.
- (2) 층상류(stratified flow) ; 액체와 증기상은 관의 상·하로 분리되어 흐른다. 이 때 관의 원주는 부분적으로 젖게된다.
- (3) 층상-파형류(stratified-wavy flow) ; 액체와 증기상은 분리되어 흐르지만, 그 때 계면을 교란시키는

파를 가지고 있다. 이 때 교란에 의한 파형은 관의 상부까지는 이르지 못한다. 액상에서 증기상으로 액적의 유입은 교란된 계면에서 발생하게 된다.

(4) 환상류(annular flow) ; 관 벽면의 원주를 따라 액상이, 관 중심부에는 증기상이 흐른다. 이 때 관 하부의 액막은 중력에 의해 상부보다 더 두껍게 된다. 고 건도 영역에서 관의 상부는 부분적으로 드라이 아웃이 될 수 있다.

(5) 분무류(mist flow) ; 관내의 증기상의 형태로 연속적으로 흐르며, 액체는 액적의 형태로 존재하게 된다.

3.2 유동 양식 관찰

본 연구에서의 유동양식은 시험부 출구에 놓인 관찰부를 통한 육안 및 고속 카메라로 관찰되었다. 그리고 고속 카메라로 관찰된 데이터는 컴퓨터에 저장시켜 저속으로 재현시켰다. Fig. 3과 4는 질량유속 150~600 kg/m²s에 대하여 고속 카메라로 관측된 유동 양식을 나타낸 것이다. 질량유속 $G=150$ kg/m²s에 대한 유동 양식은 간헐류(슬러그와 플러그류 포함), 층상류 그리고 층상-파형류를 포함하고 있다. 질량유속 $G=150$ kg/m²s의 경우, 건도 0.6 이하에서 환상류는 거의 관측되지 않았다. 0.6 이상의 건도에서 유동양식이 환상류인지 아닌지를 구별하기는 대단히 어려웠다. 질량유속 300 kg/m²s의 유동 양식에서는 간헐류, 층상류, 층상-파형류 그리고 환상류가 나타났다. 질량유속 300 kg/m²s의 경우, 파형류에서 환상류로의 천이는 건도가 대략 0.35~0.45의 범위에서 일어났다. 그리고, $G=600$ kg/m²s의 유동 양식에서는 $G=300$ kg/m²s의 경우와 마찬가지로 간헐류, 파형류 그리고 환상류가 관찰되었다. 천이 건도는 질량유속 300 kg/m²s일 경우 0.4 정도에서 일어났으나, 질량유속 600 kg/m²s에서는 0.15~0.2에서 발생하였다. 이러한 관측으로부터 순수 냉매와 혼합 냉매 사이의 유동 양식 천이는 거의 비슷한 양상을 나타내었으며, 서로간의 뚜렷한 차이점은 발견되지 않았다.

4. 결과 및 고찰

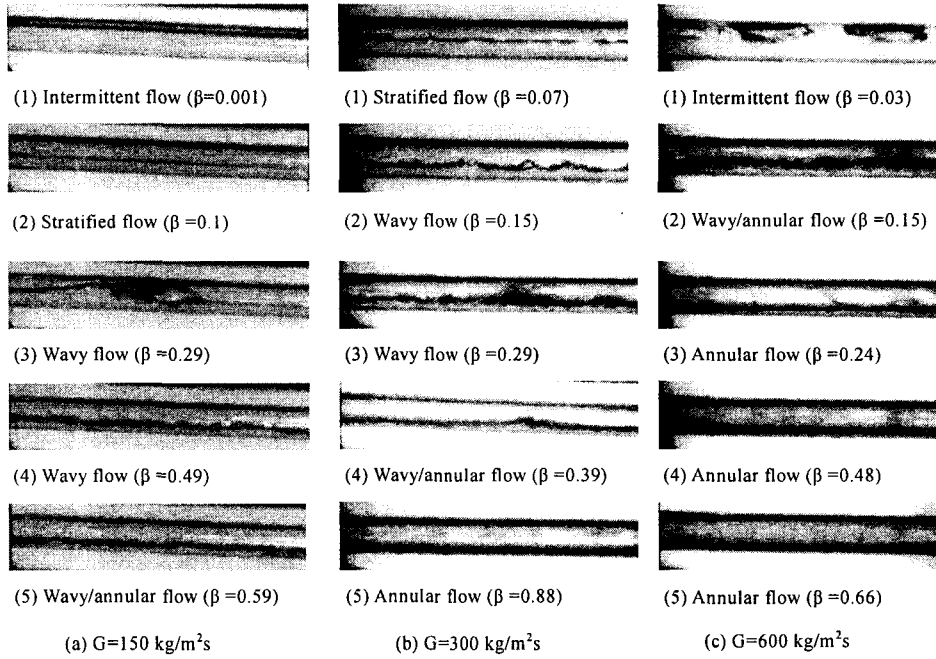


Fig. 3 Typical Pictures of flow patterns for R134a

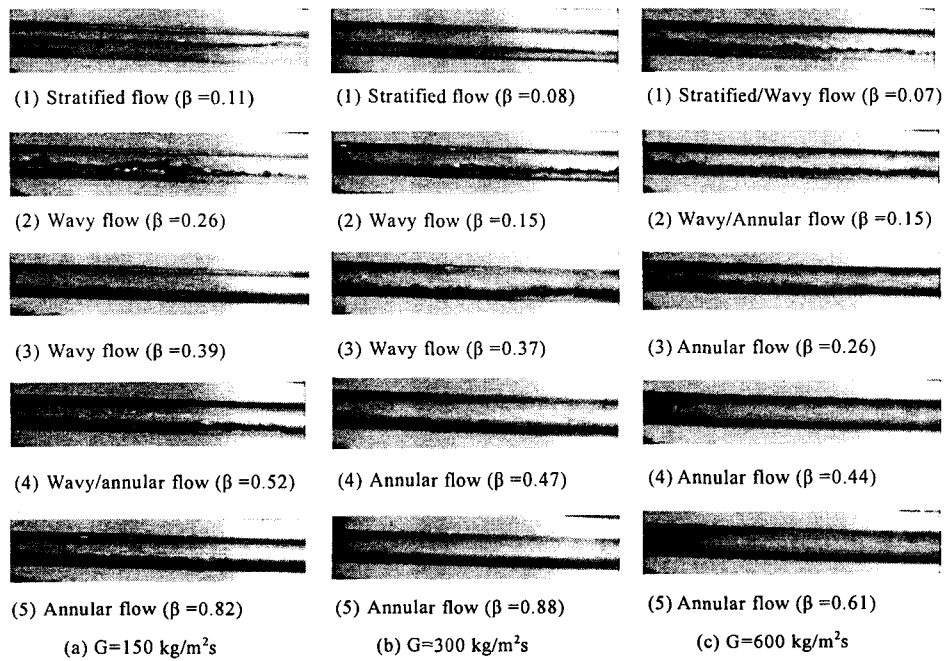


Fig. 4 Typical pictures of flow patterns for Mixture ($X_1=0.49$)

본 연구에서 관측된 유동양식을 Hashizume,⁽⁴⁾ Weisman⁽⁵⁾ 및 Kattan⁽⁶⁾의 유동양식 선도와 비교하였다.

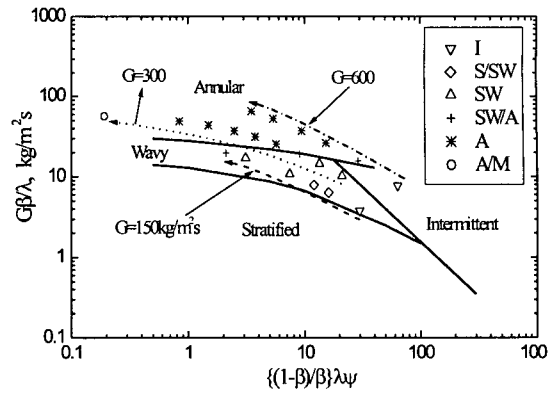
Fig. 5는 Hashizume⁽⁴⁾의 선도와 비교한 것으로, 간헐류, 파형류 그리고 환상류를 포함하는 전 유동양식 영역에 대해서는 상당히 잘 예측하고 있음을 알 수 있다. 그러나, Fig. 5에서 알 수 있듯이 질량유속 150 kg/m²s에 대한 데이터는 예측선도와 잘 일치하지 않고 있다. 이것은 Hashizume의 유동양식 예측선도가 질량유속 300 kg/m²s 이상의 냉매 이상류에 대한 것이기 때문이라고 사료된다. 또한, Hashizume의 유동양식 경계로부터 환상류로의 천이는 질량유속이 150~300 kg/m²s 이상에서 발생한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 본 실험 데이터를 액체와 기체의 겉보기 속도로 표시된 Weisman⁽⁵⁾ 등의 유동양식 선도와 비교한 것이다. 이 선도는 기체-액체 병류형에 대해서 개발되었음에도 불구하고 환상류 영역에서는 본 연구의 데이터를 잘 예측하고 있다. 그러나, 층상류나 파형류를 예측하는 것은 거의 불가능하다는 것을 알 수 있다.

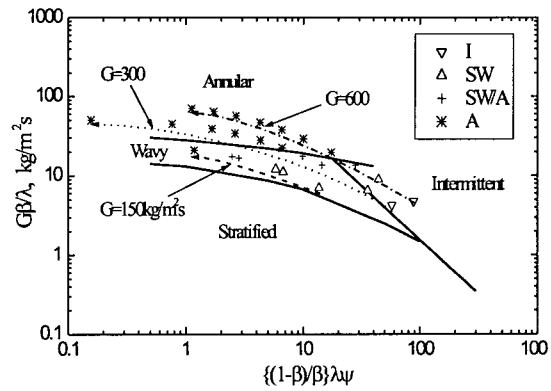
Fig. 7은 질량유속과 건도를 좌표축으로 하는 Kattan 등의 유동양식 선도와 본 실험 데이터의 비교를 나타낸 것이다. Kattan의 유동양식 선도로부터 파형류에서 환상류로의 천이는 150 kg/m²s의 질량유속에서 일어난다는 것을 알 수 있다. 그러나, VDI 등의 유동양식 선도에서는 100 kg/m²s 이상의 질량유속에서 환상류로의 천이가 발생하는 것으로 보고되고 있다. Fig. 7에서 간헐류에서 환상류로의 천이 경계는 건도가 거의 0.37에서 발생하며, 또한 150 kg/m²s 이상의 질량유속에서 이러한 천이 경계는 거의 일정하다는 것을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서 관측된 실험 데이터에 의하면, 질량유속이 증가함에 따라 환상류로의 천이 건도는 점점 작아지고 있다는 것을 알 수 있다.

4.1 층류에서 환상류로의 천이 기준의 예측

수평관내 유동비중 열전달을 고려할 때, 가열관의 축방향을 따라 어느 위치에서부터 환상류의 유동양식이 지배하게 되는지를 안다는 것은 대단히 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 관측된 유동양식



(a) R134a



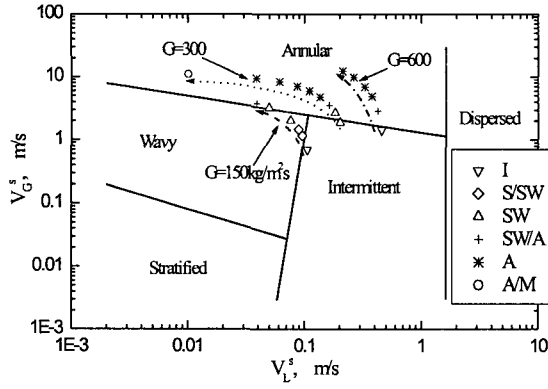
(b) R123

Fig. 5 Comparison between the observed flow patterns and Hashizume map

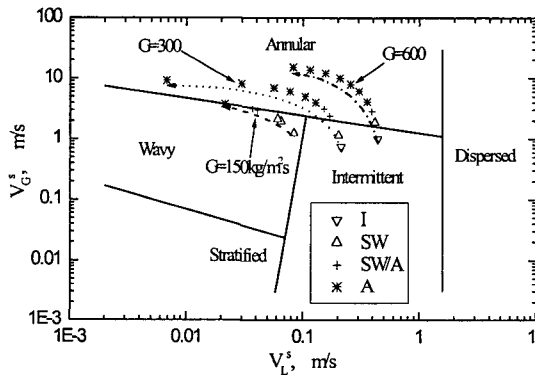
을 단순히 층류(간헐류, 층류 그리고 파형류를 포함)와 비층류(환상류)로 분류하였다. Shah⁽¹⁶⁾는 관원주를 따라 벽면이 완전히 젖게되는(all wet) 것과 부분적으로 젖게되는(partially wet) 둘 사이의 천이 기준으로 액체 Froude수를 사용하였으며, 이것은 다음과 같이 정의된다.

$$Fr_L = \frac{G^2}{\rho^2 g D} \tag{7}$$

저 질량유속에서 $Fr_L < 0.04$ 일 때, Shah는 관 벽면이 부분적으로 젖는 것으로 간주하였다. 또한, Kandlikar⁽¹⁷⁾는 데이터 뱅크(bank)를 이용하여 부분적으로 젖는 기준을 Shah와 일치하는 값인 0.04를 얻었다. 그러나, Wattelet⁽¹⁸⁾ 등은 0.04보다 상당히 큰 값인 0.25를 제안하였다.



(a) R134a

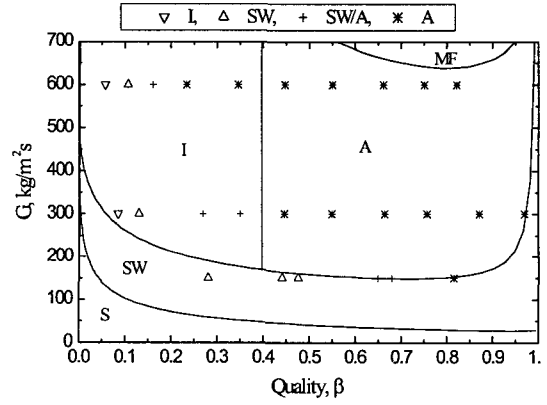
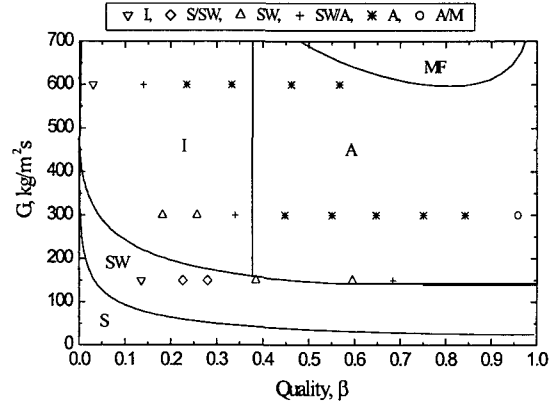


(b) R123

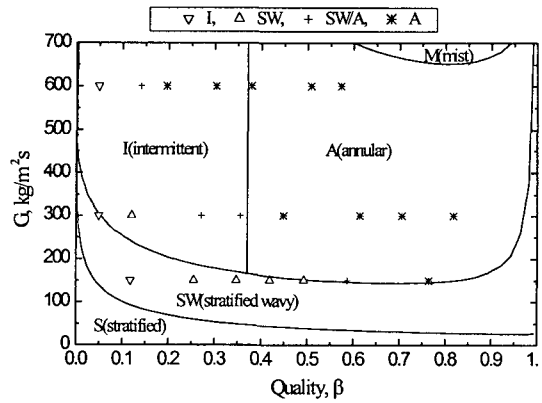
Fig. 6 Comparison between the observed flow patterns and Weisman map

Fig. 8은 질량유속에 따른 이상유동 양식 데이터와 두 개의 액체 Froude수에 대한 기준과의 비교를 나타낸 것이다. 본 실험 데이터와 비교된 액체 Froude수에 대한 기준들은 상당히 큰 오차를 나타내었으며, 이러한 오차는 질량유속을 증가시킴에 따라 더욱 커짐을 알 수 있다. Kattan 등에 의해 제시되었듯이 이러한 액체 Froude수의 기준들은 층류에서 비층류로의 전이를 예측하기에는 부적절한 것으로 사료된다. 유동 양식의 변화는 열전달 뿐만 아니라 압력 강하에도 큰 영향을 미치기 때문에 전이 기준을 정확히 예측하는 것은 대단히 중요하다. 따라서, 본 연구에서 관측된 결과를 토대로 전이 기준을 확립하기 위해 액체 Froude수를 다음과 같이 수정하였다.

(a) R134a



(b) R123



(c) Mixture ($X_1=0.49$)

Fig. 7 Comparison between the observed flow patterns and Kattan et al. map

$$C_{Fr} = 0.25 + \frac{G^2}{\rho^2 g D} (1 - \beta) \quad (8)$$

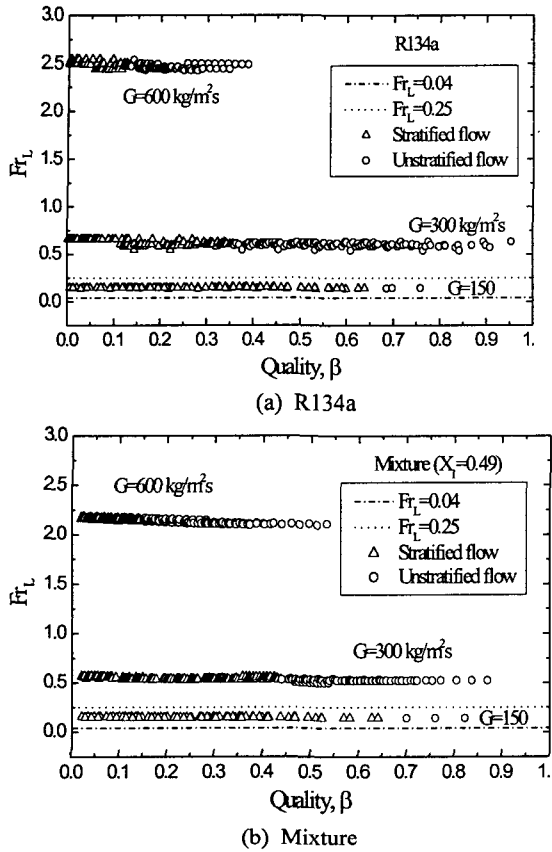


Fig. 8 Comparison between the two liquid Froude number criteria and the experimental data with respect to mass velocity

유동 양식 데이터의 해석으로부터 층류는 $C_{FrL} > Fr_L$ 일 때 일어나며, 환상류는 $C_{FrL} < Fr_L$ 일 때 일어난다. 이 기준은 다음과 같이 환상류의 존재에 대한 조건을 제시하고 있다.

$$Fr_L \geq \frac{0.25}{\beta} \quad (9)$$

Fig. 9는 관측된 유동 양식과 본 연구에서 제안된 건도의 함수로 변화하는 액체 Froude수와의 비교를 나타낸 것이다. 그림으로부터 층류에서 환상류로의 천이 경계는 식(8)에 의해 잘 예측되고 있다는 것을 알 수 있으며, 또한 Fig. 7에 나타난 Kattan의 유동 양식 선도에서도 확인 할 수 있다.

5. 결론

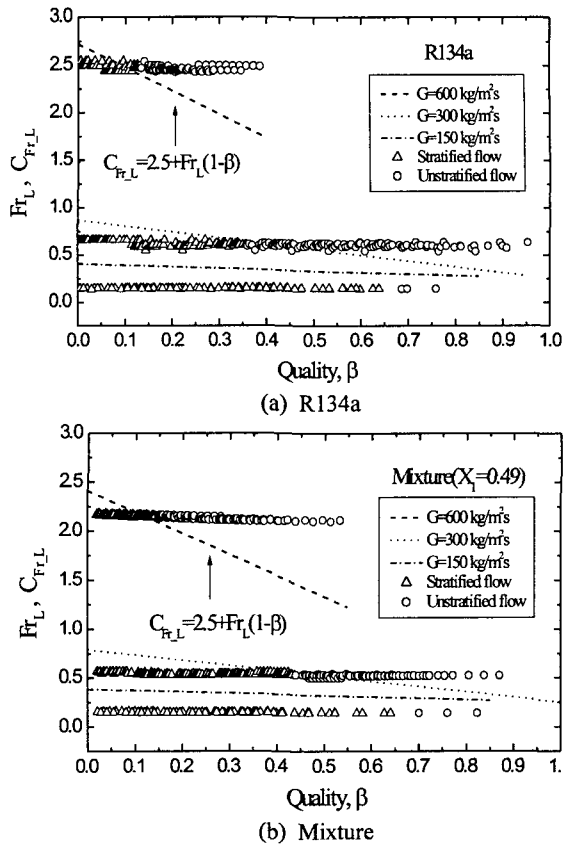


Fig. 9 Comparison of the experimental data for R134a and mixture against the modified liquid Froude number

순수 냉매 R134a, R123와 혼합 냉매 R134a/R123을 사용하여 얻어진 이상유동 양식 데이터는 여러 유동 양식 선도와 비교되었으며, 결론은 다음과 같이 요약될 수 있다.

(1) 본 실험에서 질량유속 150 kg/m²s일 때 건도 0.6이하에서는 환상류를 거의 관찰할 수 없었다. 그리고 질량유속 300 kg/m²s 및 600 kg/m²s일 때 층류에서 환상류로의 천이 건도는 각각 0.4와 0.15로 나타났다.

(2) Hashizume의 유동 양식 선도는 질량유속이 300 kg/m²s 이상인 영역에서 관측된 유동 양식에 대해서는 상당히 잘 예측하고 있다는 것을 알 수 있었으며, Weisman등의 선도는 현 데이터를 만족스럽게 예측하였지만, 환상류를 제외한 유동 양식을 예측하기는 어려웠다. 그리고 Kattan등의 선도는 각 질량유속에 대한 현 데이터를 잘 예측하

였지만, 고 질량유속에서 환상류로의 천이는 예측할 수 없었다.

(3) 본 연구에서는 층류에서 환상류로의 천이를 예측하기 위해 액체 Froude수를 건도의 함수로 수정하였으며, 수정된 액체 Froude수는 현 데이터의 천이 기준을 비교적 잘 예측하였다.

참고문헌

- (1) Hosler, E. R., 1968, "Flow Patterns in High Pressure Two Phase (Steam-Water) Flow with Heat Addition," *AIChE Symp. Ser.* Vol.64, pp. 54~66.
- (2) Baker, O., 1954, "Simultaneous Flow of Oil and Gas," *Oil Gas J.* Vol. 53, p. 185.
- (3) Scott, D. S., 1963, "Properties of Co-Current Gas-Liquid Flow," *In Advances in Chemical Engineering*, Vol. 4, pp. 199~277.
- (4) Hashizume, K., 1983, "Flow Pattern and Void Fraction of Refrigerant Two-Phase Flow in a Horizontal Pipe," *Bull. JSME*, Vol. 26, pp. 1597~1602.
- (5) Weisman, J., Duncan, D., Gibson, J., and Crawford, T., 1979, "Effect of Fluid Properties and Pipe Diameter on Two-Phase Flow Pattern in Horizontal Lines," *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 5, pp. 437~462.
- (6) Kattan, N., Thome, J. R., and Favrat, D., 1995, "R-502 and Two Near-Azeotropic Alternatives-Part II: Two-Phase Flow Patterns," *ASHRAE Trans.* Vol.101, pp. 509~519.
- (7) VDI-Warmeatlas, 1993, "Heat Transfer to Boiling Saturated Liquids, VDI Heat Atlas," Chapter Hbb1. Dusseldorf, Germany: VDI-Verlag GmbH (in English).
- (8) Kim, D., 2001, "Heat Transfer Correlations for Air-Water Two-Phase Flow of Different Flow Patterns In a Horizontal Pipe," *KSME Int. journal*, Vol 15, No. 12, pp. 1711~1727.
- (9) Taitel, Y., and Dukler, A. E., 1976, "A Model for Predicting Flow Regime Transitions in Horizontal and Near Horizontal Gas-Liquid Flow," *AIChE Journal*, Vol. 22, No. 1, pp. 47~54.
- (10) Nishiumi, H., and Saito, S., 1977, "Correlation of the Binary Interaction Parameter of the Modified Generalized BWR Equation of State," *J. Chem. Eng. Japan*, Vol. 10, pp. 176~180.
- (11) Fujita, Y., and Tsutsui, M., 1998, "Flow Boiling Heat Transfer of Binary Mixtures in a Uniformly Heated Vertical Tube," *Proc. of 11th Int. Heat Transfer Conference*, Vol. 2, pp. 243~248.
- (12) Reid, R. C., Prausnitz, J. M., and Sherwood, T. K., 1977, "The Properties of Gases and Liquids," 3rd Edn., Chap. 9~12, McGraw-Hill, New York.
- (13) Kandlikar, S. G., Bijlani, C. A., and Sukhatme, S. P., 1975, "Predicting the Properties of Mixtures of R22 and R12, Part II-Transport Properties," *ASHRAE Trans.* No. 2343, pp. 285~294.
- (14) Hudson, G. H., and McCoubrey, J. C., 1960, *Trans. Faraday Soc.* Vol. 5, pp. 761~766.
- (15) Murata, K., and Hashizume, K., 1993, "Forced Convective Boiling of Nonazeotropic Refrigerant Mixtures Inside Tubes," *Trans. of ASME*, Vol. 115, pp. 680~689.
- (16) Shah, M. M., 1982, "Chart Correlation for Saturated Boiling Heat Transfer: Equation and Further Study," *ASHRAE Trans.* Vol. 88, pp. 185~196.
- (17) 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.
- (18) Wattelet, J. P., Chato, J. C., Souza, A. L., and Christoffersen, B. R., 1992, "Evaporation Characteristics of R-12, R-134a and MP-39 at Low Fluxes," *ASHRAE Trans.* Vol. 100, pp. 185~196.