

수평 응축관내 2상유동양식의 판별에 관한 연구

Identification of Two-phase Flow Patterns in a Horizontal Tubular Condenser

이 상 천* , 한 용 운* , 신 현 승** , 이 형 돈**
 S. C. Lee, Y. O. Han, H. S. Shin, H. D. Lee

Key Words : Flow Pattern(유동양식), Condensing Flow(응축유동), Horizontal(수평), Probability Density Function(확률밀도함수), Power Spectral Density Function(파워 스펙트럼 밀도함수)

ABSTRACT

An experiment has been carried out to identify flow patterns in a horizontal condensing flow with R-113. Characteristics of flow patterns were determined based upon a statistical analysis of differential pressure fluctuations at an orifice. The probability density function and power spectral density function of instantaneous pressure drop curves for various flow conditions were obtained. In comparison to the results of air-water flows, the flow patterns in a condensing flow such as annular, wavy, slug and plug could be identified. The experimental data determined by this technique were compared with the flow pattern maps suggested by other investigators. The result indicates that the statistical characteristics of differential pressure fluctuations at an orifice may be a useful tool for identifying flow patterns both in condensing flows and in adiabatic two-phase flows.

1. 서 론

응축을 수반하는 대류열전달이 일어나는 경우 기상과 액상이 혼합되어 흘러가는 2상유동이 야기된다. 이 때 2상사이의 밀도차, 속도차, 표면장력 등의 유동조건과 유로의 기하학적 조건에 따라 연속적인 유동양식(flow pattern)의 변화가 초래된다. 이러한 상변화에 따른 유동양식의 천이는 운동량, 열 및 물질전달의 변화를 유

발한다. 전열관내에서 응축이 진행되는 동안 증기속도의 감소와 액체유량의 증가로 인하여 유동은 전단력에 의해 지배받는 영역에서 중력에 의해 지배받는 영역으로 천이하하며, 이 경우 전열특성은 유동양식에 따라 차이를 가진다. 따라서 관내 응축유동시 전열특성을 나타내는 열전달계수와 압력강하를 정확히 예측하기 위하여 유동양식의 정확한 판별은 중요하다.

유동양식의 판별방법으로, 초기에는 주로 육

* 정희원, 영남대학교 공과대학 기계공학과

** 정희원, 영남대학교 대학원

안관찰이나 가시적인 방법에 의존한 경우가 많았는데 관내 유속이 빠른 경우에는 그 관별의 신뢰성이 문제가 되었다. 이러한 점을 해결하기 위하여 간단한 장치나 도구를 이용하는 방법들이 많이 개발되어 왔다.⁽¹⁻⁶⁾ 그러나 이들이 이용한 방법들은 그 장치의 복잡성과 신뢰성 등의 문제점으로 인하여 범용되기 어려운 점이 있다. 최근에 이 등⁽⁷⁾은 투명한 아크릴 관에서 물-공기 2상유동이 수평 및 경사관을 흐를 때 관내에 오리피스(orifice)를 설치하여 오리피스에서의 순간차압교란치의 통계적 해석을 통하여 유동양식의 판별 및 천이특성을 구명하였다. 이들은 오리피스에서의 순간차압치는 관내의 마찰에 의한 차압치보다 훨씬 크기 때문에 각 유동양식에 따른 차압교란치가 뚜렷이 나타나며, 압력강하치의 진폭 및 주파수의 특성은 유동양식과 독자적인 상관관계를 갖는다는 사실을 밝혀냈다. 본 연구에서는 이 결과를 관내 응축을 수반하는 기액 2상유동에서의 유동양식 판별실험에 확장·적용하였다. R-113이 매질인 직경 13.88 (mm)의 수평 응축관에 설치된 오리피스에서 차압교란치의 확률밀도함수, 파워스펙트럼 밀도함수 등을 구하여 이 등⁽⁷⁾의 단열기액 2상유동양식 판별결과와 비교하였다. 또 본 연구에서 판별한 유동양식을 다른 연구자들이 발표한 유동양식선도^(8,9)와 비교·분석하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 연구에 사용한 실험장치는 시험부내에서 오리피스의 위치를 이동할 수 있도록 제작되었으며 Fig.1에 상세하게 도시되어 있다. 실험장치는 작동유체인 R-113에 대한 폐쇄회로와 냉각수가 지나가는 개방회로로 구성되어 있다. R-113의 폐쇄회로는 증기발생기, 과열기, 시험부, 기액분리기, 과응축기, 유량측정부, 수액기, 순환펌프 등으로 구성되어 있다. 냉각수의 개방회로는 일정수두탱크(constant head tank), 순환펌프, 시험부, 냉각수 유량측정부 등으로 이루어져 있다.

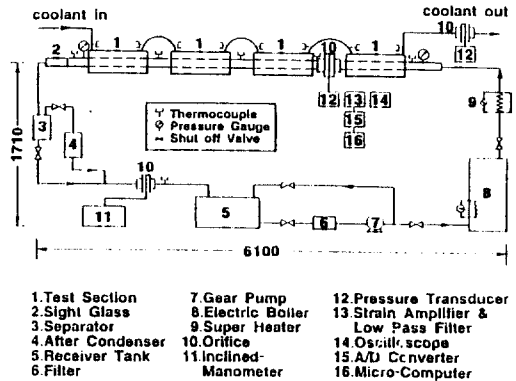


Fig.1 Schematic diagram of the R-113 flow circuit

작동유체는 최대 10(kW)의 발열량을 가진 전기보일러에서 가열되며, 과열기를 거쳐 시험부에 유입되어 응축된다. 시험부를 지난 작동유체는 기액분리기에서 응축액과 포화습증기로 분리되어 응축액은 수액기로 보내지며 포화습증기는 과응축기에서 완전히 응축이 된 후에 수액기로 보내진다. 수액기로 보내진 작동유체는 1/6 마력의 기어펌프에 의해 보일러로 보내져 폐회로를 순환하게 된다.

본 연구에서 사용한 시험부는 동심 2중관 열교환장치로써 4개의 subsection으로 나누어져 있다. 시험부의 내부관은 내경이 13.88(mm), 두께 1.05(mm)인 동관을 사용하였고 외부관으로는 내경이 31(mm)인 P.V.C관을 사용하였으며, 이들 사이의 환상공간으로 냉각매질인 물이 대향류로 흐른다. 각 subsection의 길이는 0.7(m)이며 시험부의 전체길이는 3.2(m)이다.

응축유동양식을 판별하기 위하여 내경 13.88 (mm), 목직경비 0.5인 칼날형 오리피스(sharp-edged orifice)를 ASME표준규격⁽¹⁰⁾에 따라 Fig.2와 같이 제작하였다.

작동유체의 유량을 측정하기 위하여 수액기 입구부분에 내경 13.88(mm), 목직경비 0.5인 오리피스(orifice)를 설치하고 경사마노미터에 연결하여 응축된 유체의 총유량을 측정하였다. 냉각수의 유량은 시험부 출구로부터 1.6(m) 떨어진 지점에 설치된 내경 17(mm), 목직경비 0.45인 오리피스와 압력변환기(KYOWA PD-1KA)로 측

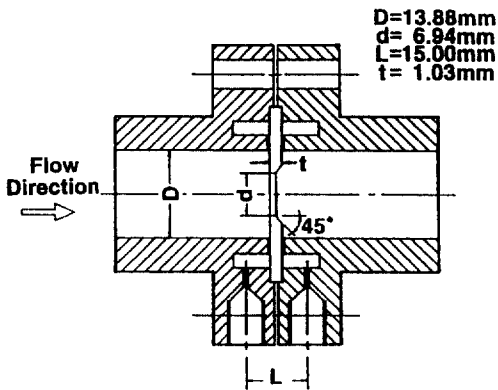


Fig.2 Cross sectional view of orifice

정하였다. 또한 각 subsection에서 냉각수의 온도변화를 측정하기 위하여 각 subsection의 입, 출구지점에 열전대를 설치하였으며, 작동유체의 온도를 측정하기 위하여 각 subsection사이와 시험부 입, 출구지점에 열전대를 설치하였다. 각 지점에서의 온도측정은 T형(copper-constantan) 열전대를 사용하였다. 실험에서 사용된 A/D변환기는 12비트 16채널 A/D변환기로서 ± 1 bit당 0.015(%) 이하의 오차 범위를 가지고 있으며 최대 입력범위(input range)는 ± 10 (volt)이다.

2.2 실험방법

본 실험에서는 작동유체가 시험부 입구에서 순수한 증기상태로 유입되고 시험부를 통과한 후 시험부 출구에서는 순수한 액체상태가 되도록 하였다. 이 때 응축유체와 냉각수의 열교환량으로 계산되는 열평형오차(heat balance error)범위는 ± 7 (%)이내 이었다. 실험변수로는 응축유체의 유량, 포화온도, 건도 그리고 냉각수 유량 등이다. 실험에 필요한 작동유체의 압력조절은 보일러 출구지점의 포화온도를 제어하는 방식과 보일러내의 카트리리지 히터(catridge heater)의 전압조절에 의하여 이루어졌다. 작동유체의 유량은 보일러 출구의 조절밸브와 시험부 출구에 부착된 밸브로써 조정하였으며, 시험부내에서 작동유체의 압력과 유량이 정상상태가 된 후 작동유체의 유량, 압력, 포화온도 및 냉각수의 입, 출구의 온도, 유량 등을 측정하였다. 본

실험에서 사용한 시험부 입구압력은 119.5~224.8(kPa), 작동유체의 질량유속은 72.4~230.8(kg/m²s)의 범위에 있다. 시험부내에서의 국소 건도는 냉각수에 관한 에너지 평형식을 이용하여 구하였다. 오리피스를 이용한 응축2상 유동양식의 판별은 이 등⁽⁷⁾이 제안한 것으로, 시험부에 설치된 오리피스에서의 순간압력강하치를 측정하여 이들의 통계적 해석을 근거로 판별하였다. 오리피스의 위치는 시험부 전체의 길이(L)와 입구로부터 오리피스까지의 거리(L₀)의 비(L₀/L)가 0.25, 0.50, 0.75인 지점이다. 오리피스에서 응축유동의 순간차압치는 스트레인 게이지식 압력변환기를 거쳐 A/D 변환기에 연결된 마이크로 컴퓨터에 저장하였다. 오리피스에서의 순간차압치는 주로 10(Hz)이하의 주파수 특성을 갖는 것으로 판단되어 30(Hz)의 저역필터(low pass filtering)를 하였으며, 표본회수는 초당 100개이고 측정시간은 20.0초로 하였다. 컴퓨터에 저장된 실험자료들을 이용하여 확률밀도함수(power density function, PDF) 및 파워스펙트럼 밀도함수(power spectral density function, PSDF)를 구하였으며 이들에 관한 자세한 내용은 참고문헌⁽⁷⁾에 언급되어 있다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 유동양식의 판별

응축관 내부에 설치한 오리피스를 통하여 응축2상 유동양식을 판별하였다. 이 방법은 단열2상유동에 대하여 제안된 것으로, 본 연구에서는 이 판별결과를 응축유동에도 확장·적용시켰다. 본 실험을 통하여 시험관내에 나타난 유동양식은 환상(annular), 파상-환상(wavy-annular), 파상(wavy), 슬러그(slug), 플러그(plug)유동 등이었다.

Fig.3은 L₀/L의 비가 0.25인 지점에서 네가지 질량유량에 대한 순간압력강하치의 확률밀도함수와 파워스펙트럼 밀도함수를 나타낸 것이다. 이 그림에서 ΔP는 무차원 순간차압치로써, ΔP를 액체정압 ρ_{lg}l(l은 오리피스의 압력공 사이의 거리)로 나눈 값이고, Mf는 질량유속 그리고 x는

건도(quality)이다. 낮은 유량에서는 비교적 좁고 높은 밀도의 단일정점을 가진 PDF분포를 보이고 있으나, 유량이 증가함에 따라 순간차압치의 교란성분이 커지므로 PDF의 분포는 다소 넓어지는 것으로 나타났다. 비대칭계수(SK)는 0.2~0.3정도의 값을 가지고 Kurtosis계수(KU)는 대부분 4이상의 leptokurtic으로 정규분포보다 뾰족하게 나타났다. PSDF는 0~8(Hz)의 주파수영역에 분포되어 있으며 질량유량이 낮은 경우 PSDF의 밀도도 작은 값을 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 유량이 증가함에 따라 0~1(Hz) 사이의 낮은 주파수영역의 파워가 급격히 커지며 영부근에서 가장 높은 피크가 나타나는 경향을 보여준다. 이 결과를 이 등⁽⁷⁾의 실험결과와 비교하여 볼 때 이 그림이 환상유동의 특성을 나타내고 있다는 사실을 알 수 있다. 환상유동은 주로 응축관 입구영역에서 관중심으로 빠른 속도의 기상이 지나갈 때, 순간적으로 응축된 액체가 계면전단력에 의해 관표면에 환상상태로 유지되는 유동형태이다. 이 지점에서의 건도는 대체로 0.66이상의 높은 값을 보였다.

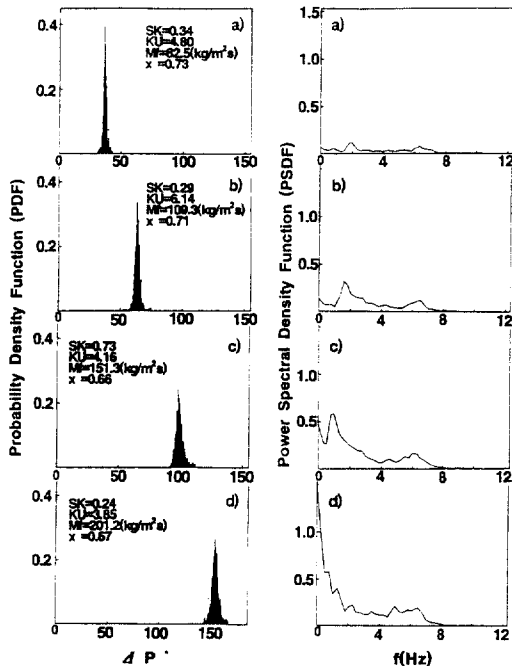


Fig.3 PDF and PSDF for various flow patterns (Lo/L=0.25)

Fig.4는 Lo/L 이 0.50인 지점의 경우 네 가지 다른 유량에 대한 결과를 도시한 그림이다. PDF의 분포형태는 환상유동과 유사하나 그보다 밀도는 낮으며, 분포도는 넓은 형태로 나타났다. 비대칭계수는 0.0~0.28의 아주 낮은 값으로 거의 좌우대칭의 모양이고 Kurtosis계수는 3정도의 mesokurtic으로 정규분포에 가깝다. PSDF는 환상유동보다 다소 넓은 영역인 0~10(Hz)의 주파수영역에 분포되어 있고 7(Hz)부근에서 정점이 존재하는 형태이다. 이 분포도는 이 등⁽⁷⁾의 2상유동 판별법에는 언급되어 있지 않으나, 정압교란치의 특성분석을 통하여 유동양식판별을 시도한 Hubbard and Dukler⁽⁴⁾의 결과로 유추하여 볼 때 파상-환상유동으로 간주할 수 있다. 즉 이들의 실험결과 가운데, 낮은 주파수영역의 환상유동과 높은 주파수영역을 가진 파상유동이 중첩되어 흐르는 파상-환상유동양식의 PSDF가 본 실험의 결과와 일치하는 사실을 알 수 있다. 이 유동양식은 환상유동에서 응축이 진행됨에 따라 액상이 증가하여 관 하부에 액체층을 이루게 되고 액상과 기상의 속도차이로 인하여 파

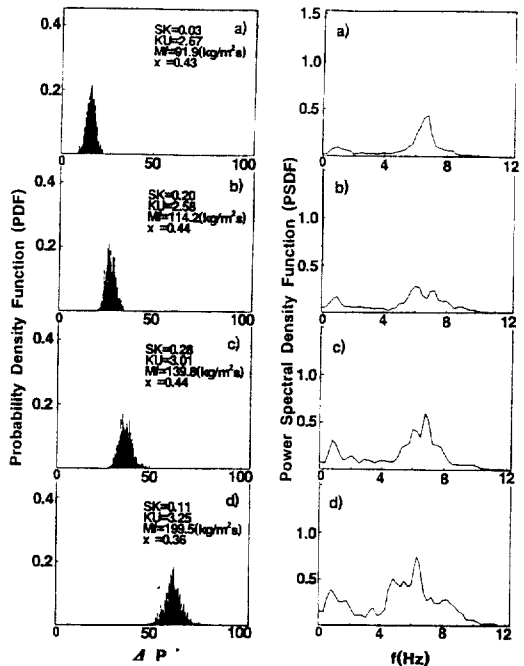


Fig.4 PSD and PSDF for various flow patterns (Lo/L=0.50)

(wavy)를 형성시키는 유동으로 환상유동에서 파상유동으로 천이하는 과정에서 자주 나타난다. 또한 이 유동양식은 유동장이 기상의 전단력에 의해 지배받는 영역에서 중력에 의해 지배를 받는 영역으로의 천이과정으로, 이 유동영역 전후의 열전달거동이 달리 나타나므로 매우 중요한 물리적 의미를 갖는다. 즉 증기의 계면전단력에 의해 지배받는 영역에서의 국소 열전달계수는 관의 상부나 하부에서 거의 같지만 중력에 의해 지배받는 영역에서는 관의 상부의 국소 열전달계수가 하부에서의 값보다 더 크게 된다. 이 지점에서의 건도는 0.40정도의 값을 가지므로 환상유동에 비하여 응축이 상당히 진행되었음을 알 수 있다.

Fig.5는 Lo/L 의 값이 0.75인 지점에 주로 나타나는 유동양식을 도시한 결과이다. 이 영역에서의 건도는 0.1이하의 값을 가지며, 거의 응축액의 흐름이 이루어지므로 유속이 비교적 느린 편이다. 따라서 순간차압치의 평균치는 앞에서 언급한 유동양식들에 비해 비교적 작은 값을 가진다. 비대칭계수는 $-1.07 \sim 1.26$, Kurtosis계수는 $2.20 \sim 5.94$ 정도의 넓은 분포의 값을 보이고 있다. 따라서 이 지점에서는 계면에서의 교란정도가 다른 지점에 비해 매우 민감하여 다양한 유동양식이 존재할 수 있음을 알 수 있다. 그림(a)는 앞서 나타난 파상-환상유동양식과 유사하나 PSDF상에서 1(Hz)부근의 파워가 점차 소멸되어 가고 유동의 주된 주파수가 7(Hz)부근의 값을 가지고 있다. 1(Hz)부근의 작은 파워가 보이고 있는 것은 환상유동의 특징인데 이 사실은 응축된 액막이 이 지점의 관벽에 다소 존재하고 있다는 것을 암시하고 있다. 그림(b)에서의 PDF는 환상, 파상-환상유동보다 다소 넓은 분포를 보이고 있고 비대칭 계수는 $0.1 \sim 0.7$, Kurtosis계수는 $2.51 \sim 3.51$ 정도이다. 또한 PSDF는 7(Hz)부근의 주파수에서 주된 파워가 나타났다가 급격히 감소하였다. 이것을 이 등⁽⁷⁾의 실험결과와 비교하여 볼 때 분포도의 정량적인 관점에서는 약간의 차이를 보이고 있으나 파상유동으로 간주할 수 있다. 단열기액 2상유동의 파상유동은 기공율의 변화가 거의 없으므로 계면에서

의 교란성분이 그다지 크지 않기 때문에 PDF는 단일정점의 높은 밀도로 나타나고 PSDF는 주파수 영부근에서 피크치를 가진다. 그러나 응축 2상유동에서의 파상유동은 관내에서 응축이 진행됨에 따라 관상부의 액막은 매우 얇아지고 중력의 영향으로 응축액은 관하부로 모여 액체 속도에 비해 더 빠른 기체속도에 의해서 계면에 높은 주파수의 파(wave)가 많이 형성되는 유동양식이다. 이 유동양식을 Tandon et al.⁽⁶⁾의 응축유동양식선도와 비교하면 이러한 사실을 검증할 수 있다. 그림(c)의 PDF는 다른 유동양식에 비해 낮은 밀도와 넓은 분포도를 가지는 형상으로 비대칭계수는 0.2정도이며, Kurtosis계수는 3이하인 platykurtic으로 정규분포보다 납작하다. PSDF는 5(Hz)부근의 주파수에서 매우 높은 파워를 나타내고 급격히 감소하였다. 따라서 이 유동은 슬러그유동으로 간주될 수 있다. 이 유동양식은 파상유동에서 응축이 진행됨에 따라 액상이 증가한 결과, 계면의 불안정성에 의하여 액체슬러그가 주기적으로 관 상부를 치며 지나가는 유동형태로 시간에 따른 순간차압치의 진폭은 매우 크고 주기적으로 나타났다. 그림(d)의 PDF는 단일 정점의 비대칭성 분포이며 PSDF는 0.5(Hz)부근의 주파수영역에서 주된 파워를 나타내고 나머지 주파수영역에서는 거의 나타나지 않았다. 이 유동의 비대칭계수는 유동조건에 따라서 다소 차이를 보였으나 단열기액 2상유동의 경우와 마찬가지로 대부분 음의 값으로 나타났다. 따라서 이 유동양식은 플러그유동으로 간주될 수 있다. 이 유동양식은 형태나 크기가 일정하지 않은 기포가 관 전체를 차지하는 액상의 상부를 간헐적으로 지나가는 유동형태로써, 액체덩어리가 지나갈 때는 높은 차압치를 나타내는 반면 기포가 지나갈 때는 낮은 차압치를 나타낸다.

Fig.6은 질량유속이 거의 일정할 경우, 오리피스 위치에 따라 나타난 유동양식을 도시한 그림이다. 시험부 입구영역에서 유동방향으로 응축이 진행됨에 따라 각 지점에서의 건도는 거의 선형적으로 감소하였다. 또한 순간차압치의 진폭은 커지는 반면 밀도는 낮아졌으며, PSDF는

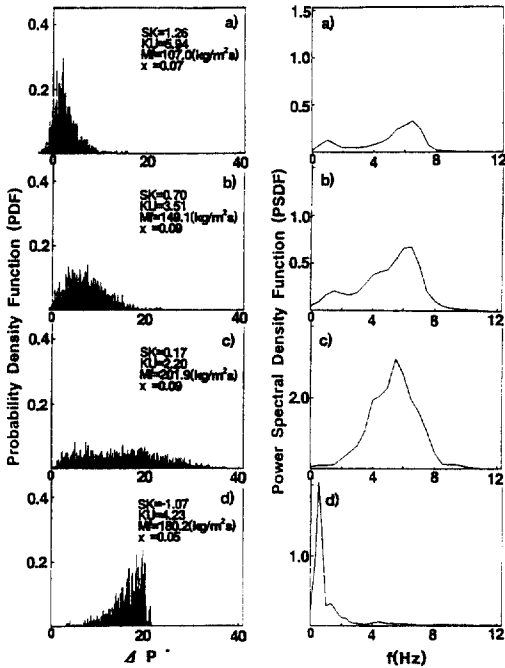


Fig.5 PDF and PSDF for various flow patterns (Lo/L=0.75)

각 지점마다 유동양식에 따라 특정한 주파수영역을 갖는 독특한 양상을 보였다. 앞에서 언급한 대로 응축이 진행됨에 따라 환상, 파상-환상, 슬러그, 플러그 유동양식을 가지는 사실을 알 수 있었다.

3.2 타 유동양식선도의 비교

관내 2상유동양식을 예측하기 위한 유동양식선도에 관한 연구가 많이 진행되어 왔다. 이들에 대한 초기의 연구는 주로 단일기액 유동양식에 관한 것이 대부분이었다. 이 가운데 비교적 널리 사용되고 있는 2상유동양식선도는 Baker⁽⁸⁾에 의해 제안된 것이다. Baker의 유동양식선도는 좌표축이 차원변수를 사용하고 있는 문제점이 있음에도 불구하고 다양한 실험자료들 근거로 작성된 유동양식선도라는 점에서 비교적 많이 인용되고 있다. 그리고 이 유동양식선도는 단일기액 2상유동에 대하여 개발된 것이지만 일반화된 선도이므로 응축2상유동의 실험자료와의

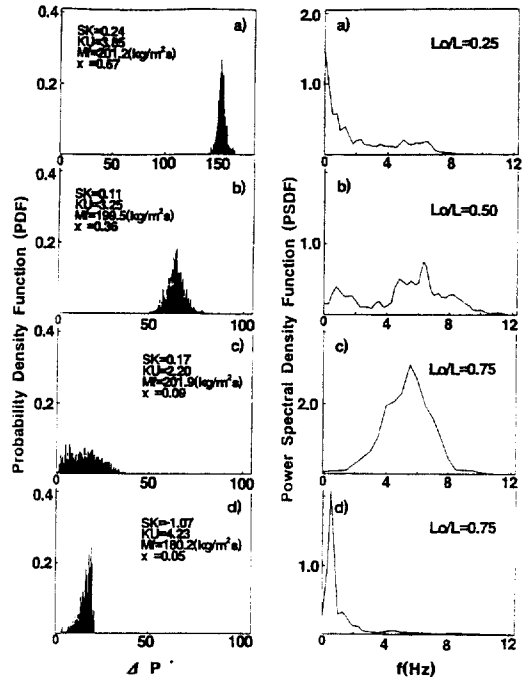


Fig.6 PDF and PSDF of each position with nearly constant mass flux(Lo/L=0.25, 0.50, 0.75)

비교도 시도된 적이 있다.^(9,11) 본 실험에서 오리피스를 이용하여 응축유동양식을 판별한 결과를 Baker의 유동양식선도와 비교한 것이 Fig.7에 도시되어 있다. 여기서 좌표축의 Baker-Holmes Property Parameter λ_b, ψ_b 는 다음과 같이 표현된다.

$$\lambda_b = \left[\left(\frac{\rho_v}{0.075} \right) \left(\frac{\rho_L}{62.3} \right) \right]^{1/2}; \psi_b = \frac{(\mu_L/1)^{1/3}}{(\sigma/73) (\rho_L/62.3)^{2/3}} \quad (1)$$

이 그림에서 환상, 슬러그유동영역에서는 서로 잘 일치하는 사실을 알 수 있으며, 본 실험결과에서 파상유동으로 판단된 것들이 이 유동양식선도에서는 환상유동과 슬러그 유동영역에 걸쳐 나타났다. 이와같은 현상은 Tandon et al.⁽⁹⁾과 Soliman-Azer⁽¹¹⁾의 실험결과를 이 유동양식선도와 비교하여 볼 때 이와 매우 유사하게 나타남을

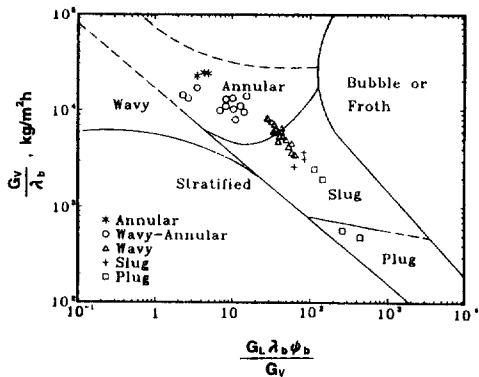


Fig.7 Comparison of data with Baker flow regime map

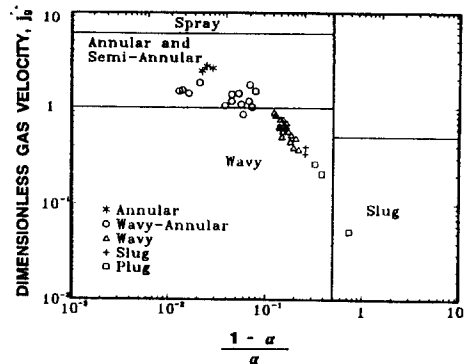


Fig.8 Comparison of data with Tandon flow regime map

알 수 있다. 응축유동관에서는 일반적으로 응축이 진행되는 방향으로 환상유동이 파상유동보다 앞서 나타난다. 파상유동은 환상유동에서 슬러그유동으로 천이중에 나타나는 유동양식이므로 단일2상유동선도인 Baker의 선도가 응축선도의 이 특성을 정확하게 묘사하지 못하는 것이 그리 놀랄만한 사실은 아니다. 또한 파상-환상유동 양식은 응축유동중 환상유동에서 파상유동으로 천이하는 과정에서 자주 나타나는 유동양식인데, Baker의 선도에서는 이 유동양식을 따로 구분하여 나타내지 못하고 있다.

한편 응축유동양식선도에 대한 연구는 Soliman-Azer⁽¹¹⁾에 의해 처음 제안된 이후 Tandon et al.⁽⁹⁾ Traviss Rohsenow⁽¹²⁾ 등에 의해 계속 발표되어 왔다. Soliman-Azer⁽¹¹⁾의 유동양식선도는 그들의 R-12 응축실험결과를 근거로 작성된 것이다. 이 유동양식선도는 환상유동에서 파상유동으로의 천이유동인 semi-annular유동영역의 설정이 적절하지 못하며 타 연구결과^(9,12)와의 비교에서도 이러한 점을 쉽게 알 수 있다. Traviss-Rohsenow⁽¹²⁾의 R-12 응축유동양식선도는 semi-annular와 annular유동양식은 뚜렷이 구분이 되나 다른 유동양식영역은 세분화하여 나타내지 못하고 있으므로 일반적으로 사용하기는 곤란하다. 최근에는 Tandon et al⁽⁹⁾이 R-12, R-22에 대한 응축유동양식 실험결과와 타 실험결과를 근거로 새로운 유동양식선도를 제안하였다. 이 유동양식선도와 본 실험의 결과를 비교한

것이 Fig.8에 도시되어 있다. 여기서 좌표축의 j_g^* 는 무차원 기체 겉보기 속도, α 는 기공율로써 다음과 같이 정의된다.

$$j_g^* = \frac{G_v}{(D g \rho_v (\rho_L - \rho_v))^{1/2}} \dots \dots \dots (2)$$

$$1/\alpha = 1 + \left(\frac{\rho_v}{\rho_L} \right) \left(\frac{1-x}{x} \right)$$

$$\left[0.4 + 0.6 \left(\frac{\frac{\rho_L}{\rho_v} + 0.4 \left(\frac{1-x}{x} \right)}{1 + 0.4 \left(\frac{1-x}{x} \right)} \right)^{1/2} \right] \dots \dots (3)$$

이 결과에서 환상, 파상-환상, 파상유동영역은 비교적 잘 일치하나 슬러그 및 플러그 유동의 경우, 약간 파상유동영역으로 전위된 것으로 나타났다. 이것은 응축유동의 매질, 유량, 작동압력과 관의 크기가 상이하기 때문으로 판단된다. 이와 같은 현상은 Soliman-Azer⁽¹¹⁾의 실험결과를 이 유동양식선도에 적용하였을 때 유사한 경향이 나타남을 알 수 있다. 이것은 파상, 슬러그 및 플러그 유동양식은 근본적으로는 유사한 특성을 가지고 있고 이들 유동양식에서의 건도가 매우 작으므로 연속적으로 유동양식이 변하는 응축유동에서는 단일기액유동과는 달리 그 차이를 가림하는 것이 매우 힘들기 때문이다. 이러한 이유

때문에 Taitel and Dukler⁽¹³⁾ 등은 슬러그와 플러그 유동양식을 액체유동이 축방향으로 균일하게 분포하지 못하는 간헐유동(intermittent flow)으로 묶어서 표현하고 있다.

4. 결 론

응축현상이 수반되는 관내경 13.88(mm)의 수평관에서 오리피스를 이용한 유동양식의 판별을 시도한 결과 다음의 결론을 얻었다.

각 유동양식에 따른 PDF와 PSDF는 단일기액 2상유동양식의 실험결과를 근거로 판단할 수 있었으며, 시험부 입구로부터 응축현상이 발생함에 따라 나타난 유동양식은 환상, 파상-환상, 파상, 슬러그, 플러그 유동 등이 순차적으로 나타났다. 오리피스에서의 순간차압치의 통계적 특성중 PDF는 분리유동영역인 환상, 파상-환상, 파상 유동에서는 각 유동양식들이 정성적으로 서로 비슷한 특성을 보였으며, 혼합유동영역인 슬러그, 플러그유동에서는 서로 다른 독특한 분포특성을 가지는 것으로 나타났다. 또한 PSDF는 각 유동 영역에 따라 제각기 특정한 주파수영역을 가진다는 사실을 확인하였다. 이 실험결과들은 타 연구자의 유동양식선도와의 비교적 잘 일치하였으므로 수평응축관에서도 오리피스를 이용한 유동양식의 판별방법이 간편하고 객관적이며 신뢰할 만한 방법임을 입증하였다.

후 기

본 연구는 한국과학재단의 1989년도 목적기초 연구비에 의해 수행된 연구 결과의 일부로써 관계자 여러분께 감사의 뜻을 표합니다. 또 본 연구의 수행에 도움을 준 첨단유체공학 연구센터(AFERC)의 관계자들에게도 감사의 말씀을 드립니다.

참 고 문 헌

- Jones, O.C. and Zuber, N., 1975, "The Interrelation between Void Fraction Fluctuations and Flow Pattern in Two-Phase Flow", *Int. J. Multiphase Flow*, Vol.2, pp.273~306.
- Solomon, J.V., 1962, "Construction of a Two-Phase Flow Regime Transition Detector", M.S. Thesis, M.I.T.
- Griffith, P., 1964, ASME Paper 64-WA/HT-43.
- Hubbard, M.G. and Dukler, A.E., 1966, "The Characterization of Flow Regimes in Horizontal Two-Phase Flow", *Proc. Heat Transfer and Fluid Mechanics Inst.*, Stanford University.
- Tutu, N.K., 1982, "Pressure Fluctuations and Flow Pattern Recognition in Vertical Two-Phase Gas-Liquid Flow", *Int. J. Multiphase Flow*, Vol.8, pp.443~447.
- Matsui, G., 1984, "Identification of Flow Regimes in Vertical Gas Liquid Two-Phase Flow Using Differential Pressure Fluctuations", *Int. J. Multiphase Flow*, Vol.10, pp.711~720.
- 이상천, 이정표, 김중엽, 1990. 9, "차압교란치의 통계적 특성에 의한 2상유동양식의 판별", *대한기계학회논문집*, 제14권 제5호, pp.1290~1299.
- Baker, O., 1954, "Simultaneous Flow of Oil and Gas", *Oil and Gas J.*, Vol.53, pp.185~195.
- Tandon, T.N., Varma, H.K. and Gupta, C.P., 1985, "Prediction of flow Pattern During Condensing of Binary Mixtures in a Horizontal Tube", *J. Heat Transfer*, Vol.107, pp.424~430.
- ASME, 1971, *Fluid Meters: Their Theory and Applications*, chap.2, 6th ed., New York.
- Soliman, H.M., and Azer, N.Z., 1971, "Flow Patterns During Condensation Inside a Horizontal Tube", *ASHRAE Trans.*, Vol.77, Part 1, pp. 210~224.
- Traviss, D.P. and Rohsenow, W.M., 1973, "Flow Regimes in Horizontal Two-Phase Flow with Condensation", *ASHRAE Trans*, Part 2, pp.31~39.
- Taitel, Y. and Dukler, A.E., 1976, "A Model for Predicting Flow Regime Transitions in Horizontal and Near Horizontal Gas-Liquid Flow" *AIChE J.*, Vol.22, No.1, pp.47~55.