

제 9 장 Two-Phase Measurement

1. 제 9 장

◆ Difficulties in two-phase measurement

1. the presence of two phases

hydrodynamic response time τ : 물체에 충돌대상과 탐지감의 시간 차이

the entrapment of gas bubbles in the manometric lines

the occurrence of significant fluctuations in measured quantities

유동에 진동된 탐침 또는 pressure tap 에 의해 유동상에서 불평형 상태가 생기거나
기나이 cavity 형상을 유발.

2. the condition of flow confinement

opaque metallic walls imposed by temperature and pressure conditions

small hydraulic diameters such as in rod bundles

관통에 따른 가로간의 충돌 및 확장, 밖과 가로간의 밤울, 가로형태의 변화 등에 의해 대
수 품종하고 다양한 하부 통계학적 특성을 가지므로 이상유동을 시킬 경우 대단으로 충돌
률이 높다.

◆ two-phase parameters to be measured

1. void fraction : local and area averaged values

2. phase velocity : liquid and vapor

3. pressure drop

4. heat flux

5. two-phase mass flowrate

• Interfacial Area Concentration (IAC)

• flow pattern (flow regime map)

2. Void Fraction Measurement

bubbly flow의 경우 필요하고 본 장의 주제인 예시면주를 기온화-액체의 물질, 기온주파
수 spectrum, 액체주파수 변동량, 기온주파수의 물질, 기온이 등 전류수 등이 있다.

(1) Photon Attenuation Method : x-ray or γ-ray

$$I = I_0 \exp[-(\mu/\rho)\rho c] \quad (9.1)$$

where c and μ/ρ are thickness and specific absorption coefficient of substance, respectively.

• low pressure gas-liquid flow : negligible absorption by gas

• At high pressure, no longer negligible and thus careful calibration as close as possible to experimental conditions

1. area void fraction measurement

1) one shot technique

2) multibeam gamma densitometer : model 7-a), flow pattern and 3 chordal a

2. choice of radiation

contrast ($c \equiv I_s/I_f$) : sensitivity of measurement

photon emission fluctuation : accuracy

constraints due to the contrast and photon emission fluctuation

stability : γ rays (longer H_{eff}) is better than x-ray

★ Liquid film thickness measurement

the thickness of a wavy liquid film flowing down an inclined plane

X-ray absorption technique (Solesio et al. 1978)

(2) Electrical Conductivity Probe Method

전기 탐침법은 액상과 기상의 전기 저항이 서로 다른 차이를 이용하는 방법으로 probe는 물과하는 두 상간의 저항의 차이를 전기 신호로 변화하여 기상의 일부의 밀도를 측정한다. 이 때 기온은 액상의 속도와 기상의 속도가 같아고 가정하던 종 축정시간(T)에 대한 기온의 통과시간(τ)은 서로 다른 차이가 있다.

$$\alpha = \frac{1}{T} \int_0^T [1 - f(t)] dt \quad (9.2)$$

여기에서 $f(t)$ 은 기온이 통과할 때 peak(1)을 통과하고 액상이 통과할 때는 0으로 정의되는 시간(율주)이다. T 는 축정된 기온과 통과한 것으로 일정한 값을 가질 수 있도록 충분히 긴 채 주어져야 하며 통과시간으로 분류설계에 의해 결정된다. Serizawa⁵ sampling time은 1.3분으로 추정하고 있다.

이 축정기구는 1962¹¹ L.G. Neal이 의해 최초로 개발되었다. L.G. Neal은 mercury-nitrogen의 two component system의 전기탐침법을 사용하여 기관식 기온을 측정하였고 1963¹² ANL의 George P. Nassau는 air-water 유동식의 기관식 기온을 축정에 적용할 수 있는 전기탐침 및 무가화기를 개발하였다. 1963¹³ L.G.Neal과 S.G. Bankoff¹⁴ 전기탐침법을 더욱 개선하여 air-water에서의 기관식 기온을(local void fraction), 기온의 발생회수(bubble frequency), 기온의 평균, 단기 분포(bubble size distribution)와 축정에 성공하였다. 1971¹⁵ Serizawa⁵ air-water 유동에서 이중탐침법을 사용하여 기온의 속도 및 기온의 퇴류강도(turbulent intensity)를 축정하였다. 이후 Herring & Davis¹⁶과 Welle¹⁷ 같은 연구자들이 이중탐침법을 사용하여 기관식 기온의 밀도 축정에 대한 연구를 수행하였다.

1. 탐침 해석

1) 고온에서는 해석이 솔직히 가능하지 않아야 한다.

2) 유동장의 변화를 고려해야 한다.

3) 축정시 유동에 의한 probe의 진동이 없어야 한다.

2. 진기회로

탐침의 기초 간지부에서 캐스팅 저항의 변화는 진기회로에 의하여 전원 신호로 바뀌어야 한다. 초기 진기암침법의 개발자에는 진기탐침을 통과한 신호는 저항에 직접 연결되었으므로 진압의 변화를 측정하였다. 최근에는 탐침 주위에서의 편광(polarization) 현상에 의해 기초의 통과에 민감하게 많은 것은 알려져 있고, 또한 고온에서 신호를 강우 탐침 간지부가 금속화 산화되는 진기화학 현상이 발생될 수 있다. 그러나 Air-water 실험에서는 이러한 탐침 간지부의 산화 현상을 피하기 것으로 나타났다. 따라서 보류회로가 고온의 유체 측정에 적용하여 작동회로와 비교하여 기초 민도수(bubble frequency)의 차이로 알려져 있다. 작동회로인 bridge amplifier circuit은 그림 8에 표시하였다. 보류회로는 그림 9에 표시하였다.

3. 상분리(Phase Discrimination) 및 위로부터 Cutoff Level의 결정

진기탐침을 사용하던 기상과 액상의 통과에 따른 과정의 변화를 우수적으로 인식할 수 있다. 이 때 기초를 통과하는 신호를 감지하기 위해서는 기상과 액상의 상계인 cutoff level을 결정하여야 한다.

1) 과정의 형성

진기탐침에 의해 형성된 과정은 탐침을 통과하는 맹간수의 물리적 성질인 표면장력에 영향을 받는다. 표면장력이 큰 맹간수가 탐침을 통과하게 되면 과정은 탐침과 맹간수 사이의 비습착성(non wetting)의 의해 차라 과정의 형성이 발생하지 않아진다. 이와 반대 표면장력이 작은 경우는 맹간수의 탐침간의 wetting 현상에 의해 과정은 발생되어 그림 10(a) 같은 형태의 과정을 이루게 된다. 실제 측정에 사용된 맹간수는 표면장력이 작은 풍류수이며 따라서 후자와 같은 형태의 과정을 이루게 된다. 이 때 기초를 기상과 액상과 기상의 경계로 정한 cutoff level의 결정은 기초를 몇 개로 나누는 것인가의 결정에 민감한 영향을 주게 된다.

2) Cutoff level의 결정

Neal & Bankoff, Herring & Davis, Serizawa¹⁷ 많은 연구자들은 Schmitt triggering circuit을 이용하여 cutoff level을 결정하였다. 이 회로는 탐침에서 발생된 과정에 의해 맹간수의 높이(cutoff level)를 결정하여 차라 과정으로 바꾸는 회로이다. 그러나 유분리에서 결정된 과정은 유동조건과 유체의 진도수의 변화 그리고 탐침 간지부의 오염등 많은 원인에 의해 과정을 상이 변화되며, 따라서 결정된 cutoff level은 기본적으로 오차의 원인이 된다. 또한 유동 대기로의 기동은 유동 대기로의 기동과 불규칙한 통과 기로의 흡체 그리고 탐침의 wetting현상에 의해 cutoff level보다 높은 드럼에서 이후 기의 변화가 일어나며, Schmitt triggering circuit¹⁸ 갑이 과정의 높이만으로 상분리를 수행하던 기초민도수의 기상에 오차의 원인이 된다. 이러한 기초민도수의 정화한 측정을 위하여 많은 연구자들은 과정의 높이와 과정의 기동 기준을 상분리를 수행한다.

최근 Liu¹⁹ air water 실험에서 quick closing method의 의해 측정된 유로 대형²⁰ 기초민도수 진기탐침을 통해 얻어진 탐침 평균 기초민도수 비교하여 cutoff level을 결정하는 새로운 멤브레인 암그리즘을 제시하였다. 그러나 이러한 멤브레인 암그리즘은 본 실험장치와 같이 실제 버블이 발생되는 steam water 실험에서는 적용될 수 없다.

한국 Yun & Park²¹ steam water 실험에 적용 가능한 세포운 상분리 암그리즘을 제

발하였다. 세로 계면의 암고리즘은 기준의 원수치와 같이 ϕ_{cutoff} 를 이용하여 기준 기준에 의해 상분리율을 수행하게 된다. 그러나 상분리의 기준이 되는 cutoff level은 모든 기준에 일정하지 않고 고정되어 기준의 원수와 달리 각 기준에 따라 cutoff level은 차도가 주어진다. 즉 기준에 의해 형상화 각 기준의 cutoff level은 각 기준에 의해 형상화 과정의 원수에 대해서만 영향되게 되고 또한 기준의 조건에 의해 상분리율을 수행하게 된다.

이미 허 암고리즘의 특징은 유동조건과 유체의 진동률의 변화 그리고 풍경 진동률의 유행 등에 의해 약간의 과정의 변화에 부른하게 인용적인 기준기준이 수행되며 된다. 이러한 암고리즘의 적용을 위하여 멀도의 air water 유동에서 기준 산란을 수행하였다. 주 풍경에 풍경하는 진동률의 진동을 변화시키며 산란을 수행한 결과 원가된 진동에 따라 발생된 과정의 원수가 변화해도 기준율은 변화하지 않았다. 고유진동 풍경 cutoff level의 기준에 사용되는 비례상수는 차이를 회피하기 위해 각각으로 정한다. 주 진동회로를 사용한 기준 풍경 기준의 풍경의 과정이 감지하게 되어 차이를 고려해 고유진동은 원가된 풍경을 발생시킨다. 세밀한 암고리즘은 그림 12에 표시하였으며 차세한 내용은 다음과 같다. 그림 13은 이러한 암고리즘에 의하여 차세한 과정으로 변화된 그림이다.

(3) Optical Probe Method

Optical probe²⁷는 주의 medium의 과정(refraction)률의 변화에 민감하고 이를 이용하여 물의 기온이나 깨끗한 물과 같은 물질을 측정한다. 특히 이 방법은 non-conduction fluid에 많이 적용된다. tiny optical sensor²⁸ Danel & Delhaye²⁹ 및 Galap³⁰ 등에 의해 개발 사용되었으며 U-shaped fiber optical sensor³¹ 그림 14 및 15와 같다.

(4) Imposed method: channel average void fraction

3. Phase velocity

(1) Double Probe³²: 의회 기준速率 및 기준속도 spectrum 측정

기준속도는 물과 기준의 상자면의 벌위시간에 의하여 계산된다. 그림 10에 서와 같이 start probe³³는 물과의 기준은 ΔZ 만큼 떨어진 stop probe³⁴는 물과 하면서 start probe에 서 일정한 과정과 같이 유사한 과정을 형성하게 된 것이다. 이대 두 과정간의 시간 차이를 τ 라 두면 기준속도는 다음과 같이 계산된다.

$$V_p = \Delta Z / \tau \quad (9.3)$$

이대 이동률의 start probe³⁵는 물과의 기준과 stop probe³⁶는 물과하는 3가지 경우를 그림 11에 표시하였다. 이러한 기준의 유동에서 start probe와 stop probe의 과정은 동일한 기준을 확장하여 기준의 속도를 계산된다. 진기류를 이용한 물과의 속도의 계산은 위의 시간차 τ 는 cross correlation technique이나 multi channel analysis technique에 의하여 계산될 수 있다. 진기류는 기준의 평균시간 간격이 주어지면 (임의의 평균이 아니라 most probable time lag) 후자에는 각 기준의 대로 시간간격 spectrum이 주어

[설명]

(2) Pitot tube에 의한 liquid velocity 측정

Pitot tube는 유체의 유통이 외부 정기(static pressure)과 전해우(total pressure)를 측정하여 그 차이만큼의 풍압(dynamic pressure)을 이용하여 액상의 주변 속도를 측정하는 기구입니다. 풍압은 유체가 단속적으로 움직인다고 가정할 때 유체의 운동에너지에 상응하는 양입니다. Pitot tube는 축면과 정면에 이너한 정면과 전체면을 측정하기 위해 후면접이 쓰여집니다. 모양의 경우 정면과 전체면을 평방계로 사용하여 각각 측정하는 대신에 차방계를 이용하여 차방을 측정하는 것이 일반적입니다. Pitot tube 측정법은 액체나 기체 모두에 적용하여 기체의 경우 Mach number가 높아 compressibility correlation이 고려되어야 합니다. 그러나 이상유동식 Pitot tube는 이용한 액상의 속도 측정은 Pitot tube에의 기초 유압 가능성이 있어 그 측정에 어려움이 있다. 그리고 Pitot tube가 이상유동 분석에 사용될 때는 기온과 압력측정센서으로 흐름에 따른 값을 방지해야 합니다. 이를 위해 센서 Pitot tube의 후면접이 가능로 장착되어 있어 측정과 센서 cell과의 부화변화가 장애로 되며, 압력측정에 있어 츠이거나 액수가 흘러 있는 마찰에 따라 경우 이상유동 시 유압의 fluctuation에 의해 액수 흐름의 변화로 기온의 유의 가능성이 기진다. 본 연구에 사용된 후면센서는 reluctance 형태의 후면 센서이며, 이를 아디션 조건을 충족시킵니다. 본 연구에서 사용한 Validyne 회사 제작의 reluctance 형태의 압력 센서는 DP 103을 사용하였다. 단일 측정센서에 기온과 유압과의 밸트의 물질수입감사를 무기하여 기온과 해석해야 할 청화한 결과를 얻을 수 있다. Pitot tube는 이용한 액상의 속도 측정에서 유의해야 할 또 다른 점은 액체에 따른 관류학적 영향이 있어서 비정상 유동의 속도측정에서는 신뢰하지 못한다는 것입니다. 특히 17% Pitot tube의 주변입니다. Bernoulli 방정식을 유도함에 신뢰한 Pitot tube에 적용하면 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_0 + \frac{1}{2} \rho V^2 + \rho g Z_e = P_t + \frac{1}{2} \rho V(0)^2 + \rho g Z_a \quad (9.1)$$

위 식 (9.1)에서 위 식에 나오는 항은 무시하던 다음과 같은 식이 되며, 이 식은 Pitot formula라고 합니다. Pitot tube는 유체의 유통방향과 일치하여 하지 말고, $\Theta \leq 15^\circ$ 까지는 그 차가 적어 좋습니다.

$$V = \left[\frac{2(P_t - P_a)}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9.2)$$

실제 이상유동의 유통속도를 측정하는데는 다음 식을 사용합니다.

$$G = C \sqrt{\Delta P / \rho} \quad (9.3)$$

[이기식]

C = 관류의 질량 속도

C = calibration coefficient

ΔP = Pitot tube에 의해 측정된 풍압

Calibration coefficient, C는 momentum flux의 물질에 대한 계수는 기준로서 본 연구에서는 이상유동인 경우의 실험을 통하여 C는 결정하였다. 이때 C는 Reynolds number와 흐름의 주변으로 본 연구에서는 모든 실험을 통하여 통과식화 하였다.

◆ 이상유동의 Pitot tube 측정법

이상유동의 경우 1960년도에 Anderson² 및 Mantouranis³ Pitot tube에 대해 수학화된 식임을 탐색하기 전에 세웠다.

$$\Delta P = \frac{1}{2} (\alpha \rho_{\text{g}} u_{\text{g}}^2 + J(1-\alpha) \rho_{\text{l}} u_{\text{l}}^2) \quad (9.7)$$

여기에서 J = momentum exchange factor

위식 (9.7)에서 entrained component가 Pitot tube 주위에서 원속류의 component의 streamline을 이루면 $J=1$ 이고 entrained component가 Pitot tube 표면의 정지화 미리부 $J=2\alpha v$, 두 번째 경우는 liquid flow에 대한 해석이고, 두 번째 경우는 gas flow에 대한 해석이다. 대부분의 연구에서는 물류적인 혼합과 기상의 속도가 같은 경우를 기준으로 기상의 momentum flux ($\rho_{\text{g}} u_{\text{g}}^2$)를 무시할 수 있을 정도로 작아지는 두 가지 상황을 상정하고 있다. 그러나, 두 번째 상황은 단을 기울개수 영역과 차원에서만 적용한 것으로 알려져 있다. 다음의 표는 momentum exchange factor, J ,에 대해서 여러 가지 상황을 보여주고 있다. 각각의 환경은 각각의 환경에 주어진다. Reimann²와 Neal⁴와 Bankhoff⁵의 모델은 각각의 Pitot tube를 사용해 각 mass flux의 철학과 가정을 다룬다. 단지 긴장을 보면 momentum exchange factor는 상수값이나 단계적으로 변화하는 값으로 주는 경우, 바탕화석 유형은 나타났다. 빈번 Adorni⁶와 Reimann²의 모델은 비교적 정확한 것으로 확명했다.

Authors	Momentum Exchange Factor j	Comments
	"vu"-vertical upward "hor"-horizontal flow	
Adori ¹ 1961	1 - α	v=argon water; annular flow
Neal and Bankoff ⁴ 1965	2.0	v=mercury-nitrogen; bubble, slug flow
Malnes ⁷ 1966	1.0	vu, air-water, bubble flow
Bosio and Malnes ⁸ 1969	(1-0.5 α)/(1 - α)	vu, air-water
Walmet and Staub ⁹ 1969	1 - α /2	vu, steam-water,bubble flow
Banerjee ¹⁰ 1978	1.0	vl,hor,steam+water,disp.
Fineke ¹¹ 1978	$\alpha < 0.7$: $J=1$ $\alpha > 0.7$: $J=2$	hor, air-water, disp,bubble, slug, annular flow
Fineke and Deason ¹² 1979	$\alpha < 0.9$: $J=2$ $\alpha > 0.9$: $J=1$	
Davis ¹³ 1979	1 - $J=f(\alpha) = 1.75$	vu,air water, bubbly froth
Reimann ² 1981	$1.6 + 0.5 \operatorname{th}(6(\alpha-0.5))$	hor, air water ; dispersed bubble, annular, slug flow steam water ; slug flow

Table 1. Momentum Exchange Factor

Table 3. Liquid Velocity Data Reduction Model

N_{Re} & B_{F} (1.0) (Bard)	$\frac{G}{(\rho_{\text{L}} - \rho_{\text{g}})} \sqrt{\frac{2(z_1 - z_2)}{D}}$	> 0.9
Δz (in.) (1.0)	$\frac{G}{\sqrt{\rho_{\text{L}} - \rho_{\text{g}}}} \sqrt{\frac{2(z_1 - z_2)}{D}}$	
Δz (in.) & St (1.0)	$\frac{G}{\sqrt{\rho_{\text{L}} - \rho_{\text{g}}}} \sqrt{\frac{2(z_1 - z_2)}{D}}$	
D (in.) & Ch (1.0)	$\sqrt{\frac{2(z_1 - z_2)}{D}}$	
Δz (in.)	$\frac{G}{\sqrt{\rho_{\text{L}} - \rho_{\text{g}}}} \sqrt{\frac{2(z_1 - z_2)}{D}}$	
D (in.) & Δz (1.0)	$\frac{G}{\sqrt{\rho_{\text{L}} - \rho_{\text{g}}}} \sqrt{\frac{2(z_1 - z_2)}{D}}$	