

# 가시화를 통한 Gas Injection System에 관한 연구

서 동 표<sup>†</sup> · 오 을 권<sup>\*\*</sup>

## Analysis of Gas Injection System based on Flow Visualization

Dong-pyo Seo · Yool-kwon Oh

### Abstract

In order to visually analyze the flow characteristics, gas was injected into the liquid bath through nozzle installed at the center of bottom of the bath. When gas was injected into the liquid bath, several flow patterns were observed bubble-liquid plumb, the spout flow that occurred at the free surface, liquid circulation flow by bubble's behavior, etc. Various bubbles, from small bubbles to Taylor bubbles, consisted of the bubble-liquid plumb. In the pure liquid region, the large and small several vortices were formed and irregularly circulated. These irregular repetition and circulation play a important role of mixing in the bath. The vortices were developed in the upper and the side wall regions and the movement of flow in the low region was very small. It is known as "dead zone".

**Key Words** : Bubble-liquid plumb(기-액 기둥), Taylor bubble(테일러기포), free surface(자유표면)

### 1. 서 론

야금 처리에서 기체를 주입하는 것은 혼합을 잘 되도록 하기 위함은 물론 제어를 용이하게 하기 위한 메카니즘을 제공하기도 하며 합금이나 화학반응 등에서 열적 에너지를 첨가하고자 할 때 방법론을 제공하기도 한다. 예를 들면 아르곤을 주입하여 용융강 내에 기체를 제거하는 경우나 불활성 기체를 사용한 파우더를 주입하여 유황을 제거하는 경우, 그리고 액상의 금속이 들어 있는 용기에 불활성 기체를 주입하여 균일한 온도분포나 균일한 혼합영역을 형성하는 등의 기체

를 주입하는 예가 있다.

Andreine<sup>1)</sup> 등은 층류유동 조건하에서 오리피스 부근에서의 기포상승속도를 실험하여 기포가 개개의 속도성분을 가지고 상승하는 것 보다는 무리를 지어 훨씬 더 복잡하게 상승한다는 것을 발견하였다.

Castillejos와 Brimacombe<sup>2)~4)</sup>는 Air-Water 모델에서 기-액 기둥에서의 기포의 물리적특성을 연구하여 위치별 및 유량별 기체체적률과 기포빈도수와 기포의 거동을 추적하기 위해 진기저항프로브를 고안하여 기포의 상승속도를 측정하였다.

Johansen et al.<sup>5),6)</sup>는 기-액 이상기둥영역에서 분산현상의 구조와 속도성분의 측정을 위하여 LDV를 사용하여 기체유량률이 증가하면 기-액 기둥은 더 넓게 성장하고 중심에서의 축방향의 속도가 약간 증가한다는 것을 발견하였다.

액상의 용기 내에 기체를 주입할 때 이상 기-

† 조선대학교 기계공학부

E-mail : ygoh@mail.chosun.ac.kr

\* 조선대학교 정밀기계공학과 대학원

액 기둥(bubble-liquid plume)으로부터 벗어난 액체는 상당한 순환과 불안정한 유동을 하고 각 상은 서로 다른 속도를 가지고 유동을 하기 때문에 두 상들의 운동을 분리해서 분석할 필요가 있다. 대부분의 액체운동은 열을 운반하고 운동량과 분산된 물질들은 유선을 따른 반면 모든 방향으로 움직이는 선회운동은 유선을 가로질러 특성들을 변화시킨다. 이러한 두 운동 즉, 유선방향의 운동과 선회운동은 용기 내에서 혼합을 증진시키는 역할을 하게 된다. 본 연구에서는 이와 같이 기액 기둥 영역의 구조와 액체와의 상호작용 그리고 기둥 외부에서 순환하는 난류유동에 관한 연구는 기체 주입시스템에서 유동현상을 분석하기 위해 카메라 기법과 PIV 시스템을 이용하였다.

## 2 실험 및 방법

시험부 내에서 발생하는 실제 유동을 유체역학적으로 분석하기 위해 PIV 실험을 수행하였다. 실험은 상온(25°C) 대기압 하에서 수행하였고 시험부 내에 공기가 일정하게 주입되도록 하였다. 유동의 가시화를 위한 입자로 물의 밀도와 거의 비슷한 nylon 12를 시험부 내에 주입하여 충분히 발달되도록 한 다음 실험하였다. 가시화 입자를 산란시키기 위한 조명으로 Argon-Ion 가시광 레이저(LEXEL-7W)를 사용하였다. 조명은 아크릴로 인한 굴절영향을 피하기 위해 시험부 상단에서 수직으로 비추게 하였고 고속카메라(Photron-240pps)를 가시광 레이저 조명과 수직으로 세팅하여 프레임속도를 30pps로 설정하고 촬영하여 이미지파일을 저장하여 유동장에서의 속도 벡터와, 운동에너지를 해석하였다. Table 1과 Fig. 1에서 본 연구에서 적용되었던 PIV의 실험조건과 개략도를 보여주고 있다.

Table 1 Experimental conditions of PIV system

	Item	Specification
Visualization Equipment	Light source	Argon-Ion Laser
	Sheet Light	LLS probe
Measuring Condition	working Fluid	Air & Water
	Temp.	25°C ± 1
	Particle	nylon 12

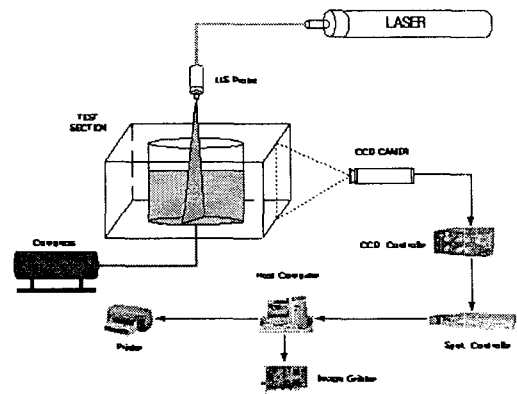


Fig. 1 Schematic diagram of PIV system

## 3 결과 및 고찰

기체 주입시스템을 분석하기 위해 Air-Water 모델로 실험장치를 구성하였고 유동을 가시화 하기 위해 Table 2와 같이 실험조건을 설정하였다.

Fig. 2는 기체를 주입하였을 때 발생하는 기액 기둥(bubbles-liquid plume)의 전형적인 구조를 나타내고 있다. 기포 기둥에는 작은 무리의 기포들로부터 Taylor기포까지 다양한 형태의 기포들을 관찰할 수 있었다.

Table 2 Experimental conditions for the flow variables measurement

	Nozzle Dia. [mm]	Vessel Dia. [mm]	Bath Depth [mm]	Gas flow [m <sup>3</sup> /s]
Case I	1.00	300	200	$0.6283 \times 10^{-4}$
Case II	1.00	300	200	$1.2566 \times 10^{-4}$

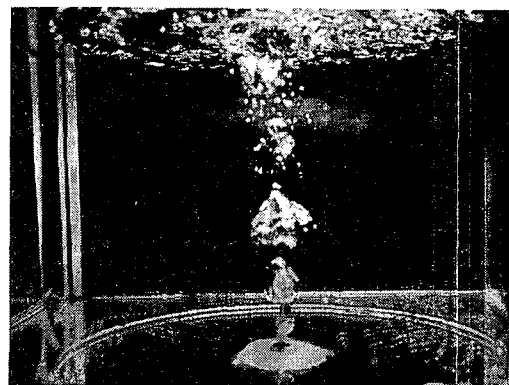
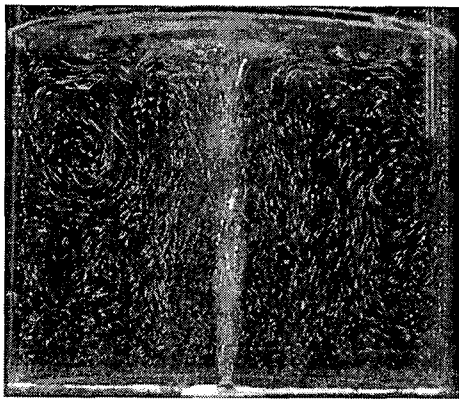
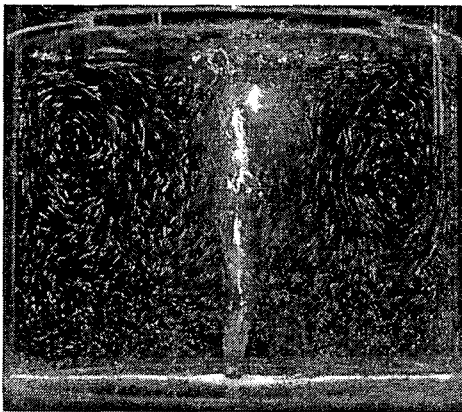


Fig. 2 Photograph of bubbles-liquid plume in air injected water bath at Case II.

Fig. 3은 가시화 입자인 nylon12를 용기 내에 주입하고 Argon-Ion Laser 조명과 카메라를 설치하였다. 카메라는 입자가 Laser 조명에 산란된 빛을 카메라 셔터속도 1/8[s]와 적절한 조리개 값을 가지고 촬영한 사진을 보여주고 있다. (a)와 (b)는 Case I 과 Case II에서의 입자의 운동을 각각 보여주고 있다. 유량을 증가시키면 액체는 역시 더 많은 에너지를 가지고 순환 유동을 하게 되고 와류를 형성한다. 이런 와류는 생성과 소멸을 불규칙적으로 반복하면서 유동을 한다.



(a) Case I

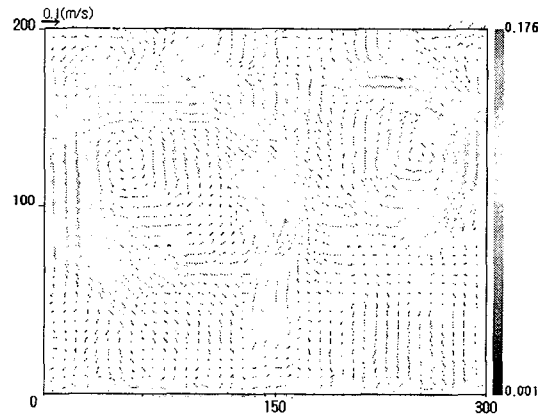


(b) Case II

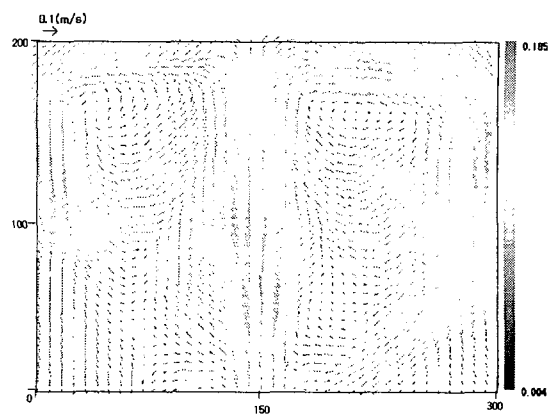
Fig. 3 Photographs on the circulation flow in the liquid bath using camera technique.

Fig. 4의 (a)는 Case I 에서 유동을 속도벡터와 형상으로 보여주고 있다. Case I 의 경우 속도벡터는 0.001에서 0.176[m/s]까지 분포하고 있으며 유동은 상부와 외벽 쪽에서 많이 발달하는 것을

보여주고 있다. 유동장의 하부에는 입자의 움직임이 매우 약한 “Dead zone”을 볼 수 있다. Fig. 4의 (b)는 Case II에서의 유동장을 보여주고 있으며 속도는 0.004에서 0.185까지 (a)보다 다소 증가하였다. 유량을 증가시켰더니 Dead zone의 감소효과가 있음을 알 수 있다.



(a) Case I

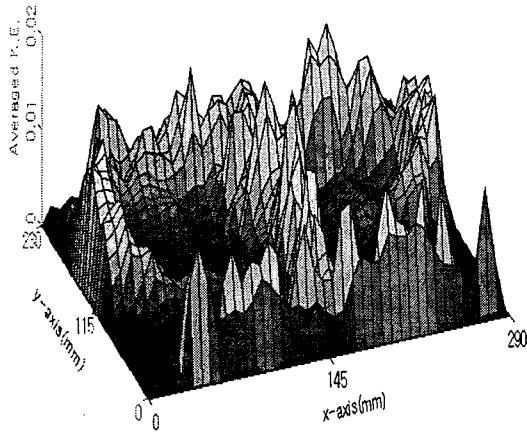


(b) Case II

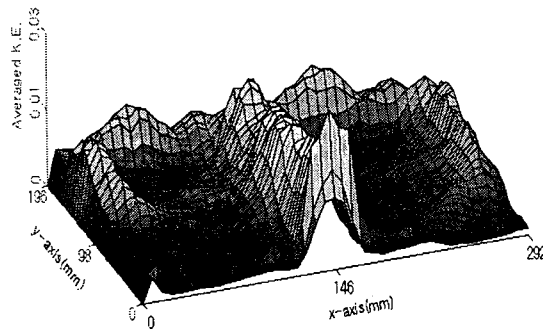
Fig. 4 Velocity vectors on the circulation flow in the flow field using PIV system

Fig. 5의 (a)와 (b)는 유동장내의 x-y평면에서의 표준화된 운동에너지를 나타내고 있다. Case I의 경우 평균 운동에너지는 최고 0.02까지 분포하고 있으며 Case II 경우는 0.03까지 분포하고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 평균운동에너지 분포는 기둥과 자유표면 그리고 외벽의 상부에 집중되어 있다.

## 참 고 문 헌



(a) Case I



(b) Case II

Fig. 5 Averaged kinetic energy on the circulation of liquid using PIV system

## 4. 결 론

기체 주입시스템에서의 이상유동 가시화 실험을 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기-액 이상기동에 형성된 기포의 형상은 작은 구(球)모양에서 Taylor기포 등 다양하였다.
- 2) 유동장 내에서 속도벡터와 운동에너지는 양 벽쪽에서 그리고 상부에서 발달하였고 작은 규모의 국부적인 와류와 전체적인 와류가 불규칙적으로 반복하면서 액상을 혼합하였다.
- 3) 유동장의 하부에는 유동이 약한 Dead zone이 형성되고 이것은 유량이 증가함에 따라 Dead zone이 감소하였다.

- 1) Andreine, R. J. , Forster, J. S. and Callen R. W., 1977, "Characterization of Gas Bubbles Injected into Molten Metals Under Laminar Flow Conditions," Metallurgical Transactions B, Vol. 8B, pp, 625-631
- 2) Castillejos, A., 1986, "A Study of the Fluid-Dynamic Characteristics of Turbulent Gas-Liquid Bubble Plumes," Ph.d. Thesis, The University of British Columbia, Canada
- 3) Castillejos, A. H. and Brimacombe, J. K. , 1986a, "Measurement of Physical Characteristics of Bubbles in Gas-Liquid plumes; Part I. An Improved Electro-resistivity probe Technique," Metallurgical Transactions B, Vol. 18B, pp 649-658.
- 4) Castillejos, A. H. and Brimacombe, J. K. , 1986b, "Measurement of Physical Characteristics of Bubbles in Gas-Liquid plumes; Part II. Local Properties of Turbulent Air-Water Plumes in vertically Injected Jets, " Metallurgical Transactions B, Vol. 18B, pp. 659-971
- 5) S. T. Johansen, D. g. c. Robertson, K. Woje and T. A. Engh, Fluid Dynamics in Bubble Stirred Ladles, Part I : Experiments, Metall. Trans. B. vol.19B, pp. 745-754, 1988
- 6) Johansen S. T. Boysan F., 1988, "Fluid Dynamics in Bubble Stirred Ladles : Part II. Mathematical Modeling," Metallurgical Transactions B, Vol. 19B, pp. 755-764