

# Effervescent atomizer의 내부 유동에 따른 분무특성

구건우<sup>1</sup>·홍정구<sup>1</sup>·김준희<sup>1</sup>·이충원<sup>1</sup>·박창대<sup>2</sup>·임병주<sup>2</sup>·정경열<sup>+</sup>

## Spray characteristics of effervescent atomizer with internal flows

K. W. Ku<sup>1</sup>, J. G. Hong<sup>1</sup>, J. H. Kim<sup>1</sup>, C. W. Lee<sup>1</sup>, C. D. Park<sup>2</sup>, B. J. Lim<sup>2</sup> and K. Y. Chung<sup>+</sup>

**Abstract :** Effervescent atomizer in which the liquid is ejected from nozzle with bubble caused by gas injection into the liquid is one of twin-fluid atomizers. Effervescent atomizer is operated with the lower injection pressure and the smaller air flow rate when compared with those of other twin-fluid atomizers. In this study, we attempted experiment study to investigate the atomization characteristics of effervescent atomizer related with the internal flow condition. The nozzle was made with acrylic material to investigate the nozzle internal flow. The macroscopic spray analysis was conducted with internal flow images and spray images. Furthermore, SMD was measured by using the laser diffraction method. According to this study, the internal flow condition changed from bubbly flow to annular flow as the air-liquid mass ratio(ALR) increases. At that time, the atomization characteristics were improved.

**Key words :** Effervescent atomizer(기체주입 노즐), ALR(공기-액체 질량비), SMD (액적 평균입경)

### 1. 서론

미립화(atomization)는 농업, 자동차 산업, 철강 산업 등 산업전반에 걸쳐 적용되고 있으며, 그 중요성이 점점 증가되고 있다. 미립화를 위해 여러 가지 형태의 노즐들이 사용하는 목적에 맞게 사용되고 있다.

기체주입 노즐(effervescent atomizer)은 내부혼합형 이 유체 노즐의 범주에 속하지만, 그 분사방법은 크게 다르다. 기체주입 노즐은 액체가 분사되기 전에 비교적 저속으로 기체를 액체에 주입하여 기포(bubble)를 만들고, 이때 만들어진 two-phase 유체를 분사시키는 노즐이다. 이 결과 노즐 출구에서 압력강화로 인해 기포가 빠르게 팽창하여 소멸하면서 발생하는 에너지가 액주를 액사(ligament)와 액적(droplet)으로 분열시킨다. 이러한 분열기구는 감압비등 노즐(flash atomizer)와 동일하지만, 기체주입노즐은 발생하는 기포의 양을 조절할 수 있기 때문에 감압 비등노즐의 단점을 보완할 수 있다.<sup>[1],[2]</sup> 하지만 국내에서는 기체 주입노즐의 미립화 특성이 우수함에도 불구하고 소수의 연구기관에서만 분무특성에 관한 학문적인 연구가 진행 되어왔다. 그리하여 본 연구는 기체 주입 노즐의 선박 부품으로서의 적용 가능성을 알아보기 위한 기초 연구로서 공기-액체 질량비(ALR)에 따른 기체 주입 노즐의 내부 유동특성이 미립화에 끼치는 영향을 실험적으로 조사하였다. 기체 주입노즐의 분무특성 및 노즐 내부 유동을 관찰하기 위해 노즐은 투명한 아크릴로 제작하였으며, 노즐 내부 유동 특성 및 거시적 분무특성은 shadowgraph 법에 의해 촬영된 이미지를 분석하여 조사하였다. 또한 분무 액적의 크기를 측정하기 위해 레이저 회절 원리를 이용한 Malvern 형식의 액적크기 측정 장치를 이용하여 액적 평균입경(SMD)를 측정하였다.<sup>[9],[10]</sup>

### 2. 실험장치 및 방법

#### 2.1 실험장치 및 방법

기체주입노즐의 내부유동양식의 변화에 따른 분무특성을 살

펴보기 위해 Fig. 1과 같이 실험장치를 구성하였다. 분무 장치는 서지 탱크에서 질소가스(N<sub>2</sub>)에 의해 가압된 상온의 물이 노즐로 공급되어 분사된다. 서지탱크의 압력은 질소가스와 압력조정기에 의해 일정하게 유지되도록 하였으며, 가압된 물의 분사유량은 노즐 상단 부에 위치한 유량계(Korea flow meter, PA-20)에 의해 조정되었다. 기포 생성을 위한 공기를 액체로 공급하기 위해 압축기를 사용하였으며, 압축기 후단에 위치한 압력조정기에 의해 일정 압력으로 공기가 공기 유량계로 공급된다. 노즐로 유입되는 공기유량은 유량계(Dwyer, model RMA-2)를 사용하여 조정하였다. 노즐 내부 유동특성 및 분무 가시화를 위해 CCD 카메라(viewworks, VM-2M 35)를 사용하였으며, 광원으로는 CCD 카메라와 동기화 된 stroboscope (drelloscope 3020)을 사용하였다. 촬영된 이미지들은 컴퓨터에 내장 된 image grabber를 통해 실시간으로 모니터링 되며 컴퓨터에 저장된다. 노즐의 분사조건에 따른 액적 크기를 조사하기 위해서 Malvern 형식의 액적 크기 측정 장치를 이용하였다.<sup>[9],[10]</sup> 노즐은 3축-traverse 시스템에 장치하였고 레이저에 의해 산란된 액적 크기 정보를 detector에서 수신하여 SMD를 측정하였다.

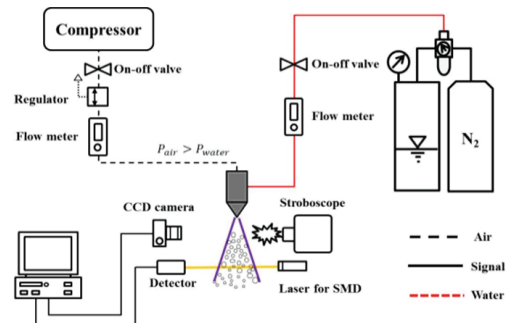


Fig. 1 Schematic diagram of experimental system  
기체 주입 노즐의 분사조건에 따른 내부 유동 양상 및 분

+ 정경열(한국기계연구원 환경-에너지기계연구본부), E-mail:kychung@kimm.re.kr, Tel: 042)868-7333, 책임/교신저자

1 홍정구, 구건우, 김준희, 이충원(경북대학교 기계공학부)

2 박창대, 임병주(한국기계연구원)

무특성을 조사하기 위해 Fig. 2와 같이 노즐을 투명한 아크릴로 제작하였으며 출구 오리피스의 직경은 3mm이며, 공기 주입 노즐의 직경은 0.5mm며 개수는 12 개이다. 본 연구에서는 물의 공급유량( $Q_l$ )을 0.9 l/min으로 고정하고 공기 유량( $Q_a$ )을 변화시켜 실험하였다. 본 연구에서 수행한 실험 조건은 Table 1과 같다. 또한 본 연구에서는 유입되는 공기와 액체의 질량비를 사용하여 ALR(air-liquid mass ratio)로 무차원화 하였고, ALR을 사용하여 결과를 도출하였다. ALR의 정의는 아래 식 (1)과 같다.

$$ALR = \frac{\text{Air mass flowrate}}{\text{Liquid mass flowrate}} = \frac{\rho_a Q_a}{\rho_l Q_l}$$

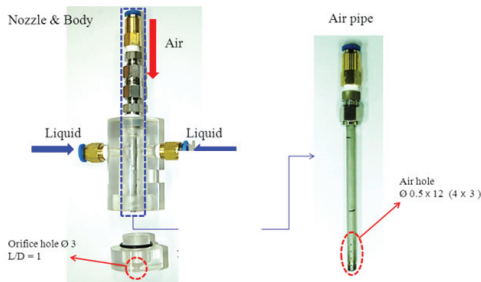


Fig. 2 Designed effervescent atomizer Schematic diagram of experimental system

Table 1 Experimental conditions

Liquid	Water
Liquid density ( $\rho_l$ )	1000 kg/m <sup>3</sup>
Gas	Air
Gas density ( $\rho_a$ )	1.226 kg/m <sup>3</sup>
Liquid flow rate [ $Q_l$ ]	0.9 L/min
Gas flow rate [ $Q_a$ ]	10 ~40 L/min
ALR	0.0051 ~ 0.0681

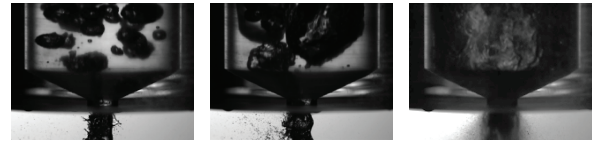
### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 ALR에 따른 노즐내부 유동특성 및 분무특성

기체 유입노즐의 ALR에 따른 내부유동 특성을 알아보기 위해 노즐 내부 가시화 실험을 수행하였다. Fig. 3은 ALR변화에 따른 노즐 내부유동 특성을 보여준다.

Kim등에 따르면 기체주입 노즐의 내부유동은 ALR의 증가에 따라 기포류 유동(Bubbly flow), 천이류 유동(Transition flow), 환상류 유동(Annular flow)으로 구분된다고 보고하였다.<sup>[2]</sup> 본 연구에서도 ALR의 증가에 따라 Kim등이 보고한 결과와 같은 유동 양상이 관찰 되었다. 또한 액체의 미립화 현상도 ALR의 증가에 의해 변화하였다. Fig. 4는 내부 유동의 양상이 annular flow 일때 ALR에 따른 분사이미지를 보여준다. Fig. 4에 보여지는 바와 같이 ALR 0.0272의 경우 분무 하류에서 액주가 액사들로 분열되고 다시 액사가 액적들로 분열되는 분열 형태가 관찰되었다. 하지만 ALR값이 0.0681에서는 분사되자마자 작은 액적들로 분열되었다. 기체 주입노즐의 경우 annular flow regime에서는 Fig. 3 (c)에 보여지는 바와 같이 노즐 둘레로 액체가 얇은 막을 형성하고 중심에는 기체 기둥이 형성되게 된다. 또한 ALR 증가 할수록 공기의 체적이 증가함에 따라 노즐의 내부의 압력은 상승하게 된다. 이로 인해 two-phase 유체의 분사유속이 증가하고, 노즐 출구에서 기체의 팽창 속도 또한 증가하게 된다. 이 결과 기체 주입노즐

의 경우 Annular flow regime에서는 ALR이 증가함에 분사속도가 증가와 함께 기체의 팽창속도가 증가한다. 이 결과 ALR이 증가함에 따라 액막 분열이 촉진되어 미립화 특성이 향상된 것으로 판단된다.



(a) Bubbly flow (b) Transient flow (c) Annular flow

Fig. 3 Internal flow characteristics with increase of ALR

#### 3.2 ALR에 따른 액적 크기

본 연구에서는 ALR증가에 따른 액적 크기분포를 알아보기 위해 Laser diffraction 방법을 이용하여 SMD를 측정하였다.

ALR값은 0.0051, 0.0272 그리고 0.0681 3가지의 조건을 설정하였다. 0.0051의 ALR값에서는 액주 형태로 분무됨에 따라 SMD값을 측정하지 않았다. 공기량이 증가함에 따라 내부유동은 bubbly, transient flow 형태를 거쳐 annular flow로 변하게 되는데, annular flow가 되기 전까지는 분사된 유체가 액주 형태를 유지하고 있어 본 연구의 실험조건에서는 SMD를 측정 할 수 없었다.

Annular flow에서는 ALR값이 0.0272, 0.0681일 때에는 SMD는 72.8 $\mu$ m, 23.4 $\mu$ m를 각각 나타내었다. 이는 앞선 단락에서 기술하였듯이, 공기량이 증가함에 따라 노즐내부 압력상승이 분사유속을 증가시키며, 곧 기체팽창속도를 증가시켜 미립화를 촉진시켜 나타난 결과라 판단된다.

### 4. 결론

기체 주입노즐의 내부유동 및 외부유동 특성을 알아보기 위한 실험의 결과를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

1. ALR값의 증가에 따라 내부유동특성은 bubbly flow, transient flow를 거쳐 annular flow로 변화해 나가는 것을 확인하였다.

2. SMD는 ALR증가에 따라 작아지는 경향을 보였다. 즉 공기량의 증가는 액막 분열을 촉진하여 미립화 특성이 향상되는 것을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] 김주연, 이상용, 2000, “기체주입노즐의 내부유동양식의 구분”, 대한기계학회 논문집 B권, 제24권, 제2호 pp. 306~315.
- [2] H. G. Kim, T. Yano, K. K. Song, T. Shuichi, “Microscopic spray characteristics in the effervescent atomizer with two aerator tubes”, KSME International Journal, Vol.18 No.9, pp.1661-1667, 2004
- [3] Suzuki, T., Saito, A., Fujimatsu, T. and Hayashida, K., “Development of A Simple System of Drop-sizing: Part 1 : Development Story and Outline of The System [in Japanese],” Journal of the ILASS-Japan, Vol. 16, No. 54, pp.34-46, 2007
- [4] Suzuki, T., Saito, A., Fujimatsu, T. and Hayashida, K., “Development of A Simple System of Drop-sizing: Part 2: Some Examples of Measurements [in Japanese].” Journal of the ILASS-Japan, Vol. 17, No. 58, pp. 44-51, 2008