

음향에너지를 이용한 내부 혼합형 이유체 분사노즐의 분무특성

Spray Characteristics of Internal-Mixing Twin-Fluid Atomizer
using Sonic Energy

조형진* 강원수** 석지권*** 이근선**** 이충원*****
H. K. Cho W. S. Kang J. K. Seok G. S. Lee C. W. Lee

ABSTRACT

In this research, internal-mixing twin-fluid atomizer using sonic energy is designed and manufactured. We are trying to intimate high efficiency twin-fluid atomizer to obtain good liquid atomization in the low pressure region. Define of geometric form of atomizer, characteristics of spray is influenced by position, depth and height variation of cavity resonator, variation of sound intensity and resonant sound frequency with liquid flow rate.

The liquid atomization is promoted by multi-stage disintegration of mixing flow of gas with liquid and the optimum condition of position and depth of cavity resonator according to sonic energy is obtained from the condition at $a=2.5\text{mm}$ and $L=2\text{mm}$. The velocity distribution of droplets shows negative value due to recirculation region at the center of axial, and as the radial direction distance is far, the velocity distribution of droplets decrease slowly after having a maximum value. However velocity and SMD show nearly uniform distribution at the down stream and as result compared to Nukiyama and Tanasawa's equation, atomization of mixing flow with air and liquid dispersing from the outlet of the nozzle is promoted by the effect of collision at the cavity resonator.

주요기술용어 : Sonic energy(음향에너지), Atomization(미립화), Cavity resonator(공동 공진기), Frequency(주파수), Disintegration(분열), SMD(평균 입경), Collision(충돌)

1. 서론

액체의 미립화 방법은 액체에 주어지는 에너지원의 종류에 따라 분류할 수 있으며 미립화 구조 및 분무 특성은 그 미립화 방법에 따라

달라진다. 이들 중에서 이유체 분사노즐을 이용 및 보완해서 미립화의 특성을 향상시키기 위하여, 다양한 연구가 진행되어 왔다.

초음파 분무는 결국은 액체에 초음파 진동 에너지를 주는 것으로, 다른 미립화 방법에 비하여 비교적 입경이 균일하고, 분무량이나 입경의 제어가 용이하며, 주파수가 높을수록 미세한 분무입자가 얻어진다.

초음파 분무의 기계식 방법으로 1922-1931년 Hartmann¹⁾은 노즐로부터의 고속 기류 중에 피토관을 설치하여 기류에 따른 압력변화를 측정

* 경북대학교 기계공학부 대학원

** 한국철강업

*** 안동과학대학

**** 구미 제 1 대학

***** 정희원, 경북대학교 기계공학부

하여, Schlieren상과의 비교를 제시했다. 그리고 그 불안정 영역에 공명기나 원통형 공진기(resonator)를 설치하면, 공기가 그 안에 주기적으로 유입과 유출이 되어 그 출구에서 초음파 공기 진동이 발생한다는 것을 찾아냈다.

1950년 Savory²⁾는 Hartmann 음향 발생기에 의한 실험을 실시하여 공진실의 위치, 크기 및 공기압에 의해서 음의 강함의 level (IL)과 음향주파수 f의 변화 등을 조사하였다. 또한, 노즐과 공진실 사이에 각종 장치를 설치해 그 효과를 조사하였다. 1982년 Borisov³⁾등은 수렴형 공기 음향 발생기의 중앙 desk로부터 연료를 분출시키는 방식으로, 각부의 설계 치수 효과를 실험으로부터 구하여, 음향주파수 $f \geq 17 \sim 35\text{kHz}$ 및 음압 level 약 145~161dB를 얻었다.

Chiba⁴⁾는 pintle형 노즐을 설계·제작해서 pintle의 형상에 따른 분무특성을 가시화 기법을 통하여 비교, 조사했다. 이 연구에서 기체유량이 많을 때 Hartmann 효과⁵⁾에 의해 공동 공진기를 가진 형상에서 가장 균일하고 양호한 미립화를 얻었고, 형상이 같을 때 공동 공진기의 위치에 따라라도 분무 특성이 변화함을 제시하였다.

공동 공진기를 가진 분사 노즐의 음향 특성인 음향 압력 수준(Sound Pressure Level :SPL)과 주파수(frequency)를 측정하여 비교한 연구에서 공기 유량이 증가할수록 SPL과 주파수는 다른 형상을 가진 노즐보다 몇 십배 이상 크게 나타났고, SPL이 증가할수록 주파수는 감소하는 반비례적인 관계를 얻었다⁶⁾.

Nagai⁷⁾는 내부 혼합형 Hartmann type sonic 분사노즐을 이용하여 물과 등유(kerosene)를 일정 체적 혼합비로 각각의 공급 통로를 통해 동시에 공급해 물과 등유가 혼합된 액적을 가진 분사류의 분무 특성을 연구하였다. 이 연구에서는 양호한 분무상태를 얻기 위해 고압의 기체를 공급하였고, 이것은 미립화의 에너지 효율 측면에서 비교적 저 효율적이다.

한편, 국내에서도 류⁸⁾등은 연료에 초음파 에너지를 부가하여 분사한 경우와 상용의 경우에 분무 특성을 비교하는 등 음향에너지를 이용한

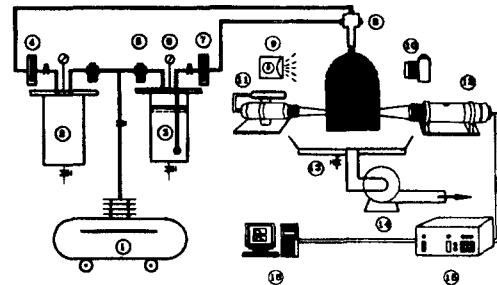
경우가 몇 몇 있다.

이러한 실험과 연구들은 대부분이 외부 혼합식 분사 노즐을 사용하였고, 내부 혼합실에서 기체와 액체의 강한 상호작용에 의해 분출되는 혼합류가 공동 공진기에서 어떻게 분열하는지와 그 분열형태가 분무특성에 어떻게 영향을 미치는지에 대한 연구 결과는 거의 없다.

따라서, 내부 혼합형으로 저압에서도 양호한 미립화를 얻을 수 있는 음향에너지를 이용한 분사 노즐의 개발에 목적을 두고 노즐 구조와 공진기의 구조에 대한 연구를 수행하여 최적의 미립화 조건을 제시함으로써 효율이 높은 내부 혼합형 이유체 분사 노즐을 개발하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치



- ① compressor ② surge tank ③ liquid tank
- ④ liquid flowmeter ⑤ air flowmeter
- ⑥ pressure gage ⑦ regulator ⑧ nozzle
- ⑨ stroboscope ⑩ camera
- ⑪ PDPA transmitter ⑫ PDPA receiver
- ⑬ liquid collector ⑭ blower
- ⑮ signal analyser ⑯ computer

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험장치는 크게 액체 및 공기 공급 장치부, 노즐부, 그리고 측정 및 해석 장치부로 구분된

다. 실험용 액체는 압축기(①)에 의하여 물탱크(③)내에서 0.2MPa로 가압된 후, 니들 밸브 및 액체 유량계(④)를 거쳐 노즐(⑨)의 양단으로 유입된 후 대기 중에 분사된다.

미립화용 공기는 압축기에 의해 0.3 MPa까지 가압된 서지 탱크(②)에서 공기 유량계(⑤)를 통해 노즐의 상부로 유입된 후 대기 중으로 분사된다. 분사에 필요한 액체와 공기의 배압은 압축기로부터의 압력 조절기(⑦)와 각각의 용기에 설치된 압력계(⑥)로 조절하였다. 분사된 분무 액적들을 받기 위하여 노즐 선단으로부터 100cm 지점에 분무 받이(⑬)를 설치하였으며, 분출된 분무류가 측정부에 유입되는 것을 방지하기 위해 송풍기(⑭)를 사용하여 분출된 분무류를 흡입하도록 하였다.

2.2 노즐

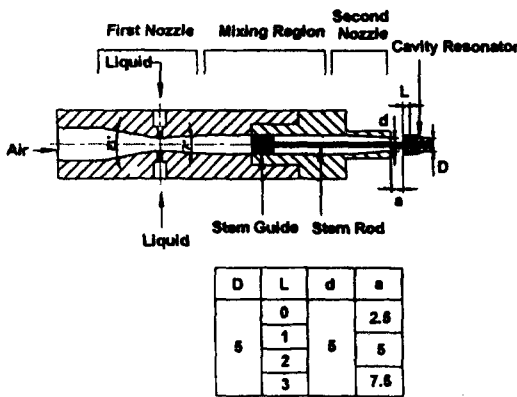


Fig.2 Details of nozzle

Fig. 2는 본 실험에 사용한 노즐의 상세도이다.

본 실험에 사용한 노즐은 음향 에너지를 이용한 내부 혼합형 노즐로써 1차 노즐부, 혼합실부, 2차 노즐부, 그리고 공동 공진기 부분으로 구분된다.

1차 노즐부는 공기와 액체의 접촉이 개시되는 위치로서 공기와 액체가 접촉하는 부분을 축소-확대관으로 제작함으로써 기·액 접촉 개시 위치에서 공기의 속도 에너지가 증가하여

공기와 액체의 혼합이 촉진되도록 설계·제작하였다. 따라서, 1차 노즐부에서 고속의 공기 유동에 의하여 기체와 액체의 혼합이 촉진되어 1차 미립화가 일어난다. 그리고, 혼합실에서의 stem guide와 stem rod 등에 의한 난류유동에 의해서 기액의 혼합이 촉진되어 2차 미립화가 일어난다.

2차 노즐부의 형상은 노즐 출구에서 분출하는 기액 혼합류가 속도 에너지의 증가로 공동 공진기에의 강한 충돌 효과를 얻기 위해서 축소관으로 제작하였다. 공동 공진기를 지탱하기 위해서 혼합실 입구에 stem guide를 설치했고, stem guide에 직경이 3mm인 stem rod를 부착해서 공동 공진기를 설치할 수 있도록 했다.

공진실의 깊이가 분무에 미치는 영향을 조사하기 위해서 깊이를 각각 다르게 제작하였다. 그리고, 공진기의 위치가 미립화 특성에 미치는 영향을 관찰하기 위해서 공진기를 이동 및 탈착이 가능하도록 하였다. 따라서 공동 공진기에서의 강한 충돌에 의한 유동 교란에 의해 최종 미립화가 일어나게 된다.

다시 말해서, 1차 노즐부에서 미리 미립화하여 예혼합을 실시하고, 2차 노즐부에서 공동 공진에 의한 초음파로 다시 미립화를 실시하여 분사하게 된다.

2.3 분무 현상 관찰

분열 현상은 광원인 스트로보스코프(stroboscope)와 카메라로 구성된 순간 사진 촬영 장치를 사용하여 관찰하였다.

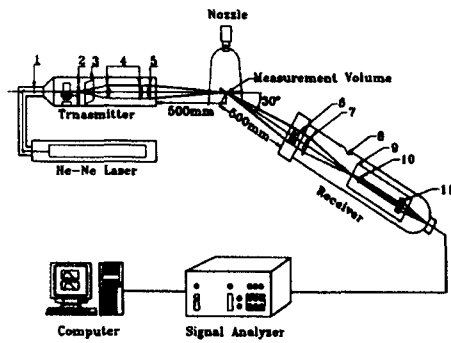
Fig. 1에서처럼 노즐로부터 분사된 분무류의 분열 현상은 암실에서 스트로보스코프에 의해 발광하는 순간광을 이용하여 카메라로 촬영하여 관찰했다. 카메라의 위치는 노즐로부터 전방 800mm에 설치하였고, 광원인 스트로보스코프는 노즐 후방 600mm에 설치하였다.

2.4 평균입경(SMD) 측정

분무 액적들의 평균입경은 신호의 위상차를

이용하여 입자의 평균입경과 속도를 측정할 수 있는 위상 도플러 입자 분석기인 PDPA(Phase Doppler Particle Analyzer)를 사용하여 측정하였다.

Fig. 3은 본 실험에서 사용한 Aerometrics사 제품인 PDPA를 이용한 평균입경의 측정 방법의 개략도를 나타낸 것이다.



- ① Grating lens ② Rotating diffraction grating
- ③ Mask ④ Interchangeable collimating Lenses
- ⑤ Output lens
- ⑥ Doublet ⑦ Triplet ⑧ Viewing port
- ⑨ Spatial filter ⑩ Collimating lens
- ⑪ Photomultiplier tubes

Fig. 3 Schematic diagram of SMD and velocity measurement by PDPA System

증폭관으로부터의 신호는 RSA(Real-Time Signal Analyzer)를 통해 입력된 신호를 시간의 함수로 나타내게 된다. 이 시간의 함수로 조합된 데이터는 컴퓨터에 입력이 되고 입력된 신호는 평균입경 및 속도 분포를 히스토그램(histogram)과 상호관계(correlation)로 화면에 출력하게 된다.

2.5 음향 에너지와 주파수 및 SPL 관계

기체 유량의 변화에 따른 음향 에너지와 공동 공진기를 가진 분사 노즐의 음향 특성인 음향압력 수준 (Sound Pressure Level : SPL) 및 주파수(frequency)의 관계를 파악하였다. 음향

에너지를 이용해서 양호한 미립화를 얻기 위해서는 공동 공진기의 적당한 위치의 선정이 필요하다.

본 연구에서는 'Hartmann type generaor'라고 일컬어지는 공동 공진기(Cavity Resonator)를 노즐 출구의 수직 하방에 설치한 내부 혼합형 이유체 분사 노즐을 설계 및 제작하여 기체 유동에 의해 작동되는 음향 에너지를 발생시켰다.

주파수를 측정하기 위해서 다음의 Hartmann의 방정식을 이용하였다.

$$f = W_s / \lambda = W_s / \{4(L + 0.3b + \Delta b)\} \quad (1)$$

여기서, f는 음향 주파수, W_s 는 공기 중의 음의 속도 (20℃ 일 때, 343.7 m/s), λ 는 파장이고, $\Delta b = 0$, $L = 10^{-3}m = 1mm$, $b = 2 \times 10^{-3}m = 2mm$ 로 결정하였다. 여기서, b는 Cavity resonator(공동 공진기)의 내경과 Stem Rod의 외경 사이의 거리이다.

Table 1. Frequency for cavity resonator depth

D	L (mm)	f (kHz)
φ5	0	0
	1	53.7
	2	33.05
	3	23.87

본 연구에 사용된 노즐에서 L 값을 0mm에서 3mm까지 1mm 간격으로 계산한 주파수의 값을 Table 1에 나타내었다.

Fig. 4와 5에는 Chiba⁽¹⁾가 제시한 식을 이용하여 공기 유량에 대한 공진 주파수와 음압을 나타낸 것이다.

$$f = 9.09 \times 10^{-4} Q_a^2 - 0.268 Q_a + 57.3 \quad (2)$$

$$SPL = 3.03 \times 10^{-5} Q_a^2 + 0.209 Q_a + 110.9 \quad (3)$$

공진기의 길이 $L=2$ 일 때의 기체의 유량 (Q_a)에 따른 주파수, f (kHz)와 음향 압력 수준, SPL의 관계를 나타낸 것이다. 공기 유량이 증가할수록 주파수는 40 kHz 정도의 값으로 일정하게 나타나며, SPL은 공기 유량이 증가할수록 같이 증가하고 있다. 공동 공진기의 길이 $L=2$ 일 때, Hartmann 효과를 잘 나타낸다고 볼 수 있다.

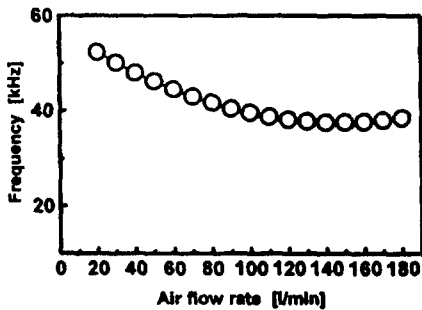


Fig. 4 Frequency distribution for Air flow rate ($L=2$ mm)

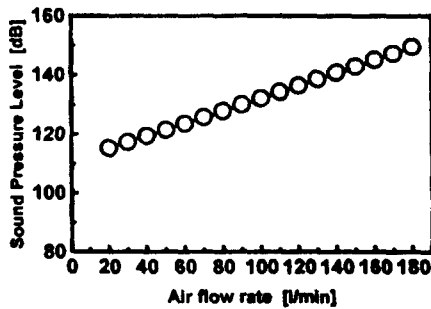


Fig. 5 Sound Pressure Level distribution for Air flow rate ($L=2$ mm)

이러한 음향 에너지와 주파수 및 SPL과의 관계에 대해서, 공진기의 위치·깊이의 변화에 따른 분무 특성, 평균입경 분포 등을 연구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 분열 기구

Fig. 6은 기액 혼합류의 공동 공진기에서의 충돌과 분무형성의 분열 기구를 상부 단면만을 나타낸 것이다.

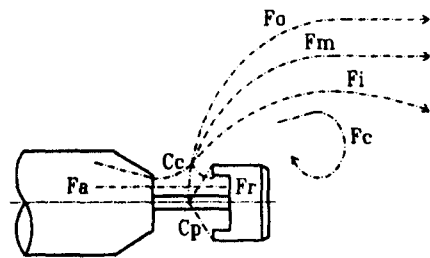


Fig. 6 Mechanism of combined collisions of fluid flows at the resonator (upper half)

혼합실을 거쳐 2차 노즐에서 분출하는 기액 혼합류의 가속류 F_a 는 고속으로 공진실 안쪽으로 유입되고, 공진기의 바깥쪽으로 밀고 나가는 유동 F_r 과 강하게 충돌한다. 따라서 공진기 입구 근방에서 원뿔형태의 충돌 표면 C_p 가 형성된다. 그 결과 출구 가장자리 부분에서 고주파를 가진 음향진동이 성장하게 되고, 충돌류는 C_c 의 위치에서 F_a 의 바깥쪽 부분과 다시 충돌한 후 기체와 최종 미립화된 액체 액적은 고속으로 분사된다. 분사류 F_m 은 바깥쪽 분사류 F_o 와 안쪽 분사류 F_i 의 분무 경계를 가진다. 액적의 분열은 공진기와 기액 2상 유동의 혼합 충돌 근방과 안쪽에서 유동의 강한 교란에 의해서 성장하게 된다. 본 노즐에서는 유체 역학적으로 고속류 F_m 에 의해 기체의 재순환류 F_c 가 공진기의 뒤쪽에서 생성된다. 그러면 분무에서 양호한 입경을 가진 액적의 일부는 역압력 구배에 의해 주류에서 분리되어 재순환류 F_c 로 변환된다. 상기와 같은 분열 기구에 의해서 작은 입경을 가진 액적으로의 미립화가 이루어지게 된다.

3.2 분열 현상

Fig. 7은 액체유량이 100ml/min으로 일정할 때, 기·액 유량비의 변화에 따른 액체 미립화의 일련의 과정을 나타낸 것이다.

기체의 공급이 전혀 없을 때, 노즐 출구에서의 액체는 공진실에 유입된 후 공진기의 벽면을 따라 흘러내리는 액주의 형태를 가진다.

기체가 소량 투입될 때, 노즐 내부에서는 몇 개의 기포가 뭉쳐서 관단면을 거의 충만시킬 정도의 커다란 기체 플러그로 성장한다. 액상은 파동을 동반한 흐름이 되어 액주내에 기포가 형성되어 얇은 액막을 형성하여 기포의 운동에 의해서 액적이 생성된다.

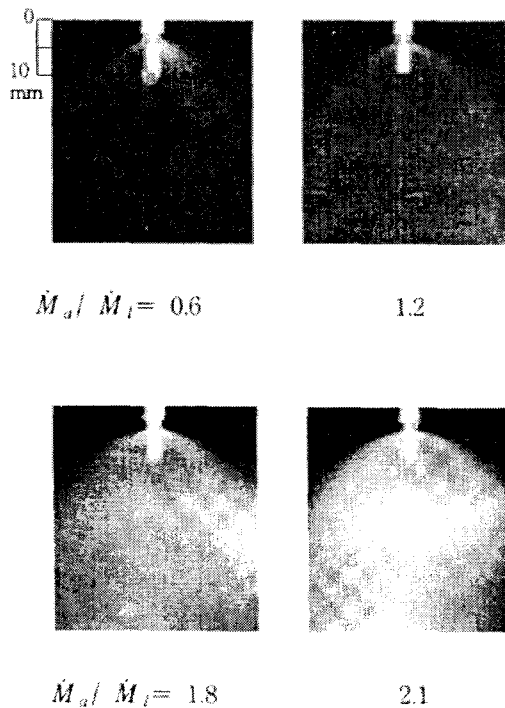


Fig. 7 Photographs of spray with increasing in \dot{M}_g / \dot{M}_l

기액 유량비가 더욱 증가하면 액체는 벽면방향으로 밀려나 가 관벽을 따라 환상 액막상태로 흐르며, 기상은 관 중심부를 연속적으로 상당한 유속을 갖고 흐르는 상태가 된다. 액적

은 파장을 가진 액막의 끝에서 전단되고 기체에 의해서 운반된다. 액막은 노즐 출구로부터 분출하고 파를 가진 교란을 일으키면서 기포류를 형성한 후 환상 액막과 액적으로 분열해서 미소 액적들로 분열되는 분무 현상을 관찰할 수 있다. 그리고 파단된 액막들이 작은 액적으로 분열된다. 이것은 공진실에서의 강한 충돌과 기체류의 난류성분의 증가로 인한 급속한 혼합이 이루어지기 때문이라고 생각된다.

본 실험으로부터, 기류에 의한 액체 미립화의 분열과정은 액주와 액막의 과정을 거쳐 공기의 상호작용 및 액적간의 충돌에 의해서 액적으로 발달되고, 기액 유량비가 증가할수록 공동 공진기에서의 충돌효과와 음향진동의 복합 작용에 의해서 작은 입경을 가진 액적으로 미립화가 일어나게 된다.

3.3 음향에너지에 따른 공진기의 위치, 깊이 변화의 분무 특성

음향 특성인 SPL (dB), f (kHz)와 미립화 특성은 공동 공진기를 가진 음향 에너지를 이용한 분사 노즐과 미립화에서의 Hartmann 효과에 의해서 구할 수 있다.

공진기의 위치 및 깊이의 변화가 분무특성에 미치는 영향을 알아보기 위해서 노즐 출구와 공진기와의 거리를 변화시킴으로써 분무 특성을 조사하고, 공진기의 깊이가 각각 다른 공진기를 사용하여 분무류의 평균입경을 측정하여 최적의 조건을 제시하고자 한다.

3.3.1 공진기의 위치에 따른 평균입경(SMD) 분포

음향 에너지를 발생시키는 공진기의 위치의 변화가 분무 특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 본 연구에서는 노즐 출구와 공진기 사이의 거리가 각각 2.5mm, 5mm, 7.5mm에서의 분무류 전 유동장에서의 평균입경 분포를 측정하여 분무 특성을 비교 및 분석함으로써 가장 양호한 미립화를 얻기 위한 최적의 조건을 제

시하고자 한다.

Fig. 8은 기액 질량유량비가 $Ma/M_1=1.8$ 일 때, 축 방향으로 거리가 50mm 위치에서 반경 방향으로의 평균입경 분포를 공진기의 위치가 노즐 출구로부터 각각 다른 지점에서 나타낸 것이다. Fig. 8에서 축 방향 거리는 노즐 선단으로부터의 거리로 정의되며, 반경방향 거리는 노즐의 중심 축으로부터 횡 방향 거리로 정의된다. 축 중심 부근에서는 평균입경이 작은 액적들이 분포하고 반경방향으로 멀어질수록 비교적 큰 입경들이 존재하게 된다.

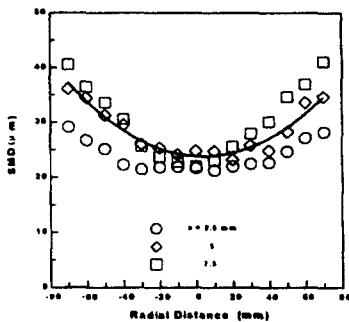


Fig.8 SMD distribution for different resonator position
($Z=50\text{mm}$, $Qa/Ql=1500$, $L=2\text{mm}$)

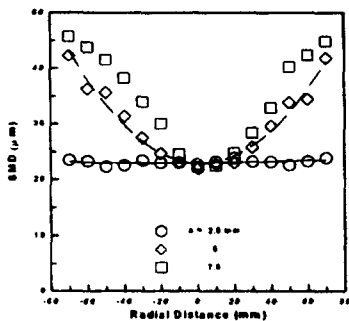


Fig.9 SMD distribution for different resonator position
($Z=100\text{mm}$, $Qa/Ql=1500$, $L=2\text{mm}$)

공진기의 위치가 노즐 출구로부터 거리가 멀어질수록 상대적으로 큰 입경을 가진다. 이러

한 현상은 노즐 출구로부터 분출하는 기·액 혼합류는 출구 밖과의 압력차에 의해서 팽창하게 되므로 거리가 멀어질수록 공동 공진기에서의 충돌효과의 감소와 공진기와 충돌을 일으키지 않고 바로 대기중으로 분사하는 액적들이 존재하기 때문에 일어나는 현상으로 판단된다.

Fig. 9는 공진기의 위치 변화에 따른 분무 특성을 측정하기 위해서 기액 질량 유량비가 $Ma/M_1=1.8$ 일 때, 축 방향으로의 거리가 100mm인 지점에서 반경방향으로의 평균입경 분포를 나타낸 것이다.

노즐 출구로부터의 거리가 25mm일 때 반경 방향의 변화에 따른 평균입경은 거의 일정한 분포를 가진다. 이런 현상은 2차 노즐부에서 일어나는 공동 공진에 의한 초음파, 즉 음향 진동의 영향이 크며, 공동 공진기에서의 높은 충돌 효과와 낮은 분사 저항에 의해서 일어난다. 그러나 거리가 5mm와 7.5mm에서는 축 중심에서 가장 작은 입경을 가지며 반경방향으로 갈수록 평균입경은 증가하는데, 이는 축 방향으로의 거리가 50mm일 때와 유사한 경향을 나타낸다. 이것은 거리 $a=5\text{mm}$ 이상인 위치에서는 분사 노즐 출구에서의 기·액 혼합류가 분출하면서 노즐 출구 밖과의 압력차에 의해서 팽창되므로 충돌 효과의 저하와 충돌을 일으키지 않은 액적들이 분무류의 외곽으로 존재하기 때문에 나타나게 된다.

3.3.2 공진기의 깊이(L)의 변화에 따른 평균입경(SMD) 분포

음향 에너지를 이용하여 공진기의 깊이(L)가 분무 특성에 미치는 영향을 조사하기 위해서 본 연구에서는 공진실의 깊이가 각각 0mm, 1mm, 2mm, 3mm인 공진기를 사용하여 분무류의 전 유동장에서 평균입경 분포와 속도 분포를 측정하여 분무 특성을 비교 및 분석함으로써 가장 양호한 미립화를 얻기 위한 최적의 조건을 제시하고자 한다.

Fig.10은 기·액 질량유량비가 $Ma/M_1=1.8$ 이고 축 방향으로의 거리가 $Z=50\text{mm}$ 인 위치에서

공진기의 깊이 L의 변화에 따른 평균입경 분포를 나타낸 것이다.

그림에서 공진실의 깊이에 따른 입경 분포를 명확하게 비교하기 위하여 공진실의 깊이가 2mm일 때의 입경 분포를 실선으로 curve fitting하여 나타냈고, 공진실을 가지지 않는 형태인 L=0mm일 때의 평균입경 분포를 점선으로 나타냈다.

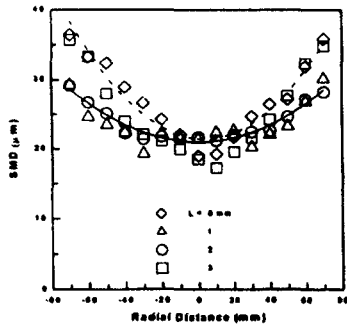


Fig.10 SMD distribution for different resonator depth
(Z=50mm, Qa/Ql=1500, a=2.5mm)

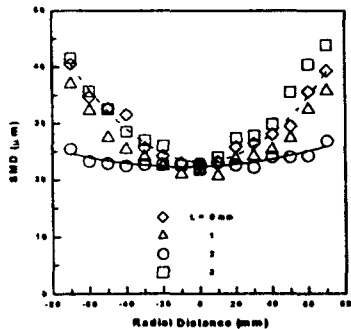


Fig.11 SMD distribution for different resonator depth
(Z=100mm, Qa/Ql=1500, a=2.5mm)

분무류의 평균입경은 축 중심에서 가장 작은 입경을 가지고 반경방향으로 멀어질수록 입경은 증가한다. 공진기의 깊이(L)가 0과 3mm에

서는 큰 입경을 가지고, 1과 2mm에서는 비교적 작은 입경분포를 나타낸다. 이러한 현상은 L=0일 때 공진기는 단순히 deflector의 역할을 함으로써 공진기의 표면에서 충돌한 비교적 큰 액적들이 분무의 외곽에 존재하게 된다. 그리고 L=3mm일 때는 공진기의 깊이가 너무 깊어 공진실 내에서 기·액 혼합류의 효과적인 충돌을 얻을 수가 없어 큰 입자들이 분무 외곽에 존재하게 된다.

Fig. 11은 기·액 질량유량비가 $Ma/M_l=1.8$ 일 때, 축 방향으로의 거리가 100mm인 지점에서 공진기의 깊이 L의 변화에 따른 평균입경 분포를 나타낸 것이다.

이 경우에도 분무류의 중심에서 평균입경이 가장 작고 반경방향으로 갈수록 평균입경은 커지는 Fig. 11과 비슷한 경향을 가진다. 분무의 하류에서는 액적들의 운동 에너지가 감소하여 액적 상호간의 충돌이 빈번해지고 합착될 가능성이 높아지게 되어 Fig. 11과 비교하여 상대적으로 큰 입경을 가진다. 그러나 Z=50mm에서는 L=1mm와 L=2mm가 거의 같은 입경분포를 가졌지만, Z=100mm에서 L=2mm는 비교적 평균입경이 작은 거의 일정한 입경 분포를 가진다. 이는 공진실의 깊이가 2mm일 때 기·액 혼합류가 공동 공진을 가지는 음향 진동과 강한 충돌을 일으켜 상대적으로 작은 입경을 가진 고른 입경 분포를 가진다는 것을 나타내고 있다.

따라서, 음향 에너지를 이용한 본 실험을 통하여 가장 양호한 미립화는 상대적으로 작은 입경을 가지는 공동 공진기의 깊이 L이 2mm에서 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

3.4 평균입경

여기서는 앞에서 수행한 실험인 음향 에너지를 이용한 노즐 출구와 공진기 사이의 거리 변화에 따른 분무 특성과 공진기의 깊이 변화에 따른 분무 특성으로부터 얻은 가장 최적의 조건에서 평균입경 분포를 통하여 분무 특성을 파악하고자 한다. 즉, 노즐 출구와 공진기 사이

의 거리가 $a=2.5\text{mm}$ 이고, 공진기의 깊이가 $L=2\text{mm}$ 일 때의 조건에서 평균입경을 측정하였다.

Fig. 12는 기·액 질량 유량비가 비교적 큰 $M_a/M_l=1.8$ 인 경우의 평균입경 분포를 반경방향의 변화에 대해서 나타낸 것이다.

이 경우에도 전반적으로 축 중심 부근에서 평균입경은 작고, 반경방향으로 갈수록 증가하는 경향을 가진다. 그러나 축 방향으로 거리의 변화에 따른 평균입경의 변화는 비교적 작고 노즐 선단으로부터의 거리가 약 100mm 인 지점부터는 거리의 변화에 따른 평균입경의 변화가 거의 없이 일정한 것을 알 수가 있다.

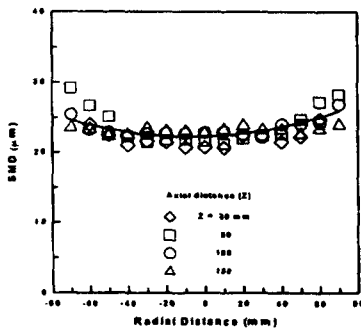


Fig. 12 SMD distribution for different axial distance
($Q_a/Q_l=1500$, $a=2.5\text{mm}$, $L=2\text{mm}$)

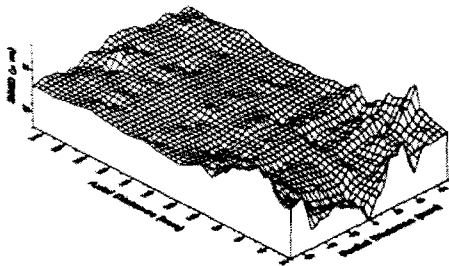


Fig. 13 SMD distribution for $M_a/M_l=1.8$
($M_l=1.33\text{ g/s}$)

Fig. 13은 기·액 질량유량비가 $M_a/M_l=1.8$ 일 때의 축 방향 및 반경방향으로의 평균입경의 변화를 3차원 공간분포로 나타낸 것이다

전술한 바와 같이, 노즐 출구와 가까운 상류 영역에서는 음향 에너지에 의해 축 중심에서 가장 작은 평균입경을 가지고 반경방향으로 갈수록 평균입경이 증가하는 것을 알 수가 있다.

그리고, 하류로 갈수록 축 중심에서의 평균입경은 서서히 증가하여 약 100mm 지점 이후부터는 거의 일정한 분포를 가진다.

따라서, 기·액 질량 유량비의 변화에 따른 평균입경 분포를 측정하여 분무 특성을 조사한 결과, 기·액 유량비가 증가할수록 평균입경은 작아지고 공진기에서의 음향 진동에 의한 양호한 미립화를 얻기 위해서는 상당한 기·액 유량비가 필요하다는 것을 알 수가 있다. 본 연구에서는 기·액 유량비가 4이상일 때 분무의 하류에서도 비교적 작은 입경을 가진 균일한 액적으로 분열된다는 것을 얻었다.

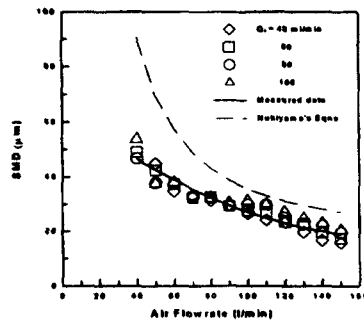


Fig. 14 SMD distribution for different liquid flow
($Z=100\text{mm}$, $R=50\text{mm}$)

Fig. 14는 축 방향으로의 거리가 100mm 이고 반경방향으로 50mm 인 지점에서 기체 유량의 변화에 따른 평균입경 분포를 나타낸 것이다.

그림에서 점선으로 나타낸 곡선은 Nukiyama와 Tanasawa⁹⁾에 의해 얻어진 이유체 분사 노즐의 평균입경 실험식을 나타낸 것이고, 실선의 곡선은 본 실험을 통해서 얻은 실험값을 이용하여 나타낸 것이다.

본 연구를 통해서 얻은 실험값이 Nukiyama와 Tanasawa에 의해서 얻어진 이유체 분사 노즐의 평균입경 분포보다 작은 입경을 가진 분포로 나타난다. 이러한 현상은 노즐 출구로부터 분출하는 기·액 혼합류가 공동 공진기에서의 강한 충돌효과와 음향진동에 의해서 나타나는 것으로 판단되며 음향 에너지를 이용하여 공동 공진기를 설치함으로써 미립화 성능이 아주 향상되는 것을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 1998년도 한국 과학 재단의 연구 과제(과제 번호:981-1005-035-1)의 연구비 지원에 의해 수행된 과제이며, 이에 관계자 여러분께 진심으로 감사드립니다.

5. 결 론

- (1) 기·액 혼합류의 다단식 분열에 의해 액체 미립화를 증진시킨다. 1차 노즐에서 고속의 기체유동에 의한 1차 미립화와 혼합실에서 난류유동에 의한 2차 미립화 그리고 공동 공진기에서 강한 유동 교란에 의해 마지막 미립화가 이루어진다.
- (2) 공동 공진기의 위치와 깊이는 미립화 성능을 좌우할 수 있으며, 음향 에너지에 따른 최적의 조건은 노즐과의 거리가 $a=2.5\text{mm}$ 에서, 공진기의 깊이가 $L=2\text{mm}$ 에서 얻었다.
- (3) 평균입경 분포는 축 중심에서 재순환 영역의 형성으로 작고, 반경방향으로 갈수록 증가하는 경향을 가진다. 분무의 하류에서 평균입경은 거의 균일한 분포를 가진다.
- (4) Nukiyama와 Tanasawa의 실험식과 비교한 결과, 노즐 출구에서 분출하는 기액 혼합류는 공진기에서의 강한 충돌효과와 음향진동에 의해 미립화가 촉진된다.

참고 문헌

1. Hartmann, Julius, Phys. Review 20, pp 144-150, 1922, J. Sci. Instr., 4, pp 101-111, 1927, Phil. Mag., 11, pp 926-948, 1931
2. Savory, L.E. Engineering, Aug. I, pp 99-100, 1950, Aug. II, pp 136-138, 1950
3. Borisov, Yu. Ya. and Stepanov, Yu. N., Sov. Phys. Acoust. 28, pp 5-8, Jan-Feb., 1982
4. Chiba,C., " The Compound Atomization by Air Action ", Proc. ICLASS-88, Tokyo, B6-4, 341-348, 1988
5. Hartmann, Jul., "On the Production of Acoustic Waves by means of an Air Jet of a Velocity Exceeding that of Sound", Mag. Vol. 11 Ser 7, pp. 927-948, 1931
6. Chiba,C., Hosogai, D. and Suzuki, K., "The Compound Atomization by Air Action", The 15th CLASS in Far East , pp. 97-102, 1987. 8
7. N. Nagai, "Combined twin-fluid atomizer with cavity fluid disperser", Proc. ICLASS-78, Tokyo, 9-1, 209-216, 1978
8. 윤면근, 류정인, "초음파 연료분사장치의 분무특성에 관한 연구". 한국액체미립화학회지, Vol. 1, No. 1, 1996
9. Nukiyama,S. and Tanasawa, Y., "Experiment on Liquid Atomization by Air Flow", Proceeding of JSME, Vol. 3, No. 15 : Vol. 4, No. 14 : Vol. 5, No. 18 : Vol. 6, No. 22. 1938-1940