

내부혼합형 2유체 분사노즐의 형상에 따른 분무특성

윤수한* · 정대인* · 하종률**

Spray Characteristics on Shape of Twin Fluid Atomizer by Internal Mixing Chamber Type

S. H. Yoon · D. I. Jung · J. Y. Ha

Key words : Twin fluid atomizer(2유체분무기), Spray angle(분무각), Mean drop size
(평균입경)

Abstract

I investigated experimentally the spray characteristics to the operating conditions and the shapes of internal mixing twin fluid atomizer.

The wide variations of air per liquid ratio are conducted to predict the influences of the Sauter mean diameter(SMD), spray angle, distribution of drop size, the flowing condition of gas and liquid in the internal and external sides of the mixing chamber, by means of the diameter and length, flowing area of gas and liquid, and diameter, number and place of the orifice.

In this experiment, air per liquid ratio, mixing chamber length per diameter, orifice diameter, and the flowing area ratio of gas and fluid influences greatly on SMD, spray angle, distribution of drop size and intermittent fluctuation region.

기호설명		G_a : 기체(공기) 중량	(kg/H)
D : 혼합실 내경	(mm)	G_w : 액체(물) 중량	(kg/H)
D_c : 오리피스 피치원 직경	(mm)	L : 혼합실 길이	(mm)
d_1 : 혼합실 입구 직경	(mm)	n_i : χ_i 의 입자수	
d_2 : 혼합실 출구(오리피스) 직경	(mm)	P_a : 기체(공기)관의 게이지 압력	(kg/cm ²)
\bar{d}_{32} : Sauters mean diameter	(mm)	P_w : 액체(물)관의 게이지 압력	(kg/cm ²)
d_{max} : 최대입경	(μ m)	S_a : 기체 유로 면적	(mm ²)
		S_i : 혼합실 입구 면적	(mm ²)

* 정회원, 동명전문대학

** 정회원, 동아대학교

S_o	: 혼합실 출구(오리피스) 면적	(mm^2)
S_w	: 액체 유로 면적	(mm^2)
V_B	: 기포 형성 체적	(mm^3)
V_T	: 혼합실 전체 체적	(mm^3)
χ_i	: 임의의 입경	(μm)

1. 서 론

액체의 미립화는 주로 액체연료의 연소를 목적으로 연구되어 왔으나 현재는 산업용 연소기, 내연기관, 미세가공, 분무건조, 화학반응기, 환경설비 등 산업전반에 걸쳐 널리 이용되고 있다.¹⁾ 최근에는 에너지 절약 및 효율문제, 대용량의 연소실 구조의 소형화, 짧은 시간내의 미립화 등에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

중유버너의 형식으로서 기체의 상대적 운동 에너지를 액체의 미립화에 이용하므로써 작은 부하변동에도 양호한 미립화를 얻을 수 있는 2유체 분무식으로서의 개선에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.²⁾³⁾ 2유체 분무식은 연료와 공기의 질량비를 일정하게 유지하여 미립화 특성을 바꿀 수 있기 때문에 연소실 구조에 맞도록 분무상태를 임의로 조절할 수 있으며 특히, 연소에 응용시 액체연료와 공기가 쉽게 혼합되고 균일 액적면에서 양호한 미립화를 얻을 수 있다.

Mullinger 등⁴⁾은 2상 유동이 환상-분무류 형태일 것으로 예측하였다. 2상 유체가 노즐로부터 분사되면 환상형태의 액체막이 형성되었다가 이 막이 깨지면서 작은 액적으로 미립화된다. 대부분의 경우 기체(공기 또는 증기)는 미립화 촉진을 위해 사용되며 2차공기(연소시 산화제)는 다른 방법으로 노즐 바깥에서 공급된다. 2유체 분사 노즐의 미립화기구, 평균입경, 노즐형상 등에 관한 연구가 계속되고 있으나^{5)~7)} 액면파의 거동, 액주의 유동형태, 액주내의 속도분포의 감소, 초기각란의 효과 등에 대한 국부적 정보로부터 실용 노즐을 설계 제작한다는 것은 어렵기 때문에 아직도 경험에 의존하고 있다.

2유체 분무식은 액체와 분무매체와의 혼합방법에 따라 외부혼합형과 내부혼합형으로 나눌 수 있다. 내부혼합형 2유체 분무기는 액체와 분무매체

를 혼합실 내부에서 혼합시켜 공기중에 분출시켜 미립화 시키는 방식으로써 중유버너, 석유화학에서의 반응기용 노즐 등 공업적으로 광범위하게 응용되고 있다. 내부혼합형 2유체 분무기의 장점은 비교적 고점도의 액체도 미립화시킬 수 있으며 비교적 적은량의 분무매체로서 저압으로도 쉽게 작은 입경의 분무군을 얻을 수 있다.⁸⁾ 그러나 내부혼합형은 기체와 액체가 혼재하는 혼상류가 되므로 유동특성이 매우 복잡하여 취급이 곤란하고 이에 대한 연구보고도 매우 적다.

본 연구에서는 내부혼합형 2유체 분무기의 형상 및 오리피스의 크기에 따른 분무특성 및 조작조건 등에 대한 특성을 실험적으로 조사 연구 하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

Fig. 1은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험장치는 노즐, 액체 공급장치, 공기 공급장치, 분무입도 측정장치 및 순간사진 촬영장치로 나누어진다. 사용된 시료액체(물)는 탱크에서 원심펌프에 의해 압송된 후 서지탱크에서 정압이 유지되고 밸브에 의해 유량조절되어 노즐의 혼합실에 유입된다. 분무매체인 공기는 콤프레샤에 의해 압송되고 니들밸브에 의해 유량조절되어 혼합실에 유입되며 오리피스를 통해 액체와 함께 대기중으로 분사된다. 공기유량 측정에는 열선유속계를 사용하였으며, 액체유량 측정에는 Load Cell 방식 유속계와 Float식 유량계를 병용하였다. 공기 및 물의 분사압력은 각각 게이지압력으로 0~5.0 $\text{kg/cm}^2\text{g}$, 0~4.5 $\text{kg/cm}^2\text{g}$ 로서 공기와 물의 중량비 G_a/G_w 를 여러가지로 변화시키면서 실험했다. 분무노즐의 내부 즉, 혼합실의 상태를 관찰할 수 있도록 노즐은 투명 폴리카보네이트로 제작하였다. Fig. 2는 분무노즐의 형상이다.

분무액적의 입경측정은 유리판에 1000CS의 실리콘 오일을 1mm의 두께로 도포하여, 분공으로부터 450mm 밑에서 분무입자를 샘플링하여 프로파일 프로젝터에서 분무입경을 10 μm 간격으로 측정하였다.

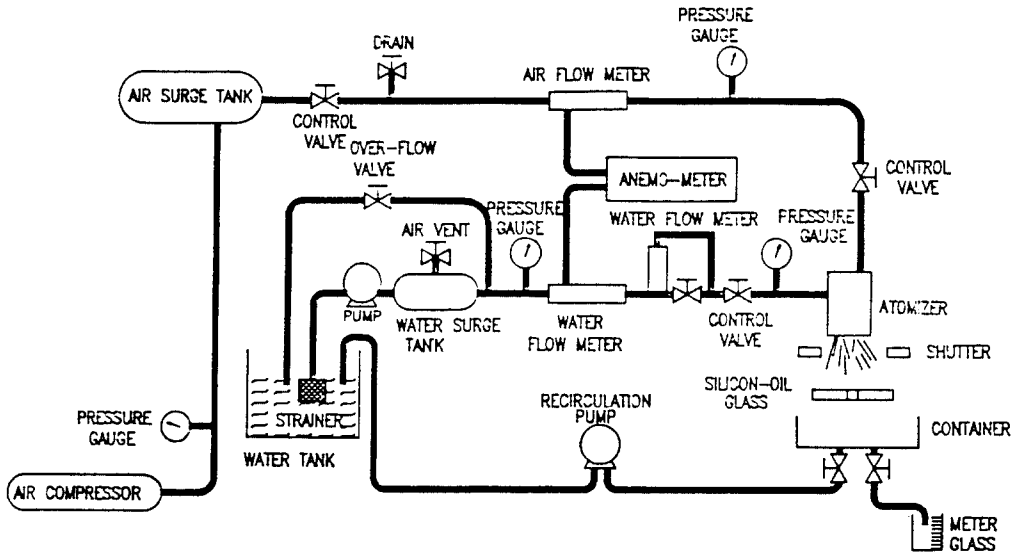


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

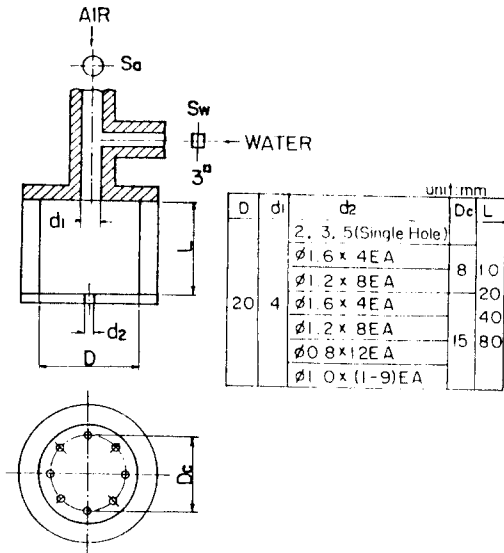


Fig. 2 Schematic diagram of atomizer and its dimension

3. 실험결과 및 고찰

3. 1 유동상태와 미립화의 형태

액체유량을 일정하게 유지하면서 기체유량을 증가시킬 경우 혼합실내의 유동상태 및 미립화형

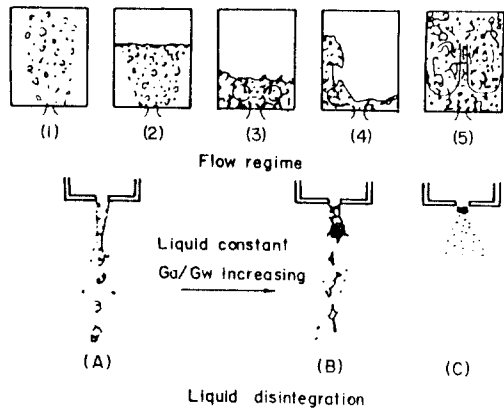


Fig. 3 Illustration of flow regime within mixing chamber and liquid disintegration

태는 Fig. 3과 같다. 기체유량이 적은 (1)에서 액체는 혼합실 내부를 층만시키면서 유동하며 기체는 혼합실 중앙부근을 기포를 이루면서 유동하고 있다. 기체유량을 증가시키면 액면이 낮아지기 시작하고 (3)에서는 액면이 더욱 낮아지면서 혼합이 생기기 시작한다. 기체유량이 더 증가되면 기체와 액체가 격렬히 혼합되면서 액면에 격심한 진동이 발생하며 기체를 더 증가시키면 상태(5)와 같이 되면서 기체와 액체가 혼합실 전체에서 격렬히 혼합된다.

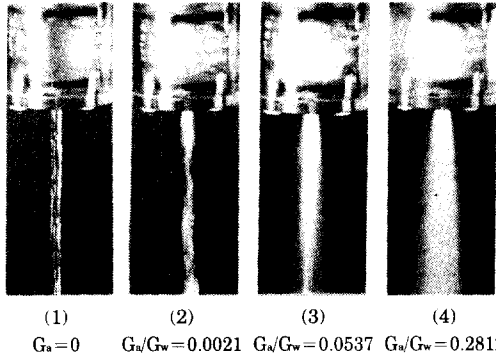


Fig. 4 Photographs of mixing pattern variation in the mixing chamber and spray variation with increasing in G_s/G_w
($L=20\text{mm}$, $D=20\text{mm}$, $d_z=3\text{mm}$, $G_w=80\text{kg/H}$)

미립화 형태에서 (A)는 유동상태 (1), (2)에서 나타나는 현상으로 기포를 함유한 액주가 오리피스로부터 유출되어 매우 거친 액적이 된다. (B)는 유동상태 (3), (4)에서 나타나는 현상으로 오리피스로부터 가늘게 유출되어 대기중에서 가지형태로 변형 분열되어 액적이 된다. (C)는 유동상태 (5)에서 나타나는 현상으로 가늘게 유출되는 즉시 분무액적으로 되어진다. 이상으로부터 가장 안정된 미립화가 이루어지는 것은 유동상태 (5)인 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 혼합실 내의 기체와 액체의 유동상태를 나타낸 순간사진이다. (2)는 기액의 분리가 일어나는 경우로서 공기가 미소한 경우에는 혼합실 내에 기포가 산재하여 이른바 기포탑의 경우에 볼 수 있는 것과 같은 기포류가 되고 (3), (4)와 같이 공기량을 증가시키면 점점 격렬한 기액의 에멸존 상태가 되어 작은 액체입자가 되어 오리피스를 통과하면서 더욱 작은 입자로 분무된다. 이를 통하여 볼 때 오리피스를 가진 내부혼합형 2유체 분사기구에서는 다른 분무기와 달리 막상분열이 아닌 것으로 판단된다. 따라서 이 분무기의 분열기구는 혼합실 내에서 액체가 기체에 의해 잘게 깨어져 오리피스로부터 기체와 함께 고속으로 유출되어 대기중에서 기체의 팽창에 의해 액체는 2차로 변형 파괴되어 미세한 분무액적이 생성되는 것으로 생각되어진다.

Fig. 5와 같이 혼합실의 길이가 내경에 비해 긴

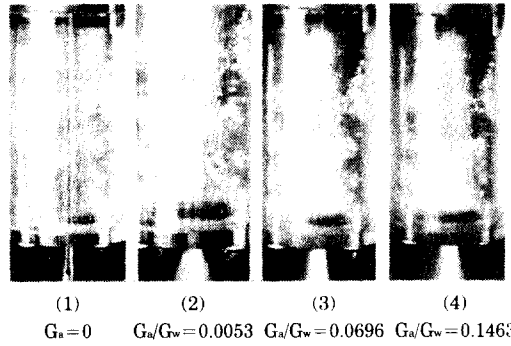


Fig. 5 Photographs of mixing pattern variation in the mixing chamber with increasing in G_s/G_w
($L=60\text{mm}$, $D=20\text{mm}$, $d_z=3\text{mm}$, $G_w=80\text{kg/H}$)

경우는 (2)에서와 같이 공기량이 미소한 경우에는 기포류를 형성하지만 (3), (4)에서와 같이 공기량을 증가시키 나가면 혼합실 내에서 환상류 혹은 분무류와 비슷한 상태로 되어 기액의 분리가 발생한다.

3. 2 혼합실 내부에서의 기포층 비율

혼합실 내부에서 기포층이 점유하는 체적과 혼합실체적의 비율 V_B/V_T 가 혼합실의 칫수에 따라

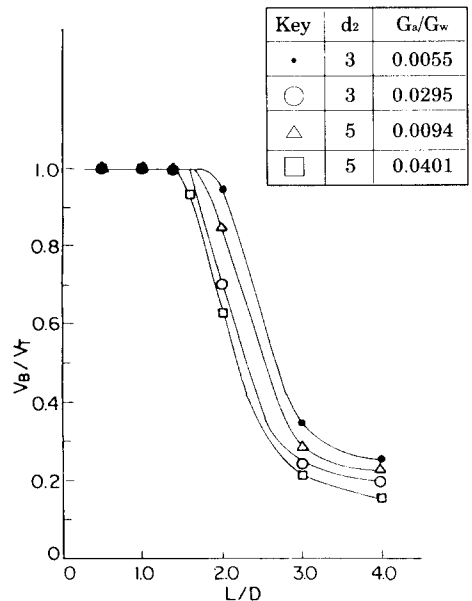


Fig. 6 Relation between V_B/V_T and L/D

어떻게 변화 하는가를 나타낸 것이 Fig. 6이다. Fig. 6에서 V_B/V_T 는 혼합실의 대소에 관계없이 단지 L/D 의 비에 의해 혼합실 전체에 기포층이 형성되든지, 혹은 기액이 분리되어 기포층이 일부만 형성되든지가 결정된다.

3. 3 평균입경 (SMD)

평균입경은 액체의 미립화 특성을 나타내는 것으로 노즐의 성능을 파악하는데 편리하게 이용된다. 분무 액적군의 물리적 요소인 입자수의 총합, 입경의 총합, 표면적의 총합, 액적의 총합을 고려하여 이들 4개의 인자중 2개의 양을 조합하여 평균입경(SMD)을 다음과 같이 일반식으로 표시할 수 있다.

$$\bar{d}_{pq} = \left(\frac{\sum \Delta n_i \cdot \chi_i^p}{\sum \Delta n_i \cdot \chi_i^q} \right)^{\frac{1}{p-q}}$$

여기서 \bar{d}_{pq} : 평균입경(SMD)

- χ_i : 입자의 입경
- n_i : χ_i 의 입자수
- p : 1~3의 정수
- q : 1~2의 정수

평균입경은 용도에 따라 여러가지가 쓰이고 있지만, 일반적으로 액체연료의 증발이나 연소현상을 고찰할 때는 Sauters mean diameter(SMD)라고 불리는 \bar{d}_{32} 가 사용된다. 본 연구에서는 이를 평균입경으로 하였으며 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{d}_{32} = \frac{\sum \Delta n_i \cdot \chi_i^3}{\sum \Delta n_i \cdot \chi_i^2}$$

여기서 n_i 는 포집된 입자의 입경이 $\chi_i \pm 5\mu\text{m}$ 인 입자의 갯수로 정하였다.

Fig. 7은 혼합실의 내경 $D=20\text{mm}$, 길이 $L=20\text{mm}$, 액체유량 $G_w=40\text{kg/H}$ 인 경우에 대해 공기유량 G_a 를 변화 시키는데 따른 평균입경의 변화를 오리피스 직경 d_2 에 따라 측정하였다. 그림에서 나타나듯이 공기유량 G_a 가 증가 할수록 평균입경은 지수함수적으로 감소되고 있는데 이는 G_a 가 증가 할수록 혼합실 내부에서 격렬하게 에멀존이 형성되어 액체입자가 작아지며 내부압력이 증가되어 오리피스를 통과하는 속도가 커지기 때문으로 생각된다. 오리피스의 직경이 작을수록 분무 평균입

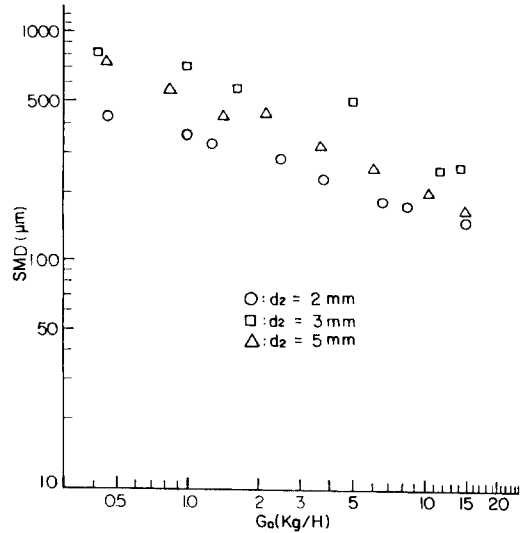


Fig. 7 Influence of orifice diameter on SMD
($D=20\text{mm}$, $L=20\text{mm}$, $G_w=40\text{kg/H}$, Single Hole)

경이 작아지는 현상도 마찬가지로 내부압력 증가와 오리피스 통과속도가 커진데 따른 에너지 증가로 분무 후 기체의 체적이 순간적으로 늘어나면서 액체입자를 재분열 시키는데 따른 것으로 생각된다. 그러나 오리피스의 직경 d_2 가 2mm 이하인 경우는 간헐분사가 발생하기 쉬우므로 작은 오리피스를 사용하는 경우는 단공이 아닌 다공으로 할 필요가 있다고 생각된다.

Fig. 8은 평균입경에 미치는 혼합실의 길이 L 의 영향을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 혼합실 길이의 영향은 거의 없이 공기량의 증가에 따라 평균입경은 지수함수적으로 감소되는 경향이 있다. 그러나 $L=60\text{mm}$ 의 경우 전반적으로 $L=20,40\text{mm}$ 에 비해 약간 크게 나타나는데 이는 기액의 분리에 의해 충분한 에멀존이 형성되지 못한 상태에서 분사되기 때문으로 생각된다.

Fig. 9는 G_w 를 40, 80kg/H로 변화시켰을 경우, 기액 유량비 G_a/G_w 의 변화에 따른 평균입경의 변화를 혼합실 길이 L 에 따라 측정하였다. 평균입경은 기액 유량비가 증가 할수록 지수함수적으로 감소 되었으며 G_a/G_w 가 같을 경우 유량에는 거의 무관함을 알 수 있다. 혼합실의 길이 L 에 대한 영향은 Fig. 8에서와 같이 거의 없는 것으로 나타났다.

또한 평균입경에 미치는 오리피스의 크기와 수,

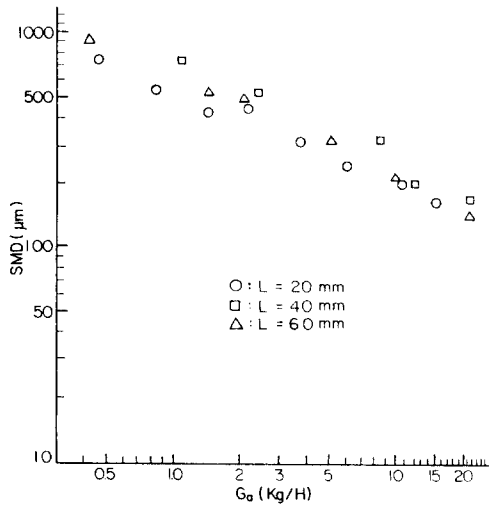


Fig. 8 Influence of mixing chamber length on SMD
(D=20mm, d₂=3mm, G_w=40kg/H, Single Hole)

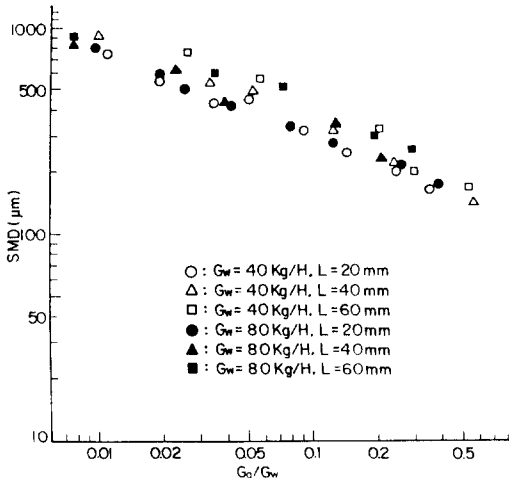


Fig. 9 Influence of G_g/G_w on SMD
(D=20mm, d₂=3mm, Single Hole)

오리피스 위치의 영향에 대해서는 그 단면적이 같다면 오리피스의 크기나 수에 의해서는 평균입경에 그다지 차이가 없었다. 또한 오리피스 위치의 영향도 없었다.

3. 4 입도분포

Fig. 10은 D=20mm, L=20mm, d₂=3mm인

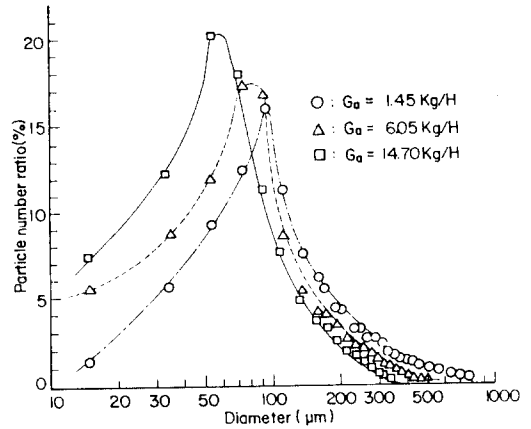


Fig. 10 Drop size distribution
(D=20mm, L=20mm, d₂=3mm, G_w=40kg/H, Single Hole)



G_g/G_w=0.1247

Fig. 11 Sample photograph of spray droplets
(D=20mm, L=20mm, d₂=3mm, G_w=80kg/H, Single Hole)

혼합실에서 액체유량 G_w=40kg/H를 유지하면서 공기유량을 변화시켰을 때의 입도분포를 나타낸 것으로 기액유량비가 증가 할수록 입도분포 곡선의 폭이 좁아지고 최대입경도 작아지며, 입경이 작은 액적의 수가 많이 분포되어 있다.

Fig. 11은 입도분포의 예를 나타낸 사진으로서 기액유량비가 0.1247인 경우의 입도분포의 일부를 나타낸 것이다.

3.5 분무각(Spray angle)

분무각은 기액혼합류의 속도에 따라 결정되어지며, 특히 연소측면에서 중요한 요소중의 하나이다.

Fig. 12는 $D=20\text{mm}$, $L=20\text{mm}$, $d_2=3\text{mm}$ 의 상태로 $G_w=80\text{kg/H}$ 를 유지하면서 기액유량비를 변화시켰을 때의 분무각 사진이다. 공기유량이 0인 (1)의 경우에는 길고 매끈한 액주흐름을 볼 수 있으나 기액유량비가 미소한 (2)의 경우에는 액주의 길이가 짧아지고 약간의 분무각을 형성한다. (3)의 경우가 되면 완전한 분무각을 형성하지만 액적은 거친편이다. 기액유량비가 증가하여 (4)의 상태가 되면 완전한 분무형태를 이루며 노즐축을 중심으로 흐르는 공기량이 많아 분무외곽의 미세한 액적등이 공기의 흐름에 동승하여 분무각은 작아지며, 그 이후는 (5)와 같이, 분무각의 변화는 완만하게 줄어든다.

Fig. 13은 기액유량비 증가에 따른 오리피스 직경 d_2 의 변화에 대한 분무각을 도시한 것이다. d_2 에 관계없이 분무각이 점차적으로 증가하다가 감소하는 경향을 나타내고 있다.

G_a/G_w 가 0.05~0.15까지 분무각이 증가하는 것은 미립화 촉진 과정으로서 액적이 다소 크므로 액

적의 운동량이 커서 공기의 흐름에서 벗어나기 때문에 분무각이 증가하며, 그 이후는 기체의 유량이 증가함에 따라 혼합실 내에서 격렬한 혼합에 의해 미세한 에멀존이 형성되므로 액적이 미세하게 되고 오리피스를 통과하는 공기의 유속이 증가하여 액적이 공기의 흐름에 동승하므로써 분무각이 점차적으로 줄어든다고 생각된다.

Fig. 13에서 d_2 가 5mm인 경우, 기액유량비가 낮은 경우는 분사각이 현저하게 작고 기액비가 높은 경우는 오히려 크게 나타난 것은 오리피스 직경이 상대적으로 커서 혼합실내의 압력도 낮고 공기의 분출속도가 작아서 미립화시키는 공기량도 많이 필요하고, 분무형성 후에도 액적이 비교적 크기 때문으로 생각된다.

Fig. 14는 혼합실 길이 L 의 변화에 대해 기액유량비 증가에 따른 분무각을 도시한 것이다. 여기에서 $L=20\text{mm}$ 에서 G_a/G_w 가 비교적 높은 경우 $L=40, 60\text{mm}$ 에 비해 현저히 분무각이 작아지는 것은 L 이 작을수록 혼합실 내에서 충분히 입도가 작은 에멀존이 형성되어 오리피스를 통과 할 경우 액체는 공기에 동승하여 분사되는 반면 L 이 클 경우 혼합실내에서 기액의 분리가 발생되어 입자도 커지며 또한 내부압력도 전자에 비해 낮기 때문으로 생

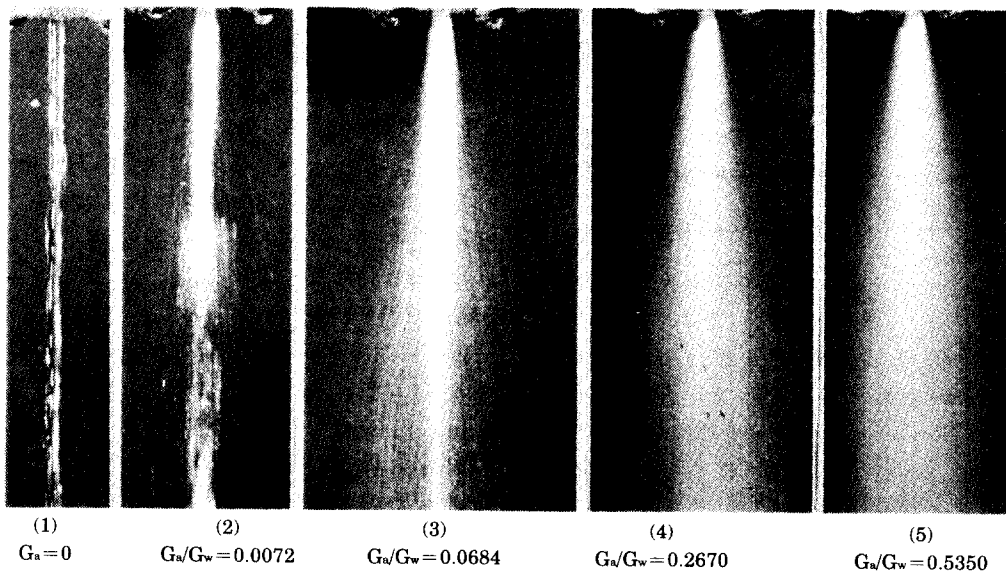


Fig. 12 Photographs spray variation with increasing in G_a/G_w .
($D=20\text{mm}$, $L=20\text{mm}$, $d_2=3\text{mm}$, $G_w=80\text{kg/H}$, Single Hole)

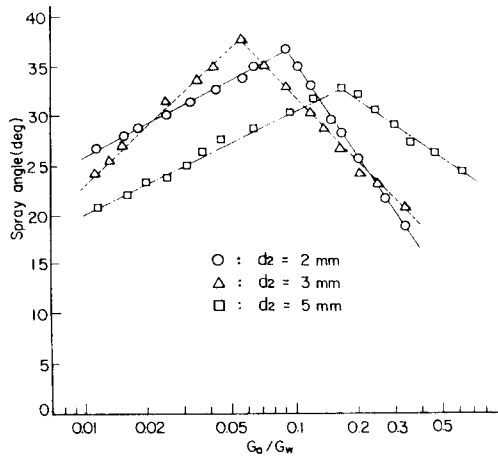


Fig. 13 Influence of orifice diameter on spray angle
(D=20mm, L=20mm, Gw=40kg/H, Single Hole)

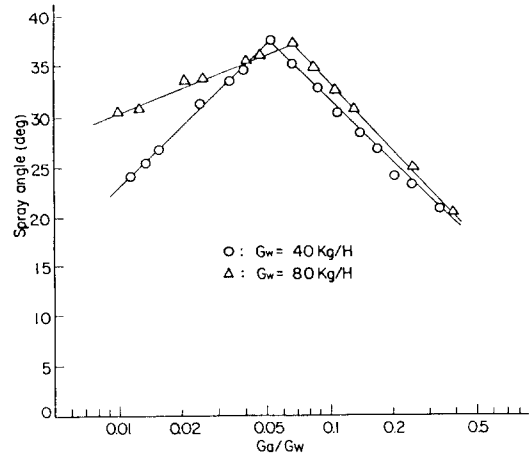


Fig. 15 Influence of liquid flow rate on spray angle
(D=20mm, L=20mm, dz=3mm, Single Hole)

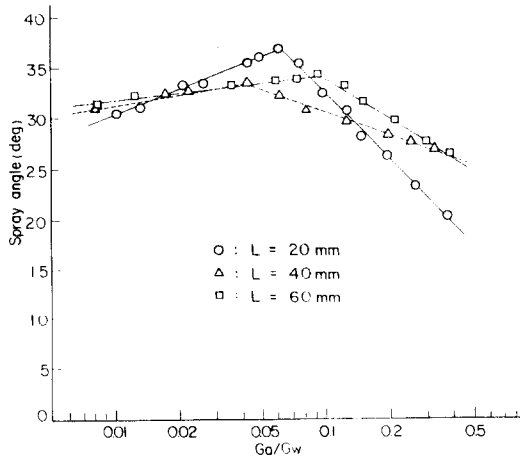


Fig. 14 Influence of mixing chamber length on spray angle
(D=20mm, dz=3mm, Gw=80kg/H, Single Hole)

각된다.

Fig. 15는 G_w 를 40, 80kg/H로 변화 시켰을 경우의 기액유량비 변화에 따른 분무각의 변화를 나타낸 것이다. $G_w=80\text{kg/H}$ 의 경우가 $G_w=40\text{kg/H}$ 의 경우에 비해 동일한 기액유량비인 경우는 상대적으로 공기량이 많아 일찍 미립화하기 때문에 기액유량비가 0.05까지는 $G_w=80\text{kg/H}$ 의 경우가 분무각이 더 크게 나타났다.

3. 6 간헐분사

내부혼합형 분무기의 특징은 기액의 혼합이 대기중에 분사되기 이전에 일어나므로 외부혼합형 분무기와는 달리 정체현상을 생기게 하여 간헐분사가 되기 쉽다. 이것은 보일러나 가열로 등에서 연소를 할 때에 화염의 불안정이나 실화되는 큰 원인이 되어 운전조작상 및 안정성에서도 큰 문제가 된다.

본 실험에서는 각종의 혼합실 치수 및 오리피스 면적에 대해 액체 및 기체의 압력을 변화시켜 간헐분사가 발생하는 범위를 구하였다. 실험조작으로는 먼저 액체의 분사압력을 일정하게 하고 공기의 분사압력을 서서히 증가시키면 분무는 정체를 시작으로 불안정하게 된다. 이 정체가 시작되기 직전의 액체 및 기체의 분사압력을 읽어 그 상태를 안정한계로 하였다.

Fig. 16은 액체의 유로면적 S_w 가 공기의 유로면적 S_a 의 0.716배인 경우의 예를 나타낸 것이다. 그럼에서 혼합실 입구와 출구의 단면적비 S_o/S_i ($S_w=\text{constant}$)가 클수록, L/D 가 작을수록 P_a/P_w 는 크게된다. 즉 안정한계선 이상의 부분은 불안정영역, 이하의 부분이 안정 영역이 되므로 S_w/S_a 가 클수록, L/D 가 작을수록 안정영역이 넓어진다는 것을 알 수 있다.

Fig. 17은 $S_w=S_a$ 로 했을 경우를 나타내는 것으

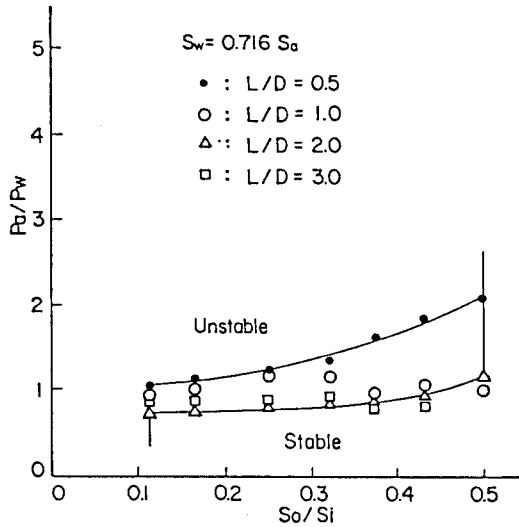


Fig. 16 Influence of S_o/S_i and L/D on the intermittent fluctuation region ($S_w/S_a=0.716$, $D=20\text{mm}$)

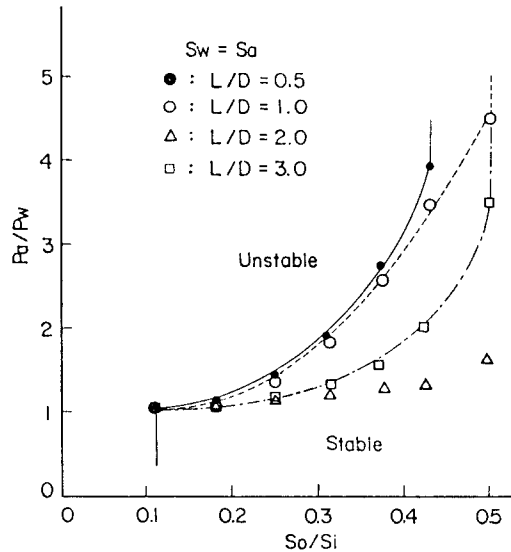


Fig. 17 Influence of S_o/S_i and L/D on the intermittent fluctuation region ($S_w/S_a=1.000$, $D=20\text{mm}$)

로서 안정영역이 훨씬 넓어진 것을 알 수 있다. 이로서 S_w/S_a 가 클수록 안정영역은 더 커진다는 것을 예견 할 수 있다.

4. 결 론

내부혼합형 2유체 분무기의 혼합실 형상에 따른 분사조건, 분무상태, 분무입도, 운전조건 등을 실험하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 내부혼합형 분무기에서 혼합실내의 기체와 액체의 유동상태는 혼합실의 형상에 의해 2종류로 나눌 수 있다. 즉 $L/D \leq 1.7$ 에서는 공기량의 다소에 관계없이 기포층이 형성되고 $L/D > 1.7$ 에서는 공기량에 따라 유동상태가 변하고 기액의 분리가 발생한다.

2) 평균입경은 혼합실의 길이, 오리피스 구멍의 수나 위치에는 큰 영향이 없고 오리피스 구멍의 크기 d_2 및 기액유량비 G_a/G_w 에 의해 변한다.

본 실험의 범위에서는 최대입경 $d_{max} = (1.5 \sim 3.0) \bar{d}_{32}$ 로 되었다.

3) 기액유량비가 증가할수록 평균입경은 지수함수적으로 감소되고, 입도분포 곡선의 폭은 좁아지며, 분무각은 점점 증가하다가 $G_a/G_w 0.05 \sim 0.2$ 이상이 되면 분무액적이 기체의 운동에 편승하여 분무각은 감소된다.

4) 내부혼합형 분무기는 다른 분무기에 비해 간헐분사로 되기 쉬워 운전조작의 범위가 한정된다. 이 정제분사는 기액유로 면적 및 분사 단면적과 관계되어진다. 즉 $S_a \leq S_w$ 가 되고 $S_o/S_i = 0.5$ 는 되어야 안정된 분사가 이루어진다.

參考文獻

- 1) 金丙文, 金赫柱, 李忠遠, "二流體 噴射노즐의 混合領域 形象에 따른 噴霧 特性", 大韓機械學會論文集, 第15卷, 第6號, (1991) pp. 2147~2159.
- 2) 佐藤 豪, 福井直靜, "二流體渦卷 噴射弁に關する研究", 日本微粒化講演會, (1972) pp. 23~26.
- 3) 인왕기, 이상용, 송시홍, "Y-JET 2-유체 분무노즐 내부유동의 모델링", 大韓機械學會論文集, 第17卷, 第7號, (1993) pp. 1841~1850.
- 4) Mullinger.P.J. and Chigier.N.A., "The Design and Performance of Internal Mixing Multijet Twin Fluid Atomizers", Journal of the Institute of Fule, Vol. 47, (1974) pp. 251~261.
- 5) Lee.Ch.W. and Kim.D.J., "Influence of CO - Axial

- Air Flow on the Breakup Length of Smooth Liquid Jet", KSME, Vol. 12, No. 6, (1988) pp. 1390~1398.
- 6) Anson.D., "Influence of the Quality of Atomization on the Stability of Combustion of Liquid Fuel Sprays", Vol. 32, (1953) pp. 39~51.
- 7) Lefebver.A.A. and Miller.D., "The Development of an Air Blast Atomizer for Gas Turbine Application", Cranfield College of Aronautics Report, Aero No. 193, (1960)
- 8) 佐賀井武 等, "オリフィスを有する内部混合二流體噴霧器の壓力損失", 日本, 微粒化講演會, (1979) pp. 61~64.