

〈技術論文〉

## 제한된 공간내 분무의 유동특성 실험

정선재\* · 이상용\*\*

(1992년 2월 15일 접수)

### Experimental Study on the Flow Characteristics of a Confined Spray

Seon Jae Jeong and Sang Yong Lee

**Key Words :** Confined Spray(제한된 공간내의 분무), Mass Flux(질량유속), Drop Size(입경), Volume Concentration(체적밀도)

#### Abstract

A series of experiment has been performed on the spray characteristics in a cylindrical confined space with the injection pressure taken as a parameter. By using a single-hole patternator and the Malvern particle sizer, the spray mass flux, drop size and volume concentration distributions along the radial and axial directions were obtained; the line-of-sight data by Malvern particle sizer have been converted to the ring-of-sight data by using the tomographical transformation technique. The experimental results show that, due to the restriction on the ambient gas entrainment by the wall boundary, the effective spray angle is increasing. The spray drops were measured to be smaller in the confined space because of a large number of floating small drops by recirculation of the gas phase and the breakup of large drops by the wall collision. Also the details on the flow behavior of the confined spray are discussed.

#### 기 호 설 명

$D_c$  : 제한된 공간의 직경 mm  
 $d_i$  :  $i$ 번째 직경 그룹의 입경 mm  
 $L_c$  : 제한된 공간의 길이 mm  
 $M_{cr}$  : 매스 실린더로 떨어지는 물방울의 임계질량 g  
 $M_t$  : 일정한 시간동안 매스 실린더로 떨어지는 물방울의 전체질량 g  
 $N_i$  : 직경이  $d_i$ 인 액적의 수  
 $P_{in}$  : 분사 압력 kPa  
 $r$  : 분무 중심으로부터의 반경방향 거리 mm  
 $smd$  : 국부적인 위치에서의 sauter 평균직경  $\mu m$   
 $SMD$  : Sauter 평균직경  $\mu m$

$SMD_t$  : 임의 분무단면에서의 단면평균 Sauter 평균직경  $\mu m$   
 $v$  : 액적의 체적밀도  
 $z$  : 노즐출구로부터의 축방향거리 mm

#### 1. 서 론

액체 분무란 분사되는 액체를 노즐을 통하여 작은 액적들로 미립화시켜 액적의 표면적을 넓혀줌으로서 분사 액체와 주위 기체사이의 열 및 물질 전달을 크게 촉진시키는 것을 말한다. 현재까지 액체 분무와 관련된 현상에 대한 기본적인 연구로는, (1) 분무 노즐 안에서의 유체 유동의 수력학적인 특성의 연구, (2) 액체막의 형성과 그 분산 현상(미립화)에 대한 연구, (3) 미립화된 액적들의 운동, 그

\*한국과학기술원 기계공학과

\*\*정회원, 한국과학기술원 기계공학과

리고 액적들과 주위 기체와의 상호 작용에 대한 연구 등으로 나눌 수 있다. 그런데 액체 분무 특성에 영향을 미치는 인자들, 예컨대, 노즐의 형태, 분사 압력, 분사 액체의 조건(온도, 밀도, 점도, 표면장력), 주위 기체의 조건(온도, 압력, 점도, 밀도), 그리고 노즐 내부의 복잡한 유동 등으로 인하여 액체 분무의 해석적인 접근에는 많은 제한이 있으며, 따라서 실험적인 방법에 의해 주로 연구가 수행되어 왔다.

그러나 지금까지 액체 분무와 관련된 실험적 연구 결과들은 대부분 개방 상태에서 수행된 것으로 그 결과들을 가지고 제한된 공간내의 분무 유동, 예를 들면 내연 기관의 연소실이나 산업용 로(furnace), 분무건조기 등의 액체분무 상태를 유추한다는 것은 무리이다. 제한된 공간내에서는 벽면에 의한 기체 유입의 차단으로 인하여 기체 유동의 변화와 함께 분무 액적의 분포 상태도 변화하게 되며 결국은 분무 현상의 변화를 초래하게 되는데 이에 대한 연구보고는 실험적인 어려움 등으로 인하여 대부분 수치적 해석(numerical simulation)에 의존하고 있는 형편이다. Fig. 1은 제한된 공간과 개방 공간에서의 액적과 기체유동의 전체적인 개략도를 나타내었다. 개방 상태에서는 분사된 액적의 유동에 의해 주위기체가 측면으로 유입되고 이에 따라 작은 액적들이 분무중심 부분으로 이동된다. 그러나 제한된 공간에서는 작은 액적들이 부유하는 재순환영역(A, B)의 존재를 간단한 가시화 실험을 통하여 확인할 수 있으며 이에 따라 액적의 공간 분포상태는 개방 상태와 다름을 예측할 수 있다. 개방 상태에서 분무와 관련된 주위 기체의 유동에 대한 연구 결과로는 Rothe와 Block<sup>(1)</sup>, Benatt와 Eisenklam<sup>(2)</sup>, Francis등<sup>(3)</sup> 그리고 Tishkoff<sup>(4)</sup>등이 보고 되어 있다. 제한된 공간내의 액체분무 유동과 유사한 제한된 공간내의 기체 분류(jet)의 특성에 대해서는 Park와 Chen<sup>(5)</sup>, Habib와 Whitelaw<sup>(6,7)</sup>등에 의하여 연구가 이루어졌다. 이들은 제한된 공간내에 기체가 분사될 때 분사 노즐의 형태나 분사 유량, 선회(swirl)계수 등을 변수로 하여 레이저 유속계(LDV)나 열선 유속계(hot wire anemometer)를 이용한 기체의 속도장에 대하여 보고하고 있다. 제한된 공간내의 액체분무 유동에 대한 연구는 Park와 Chen<sup>(8)</sup>, Liu등<sup>(9)</sup>의 연구결과 등 불과 몇 개 만이 알려져 있다. 이들은 기체분류에 입경이 알려진 작은 고체입자를 띄워 함께 분사하면서 주

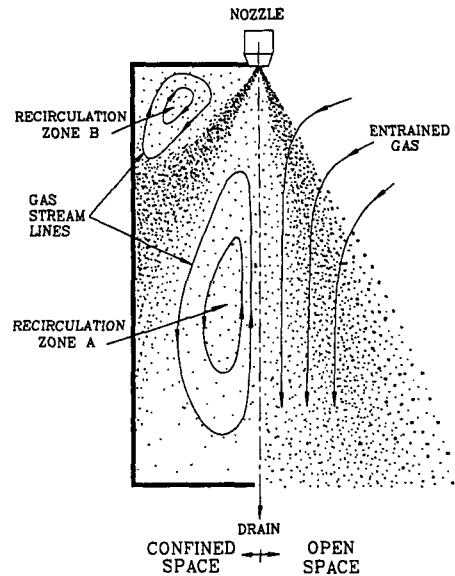


Fig. 1 Schematic diagram of the spray flow pattern

로 고체입자들과 기체의 속도장에 대하여 보고하고 있다. 그러나 액체분무 유동에서 중요한 액적의 공간적인 입경분포 등은 아직 자세히 알려져 있지 않은 형편이다.

본 연구에서는 실험적 방법에 의하여 분무 특성을 지배하는 변수들 중 기본적으로 분사 압력을 변화시키면서 공간의 제한여부에 따른 분무 특성(액적의 질량 유속분포, 입경 분포와 체적밀도 분포)을 살펴보고 아울러 제한된 공간내의 분무유동에 대한 수치해석 결과를 검증할 수 있도록 구체적인 기준 실험데이터를 제시하는 데 목표를 두었다.

## 2. 실험 장치 및 노즐

### 2.1 실험 장치

전체적인 실험 장치는 Fig. 2와 같다. 필요한 분사 압력을 얻기 위해 펌프(2마력)를 상온의 물이 들어 있는 수조에 연결하였고 펌프의 진동등에 의한 압력 변동을 감소시키기 위해 완충기(accumulator)를 사용하였다.

시험부(test section)는 패턴내이터(patternator)를 이용한 질량유속 측정과 광산란 기법을 이용한 입경 측정을 위해 별도로 2개를 제작하였다. 시험부 I은 내경 110mm인 아크릴 관으로 제작하였고 밀면은 상하로 이동할 수 있도록 하여 시험부의 길이를 변경하면서 실험할 수 있도록 하였다. 또한

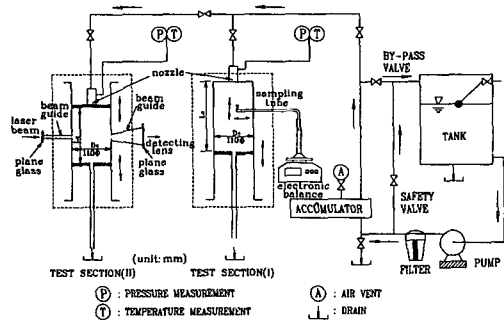


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental set-up

아크릴 관을 분리할 수 있도록 만들어 개방 상태에서의 실험도 가능하게 하였다. 시험부 II는 시험부 I에서와 같은 내경의 아크릴 관을 사용하였고, 시험부내의 각 위치에서 입경을 측정하기 위하여 수평 방향과 수직 방향으로 실험 부분의 이동이 가능하게 만들었다. 또한 벽면을 따라 흘러 내려오는 물로 인한 광산란 측정의 어려움을 피하기 위해 레이저 빔 (beam)의 직경(10 mm)과 수광 렌즈의 초점 거리등을 고려하여 시험부의 양쪽에 구멍을 내고 길이가 약 200 mm 정도인 빔 가이드 (beam guide)를 양쪽에 바깥 방향으로 붙였다. 그리고 가이드를 통한 외부와의 공기 유동을 막기 위해 빔 가이드의 양끝을 평면 유리 (plane glass)로 막았다. 또한 시험부 I과 같이 시험부 II도 아크릴관을 분리해 낼 수 있도록 하여 개방 상태의 실험이 가능하도록 하였다.

2.2 노즐

본 연구에서 사용한 노즐은 산업용으로 가장 흔히 사용되고 비교적 낮은 압력에서도 효과적으로 액체를 미립화 시키는 TX-3노즐 (Spraying Systems Co.)로서 Fig. 3에서 보듯이 점선 입구가 하나인 심플렉스형 와류분무 노즐이다. 이 노즐에서는 액체가 와류실 바깥 부분에서 점선 방향의 작은 흡을 통하여 와류실 내로 들어와 강한 와류를 형성한다. 분사 액체는 노즐을 벗어나면 축방향 속도 성분과 점선 방향 속도 성분에 의하여 일단 속이 빈 원추형의 액체막을 형성하였다가 하류로 흘러가면서 액체만이 얇아져 분열이 일어나 액적으로 미립화 한다.

Fig. 4에는 본 실험에서 사용한 노즐의 분사압력에 따른 질량유속과의 관계를 나타내었고 Fig. 5는 노즐의 축대칭 (axisymmetricity)의 정도를 개방공

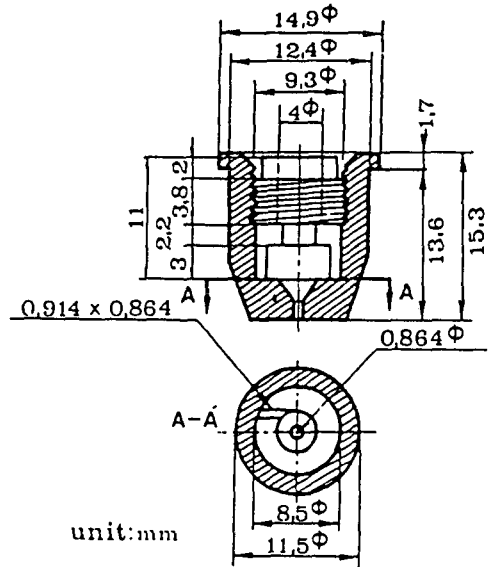


Fig. 3 Detail drawing of the TX-3 nozzle (Spraying Systems Co.)

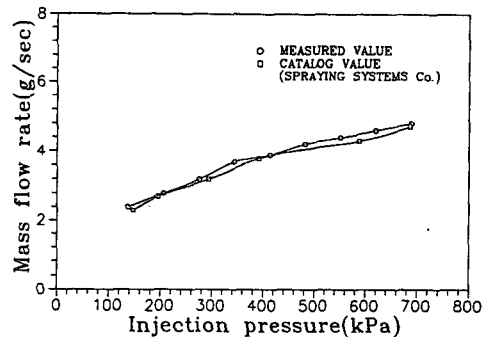


Fig. 4 Relation between the injection pressure and the mass flow rate

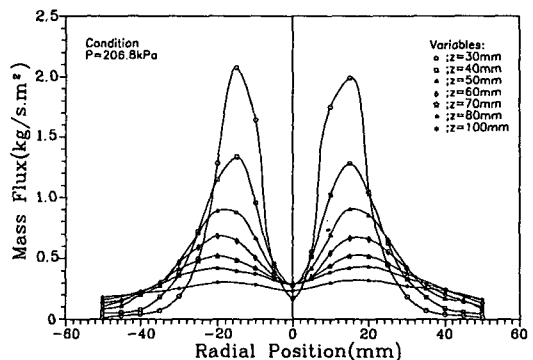


Fig. 5 Axisymmetricity of the nozzle used in experiments

간에서 질량유속을 측정하여 검증한 결과이다. 그림에서 보듯이 본 실험에서 사용한 노즐은 비교적 측대칭으로 분사되는 노즐이었다.

### 3. 측정 장치 및 측정 방법

#### 3.1 패터나미터를 이용한 질량유속 측정

##### (1) 측정장치 및 방법

분무 영역내 임의의 위치에서 액체의 질량유속 (mass flux)을 측정하기 위해 채집관(sampling tube)을 통하여 3분동안 채집한 양을 전자저울(model : AND-EK120A, 120g×0.01g)을 이용하여 측정하였다. 채집관은 내경 5 mm 외경 6 mm의 스테인레스 관으로서 관의 끝부분은 날카롭게 갈아서 사용하였고 시험부내의 유동에 미치는 영향을 최소로 하기 위해 여러개의 채집관을 쓰지 않고 한 개만 사용하였다. 분사 압력은 정상 상태에서 206.8, 413.7, 620.5 kPa로 하고 상온의 물을 사용하였다. 측정 위치는 반경 방향(5 mm간격)으로 11개, 축방향(10 mm간격)으로 노즐 출구에서 30 mm되는 점부터 100 mm되는 점까지 8개의 지점을 3회 반복 측정하여 제한 공간(벽면)의 유무에 따른 차이를 살펴 보았다.

##### (2) 측정 장치의 검증

본 연구에서 사용한 패터나미터의 경우 채집관에서 수집된 물이 전자 저울위의 매스 실린더로 불연속적으로 떨어지는 현상으로 인한 오차가 발생한다. 만약 불연속적으로 떨어지는 물방울이 거의 같은 질량을 가진다고 가정한다면 이러한 측정 오차는 전체 수집 질량,  $M_t$ 에 대한 임계 질량(채집관으로부터 매스 실린더로 떨어지는 단일 물방울의 질량),  $M_{cr}$ 의 비로서 나타낼 수 있다.<sup>(10)</sup> 즉

$$\text{Error} = \frac{M_{cr}}{M_t} \times 100(\%) \quad (1)$$

이며 본 실험에서 임계 질량  $M_{cr}$ 을 구하기 위해서 정밀한 천칭(0.5 mg 오차)으로 측정된 결과 0.008 g 이었고  $M_t$ 의 값은 0.2 g에서 7g의 범위에 있었으므로 상대 오차(error)는 4%에서 0.1%의 범위에 있게 된다.

#### 3.2 광산란을 이용한 입경 측정

##### (1) 측정 방법

본 실험에서는 입경측정을 위하여 광산란의 원리를 이용한 Malvern particle sizer(model : 2604 LC)를 사용하였다. 입경 측정은 질량 유속 측정 때와 동일한 정상상태의 분사 압력(206.8, 413.7, 620.5 kPa)과 온도(상온)에서 수행하였다. 제한된 공간내의 측정 지점은 반경 방향(10 mm간격)으로 원의 중심선에서 부터 외측까지 6등분하였고 축방향으로는 질량 유속 측정시와 동일하게 노즐 끝에서 30 mm되는 곳부터 100 mm되는 곳까지 7등분하여 측정하였다. 측정 횟수는 측정 위치당 6회내지 9회까지 반복하여 제한 공간의 유무에 따른 차이를 살펴 보았다.

##### (2) 측정값의 변환

Malvern particle sizer는 직경 약 10 mm의 레이저 광을 통과하는 모든 액적의 입경을 측정하도록 되어 있는 구조적 특징 때문에 이 장치에서 얻은 결과는 레이저 광로(laser beam path)상의 전체 액적들에 대한 측정값이다. 따라서 측정 결과로부터 국부적인 점(point)에서의 액적의 평균 입경(SMD) 및 체적밀도(volume concentration)를 구하는 방법과 전체 분무 단면상의 입경분포를 구하는 방법등이 보고되어 있다. 여기서 SMD(Sauter Mean Diameter)는

$$\text{SMD} = \frac{\sum(N_i d_i^3)}{\sum(N_i d_i^2)} \quad (2)$$

와 같이 정의되며,  $N_i$ 는 직경이  $d_i$ 인 액적들의 숫자이다. 따라서 SMD는 측정대상 액적군의 총표면적에 대한 총체적의 비에 비례한다. 액체 분무가 측대칭인 경우에 한해서 국부적인 점에서의 입경 및 체적밀도는 deconvolution technique<sup>(11)</sup>나 tomographical transformation기법<sup>(12,13)</sup> 등을 이용해 구할 수 있으며 전체 분무 단면상의 입경분포는 Zhu등<sup>(13)</sup>에 의해 제시되고 있다. 본 논문에서는 Zhu등의 방법을 이용하였다.

## 4. 실험 결과 및 검토

#### 4.1 액적 질량유속 분포

원통의 형상비를 고정된 값( $L_c/D_c=2$ )으로 두고 측정된 액적의 질량 유속과 원통을 제거한 개방 상태에서의 질량유속 측정값을 비교해 보았다. (Fig.

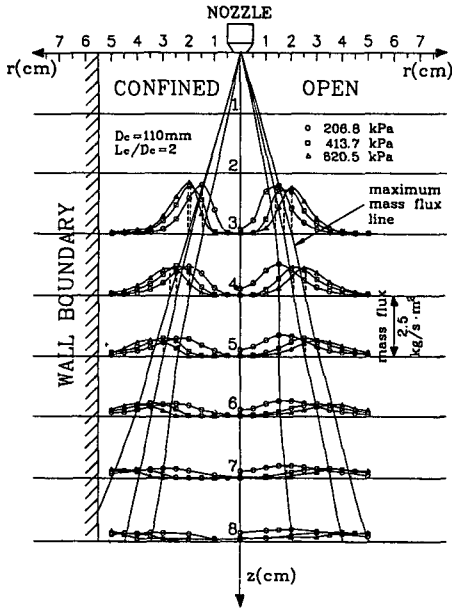


Fig. 6 Mass flux distributions of spray drops

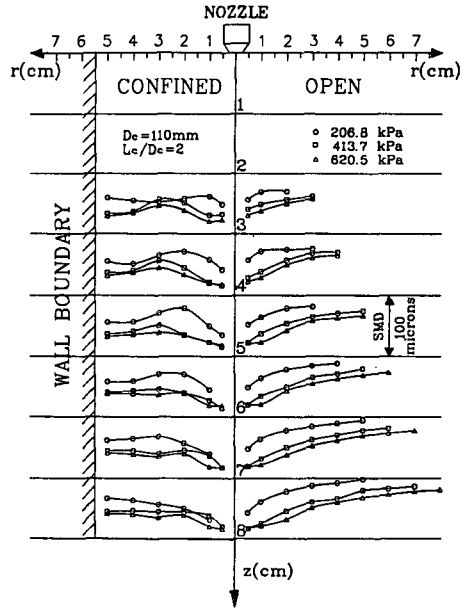


Fig. 7 Drop size (SMD) distributions

6) 그림의 좌측은 제한된 공간내의 질량유속 분포이고 우측은 개방 상태에서의 질량 유속 분포를 나타낸다. 그리고 최대 질량유속이 나타나는 반경방향 위치를 연결하였다. 질량유속의 측정값들은 각각의 지점에서 3회 측정된 다음 평균값을 나타내었고 평균값에 대한 실험치의 최대편차는 전체적으로 6%의 범위내에 있었다.

측정 결과들을 전반적으로 살펴볼 때 제한된 공간내의 최대 질량유속 값의 크기는 개방 상태에 비해 큰 차이가 없으나 반경방향 위치는 벽쪽으로 치우쳐서 나타나고 있으며 하류로 갈수록 벽쪽으로 더욱 치우침을 볼 수 있다. 이러한 경향은 분사압력의 변화에 관계없이 대체로 동일하게 나타났다. 이는 주위 벽면에 의해 공기의 유입이 방해받아서 분사액적의 궤적이 분무 중심쪽으로 휘는 정도가 크게 줄어들기 때문이며 실질적인 분무각이 커지는 결과를 초래한다.

다음으로 중요한 현상은 분무 중심 부분의 질량 유속이 개방 공간에 비해 제한된 공간내에서는 작게 나타나는 것인데 분사 압력의 증가에 따라서 그 차이는 줄어드는 것으로 나타났다. 이런 현상은 제한된 공간내에서는 분무 중심 부분의 재순환 (recirculation) 영역에서 작은 액적들이 순환하는 공기에 실려 부유(floating)함으로써 하류 방향으로 떨어지는 액적만 수집할 수 있는 채집관속으로

들어가는 양이 줄어들기 때문이며 아울러 개방공간에 비해 주위공기의 유입이 적어져 외측의 작은 액적들이 내부로 끌려 들어오는 효과가 작아지기 때문이라고 생각된다.

#### 4.2 입경 분포

##### (1) 국부적인 위치에서의 SMD

각 지점에서 6회내지 9회의 측정 평균치인 선측정치 (line-of-sight) SMD를 국부적인 위치에서의 반경측정치 (ring-of-sight) smd로 변환한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 그림의 좌측은 제한된 공간내에서의 입경 분포를 나타내고 우측은 개방 공간에서의 입경 분포를 나타내었다. 여기서 선측정치의 평균값에 대한 최대편차는 전체적으로 6%의 범위내에 있었다.

전반적으로 살펴볼 때 개방 상태의 smd(r) 값은 그림에서 보듯이 반경 방향 거리에 따라 증가하는 것을 보여주며 또한 가장 바깥쪽의 입경은 하류로 내려감에 따라 점차 증가하는 것으로 나타났다. 이는 와류 (swirl) 분무 노즐의 특성상 큰 액적에 비해 반경방향 운동량이 작은 액적들이 주위 기체유입에 의해 안쪽으로 휘는 효과가 나타나며 하류로 내려감에 따라 가장 바깥쪽에서 큰 액적이 차지하는 비율이 커지기 때문이다.

그러나 제한된 공간내에서의 smd(r) 값은 공간내

의 중심 부분으로부터 반경방향에 따라 증가하여 최대값을 가진 뒤 벽쪽으로 가까워질수록 다시 감소하는 것으로 나타났고, 하류로 내려감에 따라 최대값은 벽쪽으로 이동함을 볼 수 있다. 이는 내부 재순환 영역(Fig. 1의 재순환 영역A)에서는 작은 액적들이 부유하기 때문이며 벽쪽으로 가까워질수록 다시 감소하는 것은 상류(Fig. 1의 재순환 영역B)에서는 재순환 기체에 의한 액적의 부유, 그리고 하류에서는 분사된 액적이 벽에 직접 충돌하여 분열되기 때문으로 여겨진다. 또한 제한된 공간내에서 기체의 재순환의 영향으로 액적들 사이의 충돌 현상 등도 생각할 수 있으나 이는 김인구<sup>(10)</sup>의 연구에서도 나타나듯이 노즐 간격이 가까운(50 mm) 이중분무에서 조차 액적들 간의 충돌에 의한 입경변화의 가능성은 거의 없는 것으로 보고하고 있는 것으로 보아, 본 실험조건에서는 액적들 사이의 충돌 현상은 무시할 수 있다고 여겨진다.

앞에서 설명한 경향들은 분사 압력을 증가시키는 경우에도 대체로 동일하게 나타났으나 반경방향에 따른 입경의 변화는 압력이 높아질수록 줄어 들었다. 이는 분사압력의 증가에 따라 분사각이 커지고 이에 따른 벽면충돌 위치와 재순환 영역들이 노즐에 가까워지며, 아울러 재순환 영역의 기체속도가 증가하여 좀더 큰 액적들의 부유가 가능하기 때문으로 여겨진다. 또한 입경의 전반적인 분포는 제한된 공간내에서도 개방분사와 마찬가지로 분사 압력의 증가에 따라 감소하는 것으로 나타났다.

(2) 전체 분무단면상의 SMD

선측정값인 SMD를 분무 단면상에서의 SMD<sub>t</sub>값으로 변환한 결과를 노즐로부터의 축방향 거리에 따라 Fig. 8과 같이 나타내었다. 개방 공간에서의

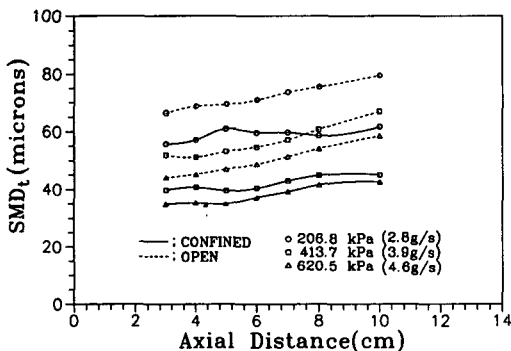


Fig. 8 Cross-sectional area-averaged SMD<sub>t</sub> along the axial direction

SMD<sub>t</sub>는 점선으로, 제한된 공간내에서의 값은 실선으로 표시하였다.

그림에서 보듯이 개방 상태에서 SMD<sub>t</sub>값은 분사 압력이 증가함에 따라 감소하고 축방향 거리에 따라 증가하는 현상도 보여준다. 이는 본 실험에서와 동일한 노즐을 사용한 김인구<sup>(10)</sup>의 실험 결과와도 일치하였다. 축방향 거리에 따라 SMD<sub>t</sub>가 증가하는 현상은 Chin등<sup>(14)</sup>의 보고에서 나타나듯이 액적이 크기에 따라 다른 속도를 가지고 있고 유한한 크기의 측정체적을 가지고 있는 Malvern particle sizer의 구조적 특성상 입경에 따른 속도의 차이가 측정 결과에 영향을 주기 때문이다. 즉, 노즐 가까운 곳에서는 주위기체에 의해 작은 액적들은 큰 액적들보다 빨리 감속되어 유한한 측정 체적내에 체류하는 시간이 길어지므로 상대적으로 더 많은 수의 작은 액적들이 감지되어 SMD<sub>t</sub>가 작게 나타난다. 그러나 하류로 내려 갈수록 큰 액적의 속도도 서서히 느려져서 큰 액적의 체류 시간도 결국 길어지므로 SMD<sub>t</sub>는 점점 크게 나타난다.

그리고 Fig. 8을 보면 제한된 공간내에서의 SMD<sub>t</sub>는 전체적으로는 개방 상태의 SMD<sub>t</sub>보다 작은 쪽으로 이동(shift)되어 나타났다. 이것은 국부적인 위치에서의 SMD 측정 결과에서 설명했듯이 분무시 형성된 작은 액적들이 재순환 하는 기체에 실려 제한된 공간내에서 잔류하는 시간이 증가하고 이와 아울러 액적들이 벽면에 충돌해 분열 되기 때문이다. 또한 Fig. 8에서 실선으로 표시된 바와 같이 제한 공간내에서는 SMD<sub>t</sub>값은 분사 압력의 증가에 따라 감소한다는 것은 개방 상태와 같으나 축방향 거리에 따른 SMD<sub>t</sub>는 계속 증가하는 것은 아니고 감소하는 부분도 보이며 또한 최소점은 압력의 증가에 따라 상류부분으로 이동하여 나타났다. 이는 분사압력 증가에 따라 중심부 재순환 영역과 벽면충돌 위치가 상류 쪽으로 이동하기 때문이다.

4.3 액적 체적밀도 분포

개방된 공간과 제한된 공간내에서 입경과 함께 측정된 액적의 체적밀도 분포 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 그림의 좌측은 제한된 공간내의 액적의 체적밀도 분포이고, 우측에는 개방 상태에서의 액적의 체적밀도 분포를 나타내었다.

측정 결과들을 전반적으로 살펴볼 때 액적의 체적밀도 분포는 개방 상태에 비해 제한된 공간내의 벽쪽으로 치우쳐서 나타나고 있으며, 하류로 갈수

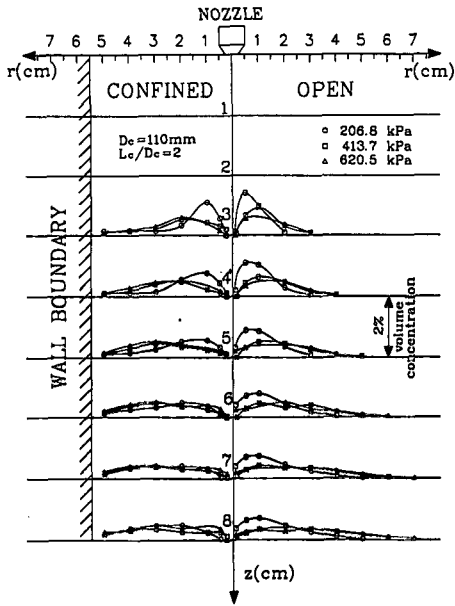


Fig. 9 Volume concentration distributions of spray drops

특 더 크게 치우침을 볼 수 있다. 이는 질량 유속 분포에서도 설명했듯이 벽면으로 인한 공기 유입의 방해 때문으로 여겨진다.

다음으로 재순환 영역A(Fig.1)에 해당하는 곳에서는 제한된 공간내에서의 액적 체적 밀도 분포가 개방 공간에 비해 작게 나타났고, 또한 재순환 영역B(Fig. 1)에 해당하는 곳에서는 액적들을 거의 검출할 수 없었던 개방공간에 비해 제한된 공간에서는 분포가 나타남을 볼 수 있다. 이는 질량유속 분포와 입경 분포에서도 설명했듯이 제한된 공간내의 영역 A와 B에서 기체 재순환의 영향으로 A부분에서는 개방공간에 비해 부유하는 작은 액적들이 분포하고 있으며, B부분에서도 역시 개방공간에서는 존재하지 않던 액적들이 기체의 재순환에 따라 부유하기 때문이다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 실험적 방법으로 분사 압력의 변화에 따른 질량 유속과 입경 분포를 조사하여 제한된 공간내에서의 분무 유동의 특성을 밝혀 보았다. 질량 유속 측정은 채집관과 정밀한 저울을 이용하였고 입경 측정은 Malvern particle sizer를 사용하여, 특히 선 측정값(line-of-sight data)을 tomo-

graphical transformation기법을 이용하여 원 측정값(ring-of-sight data)으로 변환하였고 노즐 측방향 거리에 따른 단면평균 SMD<sub>r</sub>도 구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 제한된 공간 내에서는 벽면에 의한 공기 유입의 방해로 인하여 결과적으로 개방 공간에 비하여 분무각이 증가하는 것과 같은 결과를 가져온다.

(2) 일반적인 와류 분무 노즐에서 분사 압력의 증가에 따라 입경이 줄어드는 경향은 개방된 공간과 제한된 공간내에서 동일하였다.

(3) 제한된 공간내에서는 개방 공간에 비하여 전반적으로 입경분포는 작게 측정되었다. 제한된 공간내에서 입경 분포가 작아지는데 영향을 주는 주요인은, 기체 유동의 변화로 인한 재순환 영역내에서의 미소한 액적들의 부유와, 벽면과 액적들의 직접 충돌로 인한 것 등으로 볼 수 있다.

본 실험에서는 측정 장치의 한계상 액적의 속도를 측정할 수 없었으나 제한된 공간내의 분무의 특성을 잘 파악하기 위해서는 추후의 연구로서 PDPA(phase doppler particle analyzer)를 이용한 분무 액적의 속도 및 입경 분포의 동시 측정이 이루어져 할 것이다.

### 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초 연구사업(89-02-03-08) 및 국방과학연구소의 장기 기초연구사업(ADD-90-5-5)의 일환으로 수행되었으며 본 연구에 대한 재정적 지원을 해주신 관계자 여러분께 감사 드립니다.

### 참고문헌

- (1) Rothe, P.H. and Block, J.A., 1977, "Aerodynamic Behavior of Liquid Sprays," Int. J. Multiphase Flow, Vol.3, pp. 263~272.
- (2) Benatt, F.G.S. and Eisenklam, P., 1969, "Gaseous Entrainment into Axisymmetric Liquid Sprays," J. of the Institute of Fuel, pp. 309~315.
- (3) Francis, E., Briffa, J. and Dombrowski, N., 1966, "Entrainment of Air into a Liquid Spray," AIChE J., pp. 708~717.
- (4) Tishkoff, J.M., 1985, "Air Entrainment into Sprays from Swirl Chamber Atomisers," Proc.

- ICLASS-85, pp. viic/4/1-viic/4/10.
- (5) Park, C.J. and Chen, L.D., 1989, "Experimental Investigation of Confined Turbulent Jets, Part I : Single-Phase Data," AIAA J., Vol.27, No.11, pp. 1506~1510.
  - (6) Habib, M.A. and Whitelaw, J.H., 1979, "Velocity Characteristics of a Confined Coaxial Jet," Trans. ASME, J.Fluids Engineering, Vol.101, pp. 521~529.
  - (7) Habib, M.A. and Whitelaw, J.H., 1980, "Velocity Characteristics of Confined Coaxial Jets With and Without Swirl," Trans. ASME, J. Fluids Engineering, Vol.102, pp. 47~53.
  - (8) Park, C.J. and Chen, L. D., 1989, "Experimental Investigation of Confined Turbulent Jets, Part II : Particle-Laden Flow Data," AIAA J., Vol.27, pp.1511~1516.
  - (9) Liu, C.H., Nouri, J.M. and Whitlaw, J.H., 1989, "Particle Velocities in a Swirling Confined Flow," Combust. Sci. and Tech, Vol.68, pp. 131~145.
  - (10) Kim, I.G., "A Study on the Characteristics of Twin Spray Ejected from Two Swirl Spray Nozzles," 1990, Ph. D. Thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology.
  - (11) Hammond, Jr., D.C. 1981, "Deconvolution Technique for Line-of-sight Optical Scattering Measurements in Axisymmetric Sprays," Applied Optics, Vol.20, pp.493~499.
  - (12) Yule, A.J. and Chigier, N.A., 1981, "A Laser Tomographic Investigation of Liquid Fuel Sprays," 18'th Int. Symp. on Combustion, pp.1501~1509.
  - (13) Zhu, H.M., Sun, T.Y. and Chigier, N., 1987, "Tomographical Transformation of Malvern Spray Measurements," Atomisation and Spray Technology, Vol.3, pp.89~105.
  - (14) Chin, J.S., Nickolaus, D. and Lefebvre, A.H., 1986, "Influence of Downstream Distance on the Spray Characteristics of Pressure-Swirl Atomizers," J. Eng. for Gas Turbines and Power, Vol. 108, pp. 219~224.