

< 논 문 >

이유체 분무기의 분무특성 및 노즐설계 실험

정진도* · 지평삼*

(1995년 4월 6일 접수)

Spray Characteristics and Nozzle Design Experiment of Twin-Fluid Atomizer

Jin-Do Chung and Pyung-Sam Ji

Key Words : Spray Characteristics(분무 특성), Highly Viscous Fluid(고점성 유체), Twin-Fluid Nozzle(이유체 노즐), Sauter Mean Diameter(평균입경), CWM(석탄/물 혼합물)

Abstract

Droplet size measurement technique was established for the sprayed viscous fluid by virtue of the installation of the sprayed-droplet size measurement system employing light scattering method. Atomization test results showed that the mean droplet size of the sprayed viscous fluid is decreased with the increase of the mass ratio of air to fuel and in case of the same air/fuel ratio, also with the increase of viscous fluid flow rate, and is increased with the distance from atomizer tip. Basic design data for the manufacture of external-mixing type, Y-Jet type, and internal-mixing type atomizers was acquired from the atomization tests.

1. 서 론

분무기에서는 분무연료를 미립화시킴으로 액체의 표면적을 증가시켜 분무액적과 주변 공기와의 열 및 물질전달을 용이하게 한다. 미립화가 분무액체 및 주변공기와의 상호작용으로 일어날 때, 전체적인 미립화 과정은 여러 상호 연관적인 메커니즘(Mechanism)을 포함한다.^(1~4) 액주의 분열은 액체 막의 유동이라든가 이유체 노즐에서의 분류 등 액체 분류의 분산에 관한 이론적 전개에 있어 기초를 제공하고 있으며, 실험적으로 상당한 부분이 검증된 바 있다.^(5~7) 일반적으로 사용되는 분무기는 크게 압력분사 분무기(Pressure Atomizer), 회전식 분무기(Rotary Atomizer), 이유체 분무기(Twin-Fluid Atomizer)가 있다.

석유 대체연료로서 개발된 CWM은 운반이 용이

하고 저공해 유발물질이란 면에서 미분탄보다 우수할 뿐 아니라 더욱이 중유 연소용 설비를 어느 정도 전용할 수 있다는 점에서 산업용 보일러에의 대체연료로 크게 주목을 받고 있으나 실제 사용함에 있어서는 해결해야 할 기술적인 문제점이 남아 있다. CWM 연료는 석탄의 낮은 연소성으로 인하여 분무기의 무화성능이 연소효율에 지대한 영향을 미친다고 알려져 있다.⁽¹⁾

CWM과 같은 점성이 큰 연료의 미립화를 위해서는 이유체 분무기가 적합하다.⁽⁸⁾ 이유체 분무기에서는 고속의 기체를 노즐의 내부 또는 외부에서 분사 액체에 충돌시켜 액적을 발생시키며 다른 종류의 분무기를 사용한 경우에 비하여 더욱 미세한 분무 액적을 얻을 수 있으며, 특히 이 분무기가 연소에 응용되는 경우에는 액체연료와 공기가 쉽게 혼합되므로 매우 유용하다. 분무기의 미립화 성능을 평가하는 항목으로 공기 대 연료의 질량비에 따르는 평균입경, 분무각, 유량분포, 침투 길이(Penetration Length), 분무기의 재질, 유량계수

*전력연구원, 수화력발전연구소

등을 들 수 있다.⁽⁹⁾ 상기 평가 항목 중에서 평균입경이 대표적으로 분무기의 성능을 나타내며 측정하는 방법으로서 크게 기계적인 방법과 광학적인 방법이 있다. 기계적인 방법은 포집봉을 분무실내에 삽입하여 액적을 포집한 다음 촬영된 사진을 통하여 액적 크기에 따른 액적수를 셈으로 액적 입도분포를 측정하는 방법이다. 이 방법은 시간이 많이 소모되는 점 이외에도 샘플 포집범위의 제한, 포집액적들의 합체 현상 등의 단점이 있다.

본 연구에서는 고정점 유체의 분무에 적합한 외부혼합식, Y-Jet 형 그리고 내부혼합식 이유체분무기를 자체 제작하여 Malvern Particle Sizer를 이용한 광학적인 방법으로 액적 입도분포를 측정하여 노즐 설계시 기본자료로 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 분무액적 입경 측정장치는 광산란 원리를 응용한 Malvern사 제품 모델 2604C이다. 빛이 입자 주위에서 전방 산란되는 현상과 산란된 빛을 디텍터에서 감지하여 입자의 입경 크기를 측정하였다.

Fig. 1에 유체의 분무 입도 측정을 위한 실험장치의 구성도를 도시하였다.

실험장치는 (1)분무 유체와 압축기에서 공급되는 압축공기 공급장치, (2)분무실을 포함하는 3차원 노즐 이송장치 및 사이클론, 팬, 그리고 (3)분무입도 측정설비 및 이의 마운팅 설비로 구성된다. 분무기를 통하여 분사된 분무액적의 입도분포를 측정하기 위하여 도입된 입경분석기(Particle Size Analyzer)는 회절원리를 이용한 측정기기로서 기본 시스템 구성은 Fig. 2와 같다. 송신기는 2mW He-Ne 레이저($\lambda=0.6328\text{nm}$) 발생기와 레이저 빔을 9mm 또는 18mm로 확장시키는 빔 확장기(Beam Expander)로 구성되어 있다. 노즐에서 분무된 입자들에 의하여 산란된 빛은 수광 렌즈(Receiver Lens)에 의하여 렌즈의 초점거리 뒤에 위치한 디텍터에 상이 맺히게 된다. 디텍터는 31개의 반 동심원 형태의 광전소자로 구성되어 있다. 수광 렌즈는 광학적이며 매우 빠르기 때문에 여하한 조건에서도 노즐에 의하여 분무된 액적의 운동 속도는 광학적 성질에 영향을 줄 만큼 빠르지 못하며 단 한번의 순간적인 산란광 측정으로 검사체적 내의 입경분포 데이터를 얻을 수 있다.^(2,9)

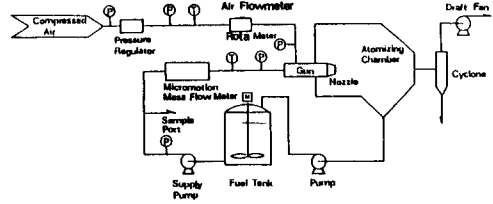


Fig. 1 Schematic of the flow system

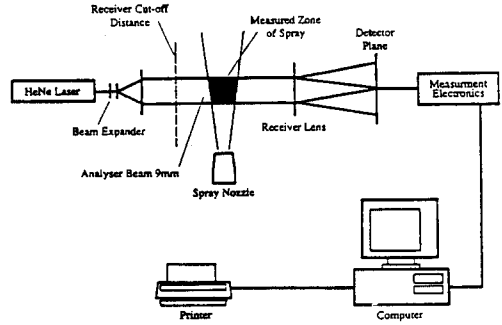
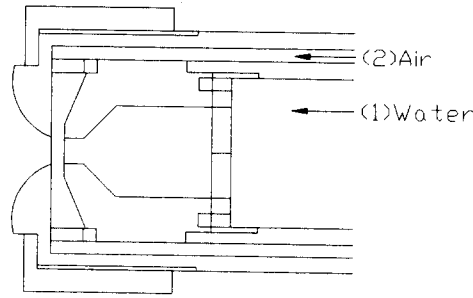


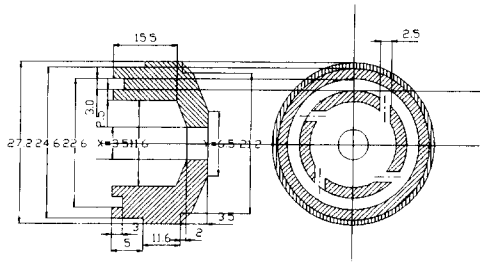
Fig. 2 Schematic diagram measuring drop size distribution using light scattering

또한 레이저 송신기 및 수신기의 위치를 고정시킴으로써 실험조건을 변화시키는데 따르는 레이저 빔 얼라인 과정을 없앴으며 분무기를 3차원적으로 이동시킬 수 있게 분무기 이송장치를 제작하여 분무영역 임의의 공간내에서 입도 분포 측정을 가능케 하였다. 분무된 액적 입도는 분무기로부터의 거리, 분무축을 기준으로하여 반경방향으로 측정부위를 옮김에 따라 변화하므로 분무기의 자유로운 위치선택은 전반적인 무화성능 판별을 가능케 한다. 지금까지 분무 액적 입도분포 측정실험은 소규모 실험실적 규모로서 주로 단공(Single Hole)분무기를 대상으로 행하여져 왔다. 본 실험장치는 시간당 약 500리터의 분무유량을 소화할 수 있으며, 상업용 분무기를 개발하기 위하여 다공(Multi-hole) 노즐의 미립화 상태를 측정할 목적으로 제작하였다. 분무실 앞면은 개방되어 있으며 분무시 유량증가로 말미암아 미세한 일부 액적들이 순환되어 전면으로 유입될 때에는 비닐커버로 일부를 덮어 실험할 수 있게 하였다. 분무실의 측면 및 후면 중앙부는 투명한 아크릴판으로 되어 있어 분무형상 관찰을 용이하게 할 수 있게 하였다.

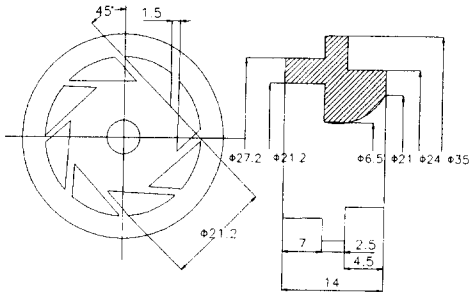
Fig. 3(a)~(c)에는 접선 슬롯(Tangential Slot) 형으로 설계된 외부혼합식 이유체 분무기의 조립도와 분무기의 외실 및 공기선회판의 부품도면이 도



(a) Atomizer

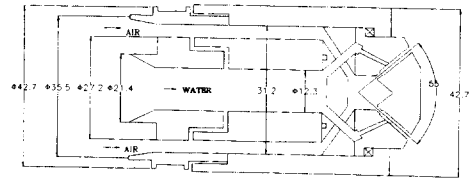


(b) Swirl chamber

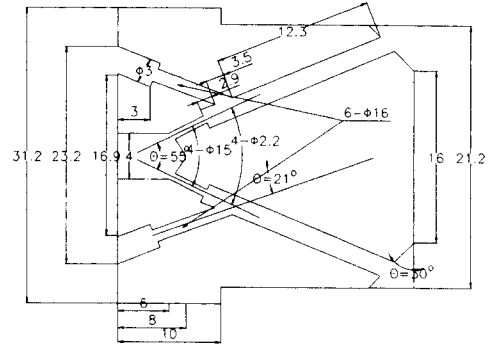


(c) Air spiral plate

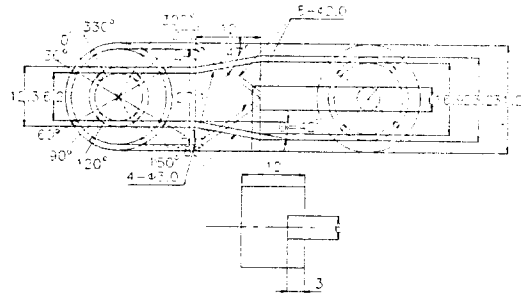
Fig. 3 Twin-fluid atomizer with external mixing type



(a) Y-Jet atomizer



(b) Nozzle of Y-Jet atomizer

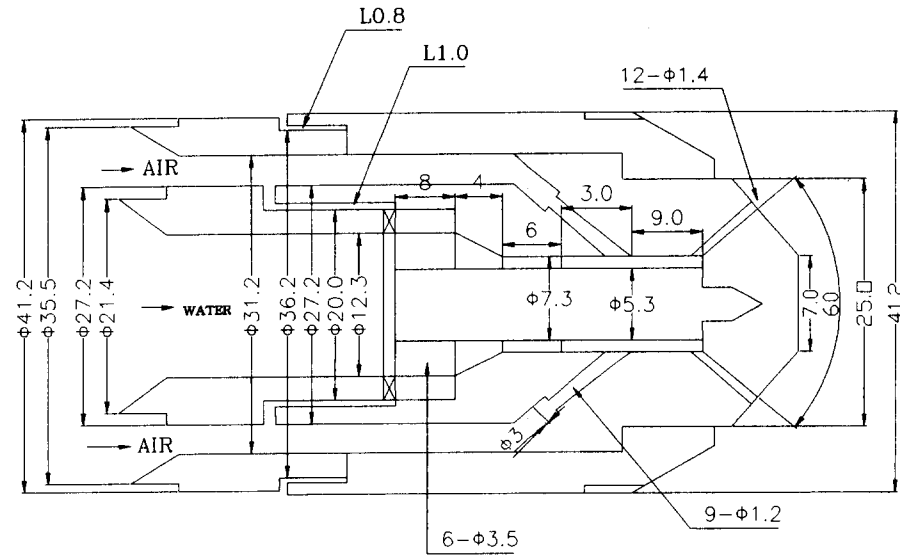


(c) Distributor of air and fuel

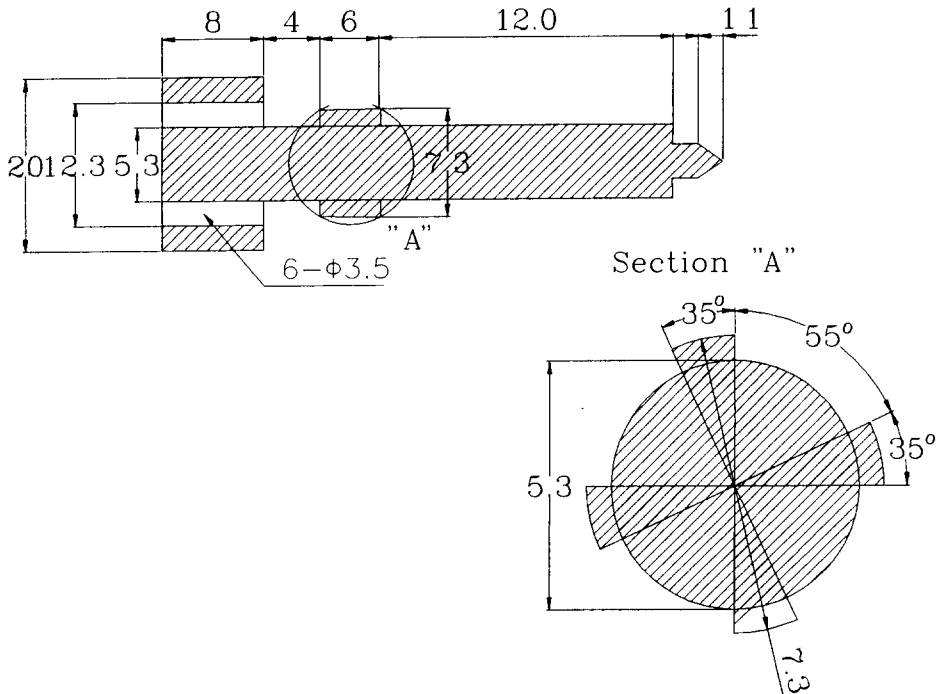
Fig. 4 Y-Jet atomizer

시되어 있으며 압축공기가 통로 (2)를 통하여 유입된 후 공기선회판에서 45°선회각이 주어진 다음 통로 (1)에서 분출된 후 형성된 액막에 충돌하게끔 설계되었다. Fig. 4(a)~(c)에는 Y-Jet형 이유체 분무기의 조립도와 분무기의 노즐부품 및 공기와 연료의 분배기(Distributor)의 도면이 도시되어 있다. 이 분무기의 노즐공은 ϕ 가 2.2mm이며 6개이고, 미립화 공기용 구경은 $\phi=1.6$ mm이며, 분무각은 55°로 설계하였다. 분무기의 노즐부와 분배기간의 기밀유지는 면접촉으로 하였으며 노즐캡과 노즐 사이의 기밀유지는 구리 링(Copper Ring), 분무건(Gun)과 노즐몸체 사이의 기밀유지를 하는데도 구

리 링을 사용하였다. Fig. 5(a)~(c)에는 내부혼합식 이유체 분무기의 부품 및 조립도이며 유로설계를 최대한 단순화하였다.^(10,11) 분무기내에서 압축공기가 새지 않도록 하기 위하여 분무기 몸체와 노즐캡(Cap) 사이에 구리 링을 삽입하였다. 또한 분무기 몸체(혼합실 Core)와 노즐 건(Gun) 사이 연결부는 작은 산의 나사를 내어 체결하도록 하였으며 이 경우도 구리 링을 연결부에 삽입하여 기밀유지가 될 수 있도록 하였다. 혼합실은 내경 $\phi=5.3$ mm와 외경 $\phi=7.3$ mm의 원통형 실린더 사이 공간이며 압축공기는 외측 튜브 사이 공간에서 $\phi=1.2$ mm 오리피스 9개를 통하여 혼합실에 유입되도록 하였으며 타입은 Y형을 취하였다. 노즐공은 12



(a) Atomizer



(b) Core of mixing chamber

Fig. 5 Atomizer with internal mixing type

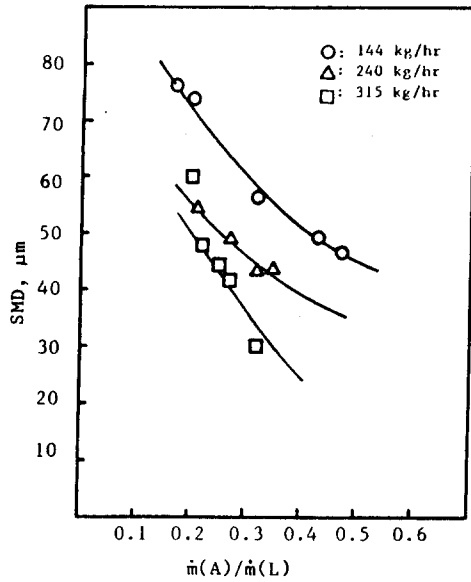
개로 직경 $\phi=1.4\text{mm}$ 이며 분무각은 60° 가 되도록 설계하였다. 실험 조건의 변화로는 기·액 중량비, 분무기에서부터 측정지점까지의 거리, 반경 방향거리의 변화 등이다.

3. 결과 및 고찰

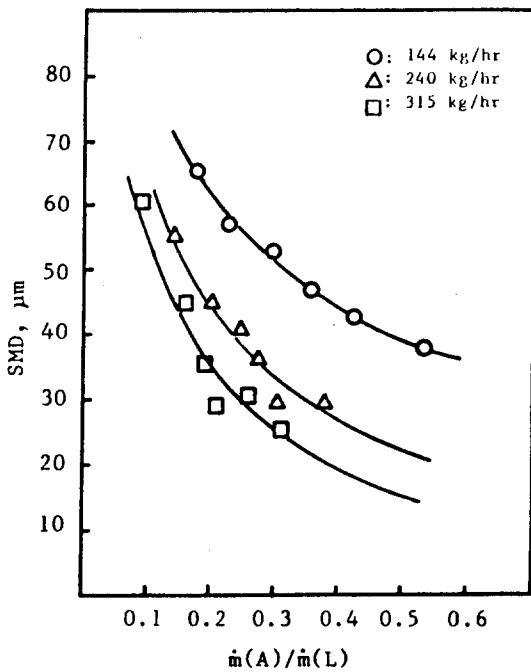
상기의 외부혼합식, Y-Jet형 그리고 내부혼합식

이유체 분사노즐을 설계하여 분무실험을 실시한 결과는 다음과 같다.

분무액체로 물을 사용한 외부혼합식 노즐의 경우



(a) $d_a=0.65\text{cm}$, $r_e=0.175\text{cm}$



(b) $d_a=0.75\text{cm}$, $r_e=0.225\text{cm}$

Fig. 6 SMD represented with the ratio of air/water mass (Atomizer with external mixing type)

공기 대 물의 질량비 함수로 나타낸 평균입경 (SMD)을 측정하였으며 Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)에 나타난 바와 같다. 노즐과 측정위치 사이의 거리는 50cm이며 d_a 는 공기선회관의 공기분출공 직경을 나타내며 측정은 분무축 중심에서 실시되었다. 공기 대 물의 질량비가 증가함에 따라 평균입경이 감소하며 공기 대 물의 질량비가 같을 경우 분무유량이 많을수록 평균입경이 감소하는데 이는 노즐 출구를 떠난 공기와 액막이 만나는 점에서 보면 상대 속도차에 기인한다고 사료된다. Fig. 6(a)와 Fig. 6(b)를 비교해보면 Fig. 6(b)의 미립화 특성이 우수한데 이는 공기와 액막의 충돌 형태의 차이에 기인한다.

분무액체로 물을 사용한 Y-Jet형 노즐의 경우 평균입경(SMD)을 측정하였으며 Fig. 7에 나타난 바와 같다. 분무기와 측정지점 사이의 거리는 $l=55\text{cm}$ 이고 분무의 중심축에서 기·액중량비가 증가함에 따라 평균입경이 더욱 감소하는 것을 볼 수 있다. 또한 분무유량이 증가하면 기·액 중량비가 증가함에 따라 평균입경이 더욱 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 분무유량이 노즐 설계치에 비해 매우 적은 경우 측정된 평균입경은 다소 크게 나타났으며, 이 경우 분무기의 무화성능은 저자들이 실험에서 제시하려고 계획했던 설계치에 비하여 미달되는 것을 알 수 있다. 상부 노즐공과 하부 노즐공(기호에서 빗금친 값) 각각에서 측정된 평균입경은 미세한 차이($5-10\mu\text{m}$)를 보이고 있으나 분무유량이 증가하면서 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

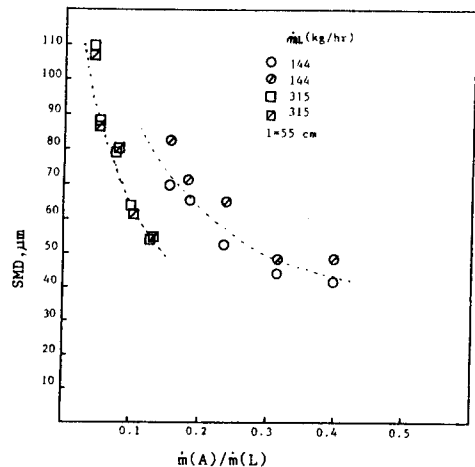


Fig. 7 SMD represented with the ratio of air/water mass (Y-Jet atomizer)

내부혼합식 분무기는 연료와 미립화용 매체가 만나는 형태를 가진 모양인 Y-형으로 하였으며 혼합실을 내부 실린더와 외부 실린더 사이에 형성된 환형(Annular Type)으로 하여 혼합실에서의 압력손실을 최소로 하였다. 이 분무기의 미립화 정도를 측정하기 위하여 분무기와 측정위치 사이의 거리 $l = 50\text{cm}$ 에서 기·액 중량비의 변화에 따라 평균입경을 측정하였으며 결과는 Fig. 8에 나타난 바와 같다.

반경방향의 측정위치는 분무축($r=0\text{cm}$)이며 분무액체로는 물을 사용하였다. 본 실험에서 기·액 중량비가 증가할수록 또한 같은 기·액 중량비에서는 분무유량이 증가할수록 평균입경(SMD)이 감소하는 것을 알 수 있다. 노즐에서 분출되는 액적군에 의하여 형성되는 분무영역내 임의의 지점에서의 미립화 정도를 알아보기 위하여 분무기에서부터 측정지점까지의 거리(l)와 분무축을 중심으로한 반경방향의 거리(r)를 변화시키면서 평균입경(SMD)을

측정하였으며 결과는 Fig. 9에 나타난 바와 같다. 이때의 분무압(공기)은 $P=5\text{kgf/cm}^2$ 으로 기·액 중량비는 0.128이었다. 분무기에서부터 거리가 멀어질수록 평균입경은 증가하였으나 반경 방향에의 위치 변화에 따르는 평균입경 변화는 50cm, 69 cm, 80cm지점에서 측정한 값을 보면 거의 직선적으로 변화하고 있으며 변화폭이 매우 작았다.

4. 결 론

- ① 광 산란법을 이용한 분무입도 측정시스템을 설치하여 분무입도 측정방법을 습득하였으며, 분무 실험 결과 분무액체의 평균입경은 공기/분무유체 중량비가 증가할수록, 그리고 같은 공기/분무유체 비에서는 유량이 증가할수록 평균입경이 감소하였고, 분무기에서 멀수록 증가하였다.
- ② Y-Jet Type 이유체 분무기의 경우 외부혼합식 이유체 분무기보다 분무유량이 증가하면서 평균입경의 감소차가 크게 나타났다.
- ③ 내부혼합식 이유체 분무기의 경우 분무기에서 거리가 멀어질수록 평균입경은 증가하였으나 반경 방향에의 위치 변화에 따르는 평균입경 변화는 무시할 수 있을 정도로 작았다.
- ④ 분무실험을 통하여 외부혼합식, Y-Jet형, 내부혼합식 노즐의 제작을 위한 분무특성 및 미립화 기구에 대한 기본자료를 얻을 수 있었다.

참고문헌

- (1) Sato, K., Shoji, K., Okiura, K., Akiyama, I. and Baba, A., 1988, Power Tech., 54, p. 127.
- (2) Lefebvre, A. H., 1989, "Atomization and Sprays," Hemisphere Pub. Co., New York.
- (3) Jones, A. R., 1982, "Design Optimization of a Large Pressure Jet Atomizer for Power Plant," International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, p. 181.
- (4) Kutty, P. S., Narasimhan, M. V., Narayanasway, K., 1978, "Design and Prediction of Discharge Rate, Cone Angle and Air Core Diameter of Swirl Chamber Atomizers," International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, p. 93.
- (5) Rennie, A. G., 1988, "Development of an Exter-

Fig. 8 SMD represented with the ratio of air/water mass (Atomizer with internal mixing type)

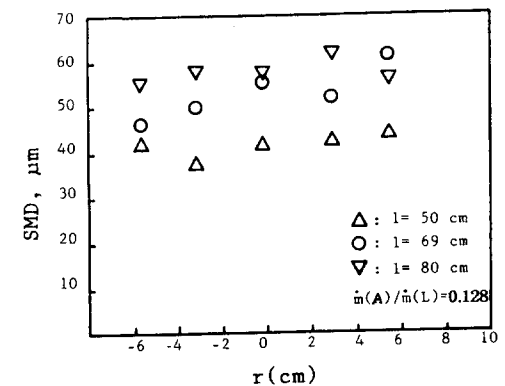
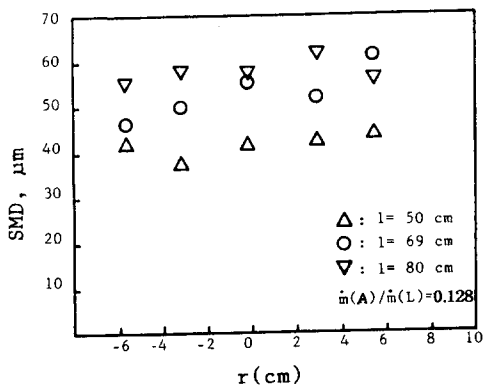


Fig. 9 SMD with the location variation of spray axis and radial direction (Atomizer with internal mixing type)



- nal Mix Prefilming Atomizer for Viscous Fuels," *International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems*, p. 81.
- (6) Mullinger, P. L. and Chigier, N. A., 1974, "The Design and Performance of Internal Mixing Multijet Twin Fluid Atomizers," *J. of the Institute of Fuel*, p. 251.
- (7) Michele, G. D., Gragiadio, M., Morelli, F. and Novelli, G., 1991, "Characterization of the Spray Structure of a Large Scale H.F.O. Atomizer," *ICLASS*, p. 779.
- (8) Allen, J. W., 1985, "Atomization of Coal-Water Mixtures," *ibid.* 13, p.392.
- (9) Mulege, R. and Evans, H. D., 1951, "Droplet Size Distributions in Sprays," *Ind. Eng. Chem.* Vol. 43, No. 6, pp. 1317~1324.
- (10) Rizk, N. K. and Lefebvre, A. H., 1985, "Internal Flow Characteristics of Simple Swirl Atomizer," *AIAA J. Propulsion Power*, Vol. 2, No. 6, pp. 193~199.
- (11) Rizk, N. K. and Lefebvre, A. H., 1986, "Influence of Liquid Properties on the Internal Flow Characteristics of Simplex Swirl Atomizers," *Atomization and Spray Tech.*, 2, pp. 219~223.