한국액체미립화학회지 제 1 권제 1 호(1996)/21

논 문

이유체 선회분사 노즐의 액적크기에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Drop Size of a Twin-Fluid Swirl Jet Nozzle

오 제 하*, 김 원 태*, 강 신 재**, 노 병 준***
J. H. Oh, W. T. Kim, S. J. Kang, B. J. Rho

ABSTRACT

This experimental study was to investigate spray angles and drop sizes in an external mixed twin-fluid swirl jet nozzle. Twin-fluid swirl jet nozzle with swirlers designed four swirl angles such as 0°, 22.5°, 45°, 64.2° was employed. A PDA system was utilized for the measurement of drop size and mean velocity. Water and air were used as the working fluids in this experiment. The mass flow rate of water was fixed as 0.03 kg/min, and air flow rates were controlled to have the air/liquid mass ratio from 1.0 to 6.0 . As a result, swirl angle controlled to spray angles and drop sizes. It was found that swirl angle was increased with spray angle and with decreased SMD. However, the effect of swirl angle was reduced at large air/liquid mass ratio(Mr=6.0).

주요기술용어 : Air/Liquid Mass Ratio(공기/액체 질량비), PDA(phase Doppler anemometry), SMD(Sauter mean diameter), Swirl(선회), Twin-Fluid Nozzle(이유체 노즐), Atomization(미립화)

1. 서 론

이유체 분사노즐은 저속의 액체와 고속의 기체 분사류를 동시에 분사시켜 분사류의 상호충돌, 혼합등에 의해 미립화가 이루어진다. 그러므로 분무가 보다 균일하고 액적이 미세하게 생성되는 등의 우수한 성능을 가지고 있으며, 적용가능한 액체의 범위가 넓고, 저압으로 작동되므로 고압의 압축기가 필요없어 불꽃점화기관, 가스터빈, 로켓엔진, 산업용 노의 연소기와 페인트와 같은 점성이 높은 액체의 미립화에 널리 응용되고 있다.

이유체 분사노즐에 관한 연구는연료의 미립화와 분무 특성들을 이론 및 실험등을 통하여 구명함으로써 노즐이 장착된 연소기관, 일반 분무기 등 사용 목적에 따른 고성능 노즐 개발을 위한 연구가 활발히

*전북대학교 대학원 정밀기계공학과
**전북대학교 우주항공공학과
***전북대학교 정밀기계공학과

진행되어 왔다. 특히 액체연료의 미립화 성능을 향상시키기 위하여 공기 또는 액체 연료를 선회 시켜 이유체의 상호충돌과 파동효과를 증대시켜 액체연료의 미립화 향상을 얻는 이유체 선회 분사노즐에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Mao[1,2]는 공기보조형 선회 미립화기의 분무에서 SMD가 액체/공기 비 사이에 선형적인 관계가 있음을 밝혔고, 분무각이 넓을 수록 평균액직경은 작아지고 화염의 안정성이 좋아진다고 보고하였다. Elkotb, Rafat 등[3]은 기하학적인 선회 미립화기 치수와 작용조건의 넓은 범위에 걸쳐 미립화 성능에 대하여 분석하였다. Ward, Bossaed 등[4]은 선회형 연소기 특성을 연구하였으며, Babu, Ranganadha 등[5]은 선회형 분무 미립화기에서, 평균액적크기가 유동수에 의해 증가하고 평균액적크기에 영향을 미치는 중요한 기하학적 변수인 오리피스 직경, 선회실 직경, 입구직경 중에 입구직경이 가장 큰 영향을 미친다고 하였다.

따라서, 본 연구는 이유체 분사노즐의 기체부에 선회를 주도록 고안된 외부 혼합형 선회 분사노즐 내부의 선회기 각을 변화시켜 얻어지는 액적크기 특성을 광산란을 응용한 레이져 측정기법인 PDA(phase Doppler anemometer) 시스템을 이용하여 고찰하고자 한다. 또한, 이유체 선회분사기를 이용한 연소기 설계시 연료공급시스템의 기본설계 자료로 활용하고자 한다.

2. 실험장치 및 측정방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 이유체 선회분사 노즐은 Fig.1과 같은 형상으로, 노즐 내부에 공기를 선회시키는 선회기를 설치하였다. 선회의 정도에 따른 미립화 특성을 관찰하기 위하여 선회기의 선회각을 각각 0°, 22.5°, 45°, 64.2°의 4가지 형태로 설계 제작하였다. 또한 노즐 선단부의 원추각은 90°로 하였다. 선회된 공기와 물이 각각의 출구에서 분사되어 외부에서 혼합되는 외부혼합형으로 설계되었다.

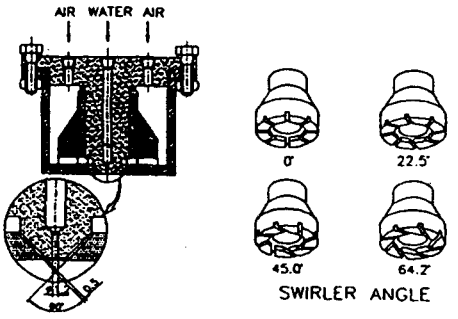

Fig. 1 External mixed twin-fluid jet nozzle with swirl

작동유체로서 액체는 물을 사용하고, 기체는 공기를 사용하였으며, 밸브를 사용하여 공급되는 유량을 각각 조절하였다. 공기 공급시 압축기에서 발생하는 맥동현상을 줄이기 위하여 완충용 압력용기를 설치하였으며, 압축공기에 포함된 수분과 불순물을 제거하기 위하여 제습장치와 불순물 여과기를 통과하도록 하였다.

본 실험에서는 액적 크기와 속도를 동시에 측정할 수 있는 PDA 시스템을 사용하였다. PDA 시스템은 광학계, 신호처리기, 3차원 이송장치로 구성되어 있다. Fig.2는 광학계의 배치를 보이고 있다. 광학계는 송광부와 수광부로 구성되어 있으며, 광원은 공냉식 레이져(Ar-ion 750mW, DANTEC)를 사용하였다. 송광부는 광섬유 케이블을 통하여 광원으로부터 레이져 빔을 전송받아 초점렌즈에 의해 측정체적을 형성한다.

수광부는 초점렌즈와 광배율기(photomultiplier)로 구성되어 있다. 측정체적 내를 통과하는 액적에 의한 산란광은 수광부에 설치된 광검출기에 전달되어 전기신호로 변환되고, 이 전기신호를 신호처리기에서 버스트 검출(bust detect) 방식을 이용하여 입자의 크기와 속도가 도플러 신호의 상대적 위상차와 주파수에 의해 측정된다. 송광부와 수광부의 광학계는 벤치에 고정하고 이유체 선회분사 노즐은 3 차원 이송장치에 부착하여 측정위치로 컴퓨터에 의해 자동 이송하였다.

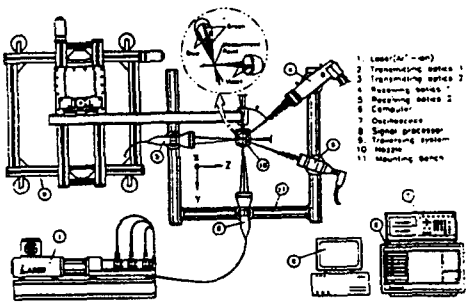

Fig. 2 PDA system

2.2 측정방법

본 실험은 노즐출구를 좌표계의 원점으로 하고 분무 축방향을 X 축, 반경방향을 Y 축으로 설정하였다. 이유체 선회분사 노즐의 전체적인 분무 양상을 파악하고 측정위치를 선정하기 위하여 레이저 광을 막(sheet)형태로 측정단면에 방사하여 사진촬영함으로써 측정단면의 분무각을 측정하였다. 노즐에 공급되는 액체인 물(20 ℃)의 질량유량은 0.03kg/min 으로 일정하게 유지하고 공기의 공급 질량비를 변화시켜 공기대 물의 공급 질량비(Mr)를 1.0~6.0 으로 설정하였다. 한 측정위치에서 10,000 개의 데이터를 샘플링하여 처리하였다. 실험이 이루어지는 동안 주위 공기의 온도는 23 ± 1 ℃, 습도는 75 ± 5%로 일정하게 유지하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 3 은 공기의 분열 에너지 변화에 따른 분무의 거시적 구조를 고찰하기 위하여 선회각 22.5 ° 일 때의 공기와 물의 질량비 변화에 따라 형성된 분무 사진을 보이고 있다. Mr=1.0 인 경우, 분열된 입자가 상당히 크기 때문에 입자의 확산에 의해 분무의 폭이 넓게 나타나고 있으며, 질량비가 증가함에 따라 공급되는 공기량이 증가하기 때문에 분열력이 증대되어 미세한 액적들로 이루어진 분무를 형성하고 있다. 또한 미립화가 촉진되어 입자들이 작아질수록 확산을 일으키려는 운동량이 줄어들게 되어 분무각이 감소함을 볼 수 있다. 사진의 밝게 보이는 부분이 수밀도가 높은 주분사 영역으로 질량비가 증가 할수록 넓게 나타나며, 분무 중심부에서 두 부분으로 갈라지는 형상을 보여주고 있다. 이는 선회의 영향으로 생성되는 액적들이 원심력에 의해 중심 영역에서 분무 외측으로 이동하여 액적의 수밀도가 낮아지기 때문에 보이는 현상으로 생각된다.

질량비, Mr=6.0 일 때 선회각 변화에 따라 형성되는 분무의 형상을 Fig. 4 에 보이고 있다. 선회각이 증가함에 따라 분무각이 증가하고 있다. 선회각이 0 ° 인 경우는 선회의 원인으로 발생하는 주분사 영역이 두갈래로 나누어 지는 현상을 볼수가 없다. 선회각이 45 ° 에서 노즐 선단부로부터 약 20mm 인 영역에서는 분무각이 급격히 확산되어지나, 그 이후 영역에서는 분무각이

급격히 줄어드는 현상을 볼 수가 있다. 이는 선회각이 증가 함에 따라 더욱 뚜렷이 나타난다. 이런 경향은 선회각에 의한 공기의 선회력이 분무 선단부에서 분무각을 증가시키고, 미립화를 촉진하는 데 대부분의 에너지를 소모하였기 때문이라 생각된다.

사진으로부터 분석한 질량비 변화와 선회각의 변화에 따른 분무각을 Fig. 5에 나타내었다. 선회비가 작은 경우, 질량비 변화는 분무각의 감소에 큰 영향을 받는 것을 볼 수가 있다. 그러나, 회각이 클수록 질량비의 증가는 분무각 감소에 큰 영향을 미치지 못함을 알 수가 있다.

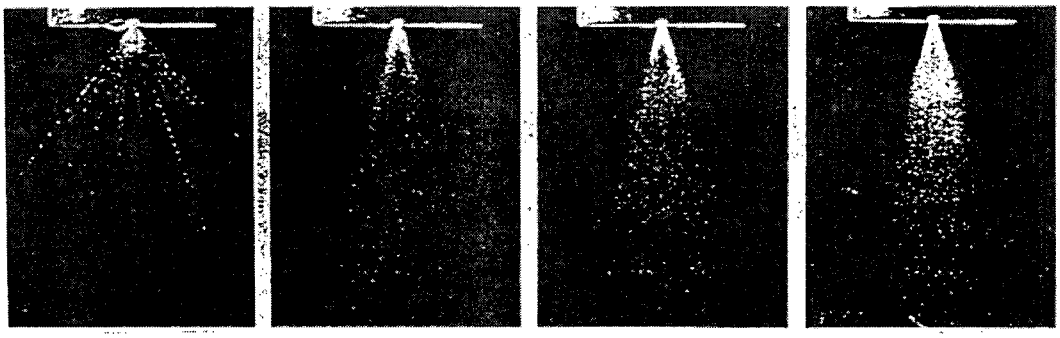

Fig. 3 Spray configuration for Mr(swirl angle 25.5 °)

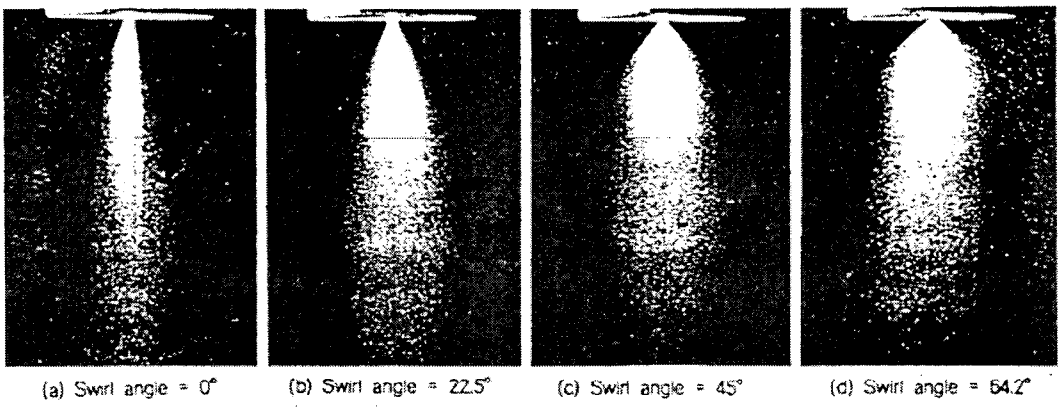

Fig. 4 Spray configuration for swirl angle (Mr=6.0)

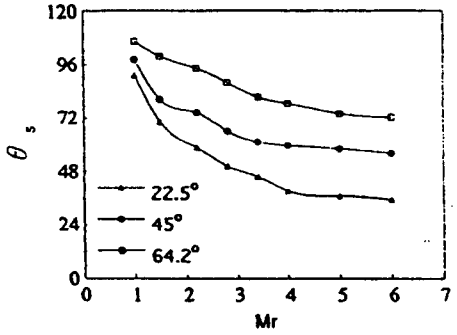

Fig. 5 Spray angle with swirl angle and Mr

Fig. 6은 분무 축방향 거리 100mm에서 질량비 변화에 따른 액적 평균직경인 SMD 분포를 반경방향에 따라 도시하였다. 선회각이 없는 경우, 동일한 질량비에 대하여 반경방향에 걸쳐 SMD는 거의 일정한 분포를 보이고 있다. 또한 질량비가 클수록 반경방향으로 더욱 균일한 분포를 나타냈으며, 작은 액적크기분포를 보였다. 그

러나, 선회각이 45 °인 경우는 분무 외곽으로 갈수록 SMD는 증가하고 있으며, 질량비가 큰 경우 보다는 작은 경우가 분무 외곽으로 갈수록 SMD의 증가 폭이 크게 나타났다. 이는 질량비가 증가함에 따라 분사되는 기체의 량이 증가하여 분열이 촉진되고, 미세한 액적들을 생성하기 때문에 선회각에 의한 원심력이 작은 액적보다는 질량이 큰 액적에 영향을 주어 분무 외곽으로 이동시키기 때문으로 생각된다. 그러나, 질량비가 큰 경우는 선회가 주어져도 반경방향에 따른 액적크기는 일정한 분포를 보이고 있다. 이것으로 큰 질량비에서는 선회의 영향이 반감되어 짐을 알 수 있다.

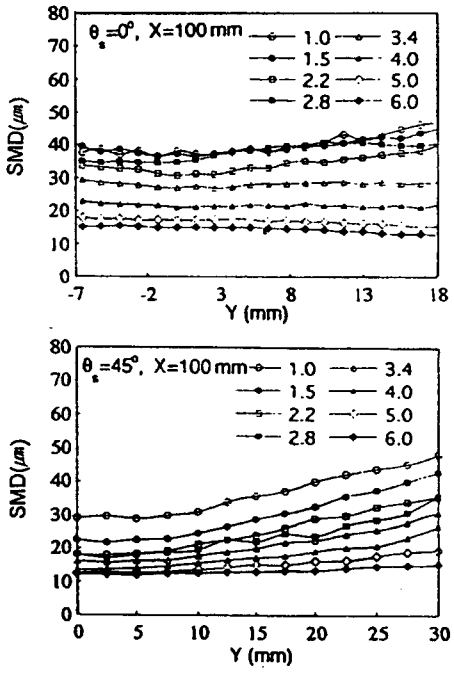

Fig. 6 SMD distribution with radial distance

Fig. 7은 분무 중심축방향에 따른 선회각 변화가 SMD 분포에 끼치는 영향을 도시한 것이다. 질량비가 작은 경우, 노즐 선단부에서 20~30mm 영역까지는 SMD의 큰 감소를 보이고 있으나, 분무하류로 갈수록 SMD는 점진적으로 증가하는 양상을 보이고 있다. 이는 분무 상류에서 분열이 빠르게 이루어지고 하류로 가면서 운동량이 적은 액적들의 합착으로 인하여 액적직경이 증가하는 경향을 보이기 때문으로 생각된다. 또한, 질량비가 큰 경우가 작은 경우보다 하류로 갈수록 작은 액적직경분포를 갖는 것은 분무 하류영역에 까지 액적들의 운동량 감소가 적어 액적들의 합착현상이 더디게 발생할 것이라 판단된다.

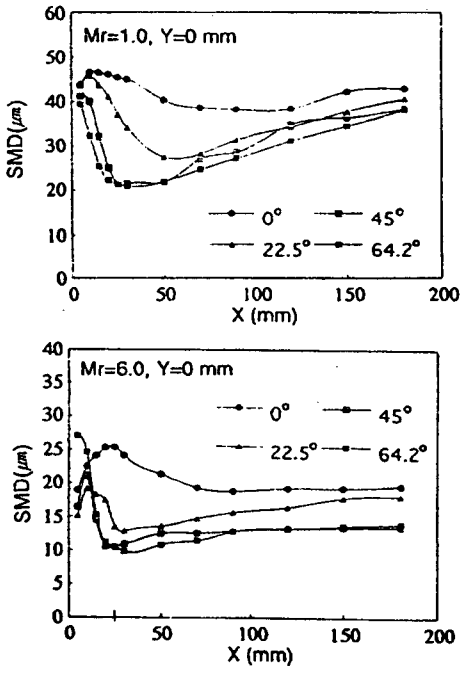

Fig. 7 SMD distribution with axial distance

여러 연구자들에 의해 얻어진 실험식에 측정된 질량비를 대입하여 얻은 SMD 분포와 본 실험에서 선회각 45 °일 때의 SMD 분포를 Fig. 8에 도시하였다. 측정방법이나 데이터 처리에 있어서 다소 차이가 있지만, 본 실험의 선회각 45 °이유체 선회분사노

즐이 전 질량비 변화에서 20 ㎛ 정도로 가장 작게 나타났고, 균일한 분포를 보였다. 따라서, 본 실험실에서 설계 제작한 이유체 선회분사 노즐은 보다 작은 크기의 액적들을 생성하고, 액적의 크기범위 또한 좁게 형성되므로 보다 균일하고 미세한 액적이 요구되는 분야에 적합하다고 할수 있을 것이다.

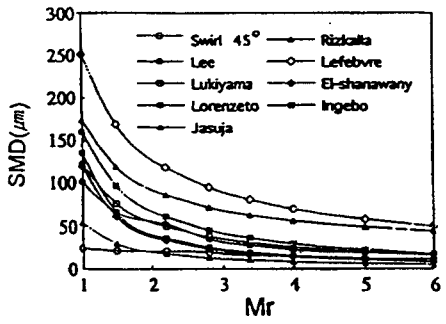

Fig. 8 Comparison of SMD under same Mr

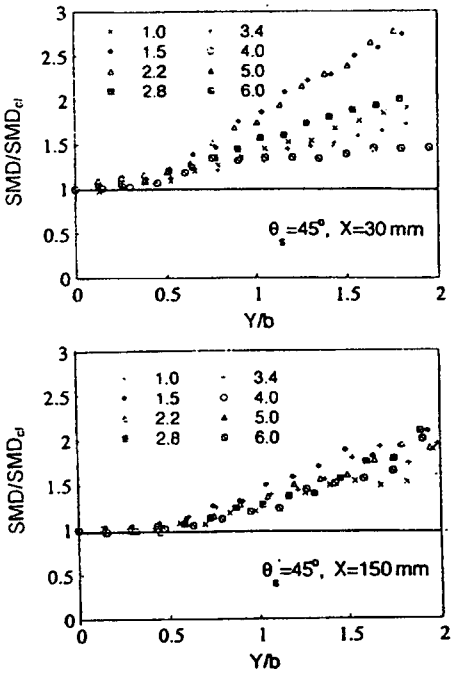

Fig. 9 Distribution of SMD/SMD_{cl}

Fig. 9는 반경방향(Y)을 중심축 속도의 1/2 이 되는 거리인 속도반폭(b)으로 무차원하고, 평균직경(SMD)을 중심축 방향의 액적직경(SMD_{cl})으로 나누어 중심 축의 액적크기에 대한 반경방향의 액적크기 분포를 도시한 것이다. 분무 외곽으로 갈수록 선회각의 영향으로 질량비 변화에는 무관하게 분무 중심축 보다는 큰 액적들이 분포하며, 분무축 상류 보다는 하류로 갈수록 반경방향의 SMD 분포가 질량비에 관계없이 지수적으로 일치하려는 경향을 보임을 알 수 있다. 이는 분무 상류영역에 존재하는 주분사영역에서 액적들의 분열이 활발하여 이에 따른 액적의 크기분포들도 다양하게 존재하고, 분무 하류에서는 거의 일정한 지수적 형태로 증가함을 알 수가 있다. 또한, 선회각의 영향으로 큰 액적들이 집중되는 형상이 나타나고 있다.

4. 결 론

(1) 선회각이 작을수록 질량비의 증가는 분무각 감소에 큰 영향을 주나, 선회각이 클수록 질량비 증가는 분무각 감소에 큰 영향을 주지 못하였다.

(2) 질량비가 증가함에 따라 반경방향의 SMD는 균일한 분포를 보였으며, 선회의 영향으로 나타나는 큰 액적이 분무 외곽에 존재하는 현상이 반감되었다. 즉 반경방향에 따른 SMD 분포에 있어 큰 질량비(Mr=6.0)일 경우는 선회각의 영향이 줄어짐을 알 수 있다.

(3) 분무 축방향에 따른 SMD 분포는 상류영역에서는 큰 감소를 보이나 하류로 갈수록 증가하고 이런 증가는 질량

비가 큰 경우 둔화됨을 알 수 있었다.

(4) 선회각 45 °인 이유체 선회분사 노즐의 경우 질량비에 따라 균일하고 20 ㎛ 이하의 작은 SMD 분포를 보였다.

참고문헌

1. C. P. Mao, " Distribution and Air Velocity Measurements in Air Assist Swirl Atomizer Sprays ", Journal of Fluids Engineering, Vol. 109, pp. 64~69, 1987
2. C. P. Mao, " Effect of Air Swirlers Atomizations and Spray Flames Stability ", ICLASS-'91, pp. 513~520, 1991
3. M. M. Elkotb, N. M. Rafat and M. A. Hanna, " The Influence Swirl Atomizer Geometry on the Atomization Performance ", ICLASS-'78, pp. 109~115, 1978
4. M. J. Ward, J. A. Bossaed, R. E. Peck and E. D. Hirleman, " Spray Characterization in Axisymmetric Swirling Combustor Flow ", ICLASS-'91, pp. 529~537, 1991
5. Babu K. Ranganadha, M. V. Narasimhan and K. Narayanaswamy, " Prediction of Mean Drop Size of Fuel Sprays from Swirl Spray Atomizers ", ICLASS-'82, pp. 99~106, 1982