

선회각도변화에 따른 2유체 선회분무의 거동특성

강완봉* · 차건종** · 김덕줄**

Behavior Characteristics of Swirl-Twin Spray with Changing Swirl Angle

Wan-Bong Kang , Keun-Jong Cha and Duck-Jool Kim

Key Words: Twin-fluid Swirl Nozzle(이유체 선회 노즐), Sauter mean diameter(자우트 평균입경), Particle Dynamics Analyzer(입자거동분석기), Swirler(선회기)

Abstract

The Twin-fluid Swirl Nozzles are used in many parts of the industry to produce homogeneous spray. This study is to investigate the effects of outer air swirler and inner water swirler on atomization of liquid. The experiment was carried out with increasing air-flow rate at constant liquid-flow rate and with changing outer air swirler angle and inner water swirler angle. A Particle Dynamics Analyzer(PDA) was used to measure drop size, mean and rms values of axial velocity, number density and Sauter mean diameter(SMD). The axial mean velocity and SMD of droplets were measured along the center line and radial directions. It was found that the higher air flow-rate resulted in the smaller Sauter mean diameter of liquid spray and the higher axial mean velocity of droplets. This experimental results will be conveniently used for the preliminary design stage of twin-fluid nozzle development.

기호설명

- D_{32} : 액적의 산술평균직경
 r : 분무 액적을 측정된 반경방향 거리
 U : 액적의 축방향 평균속도
 Z : 선단거리
 Q_w : 액체 유량 (cc/min)
 Q_a : 공기 유량 (l/min)
 θ_a : 공기측 선회각도 (°)
 θ_w : 액체측 선회각도 (°)

1. 서론

액체의 미립화는 각종 연소기, 내연기관, 미세가공, 분무건조, 미분탄 제조, 화학반응기 등의 많은 산업 분야에서 중요한 핵심기술로 응용되고 있다. 최근에는 전자, 우주항공, 신소재, 반도체 등 새로운 첨단 산업으로 그 이용분야가 확대되는 한편, 에너지 자원의 절감, 공해 대책등에 관한 문제 해결을 위하여 그 필요성이 높아지고 있다. 분무 장치의 종류는 크게 압력형 분무장치, 회전형 분무장치, 이유체 분무 장치 등으로 구분할 수 있다. 압력형 분무 장치의 경우 높은 분사 압력을 필요로 함으로 동력 소모가 크며, 액체의 점성이 높아질수록 미립화 특성이 불량하다. 이에 반해 이유체 분무 장치는 다른 종류에 비해 더욱 미세한 분무를 얻을 수 있는 장점이 있는 반면, 이유체 분무 장치는 기체의 속도가

* 부산대학교 대학원

** 회원. 부산대학교 기계공학부

낮은 영역에서는 미립화 특성과 연료의 분산분포의 특성이 나빠지는 단점이 있다. 이 단점을 극복하고 액체 연료의 미립화 성능을 향상시키기 위하여 공기 또는 액체 연료를 선회시켜 이유체의 상호 충돌과 파동효과를 증대시켜 액체 연료를 분사하는 이유체 선회 분사 노즐에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다. 이와 같은 이유체 분무노즐을 이용한 연구를 살펴보면, Kim⁽¹⁾ 등은 이유체분사노즐에서 가장 긴 평활류를 대상으로 하여 분사되는 기류의 영향을 연구하였으며, 기액접촉 개시위치가 공기오리피스의 내부에 있을 때 기류의 효과가 크다고 밝혔으며, Mao⁽²⁾⁽³⁾는 공기보조형 선회미립화기 분무에서, SMD가 액체와 공기의 비가 선형적인 관계가 있음을 밝혔고, Ward⁽⁴⁾는 선회형 연소기 특성을 연구하였으며, Kilik⁽⁵⁾는 다양한 형상을 가진 선회기를 시험하여 선회기 형상이 재순환영역의 크기에 미치는 영향을 고찰하였다.

액주의 분열기구와 이유체 분사 노즐에 대하여 이론적, 실험적으로 많은 연구가 수행되었으나 이유체 분사노즐에서 선회기류가 분무특성에 미치는 영향에 대한 연구가 미진하여 지금까지 명확히 밝혀지지 않았다.

따라서, 본 연구에서는 내부 혼합형 이유체 선회 분사 노즐을 직접 제작하였고, 공기 및 물의 선회기의 각도 및 기액유량비의 변화에 따른 축방향거리에 대하여 분무의 축방향 평균속도, SMD, 난류강도를 분석하였다.

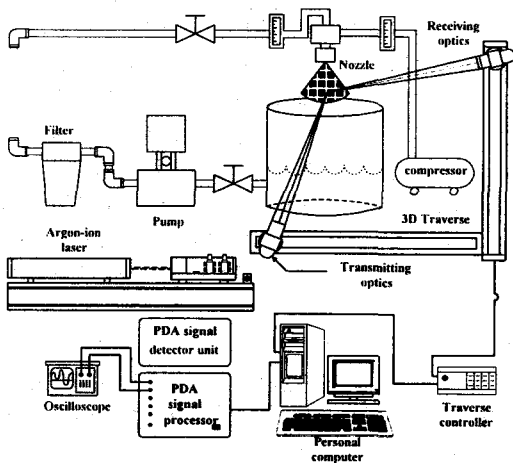


Fig. 1 Schematics of experimental setup

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

Fig.1은 본 연구에 사용된 실험장치를 나타낸다. 본 실험에 사용된 실험장치의 구성은 크게 두 부분, 즉 분사계, PDA시스템으로 나눌 수 있다. 분사계는 분사노즐, 유량계, 펌프, 대형수조, 정수필터와 유량 조절을 위한 밸브등으로 구성되어 있다. PDA 시스템은 레이저를 포함한 송광부, 수광부, 신호처리기, 3차원 이송장치, 이송장치 제어기, 오실로스코프, PC 등으로 이루어져 있다.

레이저는 Ar-ion 레이저가 사용되었으며 이 Ar-ion 레이저의 최대 출력은 5W이고, 실험시 사용 출력은 2W로 하였다. 실험에 사용된 PDA 장치는 2차원 측정장비로서 최적의 산란 신호를 얻기 위하여 측정체적에서 산란각도를 30° 로 하여 산란 신호인 도플러 버스트 신호를 받게 하였다. 그리고, High voltage는 약 1200V ~ 1500V 범위에서 변화시켜 고전압을 걸어주었다.

Fig.2는 본 연구에서 설계제작한 이유체 선회노즐의 개략도를 도시하였다. 공기와 연료분무의 혼합 특성을 강화하기 위해 이유체 노즐 내부의 공기와 액체에 선회에 가할 수 있는 선회장치를

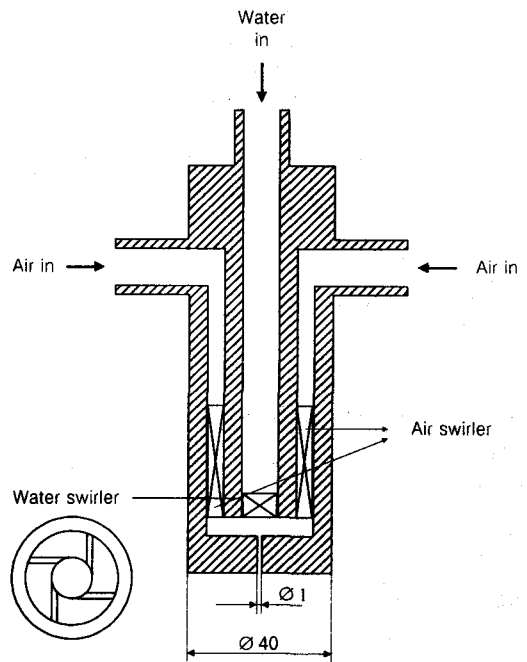


Fig.2 Details of a twin-fluid swirl nozzle

부착하였다. 공기를 선회시키는 선회기의 선회각은 0° , 20° , 45° 이며, 액체를 선회시키는 선회기의 선회각은 0° , 45° 로 설계 제작되었다. 본 연구에서 설계제작한 이유체 선회노즐의 재질은 부식 방지 및 제작의 용이성을 위하여 황동으로 제작되었으며 공기와 액체가 노즐내부에서 혼합되어 분사되는 내부 혼합형 이유체 선회노즐이며, 본 실험에 사용된 액체는 상온의 수돗물로서 펌터로 여과한 후 사용하였으며, 펌프와 대형물통을 배관으로 연결하여 순환식으로 노즐에 물을 공급하도록 하였으며 노즐에 공급되는 공기는 압축기로 가압한 후 regulator와 니들 밸브로 조절하고 공기유량계를 통해서 노즐로 투입되어 대기중으로 분사된다.공기의 불순물을 제거하기 위하여 공기여과기와 수분을 제거하기 위한 제습장치를 부착하였다.

2.2 실험방법

Fig.3은 본 실험에서 분무 특성을 조사하기 위한 측정위치를 나타내고 있다. z 방향은 분무 축 방향이고, x,y 방향은 반경방향으로 송광부에서 조사되는 빔과 수직인 쪽을 x 방향, 평행인 쪽을 y 방향으로 하였다. 측정 위치의 표기는 노즐 선단에서 중심점을 원점($x=0, y=0$)으로 하는 좌표계이다. 예비실험을 통해 분무의 대칭성을 확인하여 x-y 단면의 1/4 분면에 대해서 액적의 크기와 속도를 측정하였다. 측정 위치는 $z=10\text{mm}$, 30mm , 50mm , 70mm , 100mm 에서 x,y 방향으로 2mm 간격으로 분무가 도달하는 위치까지 측정

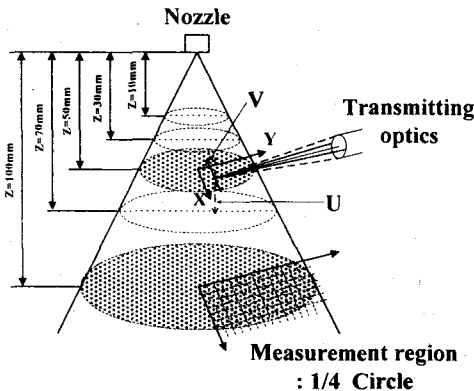


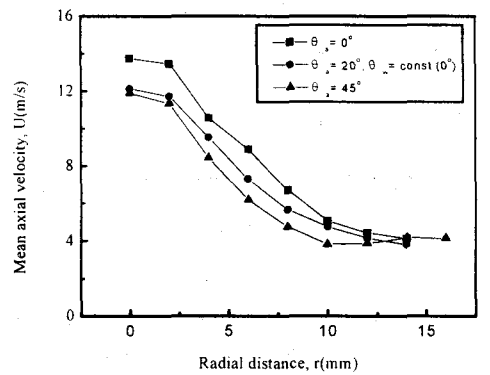
Fig.3 Measurement positions

하였다. 노즐에 공급되는 액체는 물이며, 공급되는 기체는 공기를 이용하였으며, 공급되는 물의 유량은 $100\text{cc}/\text{min}$ 으로 일정하게 하였으며, 공급되는 공기의 유량은 $6\text{ l}/\text{min}$, $10\text{ l}/\text{min}$, $15\text{ l}/\text{min}$ 되도록 조절하였다. 측정값은 측정 체적을 통과한 5000개 액적의 평균값으로 하였다.

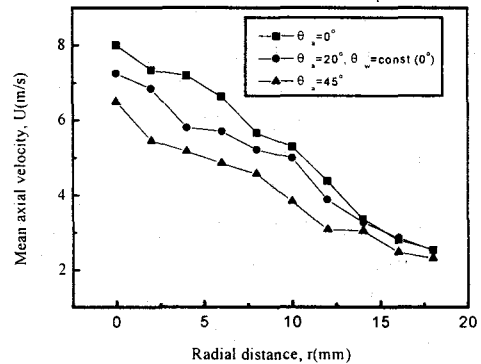
3. 실험결과 및 고찰

3.1 공기 선회각도의 영향

Fig.4는 액체 선회기 각도가 일정할 때, 공기 선회기 각도에 따라 노즐 선단으로부터 축하방향으로 $Z=50,100\text{mm}$ 떨어진 위치의 단면에서 측정된 액적의 속도 분포를 보여주고 있다. 선회각이 클수록 분무의 폭으로 갈수록 축하방향으로 갈수록 액적의 속도는 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 공기의 선회각이 클수록 축하방향 기류 속도가



(a) Z=50mm



(b) Z=100mm

Fig.4 Distribution of droplet velocity ($Q_w=100\text{cc}/\text{min}$, $Q_a=6\text{ l}/\text{min}$)

감소하고 또한 원심력에 의하여 분무 중심부의 축방향 액적 속도가 감소한다. 또한 공기 선회각도의 영향이 $Z=50$ 에서 더 크게 나타난다.

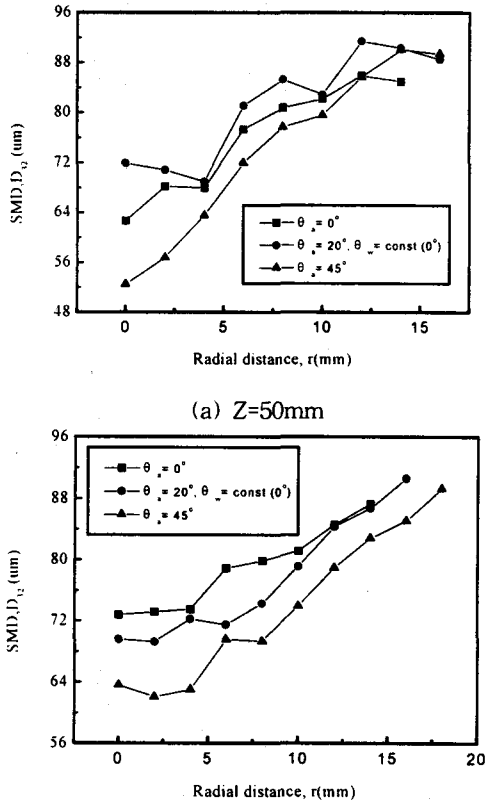


Fig.5 Distribution of Sauter mean diameter ($Q_w=100\text{cc/min}, Q_a=6\ell/\text{min}$)

Fig.5는 액체 선회기 각도가 일정할 때, 공기 선회기 각도에 따라 노즐 선단으로부터 축하방향으로 $Z=50, 70\text{mm}$ 떨어진 위치의 단면에서 측정된 액적의 크기 분포를 보여주고 있다. $Z=50$ 영역에서는 공기 선회기 각도가 45° 인 경우가 SMD가 가장 작았으며, 그 다음으로 $0^\circ, 20^\circ$ 순이었다. 그렇지만, $Z=70$ 영역에서는 공기 선회기 각도가 45° 인 경우가 SMD가 가장 작았고, 그 다음은 $20^\circ, 0^\circ$ 순이었다. 이것은 $Z=50$ 에서는 중간정도의 각도에서 가장 크게 합체가 일어나며, $Z=70$ 영역에서는 선회기의 영향이 약화되기 때문이다.

3.2 물의 선회각도의 영향

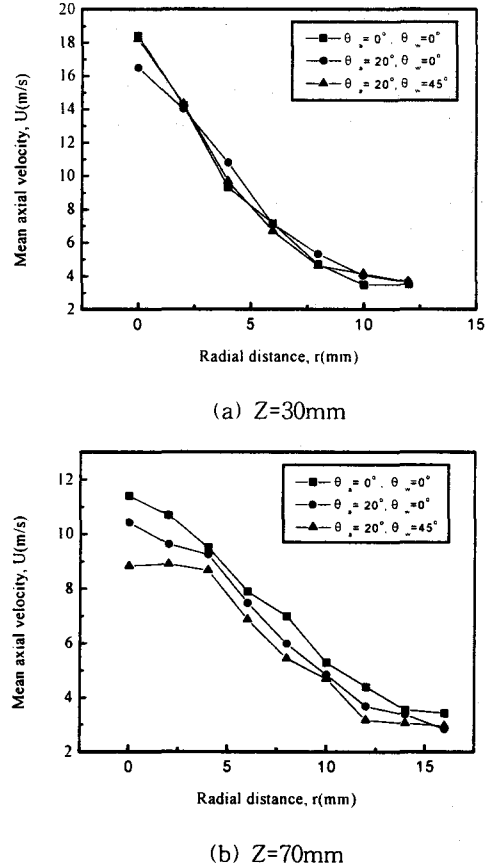
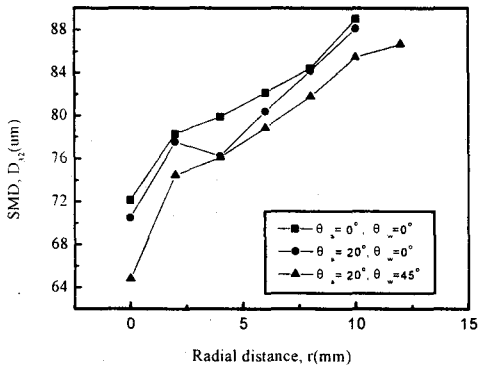


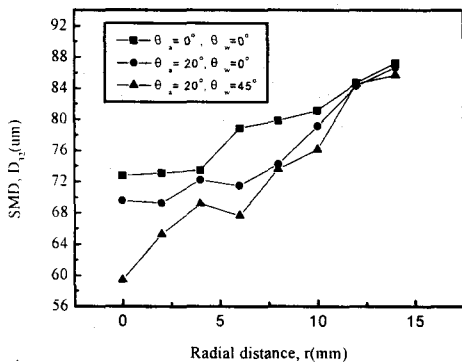
Fig.6 Distribution of droplet velocity ($Q_w=100\text{cc/min}, Q_a=6\ell/\text{min}$)

Fig.6은 액체 선회기 각도에 따라 노즐 선단으로부터 축하방향으로 $Z=30, 70\text{mm}$ 떨어진 위치의 단면에서 측정된 액적의 속도 분포를 보여주고 있다. 분무 상단에서는 속도변화의 차이가 별로 없지만 축하방향으로 갈수록 선회각이 있는 경우가 액적의 속도가 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 분무 외곽과 하류로 갈수록 주위공기의 저항 및 유입으로 축방향 분무 모멘텀이 감소하기 때문이다.

Fig.7은 액체 선회기 각도에 따라 노즐 선단으로부터 축하방향으로 $Z=30, 70\text{mm}$ 떨어진 위치의 단면에서 측정된 액적의 크기분포를 보여주고 있다. 내부에 액체 선회각을 주고, 외부에 공기 선회각을 주었을 경우가 그렇지 않은 경우보다 반경방향으로 갈수록, 축하방향으로 갈수록 액적의 SMD가 작아진다. 이것은 액체 선회기를 통해서 나온 미립화된 액적이 선회된 공기와 충돌하여



(a) Z=30mm



(b) Z=70mm

Fig.7 Distribution of Sauter mean diameter
($Q_w=100\text{cc/min}, Q_a=6 \text{ l/min}$)

더욱 더 미세한 액적이 되며, 하류로 갈수록 분무 폭이 증가함에 따라 액적끼리 합착보다는 분열이 더 활발히 일어나는 것으로 사료된다.

Fig.8은 공기 선회기가 20° 이고, 액체 선회기가 45° 일 경우 노즐 선단으로부터 축하방향으로 30mm, 50mm, 100mm 떨어진 위치의 단면에서 측정된 축방향 난류강도 분포를 보여주고 있다. 난류강도는 중심보다 분무군 외측에서 높다. 이유는 분무군 외측에서 운동량이 크게 감소한 액적이 주위 공기의 유인에 의하여 크게 영향을 받기 때문이다. 난류강도는 하류로 갈수록 작아지는데 이것은 기류의 운동량이 크게 감소하고 주위로부터 유인되는 공기량이 미소하여 분무 액적에 기류의 영향이 크게 작용하지 못하기 때문이다.

3.3 공기 유량의 영향

Fig.9는 공기 선회기가 20° 이고, 액체 선회기가 45° 일 경우 공기량에 따라 노즐 선단으로부터 축하방향으로 Z=30, 70mm 떨어진 위치의 단면에

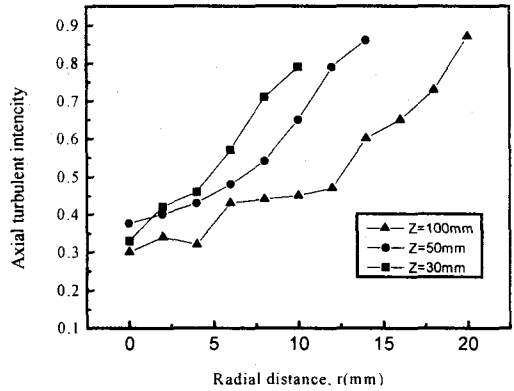
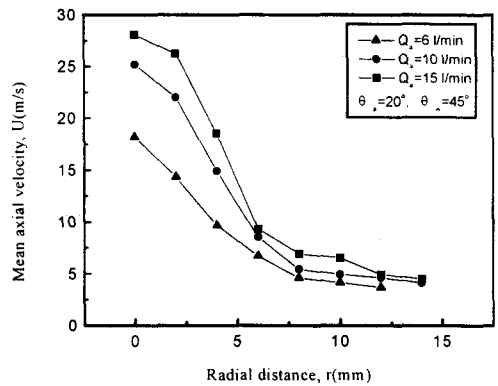
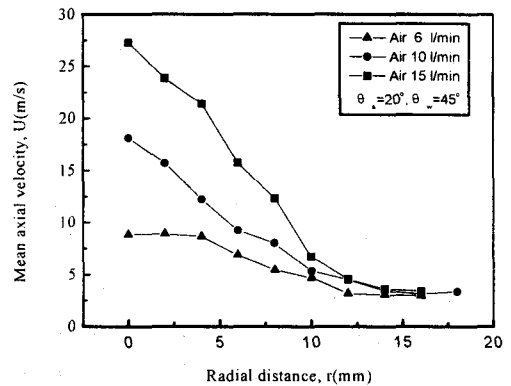


Fig. 8 Distribution of axial turbulent intensity ($\theta_a=20^\circ, \theta_w=45^\circ$)



(a) Z=30mm

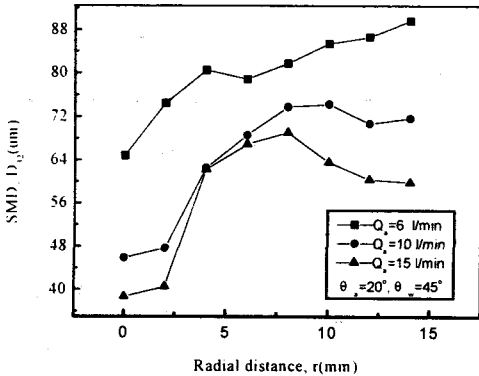


(b) Z=70mm

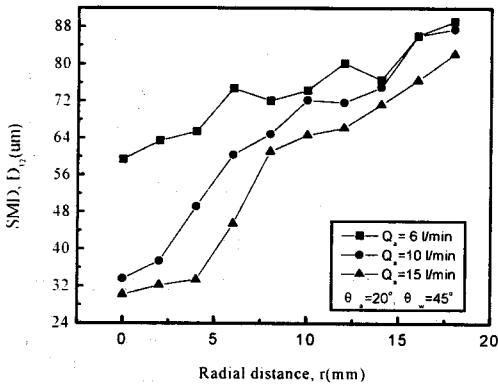
Fig.9 Distribution of droplet velocity
($\theta_a=20^\circ, \theta_w=45^\circ, Q_w=100\text{cc/min}$)

서 측정된 액적의 속도분포를 보여주고 있다. 미립화 공기량이 증가할수록 액적의 속도는 증가하고, 분무외곽으로 갈수록 축하방향으로 갈수록 액적의 속도는 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 공기의 속도분포가 입자의 축방향 평균 속도에

가장 큰 영향을 미치기 때문이며, 분무외곽과 분무하류로 갈수록 주위공기의 저항 및 유입으로 축방향 분무 모멘텀이 감소하기 때문이다. 또한, 분무가장자리에서는 속도차이가 별로 없으며, 하류에서는 약해진 축방향 속도에 공기량의 영향이 크다.



(a) Z=30mm



(b) Z=70mm

Fig.10 Distribution of Sauter mean diameter
($\theta_a=20^\circ$, $\theta_w=45^\circ$, $Q_w=100\text{cc/min}$)

Fig.10은 공기 선회각이 20° 이고, 액체 선회각이 45° 일 경우 공기량에 따라 노즐 선단으로부터 축방향으로 Z=30,70mm 떨어진 위치의 단면에서 측정한 액적의 크기 분포를 보여주고 있다. 공기 및 물의 선회의 영향이 크게 나타나며 특히 Q_a=10,15일때는 반경방향으로 갈수록액적의 크기가 커지다가 감소한다. 하류에서는 전형적인 분무형태로 반경방향으로 갈수록 크지는 양상을 보인다.

4. 결론

본 실험에서는 이유체의 선회각도 및 기액유량비에 따른 이유체 선회노즐의 분무 특성을 조사하기 위하여 액적의 속도와 입경을 동시에 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 공기 선회각이 클수록 축방향 속도는 적었으며, SMD는 45° 일때가 가장 작았다.
- (2) 내부와 외부에 선회를 주었을 경우가 그렇지 않은 경우보다 축방향 속도도 적었으며, SMD 역시 작았다.
- (3) 난류강도는 중심보다 분무군 외측에서 높다.
- (4) 공기 유량의 영향은 공기 유량이 많을수록 축방향 속도가 컸으며, SMD는 작았다.
- (5) 분무 가장자리에서의 속도분포의 변화가 거의 없으며 축방향 속도는 하류로 갈수록 공기량의 지배를 많이 받았다.

참고문헌

- (1) Kim,D.J. and Lee,C.W." The Influence of Co-axial Air Flow on the Breakup Length of a Smooth Liquid Jet," KSME, Vol.12, NO.6, pp.1390-1398.
- (2) Mao,C.P.,"Drop size Distribution and Air Velocity Measurements in Air Assist swirl Atomizer Sprays," ASME, Vol. 109, 1987, pp. 1390-1398.
- (3) Mao,C.P.,"Effect of Air Swirler Atomizations and Spray Flames Stability," ICLASS-'91, 1991, pp.513-520.
- (4) Ward, M.J., Bossard, J.A., Peck, R.E., and Hirtleman, E.D., "Spray Characterization in Axis- mmetric Swirling Combustor Flows," ICLASS -'91 1991, pp.529-537.
- (5) E.Kilik, " The Influence of Swirler Design Parameters on the Aerodynamics of the down- stream Recirculation Region," Ph. D. thesis, cranfield Institute of Technology, England, 1976.