

역선회 이류체 미립화기의 선회각 변화에 따른 미립화 특성연구

Study on the Atomization Characteristics of a
Counter-swirling Two-phase Atomizer with Variations of Swirl angle

김남훈* · 이삼구* · 하만호* · 노병준** · 강신재**

N. H. Kim, S. G. Lee, M. H. Ha, B. J. Rho, and S. J. Kang

Key Words: Counter-swirl(역선회), Atomizer(미립화기), Swirl angle(선회각), PDPA(위상 도플러 입자분석기)

Abstract

Experimental and analytical researches have been conducted on the twin-fluid atomizers for better droplet breakup during the past decades. But, the studies on the disintegration mechanism still present a great challenge to understand the drop behavior and breakup structure. In an effort to describe the aerodynamic behavior of the sprays issuing from the internal mixing counter-swirling nozzle, the spatial distribution of axial (U) radial (V) and tangential (W) components of droplet velocities are investigated across the radial distance at several axial locations of Z=30, 50, 80, 120 and 170mm, respectively. Experiments were conducted for the liquid flow rates which was kept constant at 7.95 g/s and the air injection pressures were varied from 20 kPa to 140 kPa. Counter-swirling internal mixing nozzles manufactured at angles of 15°, 30°, 45° and 60° the central axis with axi-symmetric tangential-drilled holes was considered. The distributions of velocities and turbulence intensities are comparatively analyzed. PDPA is installed to specify spray flows, which have been conducted along the axial downstream distance from the nozzle exit. Ten thousand of sampling data was collected at each point with time limits of 30 second. 3-D automatic traversing system is used to control the exact measurement. It is observed that the sprays with all swirl angle have the maximum SMD for on air injection pressure of 20 kPa and 140 kPa with centerline, respectively. The nozzle with swirl angle of 60° has vest performance.

1. 서 론

미립화기는 압력형 미립화기, 회전형 미립화기, 이류체 미립화기, 기타 미립화기 등으로 나눌 수 있다. 특히 이류체 미립화기를 통하여 분사된 분무를 형성하는 액적들은 작고 균일하며 시간

적, 공간적 분포 역시 다른 미립화기에 비해 균일한 장점을 가지고 있다. 또한 적용가능한 액체의 범위가 넓고 특히 고 점도 유체의 미립화에 성능이 뛰어나다는 장점 때문에 널리 적용되기 때문에 이류체 미립화기의 성능을 개선하기 위한 연구가 활발히 이루어 졌다. 본 논문 또한 좀더 효율이 뛰어난 이류체 미립화기의 개발의 일환으로 이루어 졌다.

사전 연구자들은 이류체 미립화기에서 미립화기의 성능을 개선시키기 위하여 기체에 선회를 주

* 전북대학교 대학원

** 전북대학교 기계항공시스템공학부 교수, 공업기술 연구소

거나, 액체에 선회를 주거나 혹은 이류체 모두에 선회를 주었다. 다른 한편으로 기체와 액체를 미립화기 내부 혹은 외부에서 충돌을 시켜 교란을 증가시킴으로서 미립화기의 성능을 개선시키는 연구를 실시하였다.

본 논문에서는 작동유체로 물과 공기를 사용하였으며, 노즐의 성능을 개선시키기 위하여 물과 공기 둘 모두에 선회를 주었고 노즐 내부에서 충돌을 일으키도록 선회방향을 각각 반대로 주어서 내부 교란 효과를 증가시키도록 교란된 역 선회 이류체 미립화기를 제작하여 실험을 시하였다. 본 실험의 목적은 선회각 변화에 따른 노즐의 미립화 특성변화를 살펴보고 그 중에서 미립화 특성이 우수한 노즐을 선정하는데 있다.

이류체 미립화기에 있어서 미립화의 영향을 미치는 인자는 노즐의 기하학적인 형상, 공기와 연료의 질량비, 연료의 점도, 분사되는 대기의 압력 등을 들 수 있다. 본 논문에서는 선회실의 법선과, 공기와 물의 유입구가 이루는 선회각으로 기하학적인 형상을 변화시켰다. 또한 물의 공급량을 7.85 g/s로 일정하게 고정시키고, 공기의 공급 압력(Pa)을 20 kPa에서 140 kPa까지 변화시켜가면서 실험을 실시하였다.

2. 실험장치 및 방법

실험장치는 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 공기와 물을 실험 조건에 맞게 조절하여 노즐에 공급하기 위한 분사시스템과 분사시스템으로부터 공급받은 공기와 물을 내부에서 충돌시켜 미립화시켜 대기중으로 분사시키는 역선회 이류체 노즐과 대기중에 분사된 분무의 거동과 액적 크기를 계측하기 위한 PDPA 계측시스템으로 나눌 수 있다.

실험에서 사용된 내부 혼합형 역선회 이류체 미립화기의 노즐부분을 Fig. 1에서 자세하게 보여 주고 있다. 노즐의 재질은 절삭력이 좋아 가공이 용이한 황동으로 하였고, 노즐의 거칠기에 의해 공기와 물의 유동에 저항이 생기지 않도록 정밀하게 가공하였다. 또한 유체의 공급장치에 의해서 발생 할 수 있는 유동의 맥동을 감소시키고 노즐 출구에서 분출되는 유동 조건이 연속적인 정상상태가 되도록 노즐 내부에 완충부를 주었다. 선회실로 들어오는 물과 공기의 방향은 각각 시계 방향과 반시계 방향으로 서로 반대가

되도록 설계가 되었다. 선회각은 선회실의 접선

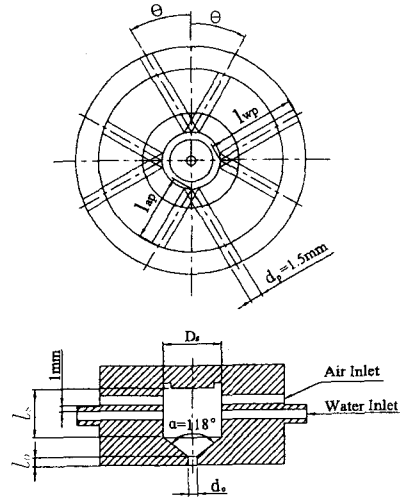


Fig. 1 Nozzle Configuration

방향과 물과 공기의 유입구가 이루는 각으로 15°, 30°, 45° 와 60° 의 선회각을 가지도록 공기와 물의 유입구의 각을 변화시켜서 실험을 실시하였다.

공급되는 물의 양은 7.95g/s 가 되도록 일정하게 고정시켰으며 공기분사압력(Pa)을 20kPa부터 140kPa 까지 증가시켜가면서 실험을 실시하였다. 각 방향의 속도 측정은 노즐출구 오리피스로부터 분무 축(Z) 방향으로 30mm, 50mm, 80mm, 120, 170mm인 지점에서 실시하였다. 측정은 3차원으로 실시하였고 신뢰할 수 있는 데이터를 획득하고자 30초까지 액적들을 측정할 수 있도록 제한

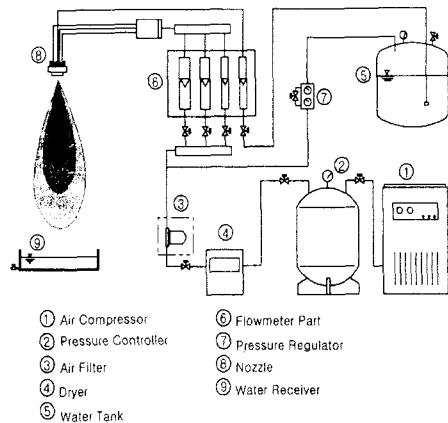


Fig. 2 Spray System

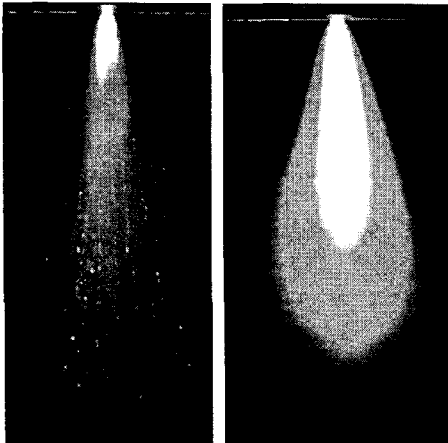
시간을 설정하였고 sampling data를 최대 10,000개까지 받아들일 수 있도록 하였다.

Fig.2 은 이번 실험에서 사용된 분사시스템의 개략도이다. 공기 압축기, 정확한 압력을 측정할 수 있는 압력계, 공기 압축기에서 발생한 파동을 제거 할 수 있는 regulator와 정류된 물에 압력을 줄 수 있고 저장할 수 있는 물탱크와 유량계(flowmeter)로 이루어져 있다

계측시스템은 PDPA 장치와 이송장치, 이송장치를 제어 할 수 있는 controller, 오실로스코프와 받아진 Data를 처리하기 위한 컴퓨터로 구성되어 있다. PDPA 장치는 아르곤 레이저 소스와 signal processor, 송광부와 수광부를 포함하는 광학장비, 광학 신호를 전기적 신호로 바꾸어 주는 photomultiplier로 구성되어 있다. 이송장치는 3차원으로 0.01mm까지 정확한 위치제어가 가능하다.

3. 실험 결과 및 고찰

역선회 이류체 노즐을 통하여 대기중에 분사된 분무의 구조와 미립화 상태를 전체적이고 정성적으로 알아보기 위하여 분무 형상을 가시화 하였다. 레이저 광원으로부터 Sheet를 발생시켜 분무 중심을 종단시켜 액적들이 반사시킨 광을 촬영하였다. 그러므로 상대적으로 수밀도가 높은 영역이 밝게 나타나게 된다.



(a) Pa=20 kPa (b) Pa=140 kPa

Fig. 3 Photograph Illustration Atomization

Fig. 3에서 보는 바와 같이, 분무 외곽영역과 하류 부분에서 공기의 분사압력이 낮을 때 보다

높을 때 더 수밀도가 크고 액적들도 미세한 경향을 보여준다. 이는 선행연구자들의 결과들과 잘 들어맞는다. 다만 압력이 낮은 경우에 분무 상류 영역은 밝게 나타나고 있어 수밀도가 커 보이지만 사실은 미립화가 적게 일어난 액막이나 액사, 그리고 상당히 큰 직경을 가지는 액적들로 이루어진 영역이었다. 따라서 분무 사진만을 가지고 미립화 정도를 판단하기는 상당히 어렵다고 판단된다. 그래서 미립화를 정량적으로 판단하기 위해서 SMD를 고려하여 노즐의 성능을 평가하였다. 또한 공기의 공급압력이 낮은 경우는 미립화상태가 양호하지 못하기 때문에 주로 높은 공기압력일때의 조건으로 선회각 변화에 따른 노즐의 성능을 비교하였다.

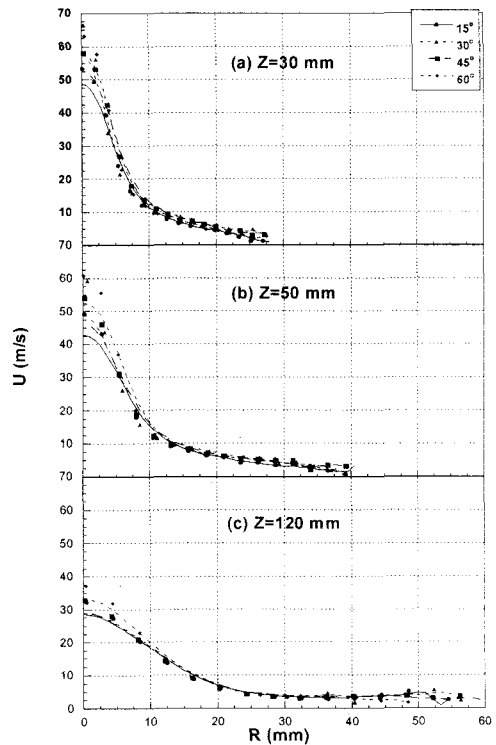


Fig. 4 Axial Mean Velocity Profiles(Pa=140kPa)

Fig.4 에서는 분무 중심축으로부터 떨어진 거리에 따른 축방향 속도분포를 나타낸 그래프이다. 분무사진과 축방향 속도 성분을 고려하여 분무 구조를 살펴보면 분무 중심에서 중공부분을 형성하지 않고 축방향 최대속도를 가지는 단공디젤 노즐의 분무형상과 유사한, solid corn type의 분무구조를 가진다. 축방향 최대속도는 분무 하류로 갈

수축 점점 감소하고 분무 폭은 점점 증가한다.

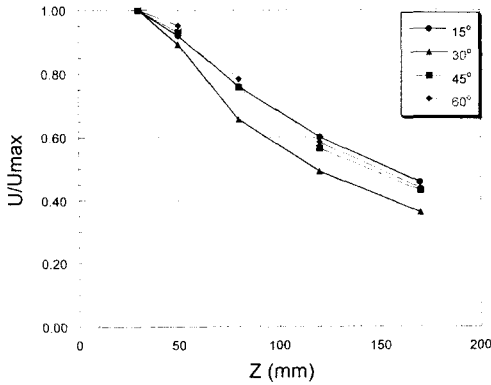


Fig. 5 Distribution of Maximum Axial Mean Velocity with Centerline (Pa=140 kPa)

Fig.5에서 노즐 출구로부터 축방향 거리(Z)가 커질수록 분무 중심축선상에서 축방향 최대속도의 감소 경향이 선회각의 변화에 따라서 어떻게 달라지는가를 알아보기 위하여 도시하였다. 세로축에는 중심축선상에서 축방속도성분(U)을 중심축선상에서 나타난 축방향 최대속도(U_{max})로 나눈 값을 표시하였고 가로축에는 노즐 출구로부터 떨어진 거리(Z)를 표시하였다. 선회각이 30° 인 경우를 제외하고 거의 비슷한 수치로 선형에 가깝게 감소하는 경향을 보이고 있다. 선회각이 30° 인 경우는 축방향 거리가 50mm인 지점부터 다른 선회각의 노즐보다 낮은 값은 나타낸다. 이는 선회각이 30° 인 경우가 분무 중심선상에서 다른 노즐보다 공기와의 큰 상호작용으로 인하여 운동에너지가 감소하면서 큰 액적들이 작은 액적들로 미립화되기 때문이라고 사료된다.

Fig.6에서 분무 반폭을 도시하였다. 분무폭은 사진관독으로 얻어지는 것이 일반적이지만 분무 경계에 대한 기준을 설정하는 것이 주관적일 수 있기 때문에 분무반폭을 많이 사용한다. 분무반폭(B)은 축방향 거리(Z)가 같은 분무 단면에서 최대속도를 측정하여 그 속도의 1/2이 되는 지점이 분무 중심선으로부터 떨어진 거리로 정의된다. 분무 하류로 갈수록 분무 반폭이 선형적으로 커지는 것을 알 수 있다. 이는 solid cone 타입의 분무구조에서 일어나는 일반적인 현상으로, 본 실험에서 사용된 역선회 이류체 미립화기를 통하여 분사된

분무 형태가 solid cone 타입임을 단적으로 보여준다

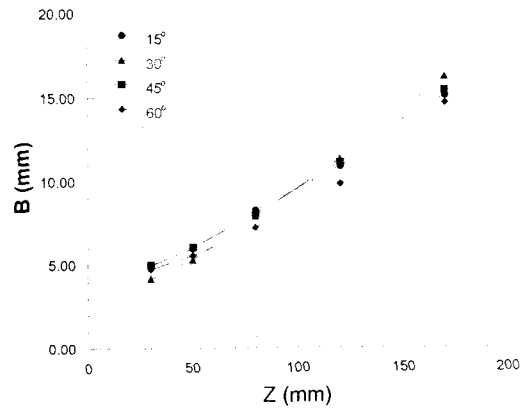


Fig. 6 Variation of Spray Half-width at Various Axial Distance (Pa=140kPa)

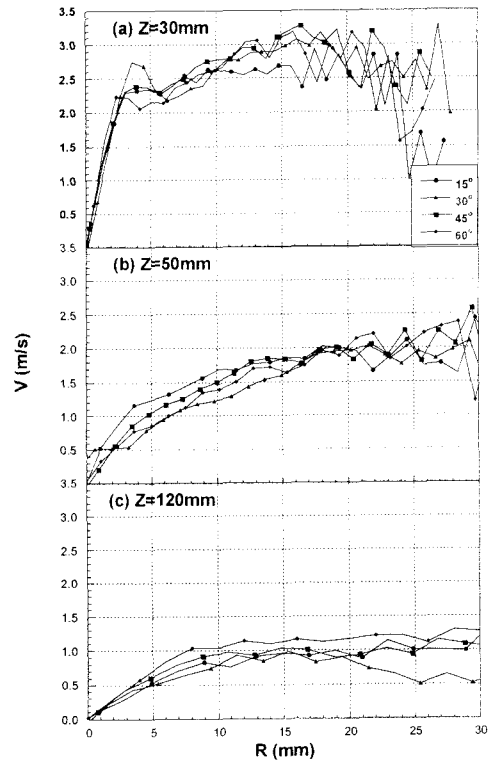


Fig. 7 Radial Mean Velocity Profiles (Pa=140kPa)

분무거동에 있어서 액적들의 운동량 확산을 살펴보기 위하여 반경방향의 속도분포를 Fig.7에서

나타내었다. $Z=30\text{mm}$ 인 단면에서 선회각에 상관 없이 크게 세 부분으로 구분된다. 첫 번째 영역은 $R=5\text{mm}$ 이내인 영역이다. 이 영역에서 나타나는 반경방향 속도분포는 선형적으로 큰 구배를 가지고 증가하는 모습을 보여주고 있다. 축방향 속도역시 최대속도의 1/2이상으로 큰 값을 가진 영역으로 분무 상류이고 중심에서 가까기 때문에 대기 중의 공기와의 접촉이 적기 때문에 큰 운동량의 손실이 없기 때문이라고 생각된다. 두 번째 영역은 $R=5\sim 15\text{mm}$ 에서 나타나는 현상으로 반경방향 속도가 점진적으로 증가하기는 하지만 첫 번째 영역보다 확연히 작은 구배를 가지고 증가하는 모습을 보인다. 마지막 구간은 그 바깥부분에 나타나는 영역이다. 이 부분에서는 액적들이 공기의 저항으로 인하여 운동량을 잃고 낮은 속도로 부유하기 때문에 주위 공기유동의 영향을 크게 받기 때문에 매우 불안정한 속도분포를 나타내는 것으로 생각된다.

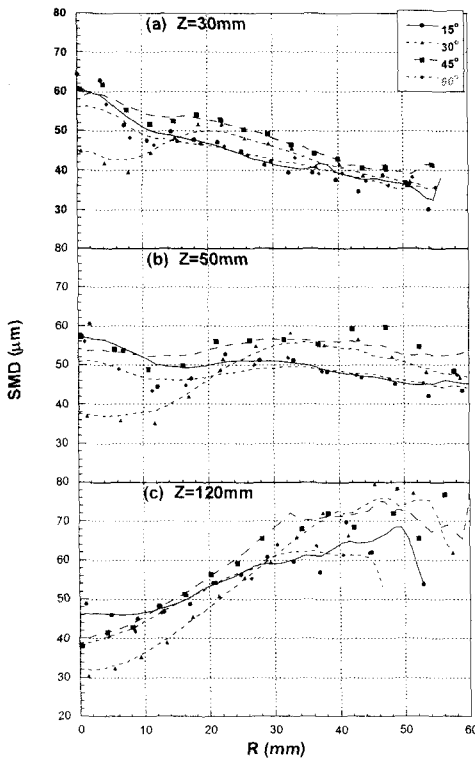


Fig. 8 Distribution of SMD with Radial Distance (Pa=140kPa)

미립화 특성을 나타내기 위하여, 액적의 표면

적에 대한 체적의 비를 나타내는 SMD를 반경방향 거리(R)에 따라 Fig. 8에 나타내었다. 분무 중심영역에서는 분무 하류로 갈수록 SMD가 작아지는 경향을 보인다. 이는 분무 상류영역에서는 분사 후 주위의 공기와의 접촉거리가 짧고 중심영역에 있기 때문에 공기의 저항을 상대적으로 적게 받기 때문에 미립화가 활발하지 못하지만 분무 하류로 갈수록 주위 공기와의 접촉거리가 늘어나면서 보존되었던 운동에너지가 미립화를 촉진시키는 원동력이 되어 미립화가 하류방향까지 일어난다고 판단된다.

반면에 분무 외곽영역에서는 주위공기와의 활발한 접촉으로 인하여 대부분의 운동에너지를 미립화에 사용하여 낮은 속도로 운동하다가 작은 액적들끼리 충돌하면서 일어나는 흠착현상으로 인하여 분무 하류에서 SMD가 크게 증가하는 현상을 보이고 있다.

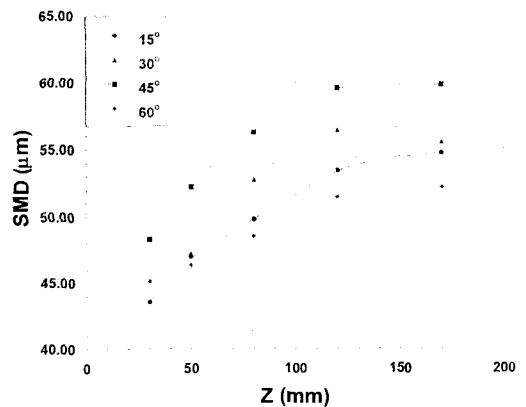


Fig. 9 Distribution of Mean SMD with Centerline (Pa=140kPa)

Fig. 9에서는 각 단면에서 평균을 취한 SMD를 보여주고 있다. 분무 하류로 갈수록 SMD가 증가하는 경향을 보인다. 이는 분무 중심에서 일어나는 분열 현상보다는 분무 외곽영역에서 일어나는 흠착현상이 분무 하류로 갈수록 많이 나타나고 있음을 보여준다. 선회각이 60° 인 경우가 전체적으로 가장 작게 나타나지만 선회각의 변화에 일정한 경향은 없는 것으로 나타난다.

선회각에 따른 성능을 정량적으로 비교하기 위하여 미립화기의 기능을 충실히 수행 할 수 있는 조건이라고 판단되는, 공기의 공급압력(Pa)이

140kPa에서 모든 특정점의 SMD를 평균하여 Fig. 10에 나타내었다. 이러한 값들이 물성치처럼 물리적으로 의미를 가지는 값들은 아니지만 같은 조건에서 선회각의 변화에 따른 노즐의 성능을 객관적으로 평가할 수 있다고 판단된다. 선회각에 따른

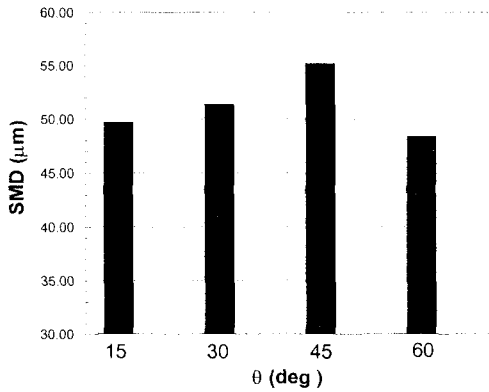


Fig. 10 Overall Mean SMD with Swirl angle (Pa=140kPa)

미립화는 선회각이 60°일 때 가장 양호한 것으로 나타난다. 이는 평균 SMD가 가장 크게 나온 선회각이 45°인 경우보다 약 13%가 작은 값을 나타낸다. 이러한 원인은 노즐 내부에서 일어나는 교란때문이라고 생각되지만 이 교란에 미치는 인자들이 많고 현재로서는 노즐 내부에서 발생하는 현상들을 관찰하기가 용이하지 않아서 정확하게 파악할 수 없었기 때문에 후에 더욱 연구가 필요한 부분이라고 생각된다.

4. 결론

PDPA를 이용하여 역선회 이류체 미립화기로부터 분사되는 분무를 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 역선회 이류체 미립화기에 의해 형성된 분무는 solid cone 타입의 분무구조를 가짐을 분무사진과 축방향 속도분포를 통하여 확인하였고 둘째로 공기의 공급압력(Pa)이 140 kPa일 때, 분무 중심영역에서 축방향 속도분포는 선회각이 60°일 때 가장 높게 나타나고 선회각이 15°일 때 가

장 작게 나타나며, 전체적인 속도분포는 정규분포 형태를 이루고 있다.

미립화 성능을 정량적으로 평가하기 위해 살펴본 SMD에서는 노즐 선단부근 분무 중심영역에서 크게 나타나다가 분무 하류로 갈수록 작아지고, 분무외곽영역에서는 상류영역에서는 작은 값을 나타내다 분부하류로 갈수록 커진다. 또한 전단면 평균 SMD는 선회각이 45°일 때 가장 크고, 60°일 때 가장 작으면 선회각이 45°일 때 보다 약 13%가 작은 값을 가진다.

5. 참고문헌

- [1] Mao, C. P., "Drop size Distribution and Air Velocity Measurement in Air Assist swirl Atomizer Sprays, ASME, Vol. 109, (1987), pp.1390-1398.
- [2] schmidt U. P. and sojka P. E., "Air-assist Pressure-swirl Atomization", Atomization and Sprays, Vol. 9, (1999), pp. 173-192
- [3] Rho, B. J., Kag, S. J., Lee, S. G., and Oh J. H., "Swirl Effect on the Spray Characteristics of a Twin-Fluid Jet", KSME International Journal, vol. 12, no. 5, (1998), pp. 899-960
- [4] Rho, B. J., Kang, S. J., Lee, S. G., and Oh J. H., "An Experimental Study on the Atomization Characteristics of a Two-Phase Turbulent Jet of Liquid Sheet Type Co-Axial Nozzle", Transaction of KSME, vol. 19, no. 6, (1995), pp. 1529-1533
- [5] C. Presser, C. T. Avedisian, J. T. Hodges, and A. K. Gupta. " Behavior of Droplets in Pressure-Atomized Fuel Sprays with Coflowing Air Swirl", Progress in Astronautics and Aeronautics, vol. 2, chap. 2, (1996), pp. 31-62
- [6] P. J. Mullinger and N. A. Chigier, "The Design and Performance of Internal Mixing Multijet Twin Fluid Atomizers", Journal of the Institute of Fuel, Dec., (1974), pp. 251-261
- [7] Rao, K. V. L. and Lefebvre, A. H., "Fuel Atomization in a flowing Airsteam", AIAA Journal, vol, 13, (1975), pp. 1413-1415