

혼합실 구조 변경에 의한 2상 노즐의 미립화 특성

하만호[†] · 김규철^{*} · 남궁정환^{*} · 이삼구^{**} · 노병준^{***} · 강신재^{***}

Atomization Characteristics of 2-Phase Atomizer with the change of Mixing Chamber Structure

M. H. Ha, K. C. Kim, J. H. Namkung, S. G. Lee, B. J. Rho, S. J. Kang

Key Words: PDPA(위상 도플러 입자 분석기), SMD(Sauter 평균직경), ALR(공기 질량 유동율 / 액체 질량 유동율 비), AMD(산술 평균직경), 2-phase Internal Mixing Nozzle(2상 내부 혼합 노즐)

Abstract

The purpose of this study is to present the atomization characteristics of 2-phase internal mixing nozzle. The obtained results are considered as the essential information of understanding the spray characteristics from the nozzle exit of an aerated nozzle. In this study, SMD and AMD are mainly measured at the distance of Z=10, 20, 50, 80, 120 and 170mm from the nozzle tip. The liquid flow rate was kept at 1.8g/s and the air feeding pressure was changed from 10kpa to 100kpa increasingly. The analysis of the acquired data was performed by 2-D PDPA system and in order to get the realibility, the number of data used in calculating the SMD & AMD were 10,000 samples.

기호설명

Z : 축방향 거리, R : 반경방향 거리

1. 서 론

최근에는 산업사회의 급속한 발전과 더불어 연소기, 내연기관 등으로부터 배출되는 배기 가스에 의한 대기 환경오염 문제가 전 세계적으로 대두되고 있는 실정이다. 따라서 이러한 환경오염을 줄이려는 연구자 등의 노력이 지금 이 시간에도

끊임없이 이루어지고 있다. 특히 배기가스 저감을 효율적으로 감소 시키려면 열 및 물질전달에 관한 연구가 필수적이다. 이에 관한 연구로써는 다양한 기술이 있지만 산업사회에 전반적으로 사용되는 다양한 노즐에 관한 연구도 하나의 기술이 되겠다. 주로 단공노즐, 다공노즐, 노즐의 형상비 변화(L/D ratio), 공기와 유체의 분열 메커니즘에 대해서 공기와 유체의 상호 분열 과정에 대한 상당히 진일보한 연구가 이루어지고 있으며 지금도 세계 여러곳에서 더욱 향상된 미립화 성능을 위한 연구가 이루어지고 있다. 특히 여러가지 노즐 중에서도 이류체 미립화기는 연소에 적용되는 경우 액체 연료와 공기가 쉽게 혼합되기 때문에 매우 양호한 미립화가 이루어진다고 보고되고 있다. 지금까지의 2유체 노즐에 대한 연구는 주로 외부에서 공기와 유체가 혼합되는 외부 혼합형 노즐이 주를 이루었다. 그래서 이 분야에 대한 연구는 많은 자료를 충분히 축적하

[†] 전북대학교 대학원 정밀기계공학과
E-mail : mandu20@mail.chonbuk.ac.kr
TEL : (02)123-1234 FAX : (02)123-1234

^{*} 전북대학교 대학원 정밀기계공학과

^{**} 전북대학교 자동차 신기술 연구소

^{***} 전북대학교 기계항공시스템공학부 교수
자동차 신기술 연구소

었다. 이러한 결과로 주로 요즘은 내부 혼합형 노즐에 대한 연구가 주목을 가지게 되었는데 그 중에서도 공기주입 2유체 노즐에 대한 관심은 날로 커지고 있다. 특히 Chen 등은 Effervescent 미립화기를 사용하여 액체의 점성과 표면장력을 변화시키면서 챔버 내의 공기 압력을 변화시키면서 미립화기의 유동 특성을 연구한바 있고, Santangelo와 Sokja는 내부 혼합형 Effervescent 미립화기를 이용하여 노즐 출구 근방에서 Focused-Image Holography 기법을 이용하여 이전의 연구가 주로 노즐 오리피스로부터 약간 떨어진 거리를 대상으로 하여 정확한 분무 구조를 잘 이해하지 못한 바를 지적한 바 있다. Shea와 Elata 등은 무화과정을 bubble 성장물이라는 특성과 연관지기도 하였다.

2. 실험장치 및 측정방법

2.1 실험노즐

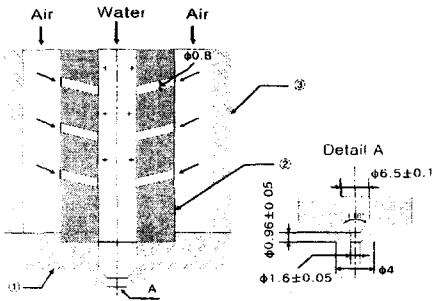
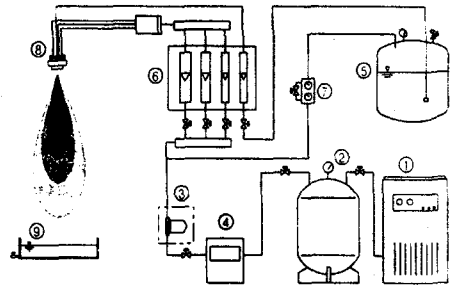


Fig 1. Schematic configuration of two-phase internal mixing nozzle

Fig 1은 실험에서 사용된 2상 내부 혼합형 노즐 형상이다. 노즐을 구성하는 재료는 황동이고 노즐 형상에서 보이듯이 액체는 노즐 윗부분으로 유입되어서 출구 오리피스 아랫부분으로 흘러 가게 된다. 공기는 2가지 상인 액체와 공기의 혼합을 위하여 혼합튜브에 뚫어 놓은 작은 분사 구멍을 통과하여 혼합튜브 주위 공간을 통해 유입된다. 혼합튜브는 내부직경이 0.8mm로 가공하였으며, 노즐출구의 오리피스 직경은 $d=1.6\text{mm}$, $L/d = 0.6$ 본 실험에서는 물의 공급유량을 1.793g/s 로

고정하고 공기의 질량을 $0.1836\text{g/s} \sim 0.5806\text{g/s}$ 까지 10가지 조건을 변화 시켜 가며 실험을 하였다. 노즐 출구로부터 $Z= 10, 20, 50, 80, 120, 170\text{mm}$ 에서 데이터를 취득하였다.

2.2 실험장치



① air compressor ② air storage & pressure gauge ③ air filter
④ surge tank ⑤ water storage tank ⑥ flowmeter for the air & liquid ⑦ pressure regulator ⑧ nozzle ⑨ spray demister

Fig 2. Schematic diagram of experimental apparatus

Fig 2는 노즐 분사장치의 개략도이다. 노즐 분사장치에 필요한 장치는 기체공급부, 액체공급부, 노즐지지부로 나눌 수 있다. 기체 공급은 압축기를 사용하였고 압축기의 미세한 맥동을 제거하기 위하여 별도의 완충용 압력용기를 사용하여 공기가 공급되도록 하였다. 또한, 압축공기에 포함된 불순물을 제거하기 위하여 분순물 여과기를 설치하였다. 공기의 유량은 공기 유량계를 사용하여 조절하였고 액체의 공급은 공기 압축기에서 생성된 여분의 공기압을 가스 레귤레이터를 사용하여 일정 압력의 공기로 물탱크를 가압하도록 하였다. 그리고 유량 조절은 유량조절밸브를 통하여 조절하였다. 또한, 노즐은 3차원 이송장치에 장착하여 분무 축방향과 반경 방향으로 이송시켜 분무된 액적을 측정하였다.

2.3 측정장치

본 연구에서는 액적의 크기와 속도를 동시에 측정할 수 있는 PDPA 시스템을 사용하였다. 광계측기는 PDPA광학부, 신호처리기, 3차원 이송장치가 필요하다. 광학계는 송광부(transmitting optics), 수광부(receiving optics), 3차원 이송장치

로 구성되어져 있다. 광원으로는 공랭식 Ar-ion 레이저(750mW)를 사용하였으며, 광학부는 벤치에 고정하고 노즐은 3차원 이송장치에 장착하였다. 또한 PDPA를 이용하여 액적을 측정시 수광 센서에 공급되는 고전압을 적절히 고려해야 하는데 본 실험에서는 고전압을 1400 volt로 고정하고 측정을 하였다. 각 측정점에서의 데이터 샘플링은 10,000 하였고 이 때 샘플링에 소요되는 시간은 60초를 초과하지 않았다. 본 실험에서는 다음과 같은 PDPA시스템 사양을 가지고 실험을 하였다. Angle Adjustment 는 2.0mm, 이고 Scattering angle은 43°이고, Focus length는 수광부는 600mm, 송광부는 310mm이다

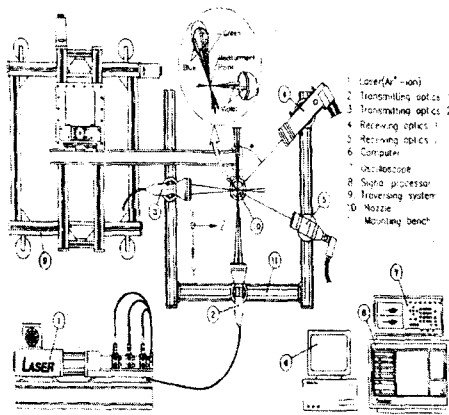


Fig 3. PDPA System

3. 실험결과 및 고찰

3.1 SMD (Sauter mean diameter)

ALR = 0.1774에서 노즐 출구에서 축방향으로 10 mm 위치에서는 분무 중심부에서는 SMD가 작고 반경방향으로 4mm지점에서는 SMD가 커지다가 다시 분무 외곽 방향에서는 SMD가 작아지는 현상을 볼 수 있다. 이는 분무 중심부에서는 상대적으로 강한 공기와 액체간의 상대속도의 증가로 인하여 액적의 분열을 촉진시켜 SMD가 작게 나타나는 것으로 사려되며 다시 반경방향 4mm지점에서 SMD가 커지는 현상은 중심부에서 분열된 작은 액적들이 이 지점에서 주위공기

로 인하여 분열된 액적들과 합착을 일으켜 SMD가 크게 나타난 것으로 생각된다. 그리고 다시 분무외곽에서 SMD가 작게 나타나는 것은 아마도 분부된 작은 액적들의 부유물인 것으로 생각된다. 다시 액적은 분무가 진행될수록 반경방향으로 팽창되어지는 것을 볼 수 있다. 이는 분무가 축 방향이 노즐에서 멀어질 수록 점점 더 그 팽창폭은 커짐을 알 수가 있다. 이는 아마도 분부 상류에서는 분열이 빠르게 일어나지만 분부 하류로 갈수록 운동량이 작은 액적들의 합착으로 인하여 액적 직경이 커지는 것으로 생각된다.

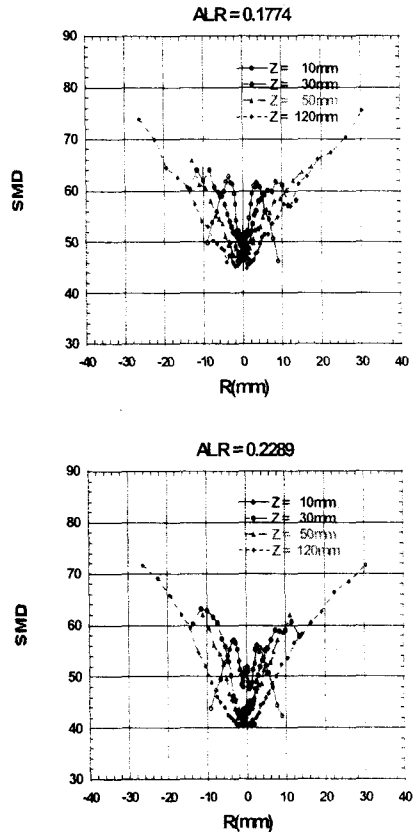


Fig 4. SMD distribution at each section from nozzle exit with ALR

그림에서 알 수 있듯이 ALR 비가 0.2289에서는 Z=10mm 위치에서 ALR비가 0.1774와 비교해보면 중심부에서 ALR비의 증가에 따라 액적분열이 더욱 활발히 일어나서 액적의 합착 현상이 일어남을 알 수 있다. 이는 결과적으로 SMD의 증가

를 가져왔다. 분무가 축 방향으로 진행 될수록 SMD분포 양상은 ALR 비가 0.2289와 거의 비슷한 양상을 보이고 있다. 이는 ALR 비가 0.3072에서 같은 물리적 현상이 일어남을 알 수 있다. 또한, 전체적으로 ALR비가 증가 할수록 액적의 분열이 활발히 일어남을 알 수가 있다.

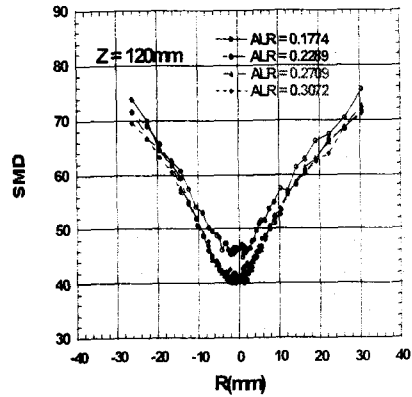
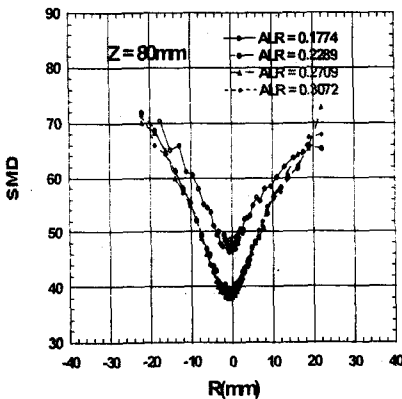
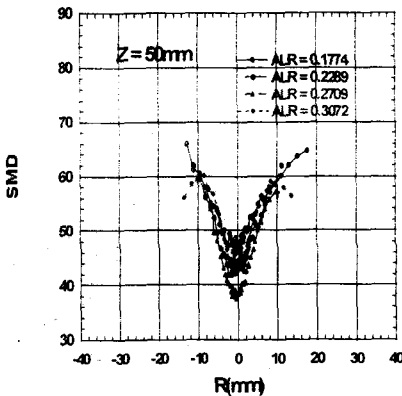
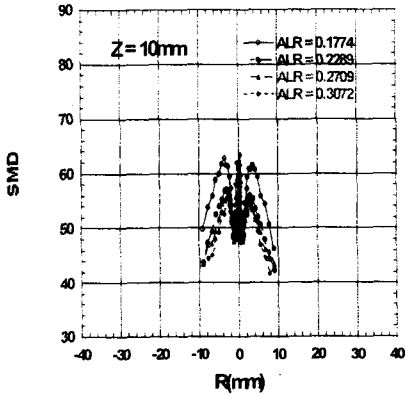


Fig 5. SMD distribution characteristic along the axial distance

Z=10mm위치인 분무 상류에서 분무중심부에서는 SMD가 분무외곽지점에 비하여 크게 나타난다. 또한 ALR비가 증가 할 수록 노즐로부터 분사되는 공기의 질량비 증가로 액적의 분열이 활발히 이루어져 액적들간의 함착으로 인하여 이러한 결과를 보여주는 것으로 생각된다. 그러나 분무외곽에서는 중심부에 비하여 SMD가 작게 나타나고 ALR비가 증가 할수록 SMD가 작게 나타난다. 이는 분사되는 액적이 주위 공기와의 상대 마찰속도의 증가로 인하여 액적이 좀 더 미립화가 잘 이루어지는 것으로 추측되어진다.

Z=50mm위치에서는 분무 상류지점 보다 분무 반경 방향으로 팽창현상이 두드러짐을 볼 수 있다. 또한 ALR비가 증가시에 같은 현상이 나타남을 알 수 있다. 그러나 분무중심에서 ALR비가 0.2709보다 ALR비가 0.3072의 SMD가 작게 나타날 것으로 예상하였는데 의외로 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이는 ALR비의 증가가 Z=50mm 위치 이상에서는 오히려 미립화가 잘 이루어지는 것으로 생각된다. Z=80mm 위치에서는 분무 중심부에서 ALR비가 0.1774보다 ALR비 0.2289 이하의 SMD가 훨씬 작게 나타나며 미립화가 활발히 일어나는 것을 알 수 있다. 반경방향으로 팽창 현상 또한, ALR비가 0.1774보다 0.2289 이하에서 두드러지게 나타나며 거의 같은 팽창폭을 가짐을 알 수 있다. Z=120mm 위치는 분무의 하류 방향인데 이 위치에서는 ALR비가 증가 할수록 분무 중심부에서는 SMD가 작고 분무 외곽으로 분무가 진행 될수록 커진다.

3.2 AMD (Arithmetic mean diameter)

그림 6에서 ALR=0.1774 조건에서는 초기 분무 상류 지점 Z=10mm 에서는 분무 중심부에서는 작은 AMD 분포를 보이다가 반경방향 약 2mm 지점에서는 갑자기 AMD가 증가하다가 이후 다시 작아지는 경향을 보인다. 이는 다른 연구자들

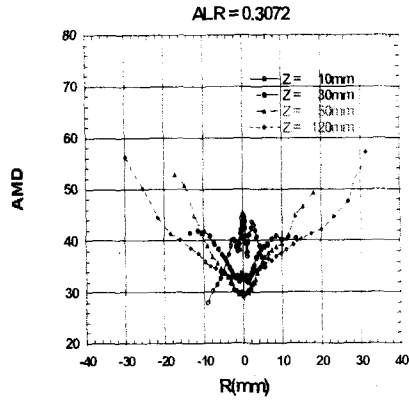
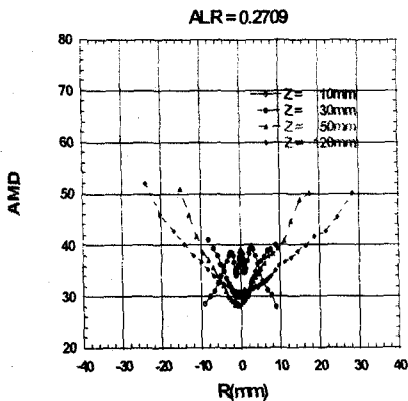
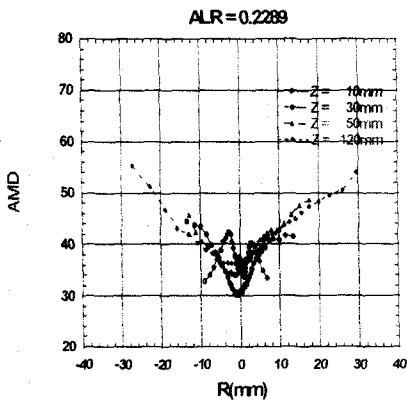
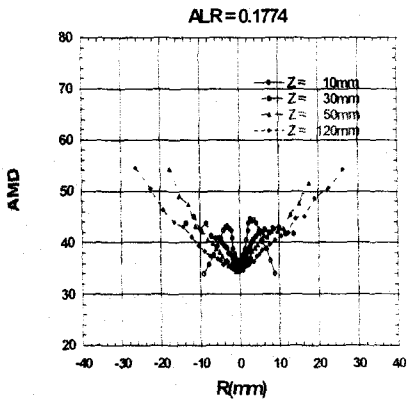


Fig 6. AMD distribution at each section from nozzle exit with ALR

은 이 모양을 발안장 형태나 박쉬 난개 모양이라고 일컫기도 한다. 이는 아마도 분무 축 중심영역에서는 노즐에서 분사되는 공기의 강한 모멘텀으로 인하여 액적의 분열이 아주 잘 이루어져서 미립화가 잘 되지만 분무 축 중심영역을 벗어난 위치에서는 오히려 주위 기체의 반경방향으로의 유입으로 인하여 분무 중심부에서 아주 작게 미립화된 액적들이 이 위치에서는 액적과 액적들의 합착이 이루어져서 오히려 액적의 크기가 커지는 결과를 보이는 현상이 이루어진다고 생각된다.

노즐 팁에서 분무 축 방향으로 분무가 진행 될 수록 액적의 분열은 반경방향으로 좀 더 활발히 이루어지고 있음을 보이고 있다. ALR비가 증가 될수록 분무 축 중심 영역에서는 액적이 가지는 모멘텀은 증가하지만 오히려 ALR비가 작은 경우 보다 액적의 크기는 증가되는 현상을 보이고 이는 주위 기체의 유입이 이세는 분무 축 중심영역에 상당히 많은 효과를 주기 때문에 오히려 액적의 크기가 증가 되어지는 것으로 사려된다. 또한, 분무 하류 방향으로 액적들이 퍼지는 현상은 더욱 더 증가 되어지는 현상을 보이고 있다. AMD와 SMD를 비교 해 보면 전체적으로 분무에서 나타나는 경향을 거의 일치함을 보이고 있다. 그렇지만 액적의 직경 측면에서 일반적인 경향은 AMD가 SMD에 비하여 작은 액적의 크기를 나타낸다. 이는 아마도 AMD는 측정되는 액적의 전체적인 액적의 크기를 평균적으로 나타내기 때문에 윗 부분에서 언급한 경향이 나타나는 것으로 사려된다.

4. 결 론

참고문헌

1. ALR비가 작은 조건에서 SMD의 분포는 분무 상류 지점에서는 노즐에서 분사되는 강한 모멘텀으로 인해 미립화가 촉진되어 이때 발생된 작은 액적들은 다시 반경방향 4mm지점에서 액적의 합착현상이 일어나 SMD가 커지는 현상을 보인다.
2. ALR비가 커질수록 액적의 크기는 더욱 작게 나타나 미립화에 긍정적인 효과를 가져온다.
3. AMD 경향은 SMD의 액적 크기 분포와 거의 같은 경향은 나타낸다.
4. AMD에서 측면에서 액적이 가지는 분무경향은 ALR비가 증가 될수록 분무 축 중심 영역에서는 액적이 가지는 모멘텀은 증가하지만 오히려 ALR비가 작은 경우보다 액적의 크기가 증가 되는 현상을 보인다.

- (1) Sher, E., and Elata, D., Ind. Eng. Chem Process Des. Dev., Vol. 16, 1997, pp. 237-242
- (2) Marek, C. J., and Cooper, L. P., U.S. Patent No. 4, 189, 914, 1980.
- (3) Lefebvre, A. H., Wang, X. F., and Martin, C.A., Spray Characteristics of Aerated Liquid Pressure Atomizer, AIAA J. Propul. Power, in press
- (4) S. Kevin Chen and Arther H. Lefebvre, "Spray Cone Angle of Effervescent Atomizers", Atomization and Sprays, vol. 4, pp. 291-301, 1994.
- (5) S. K. Chen and A. H. Lefebvre, "Influence of Ambient Air Pressure on Effervescent Atomization", Journal of Propulsion and Power, vol. 9, No. 1, 1993.
- (6) Philip J. Santangelo and Paul E. Sojka, "A Holographic Investigation of the near-nozzle Structure of an Effervescent Atomizer-Produced Spray", Atomization and Sprays, vol. 5, pp. 137-155, 1995.