

스월분무특성에 미치는 점성의 영향

The Effect of Viscosity on the Spray Characteristics of Pressure Swirl Atomizer

윤 석 주*, 조 대 진**
S. J. Yoon, D.J. Cho

ABSTRACT

In the pressure swirl atomizer, the liquid is injected through tangential passages into a swirl chamber, from which it emerges with both tangential and axial velocity components to form a thin conical sheet at the nozzle exit. This sheet rapidly attenuates, finally disintegrating into ligaments and then drops.

The purpose of this study is to measure the spray characteristics according to variation of viscosity of the spray produced by the pressure swirl atomizer. The nozzle tested here were especially designed for this investigation. The discharge coefficient is determined by measuring the volume flow rate with a flow meter and the cone angle of the liquid sheets issuing from the nozzle is obtained from series of photographs of the sheet for various liquid viscosity and injection pressure. And mean drop size is measured by image processing method.

It is found that the geometrical characteristics of the nozzle and the variation of viscosity were the influential parameters to determine the spray characteristics such as the cone angle, discharge coefficients and SMD.

주요기술용어 : Viscosity effect(점성영향), Spray cone angle(분무각),

Discharge coefficient(유량계수), Pressure swirl atomizer(압력식 스월 분무기)

1. 서론

압력식 스월 노즐은 노즐 내부의 와류실 바깥부분에서 접선 방향의 유입포트를 통해 액체가 와류실 내로 유입되며, 와류를 형성하면서 축 방향으로 흐른다. 와류실의 중심 부분에 원추형태의 공기코어(air core)를 형성하며 원심력에 의해 액체는 속이 빈 원추형(hollow cone) 액막의 형태로 노즐에서 분출하고 이 액막이 하류로 진행하면서 분열이 일어나게 되어 결국에는 액적들이 형성된다.

미립화에 관한 연구는 수치 해석을 통한 이론적 연구^{(1),(2),(3),(4)}와 각종 계측 장치를 이

용한 실험적 연구^{(5),(6),(7)}가 수행되고 있으며 최근에는 전자 및 광학장치의 발달로 분무현상 및 거동의 관찰 뿐만 아니라 화학 반응이 수반되는 경우에 이르기까지 관찰과 예측이 가능^{(8),(9)}해지고 있다. 하지만, 액체의 미립화는 단순한 독립된 과정으로 생성되지 않고 연료의 밀도, 점도, 표면장력 등의 물성치와 분사압력, 노즐의 구조와 형상 그리고 분위기의 조건 등에 영향⁽¹⁰⁾을 받으며 비정상적인 유체의 운동을 취급하므로 해석이 곤란하고 또한 현상이 고속이면서 순간적이다. 따라서 미립화에 대한 연구와 해석을 위해서는 액체의 물성과 분사노즐의 기하학적 형상이 분무에 미치는 영향에 대한 분석이 요구된다.

따라서, 본 연구의 목적은 압력식 스월노

* 전북대 기계공학부, 자동차신기술연구소

** 경희원, 전북대 대학원

즐의 액막 형성 과정에 영향을 미치는 노즐의 내부형상변화와 분사액체의 점도변화에 따라 실험을 수행하여, 노즐의 내부형상과 액체의 점도가 분무각, 유량계수, 평균액적크기 등의 분무특성에 미치는 영향을 이해함으로써 압력식 스웰 노즐의 분무특성을 규명하고자 하였고, 나아가서는 압력식 스웰 노즐이 적용되는 각종 산업용기기의 구조 설계 및 분무를 이용하는 각종 시스템의 효율 개선을 위한 분사노즐 개발 등의 실제 응용에 관한 기초 자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

압력식 스웰 노즐의 분무 입경 및 분포를 측정하기 위하여 본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도를 Fig.1에 도시하였다. 실험장치는 분무를 발생시키기 위한 분사 장치, 유량을 측정하기 위한 유량 계측 시스템, 분무 액적 크기를 계측하기 위한 광학장비, 분무원추각 계측을 위한 사진촬영시스템으로 구성되어 있다.

분사 액체는 상온의 물에 글리세린을 혼합하여 점도를 변화시켜 사용했으며 압축 질소에 의해 0~3 MPa 까지 가압이 조절되는 고압 용기에 저장하였다. 고압 용기 출구에서 5 μ m의 정도를 갖는 필터를 설치하여 액체 속에 존재하는 불순물을 제거하였다. 고압 용기에서 나온 액체는 일정한 관내압력을 유지하는 압력 조정기를 거쳐 노즐로 압송된다. 분사된 부유입자들의 재순환 영향으로 인해 발생할 수 있는 측정 오차를 줄이기 위하여 분사장치 하단부에 흡입 팬을 설치하였다.

Fig.2에 본 연구에서 사용된 노즐의 구조를 개략적으로 도시하였다. 분사 압력은 오리피스 출구에서의 동압을 측정하기가 어려우므로 그림에서처럼 스웰챔버 밖에 상대적으로 큰 정압실을 만들었으며, 정압실에 직각으로 설치된 정압관을 통해 압력 변환기로 측정된 압력을 분사 압력으로 정의하였다.

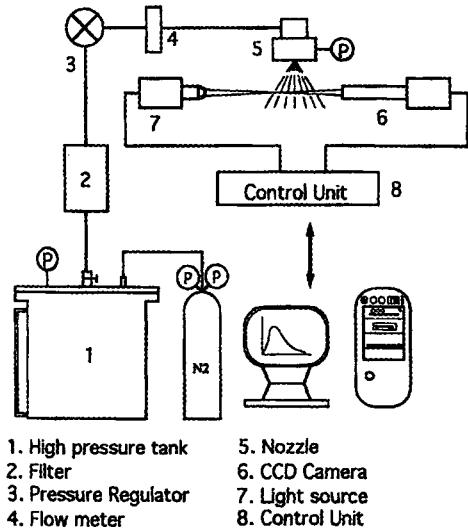


Fig.1 Schematic diagram of droplet size analysis system

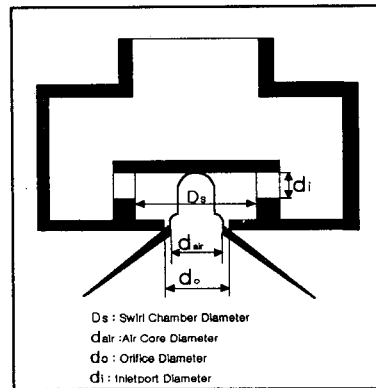


Fig.2 Structure of pressure swirl atomizer

입경 측정장치는 광지속 시간이 50ns인 이중방전 광원(dual-spark light source), CCD카메라(관찰 영역 3×3mm)렌즈, ND필터 렌즈, 화상을 기록하기 위한 Frame grabber (512×480, 30frame/second), 4-채널 제어보드, PC 등으로 구성되어 있다. CCD카메라와 이중방전 광원은 4-채널보드에 의해 조절되며, 각각의 분해능은 1 μ s이고 최대 65ms까지 조절 가능하며 2-채널을 제외한 모든 채널의 펄스 폭은 700~800 μ s이고, 펄스 지속 시간은 100 μ s

이다.

분무원추각을 촬영하기 위해 본 연구에서 광원으로 사용된 스트로브는 섬광을 최대 1000Hz, 광지속시간 $10\mu\text{s}$ 인 강한 펄스 빛을 생성시킬 수 있는 MVS 2600 Series 이며, 카메라의 셔터를 완전히 열어 놓은 상태에서 분무를 순간 촬영했다. 필름은 감광질이 뛰어난 ASA 400을 사용하였다.

2.2 실험방법

분열 특성을 관찰하기 위해서 분사 압력을 0.02MPa~0.8MPa로 변화시켰을 때의 측정 가능한 분열 지점에서의 평균 액적 직경을 입경측정 시스템으로 측정하였고, 사진촬영법으로 원추각을 측정하였으며, 유량계로 분사 유량을 측정하였다. 본 연구에서는 오리피스 직경 변화에 따른 분무 특성을 고찰하기 위해 압력식 스웰노즐을 설계, 제작하였다. 각 노즐의 오리피스 직경(d_o)은 1.0, 1.2, 1.5, 2.0mm의 네 개의 서로 다른 값을 가지며 유입 포트는 1mm의 직경(d_i)을 가지고 있고, 유입구 수는 2, 4, 5, 6개로 변화시켰다. 스웰챔버의 직경(D_s)은 7mm, 10mm, 16mm로 변화시켰으며 스웰챔버의 길이(L_s)와 오리피스 길이(l_o)는 동일하게 제작하였다. 작동 유체로는 물에 글리세린을 체적비로 각각 0%, 10%, 20%, 30%, 40%로 혼합해서 점도를 변화시켰다.

분무각은 일반적으로 액체 분무가 노즐에서 분출되는 지점에서의 분사각도를 의미한다. 그러나 미립화 되기 이전에는 노즐 근처의 액막이 표면장력에 의해서 안쪽으로 수축되는 효과가 있으며, 미립화 된 이후의 하류에서도 주위기체의 반경방향 유입에 의해서 액적의 체적이 안쪽으로 휘어 들어오는 효과가 있기 때문에 실제 분무 면적은 줄어들게 된다. 따라서 본 논문에서는 노즐출구로부터 축방향으로 100mm 떨어진 위치에서 분무의 양측 외각 지점과 노즐 출구를 이은 두 직선 사이의 각도를 분무각으로 정의하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 분무각

이상유체 흐름에서 점성이 분무각에 미치는 영향은 액체내에서의 마찰과 액체와 용기 내 벽면과의 경계면에서의 마찰에 의한 영향이 있다. 이들 두 마찰은 점성 유체에서 속도 기울기에 의한 마찰력을 발생시켜서 접선속도를 감소시킨다. 또한 분무기의 반경이 적어질수록 이런 경향은 증가하며 공기코어에서 이러한 영향이 최대에 도달한다. 점도가 크면 클수록 $V \cdot \gamma = v_i R$ 의 방정식에 의한 접선 속도와 실제 접선 속도사이의 편차가 증가한다.

Fig.3은 $D_s=10\text{mm}$, 유입구 수가 5개인 노즐에서 0.6MPa로 분사했을 때 서로 다른 오리피스 직경에서 점성 증가에 따른 분무각의 변화를 보여주고 있다. 점성이 증가함에 따라 분무각은 작아지는데, 이것은 액체가 오리피스를 통과할 때 점성이 높으면 유체내부의 마찰 증가와 스웰챔버와 오리피스벽과의 경계면에서의 마찰압력의 증가로 인해 유효분출압력이 감소하기 때문이다. 또한 이 그림에서 분무각은 점성보다는 오리피스 직경에 의해서 더 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 이것은 오리피스 직경이 크면 스웰챔버와 오리피스 벽면의 경계면에서 접선 방향의 속도성분이 오리피스 직경이 적은 것에 비해 점성 마찰에 의한 손실이 적어지기 때문이다.

Fig.4는 $D_s/d_o=10$ 이고 유입구 수가 5개인 노즐로 서로 다른 점성의 유체를 분사했을 때 분사압에 따른 분무각의 변화를 도시한 것이다. 그림에서 0.3MPa 이상에서 분사압이 증가해도 분무각은 더 이상 증가하지 않는다. 이것은 0.3MPa 이상의 분사압에서는 스웰챔버 내에서 충분한 스웰이 형성되었으며 오리피스 내의 공기코어의 직경은 더 이상 증가하지 않기 때문에 오리피스를 통과할 때 접선속도 성분은 증가 하지 않고 단지 축방향 속도성분만이 증가하기 때문이다.

Fig. 5는 오리피스 직경 $d_o=1.0\text{mm}$, 유입포트 수가 5개인 노즐에서 점성변화에 대한 스웰챔버 직경증가에 따른 분무각의 변화를 보여주고 있다. 점성이 증가하면 분무각이 감소하며, 고점성일 때 스웰챔버 직경의 영향이 더 크게 나타난다. 이는 액체와 고체의 경계

면에서 발생하는 마찰 압력 강하가 크기 때문이다. 그러나 스웰챔버 직경이 10mm 이상에서는 스웰챔버 직경의 영향은 미소해진다. 이는 각 변형률에 의한 마찰압력 강하가 더 이상 증가하지 않기 때문이다.

Fig.6은 스웰챔버 직경과 오리피스 직경비가 6.7인 노즐로 서로 다른 점성의 유체를 0.6MPa로 분사했을 때 유입구 수의 변화에 대한 분무각의 변화를 보여주고 있다.

유입구 수가 증가함에 따라 분무각이 감소하는 경향을 보인다. 이것은 유입구 수가 증가함에 따라 액체와의 접촉면적이 증가하기 때문에 스웰챔버 내로 액체가 유입되면서 마찰 압력 강하가 커지고 그만큼 접선 속도가 떨어지기 때문이다.

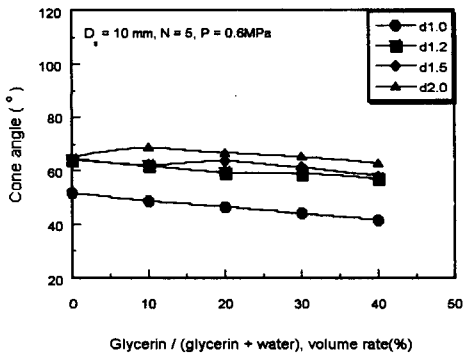


Fig. 3 Variation of spray cone angle with viscosity for different orifice diameter

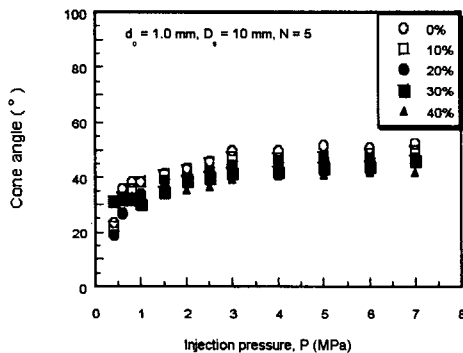


Fig. 4 Variation of spray cone angle with injection pressure for different pressure

3.2 유량계수 (Discharge Coefficient: C_D)

유량계수는 오리피스의 기하학적 형태, 분사차압, 노즐의 외부 주위 기체의 압력, 분사액체의 물성치 등의 영향을 받고 노즐 내부의 스웰챔버로부터 오리피스로 유입되는 부분의 모서리 형태에 따라 영향을 받는다. 압력식 스웰노즐은 오리피스 중심에 공기코어가 존재하며 공기코어 주변 가장자리에 오리피스 내벽면을 따라서 환상형태의 액막이 형성된다. 이 때문에 유효분출 단면적이 줄어들어 유량계수값이 대체로 낮은 값을 보인다.

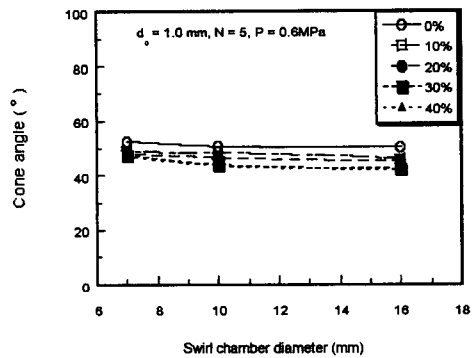


Fig. 5 Variation of spray cone angle with swirl chamber diameter for different viscosity

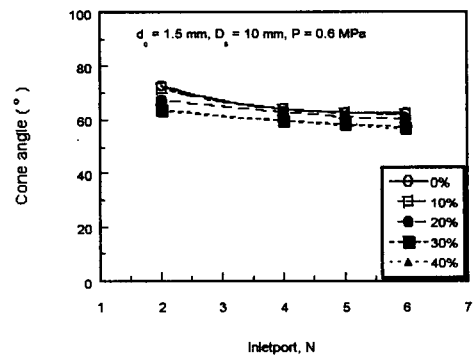


Fig. 6 Variation of spray cone angle with inletport number for different viscosity

Fig.7은 서로 다른 오리피스 직경에서 분사압력의 변화에 대한 유량계수의 변화를 도시하고 있다. 분사압력이 0.3MPa~0.7MPa로 변화되었을 때 유량계수는 일정한 경향을 보이는데 이것은 본 연구에 사용된 스웰노즐의 특성으로 0.3MPa 이상의 분사압력에서는 오리피스 내

의 공기코어가 충분히 발달되어 안정되고 따라서 유효분출 단면적은 일정해지기 때문으로 판단된다.

Fig.8은 유입구 수의 증가에 따른 점성변화에 대한 유량계수의 변화를 보이고 있다. 점성이 증가하면 유량계수가 증가한다. 이것은 점성이 증가되면 스웰형성이 지연되어 오리피스내에서 액막이 두꺼워진다. 그러므로 유효분출 단면적은 증가하게 되며 유량계수는 증가한다.

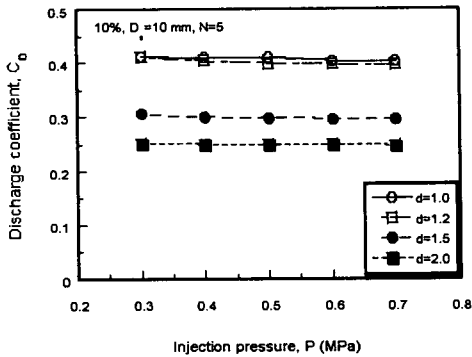


Fig. 7 Variation of discharge coefficient with injection pressure for different orifice diameter

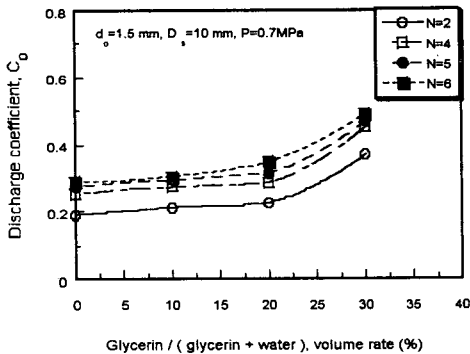


Fig. 8 Variation of spray cone angle with viscosity for different inlet port number

3.3 SMD (Sauter Mean Diameter)

Fig. 9는 오리피스 직경이 2.0mm, 스웰챔버 직경이 10mm, 유입구수가 4개인 분무기로 물을 분사했을 때 분사압력 변화에 대한 SMD의 변화를 보여주고 있다. 여기서 분사압이 증가할수록 SMD는 작아지는 경향이 보인다.

이것은 액막이 불안정해지고 액체의 표면장력에 대한 분산력의 증가로 액적이 작아지는 것으로 판단된다.

Fig. 10은 오리피스 직경이 1.5mm, 스웰챔버 직경이 10mm인 분무기로 서로 다른 분사압으로 물을 분사했을 경우 유입구 수 변화에 대한 SMD변화를 보여주고 있다. 유입구 수가 증가함에 따라 SMD가 증가하고 있다. 이것은 동일 분사압에서 유입 단면적의 증가로 스웰챔버 내의 점선 속도가 감소함으로써 충분한 스웰이 형성되지 않은채 분무되어지기 때문에 액적 직경이 증가하는 것으로 판단된다.

Fig. 11은 스웰챔버 직경이 10mm, 유입구수가 4개인 분무기로 분사압 0.5MPa로 분사했을 경우 점도 변화에 대한 SMD의 변화를 나타내고 있다. 여기서 점성 변화는 SMD에 큰 영향을 주고 있으며 점성이 증가하면 표면 장력의 증가로 분산력에 대응하는 응집력의 증가로 SMD가 증가하는 것으로 판단된다.

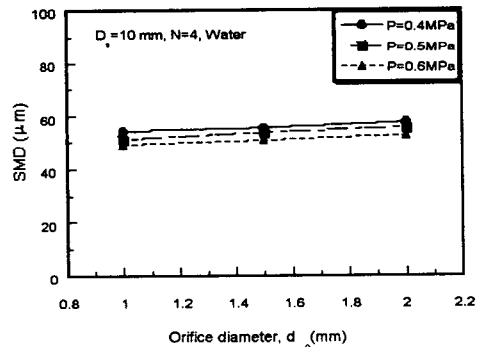


Fig. 9 Variation of SMD with orifice diameter for different injection pressure

4. 결론

압력식 스웰 노즐의 분무특성에 영향을 미치는 스웰챔버 유입 단면적과 오리피스 직경 등의 기하학적 구조변화와 분사액체의 점도 변화에 따른 실험결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 분사액체의 점도가 증가하면 유량계수와 평균액적직경은 증가하며 분무각은 미소하게 감소하였다.
2. 오리피스 직경 증가에 따라 평균액적직경

은 증가하고, 유량계수는 감소하였다.

3. 스웰 챔버 직경 증가에 따라 분무각은 거의 변화가 없었다.
4. 유입구 수의 증가에 따라 분무각은 감소하며 유량계수와 평균액적직경은 증가하였다.

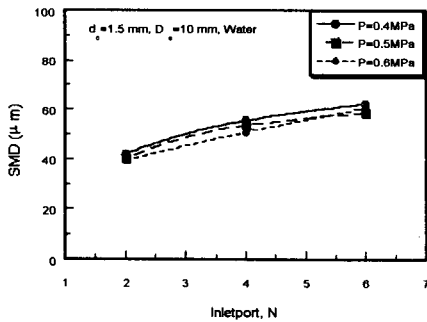


Fig. 10 Variation of SMD with inletport number for injection pressure

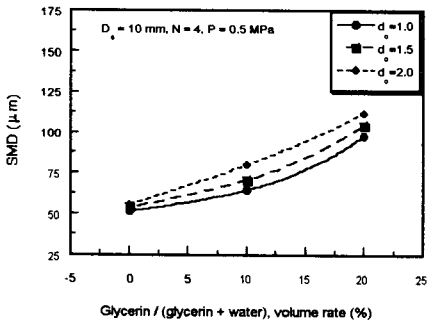


Fig. 11 Variation of SMD with viscosity for different orifice diameter

참 고 문 헌

1. N. Dombrowski and W.R. Johns, "The Aerodynamic Instability and Disintegration of Viscous Liquid Sheets", Chem. Eng. Sci., Vol. 18, pp. 203-214. 1963.
2. J. Cousin, S. Yoon, C. Dumouchel, M. Ledoux, "Theoretical Determination of the Characteristics of Sprays Produced by Swirl Atomizers", ILASS-Europe '95,

- Rouen, France, pp. 87-96. 1995.
3. C. Dumouchel, M. Bloor, N. Dombrowski, D. Ingham and M. Ledoux, "Viscous Flow in a Swirl Atomizer", Chem. Eng. Sci., Vol.48, No. 1, pp. 81-87. 1993.
4. J.C. John and J.Y. Andrew, "Three-Dimensional Computer Modelling of the Internal Flow within a Swirl Atomizer", ILASS-Europe '95, Rouen, France, pp. 191-200. 1995.
5. N. Dombrowski, and D. Hasson, "The Flow Characteristics of Swirl Spray Pressure Nozzles with Viscosity Liquids", A.I.ch. E. J., 15, pp. 604-611.1969.
6. K. Ranganadha Babu, M.V. Narasimhan and K. Narayanaswamy, "Correlations for Prediction of Discharge Rate, Cone Angle and Air Core Diameter of Swirl Spray Atomizers", ICLASS-82,1982,
7. A.R. Jones, "Design Optimisation of a Large Pressure Jet Atomizer for Power Plant", ICLASS-82., No 7-1., pp. 181-185. 1982.
8. R.W. Sellens and T.A. Brzustowski, "A Prediction of the Drop Size and Velocity Distribution in a Spray from First Principles", Atomization and Spray Technology, Vol. 1, pp. 89-102 1985..
9. X. Li and R. Tankin, "Droplet Size Distribution : a Derivation of a Nukiyama - Tanasawa Type Distribution Function", Combust. Sci. and Tech., Vol. 56, pp. 65-76. 1987.
10. A.H., Lefebvre, "Atomization and Sprays", Hemisphere Publishing Corporation, 1989.