

선회유동을 갖는 압력식 분무기의 분무특성에 관한 연구

An Experimental Study on the Spray Characteristics of the Pressure Swirl Atomizer

조 대 진*, 윤 석 주**
D. J. Cho, S. J. Yoon

ABSTRACT

In this study, spray characteristics of the pressure swirl atomizer have been investigated. Four atomizers with the different orifice diameter and five tangential ports with the different inlet number were fabricated. For the purpose of the measurement of the mean drop size, Malvern particle sizer was used. And also discharge coefficient was measured and spray cone angle was measured by using shadow graphy method.

As a result, when the injection pressure was increased, mean drop size was decreased. And the dominant factor which influence on the spray characteristics of pressure swirl atomizer was orifice diameter.

주요기술용어 : Pressure-swirl-atomizer (압력식 스월 분무기), SMD (Sauter 평균액적직경), Spray Cone angle (분무각), Discharge coefficient (유량계수), Swirl inlet port (유입포트)

1. 서 론

압력식 스월 노즐은 공급되는 압력에너지를 스월방향의 유입포트를 이용하여 스월 에너지로 변환시켜 오리피스를 통해 액체를 액막의 형태로 분출시킨다. 이때 분출된 액막은 불안정 불안정 상태가 증폭되어 미세한 분무로 분열된다⁽¹⁾. 이러한 액체의 미립화는 순간적인 현상이어서 재현성이 없으므로 일반적으로 통계학적 평균값 개념을 적용하여 대표적 직경과 직경분포등으로 분무특성⁽²⁾을 표현하고 있다. 압력식 스월 노즐은 구조의 단순함과 유지의 편리함 때문에 여러 가지 형태로 응용

되어 널리 사용되고 있으며, 특히 가솔린 자동차에도 이 형태의 연료 분사노즐이 사용되고 추세이다. 따라서, 압력식 스월 노즐에 대한 다각적인 관점에서의 연구가 수행⁽³⁻⁷⁾되어 왔는데 대부분의 연구는 완전발달된 분무영역내의 특정조건하에서 분무시스템의 특성을 규명하고 있다.

압력식 스월 노즐은 기하학적 단순함에도 불구하고, 노즐내부에서 생성되는 복잡한 유체역학적 유동⁽⁸⁾은 분출초기의 액막에 영향을 주게되며, 이 액막의 거동은 분무특성과 밀접한 관계를 갖게 된다. 따라서, 기하학적 형상의 변화에 따른 분무특성 규명에 대한 연구가 필요하다 할 수 있다.

* 정희원, 전북대 대학원

** 정희원, 전북대학교

그러나 현재까지도 압력식 스윙 노즐에서 분출된 액막이 액적으로 미립화되는 분열현상에 대한 물리적인 이해는 아주 미흡한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 압력식 스윙 노즐의 분무특성을 규명하기 위한 기초연구로서, 노즐의 내부유동에 가장 큰 영향을 줄 것으로 생각되는 압력식 스윙 노즐 내의 스윙 유입구 수와 분출된 액막의 거동에 직접적으로 영향을 주는 오리피스 직경⁽¹⁾변화에 대한 분무특성을 실험적으로 규명하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

압력식 스윙 노즐의 분무특성을 규명하기 위하여 본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도를 Fig. 1에 도시하였다. 실험장치는 분무를 발생시키기 위한 분사장치, 유량계측을 위한 유량계측 시스템, 분사각 측정을 위한 사진촬영 시스템, 분무 액적크기를 계측하기 위한 광학장비인 Malvern 시스템으로 구성되어 있다.

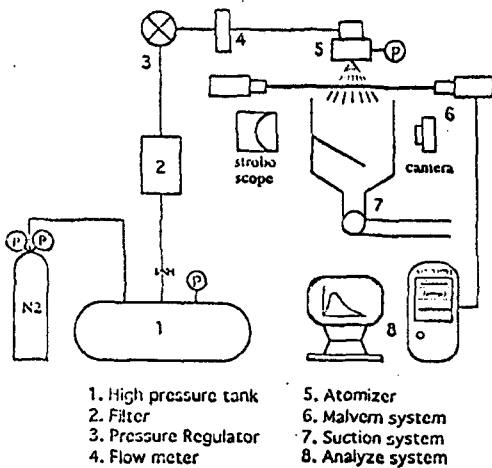


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

분사액체는 상온의 물을 사용했으며, 압축진소에 의해 0 - 3MPa까지 가압이 조절되

는 고압용기에 저장하였고, 고압용기 출구에서 5 μm의 정도를 갖는 필터를 설치하여 액체속에 존재하는 불순물을 제거하였다. 고압용기에서 나온 액체는 일정한 분사압력을 유지하는 압력조정기를 거쳐 노즐로 압송된다. Fig. 2에 본 연구에서 사용된 노즐의 구조를 개략적으로 도시하였다. 분사압력은 오리피스 출구에서의 동압을 측정하기가 어려우므로 그림에서처럼 스윙체임버 밖에 상대적으로 큰 정압실을 만들었으며, 정압실에 직각으로 설치된 정압관을 통해 압력변환기로 측정된 압력을 분사압력으로 정의하였다. 또한, 분무된 부유입자들의 재순환 영향으로 인해 측정에 발생할 수 있는 측정오차를 줄이기 위하여 분사장치 하단부에 통풍팬을 설치하였다.

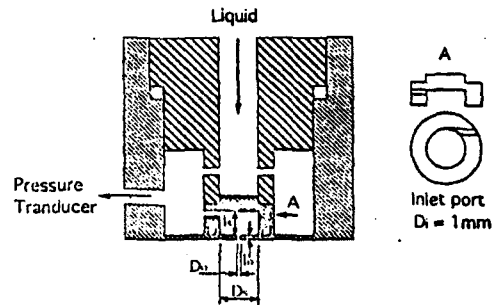


Fig. 2 Structure of pressure-swirl-atomizer

유량계수는 유량계에서 측정된 체적유량에서 환산하였다. 노즐에서 분출되는 액막의 분무각은 다양한 분사압력에 따른 액막의 형태를 shadow graphy 법으로 측정하였다. 측정 시스템은 카메라(Nikon FM2), 렌즈(Nikkor 200mm), 스트로브스코프로 구성되어 있으며 Kodak ASA800 필름을 사용하여 명확한 상을 얻을 수가 있었다. 그리고 측정 오차를 최소화하기 위하여 사진10매의 측정값을 평균하였다.

분무액적의 크기는 Fraunhofer Diffraction 원리를 응용한 입경측정기(Malvern 2600 D)로 측정하였다. 측정기기는 2mW의 He-Ne 레이저를 발생시키는 송신기, 레이저 빔을 확장시키는 Expander, 산란된 빛

을 감지하는 Detector가 부착된 수신기, 데이터 처리용 컴퓨터 및 프린터로 구성되어 있다.

Transmitter에서 발생된 단색의 He-Ne 레이저 빔이 입자에 닿으면 빛이 진행되는 방향으로 산란되는데, Detector에 맺히는 산란광은 입자의 크기에 따라 다르게 된다. 입경분포 측정장치는 이와 같은 방법을 이용하고 있다.⁽⁹⁾

송신기에서 나온 레이저는 빔 확산기(Beam Expander)를 거쳐 직경이 9mm로 확장된다. 이 레이저 빔을 통과하는 입자들에 의한 산란광과 나머지 산란되지 않은 광은 수광렌즈에 투사된다. 수광렌즈는 입자에 의한 산란광이 렌즈에 투사되는 각도에 따라 렌즈 뒤 초점거리에 위치한 검출기에 상이 맺히게 된다. 검출기는 31개의 반 동심원 형태의 광전소자로 구성되어 있으며 31개의 다른 각도로서 집약된 광에너지를 이에 비례하는 전기적인 신호로 변환시킨다. 컴퓨터에서는 이 전기적 신호를 처리하여 관찰된 산란특성으로부터 체적입도분포를 계산하게 된다.

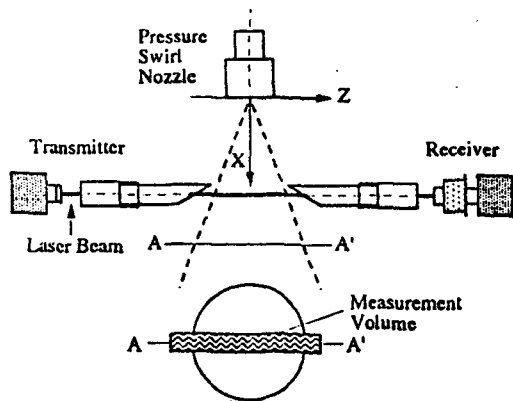


Fig. 3 Drop size measurement system

본 연구에 사용한 Transform 렌즈로는 Cut-off 길이가 780mm이고 측정가능한 액적의 직경범위가 11.6-1128 μ m 인 600mm 렌즈를

채택하였다. 분무의 측정위치는 Fig. 3에 도시한 것처럼 분무를 축대칭으로 가정하여 레이저 빔이 분무의 중심선을 통과하도록 하였고, 레이저 빔의 수직위치는 분열이 발생하는 수평면에 위치하였다. 이 면은 수직면을 따라 많은 측정을 시도하여 결정하였다. 한 조건마다 정상상태에서 5번 측정한 데이터를 평균하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 오리피스 직경변화의 영향

분사압력을 0.1MPa - 1.0MPa 로 변화시켰을 때 입경측정 시스템으로 측정가능한 분열지점에서의 평균액적직경을 측정하였으며, shadow graphy법으로 분무각을 측정하였고, 유량계수를 계산하였다. 오리피스 직경변화에 따른 분무특성을 연구하기 위해 Table. 1과 같은 4개의 압력식 스월노즐을 제작하였다. 각 노즐은 오리피스 직경(D_o)만 다른 값을 가지며, 스월 유입포트는 1mm의 직경(D_i)을 가지며 6개를 설치하였다. 스월챔버의 높이(l_s)와 오리피스 길이(l_o)는 동일하게 제작하였다.

Table. 1 Geometry of experimental nozzles (unit : mm)

Injector	D_s	l_s	D_o	l_o
Inj. 1	7	5	1.0	1
Inj. 2	7	5	1.2	1
Inj. 3	7	5	1.5	1
Inj. 4	7	5	2.0	1

3.1.1 평균액적크기

Fig. 4는 오리피스 직경 변화에 따라 측정한 평균액적직경(SMD)을 분사압력의 함수로 도시한 것이다. 분사압력이 증가함에 따라 평균액적직경은 감소하는 일반적인 경향을 보이며, 5기압 이상에서는 각각의 오리피스 직경에 대하여 평균액적직경이 일정한 값으로 수

럼되어 편차가 작아진다. 이것은 분사압력이 증가함으로써 분무가 충분히 발달하여 안정된 분무형태를 유지하게 되고 따라서 일정한 분열메카니즘에 의해 액적들이 생성되는데 기인한다고 판단된다. 이 분석은 유량계수와 분무각 측정결과에서도 확인된다. 또한, 오리피스 직경이 증가하게 되면 평균액적직경은 증가하는데, 이것은 직경이 증가하면 상대적으로 분사압력은 감소하게 되어 노즐내의 스웰윙동은 약화되고 노즐출구에서 방출되는 액막두께는 증가한다. 따라서 분열된 액적의 크기는 증가하게 된다. 본 연구에서는 오리피스 직경이 1mm에서 2mm로 2배 증가했을 때 5기압 이상에서 평균액적직경은 약 2배 정도 균일하게 증가함을 알 수 있다.

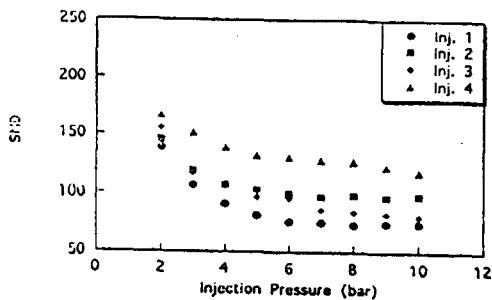


Fig.4 Variation of D_{32} with injection pressure for different diameters of orifice

3.1.2 유량계수

유량계수는 다음 식으로 계산하였다. 유량 Q_v 는 유량계로 측정된 체적유량이며, 분사압력(ΔP)은 노즐 유입구에서의 압력을 측정하였다.

$$Q_v = \pi r_{or}^2 K_q \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_l}}$$

여기서, r_{or} 은 오리피스 반경이며, ρ_l 은 분사액체의 밀도이다.

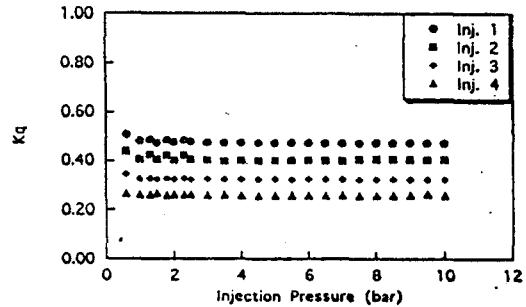


Fig. 5 Variation of discharge coefficient with injection pressure for different diameters of orifice

Fig. 5는 4개의 서로 다른 오리피스 직경을 갖는 노즐의 유량계수를 분사압력의 변화에 따라 도시한 것이다. 오리피스 직경이 증가하면 전 압력범위에 대해 유량계수 값은 감소하며, 오리피스 직경이 1mm에서 2mm로 증가할 때, 유량계수 값은 약 50% 정도 감소하였다. 또한 분사압력의 변화가 유량계수에 미치는 영향은 아주 미소하여 각 오리피스 직경별로 전 압력범위에 걸쳐 거의 일정한 값을 유지하고 있다. 따라서 압력식 스웰 노즐의 유량을 제어하는 인자로는 분사압력보다는 오리피스 직경의 변화가 더욱 중요하다고 판단되며, 분무시스템 제작시 필요한 유량에 따라 노즐 오리피스 직경을 적합하게 선택해야 함을 알 수 있다.

3.1.3 분무각

Fig. 6은 4개의 서로 다른 오리피스 직경을 갖는 노즐에서 측정한 분무각을 분사압력의 변화에 따라 도시한 것이다. 분무각은 분사압력 변화의 영향에 대해 비교적 균일한 분포를 보이고 있으며, 오리피스 직경이 증가할수록 분무각이 커짐을 알 수 있다. 또한 분사압력이 아주 낮을때의 분무각은 고압일때보다 상대적으로 큰 편차를 가지고 있는데 이는 분무가 충분히 발달되지 않은 영역이기 때문이다. 따라서, 분사압력의 변화보다는 상대적으로

로 오리피스 직경변화가 분무각에 더 큰 영향을 가지고 있음을 알 수 있다.

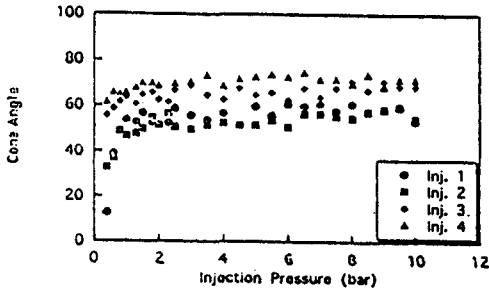


Fig. 6 Variation of spray cone angle with injection pressure for different diameters of orifice

3.2 스월 유입구 수의 변화에 따른 영향

압력식 스월 노즐에서 스월챔버로 유입하는 액체유동이 분무특성에 미치는 영향을 분석하기 위해, 스월 유입구는 총단면적을 4.5mm^2 로 일정하게 유지하며 유입구수를 1, 2, 3, 4, 6개로 변화시켜 각각에 대하여 평균액적크기와 유량계수, 분무각의 변화를 계측하였다. 노즐은 오리피스 직경이 2mm인 Inj. 4를 사용하였고, 스월유입구를 교체하면서 실험을 수행하였다.

3.2.1 평균액적직경

Fig. 7은 스월유입구수의 변화에 따른 평균액적직경의 변화를 분사압력의 함수로 도시한 것이다. 모든 경우에서, 분사압력이 증가함에 따라 평균액적직경은 초기에는 크게 감소하지만 점진적으로 감소율이 작아지고 있다. 스월유입구수가 증가함에 따라 평균액적직경은 미소하게 증가하지만, 유입구수의 변화는 평균액적직경에 상대적으로 별다른 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 따라서, 평균액적직경에 미치는 영향은 스월 유입구수의 변화보다는 분사압력의 변화가 더 중요함을 알 수 있다.

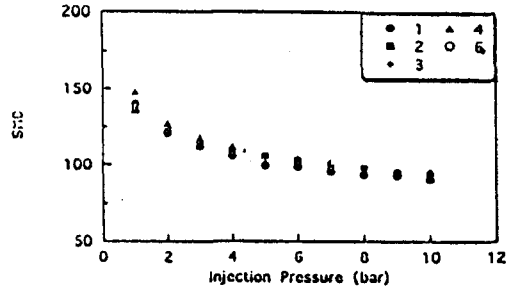


Fig. 7 Variation of D_{32} with injection pressure for different numbers of swirl inlet port

3.2.2 유량계수와 분무각

Fig. 8은 스월유입구수의 변화에 따른 유량계수의 변화를 분사압력의 함수로 도시한 것이며, Fig. 9는 스월유입구수의 변화에 따른 분무각의 변화를 분사압력의 함수로 도시한 것이다. 전 범위의 분사압력과 스월유입구수의 변화에 대해 유량계수, 분무각은 거의 일정한 분포를 보이고 있다. 이것은 본 연구에서 사용된 노즐은 작은 분사압력에서도 분무가 잘 발달되었기 때문에 유량계수와 분무각은 분사압력에 대하여 일정하게 나타난 것으로 판단되며 따라서, 분출유량과 분무각은 스월 유입구수 변화에 거의 영향을 없음을 알 수 있다.

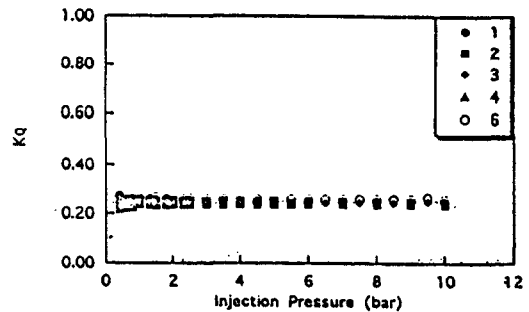


Fig. 8 Variation of discharge coefficient with injection pressure for different numbers of swirl inlet port

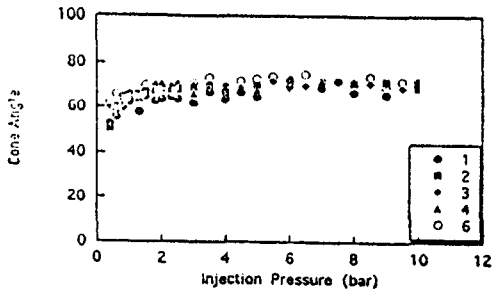


Fig. 9 Variation of spray cone angle with injection pressure for different numbers of swirl inlet port

4. 결 론

선회유동을 갖는 압력식 분무기의 분무특성 규명을 위하여 분무기 내부유동에 영향을 미친다고 생각되는 스웰유입포트 수의 변화와 분출된 액막의 거동에 직접적인 영향을 주는 출구 오리피스 직경변화에 대한 평균액적직경, 유량계수와 분무각을 계측하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 압력식 스웰 노즐의 평균액적직경 변화에 스웰 유입포트 수의 변화보다는 오리피스 직경의 변화가 상대적으로 더 큰 영향을 보였으며, 분사압력이 증가함에 따라 평균액적 크기는 감소하였다.

2. 오리피스직경을 압력식 스웰 노즐의 유량을 제어하는 인자로 고려할 수 있으며, 분사압력과 스웰 유입구수 변화가 유량계수에 미치는 영향은 거의 없었다.

3. 압력식 스웰 노즐의 분무각에 영향을 주는 주요 인자로는 스웰 유입구수와 분사압력의 변화보다는 오리피스 직경이 더 중요하다.

참 고 문 헌

1. A.H. Lefebvre, "Atomization and Sprays", Hemisphere Publishing Corporation, 1989.
2. R. Mugele and H. D. Evans, "Droplet Size Distributions in Spray", Ind. Eng. Chem., Vol. 43, No. 6, pp. 1317-1324, 1951.
3. N. Dombrowski and D. Hassan, "The Flow Characteristics of Swirl Centrifugal Spray Pressure Nozzle with Low Viscosity Liquids", AIChE J., Vol. 15, p. 604, 1969.
4. K. J. Wu, D.A. Santavicca and F.V. Bracco, "LDV Measurements of Drop Velocity in Diesel-Type Sprays", AIAA J., Vol. 22, No. 9, pp. 1263-1270, 1984.
5. J.S. Chin, D. Nickolaus and A.H. Lefebvre, "Influence of Downstream Distance on the Spray Characteristics of Pressure-Swirl Atomizers", J. of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 108, pp. 219-224, 1986.
6. K.R. Babu, M.V. Narasimhan and K. Narayanaswamy, "Prediction of Mean Drop Size of Fuel Sprays from Swirl Spray Atomizers", ICLASS-82, pp. 99-106, 1982.
7. N.A. Chigier, "The Physics of Atomization", ICLASS-91, pp. 1-15, 1991.
8. 김현중, 조대진, 윤석주, "기하학적 구조에 따른 압력식 스웰 노즐의 내부유동 해석", 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, 95-17-0121, p. 295, 1995.
9. Malvern Instruments Particle Sizer 2600 series User Manual, 1987.