

충돌형 노즐의 분무특성에 관한 실험적 연구

김 경 훈*, 최 영 하**, 윤 석 주***

An Experimental Study on the Spray Characteristics of Deflector Nozzle

K. H. Kim, Y. H. Choi, S. J. Yoon.

Key Words Deflector nozzle(충돌형 노즐), External spray characteristic(분무형상), Discharge coefficient(유량계수), Spray angle(분무각), SMD(Sauter mean diameter)

Abstract

This study describes the external spray characteristics of deflector nozzle such as the breakup procedures of liquid sheet, spray angle, discharge coefficient and bubble behaviors of spray and SMD at deflector nozzle. In order to visualize the spray behaviors shadow graphy technique were used. According to the increase of injection pressure, development of the spray passes through the dribbling, distorted jet, closed bubble due to the contraction by surface tension forces, the bubble opens into hollow tulip shape, and the curved surface straightened to form a conical sheet like as the simplex swirl atomizer. Spray cone angle was nearly 90 deg. Variations of SMD were examined in order to describe the dependency of SMD on the injection pressure and orifice diameter. The shape of deflector and orifice diameter had an effect on the discharge coefficient.

1. 서 론

액체 미립화란 액체의 내부 또는 외부에서 작용하는 힘에 의하여 표면장력으로 유지되는 액체의 응집상태가 깨지는 것을 말하는 것으로 많은 산업 분야에서 중요한 핵심 기술로 응용되고 있다. 이러한 액체 분무에 대한 미립화와 시스템에 대한 분무 특성으로써 입경분포, 분열길이, 분무면적 등은 각각의 응용분야에 아주 중요한 요소로 이용되고 있다.

액체 분무 기구 중에는 단공 노즐이나 와류노즐, 충돌형 노즐과 같은 형태가 있으며^[1,2], 충돌형 노즐에는 이유체 충돌형과 액체를 고체면과 충돌시키는 형태가 있다. 이유체 충돌은 실험적으로 많은 선행 연구가 수행되어 왔으나^[3,4], 고체면의 충돌에 대한 연구결과는 아직 많지 않은 실정이다. 고체면과의 충돌 노즐이란 오리피스에서 분출되는 액주상태의 액체가 충돌면에 충돌되어 미립화가 이루어지는 형태이다.

노즐에서 분사되는 액막의 분열현상이란 액체막이 어떤 요인에 의해서 액적으로 분열되는 현상을 말한다. 액막의 분열현상에 관한 연구는 산업적으로 이용되는 분무 시스템 설계에 필요한 액적의 크기 및 분무면적 등을 예측하는 것에 목표를 두고 있으며 액막의 길이에 의해 결정된다.^[5]

실제 대부분의 사용 영역인 유동 불안정 영역에서는 주위의 교란에 의해서 액막의 분열과 이에 따르는 액막의 길이는 크게

두 가지의 형태 즉, 천공현상에 의한 분열 형태와 공기역학적 파에 의한 분열형태에 의해 결정된다.^(6,7)

천공현상에 의한 분열형태란 어떤 요인에 의해서 액막에 구멍이 생기고 이 작은 구멍들이 표면장력에 의해 커지면서 그물막의 형태를 이루었다가 액적들로 분열이 일어나는 형태로 Dombrowski 와 Fraser⁽⁸⁾는 액막 내부의 난류현상의 영향과 젓지 않는 작은 입자들 때문이라고 하였다. 이상용, 김인구⁽⁹⁾는 와류분무 노즐과 디플렉터를 사용하여 포화상태의 수증기중으로 물을 분사할 경우 주위 기체의 응축에 의해서 천공 현상이 분열 현상의 지배적인 기구로 작용함을 보고하였다.

공기 역학적 파에 의한 분열형태란 액막과 주위 기체와의 상호작용에 의해서 파가 발생하고 이 파의 진폭이 증가함에 따라 액막이 불안정해지면서 표면장력에 의해 액주로 변형되고 이것이 다시 액적으로 분열되는 현상을 말한다.

충돌형 노즐은 기하학적 단순함에도 불구하고 상대적으로 낮은 분사 압력으로도 높은 분사 압력에서 얻을 수 있는 미립화 특성과 양호한 공간 분포를 가진다. 또한 충돌면은 생성되는 유동의 충돌초기의 액막에 영향을 주게 되어 이 액막의 거동은 분무 특성과 밀접한 관계를 갖게 된다. 따라서 충돌면에 대한 분무특성 규명에 대한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

그래서 본 연구는 충돌형 노즐의 분무 특성에 대한 기초자료 확보와 더불어 분무 특성 규명에 대한 연구를 목적으로 충돌형 노즐에서 분사되는 액체 거동에 큰 영향을 줄 것이라 생각되는 노즐 직경과 분사압력이 분무에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하고자 한다.

* 전북대학교 기계공학과 대학원, govogue@hanmail.net

** 전북대학교 기계공학과 대학원, cobra9@hanmail.net

*** 전북대학교 기계공학과, mecsyi@moak.chonbuk.ac.kr

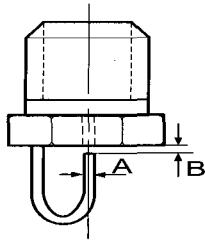


Fig.1 Schematic diagram of deflector nozzle

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 분사노즐

본 연구에서 사용한 노즐은 상용화된 충돌형 노즐로서 (BETE사) 각각의 제원은 Table 1과 같다.

Fig.1은 본 연구에 사용한 충돌형 노즐의 개략도를 도시한 것으로, 노즐 오리피스 출구에 충돌면이 부착되어 있어 분출 액체가 충돌면에 충돌하여 액막을 형성하게 되어 있다.

2.2. 실험장치

Fig.2는 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다.

분사액체는 상온의 물을 사용하였으며, 질소가스로 가압되는 압력용기를 사용하여 분사압력을 조절하였으며 압력용기에서 나온 액체는 일정한 분사압력을 유지하도록 압력 조정기를 거쳐 정압 실로 압송되도록 하였다.

정확한 분사 압력측정을 위하여 최소 0.01 kgf/cm^2 까지 측정 가능한 압력측정기를 노즐에 근접하도록 정압실에 설치하였으며 정압실에 액체가 채워지면 분사 노즐전의 밸브를 전개함으로써 안정된 액체의 분사가 이루어지도록 하였다.

2.3 실험방법

분무 형상은 105mm AF micro 렌즈가 부착된 CCD 카메라를 이용하여 사진촬영법으로 획득하였으며 광원은 분무의 순간 정지 형상을 획득하기 위하여 발광시간이 $6\mu\text{s}$ 인 스트로보 스코프를 이용하였다. 카메라에 의하여 얻어진 영상신호는 분석을 위해 컴퓨터에 저장되고 이미지 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

분무 입경 측정은 회절원리를 이용한 입경측정장치 (Sympatec KF-Vario)를 사용하여 측정하였고 측정위치는 분무가 충분히 이루어지는 위치인 노즐출구로부터 10cm 떨어진 지점에서 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

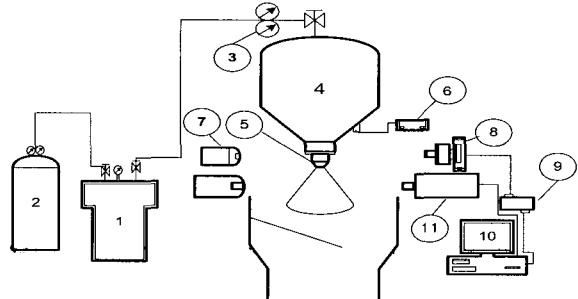
3.1 분사 압력에 따른 분무 거동

Fig.3은 압력변화에 따른 충돌형 노즐의 분무 형상을 가시화 한 것이다.

공기중에 액체를 분사할 때, 낮은 분사 압력에서 액체분류는 운동량이 작아 충돌판에 충돌한 후 충돌판 주변으로 미끄러져 지지대를 따라 흐르며 표면장력에 의해 액주형상이 되는데 표면 교란에 의한 액주분열이 된다. 압력이 증가하면 충돌판에 충돌하는 액체분류는 유량과 운동 관성력이 증가하게 되어 충돌후 충돌면에서 액막으로 확산되며 중력, 표면장력과의 상호작용으로 버블이 형성된다. 버블의 폭과 길이는 분사압력이 증가할수록 증가하는데 관성력의 증가로 크게 확대되어 최대지름에 도달한

Table.1 Specifications of nozzle

Nozzle No.	Orifice Dim. (mm)	A (mm)	B (mm)
1	1.02	1.02	1.4
2	0.813	0.813	1.3
3	0.203	0.203	0.8



- | | |
|------------------------|------------------------|
| 1. Liquid tank | 2. N2 tank |
| 3. Regulator | 4. Chamber |
| 5. Nozzle | 6. Camera control unit |
| 7. Stroboscope | 8. CCD camera |
| 9. Pressure transducer | 10. Computer |
| 11. particle sizer | |

Fig.2 Schematic diagram of experimental apparatus.

액막은 표면장력에 의해 안쪽으로 모아지지만 두께의 증가로 중력의 영향이 상대적으로 크게되며 액막표면에 발생하는 공기역학적인 파의 성장으로 버블 끝 선단에서는 모아진 액막은 서로 충돌에 의해 큰 액적들이 발생하는 불안정한 분열이 일어난다. 분사압력이 더욱 증가하면 표면장력보다 액막의 운동량이 더욱 커지게 되어 액막의 폭이 크게 확장되기 때문에 중력의 영향을 크게 받아 액막은 더 이상 안쪽으로 합체되지 못하고 액막표면에서 성장한 불안정한 파의 교란으로 액막선단에서 큰 액적 또는 액사(ligament)로 분열되기 시작한다. 이때까지 충돌판에서 액막의 분출각은 계속 증가한다. 그러나 분사 압력이 더욱 증가하면 액막은 표면장력과 중력의 영향보다는 관성력의 영향을 지배적으로 반계되어 더이상 곡선이 아닌 직선의 형상으로 원추형으로 발달하고 액막선단에서는 공기역학적인 강한교란이 발생하여 액사 혹은 액적으로 분열된다.

본 연구에서 사용한 노즐은 충돌면 지지대의 간섭으로 액막이 갈라지기 때문에 액막발달이 대칭적이지 못하지만 지지대 영향을 받지 않는 부분은 정상적인 액막발달이 이루어진다고 생각하여 지지대가 없는 쪽 액막을 측정하고 분석하였다.

원추형 액막 구간에서 분사압력이 작은 경우 초기에 발생한 액막 표면 교란파의 성장으로 액사에서 액적으로 분열되는 현상을 보이며 액막은 길게 나타난다. 그러나 분사압력이 증가하면 액막속도의 증가로 표면 교란파는 급격히 성장되어 액막은 짧아지며 격렬한 분열로 미세한 액적이 발생한다.

3.2. 유량계수

노즐 오리피스를 통한 유량계수는 이론적 유량과 실제 유량과의 비를 나타내는 것으로 다음과 같은 식으로 계산하였다. 유량 WL 은 유량계로 측정한 질량유량이며 Δp 는 노즐유입구에서 측정하였다.

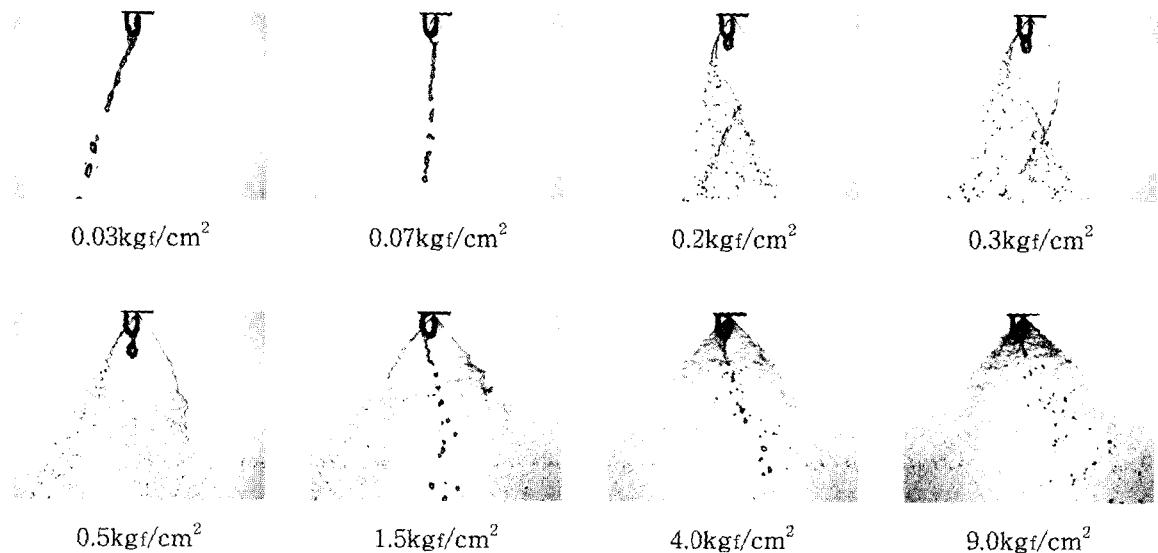


Fig.3 Photographs illustrating spray development in a deflect nozzle with increasing liquid injection pressure

$$W_L = C_d \frac{\pi}{4} d_o^2 (2\Delta P \rho_L)^{0.5} \quad (1)$$

여기서 d_o 는 오리피스 직경이며, ρ_L 은 액체의 밀도이다.

Fig.4는 3개의 서로 다른 오리피스 직경을 갖는 노즐의 유량 계수를 분사 압력 변화에 따라 도시한 것이다. 직경변화에 대하여 유량계수는 미소한 차이를 보이고 압력 변화에 대해서는 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 또한 노즐크기가 작을수록 유량계수는 큰 값을 보임을 알 수 있는데 이는 노즐 오리피스 직경과 길이의 영향이라고 판단된다.

3.3. 분무각 특성

노즐 외부의 분무 유동을 거시적인 관점에서 기술하는 방법 중에 분무의 공간분포를 파악하기 위해 분무각에 대한 정보가 필요하다. 본 연구에서는 분무각을 초기 분출되는 지점의 각을 분무각으로 정의하고 사진촬영을 통하여 각 조건당 15장의 사진을 수집하여 평균처리 하였다.

Fig.5는 각각의 노즐에 대한 분무각의 변화를 측정한 결과이다. 초기 원추형 액막이 형성되기 전에는 분무각이 약간의 차이를 보이지만 분사 압력이 증가함에 따라 그 차이가 감소하고 약 6에서 7kgf/cm² 이상이 되면 세 노즐이 90도에 근접함을 알 수 있다.

이를 통하여 충돌면의 형상에 의해 분무각이 결정지어 질것

이라 판단 할 수 있다.

3.4. 입경특성

Fig.6 과 Fig.7 은 분사 압력과 오리피스 직경 변화에 대한 평균입경을 도시한 것이다.

압력이 증가함에 따라 평균입경은 감소하는 일반적인 경향을 보이며, 6kgf/cm² 이상에서는 평균입경의 감소폭이 줄어든다. 이것은 분사압력이 증가함으로써 분무가 충분히 발달되고 어느 압력 이상이 되면 안정된 분무 형태를 유지하게 되어 일정한 분열 메카니즘에 의해 액적들이 생성되는 것으로 판단된다. 이것은 분무각 측정 결과에서도 확인 된다. 또한 오리피스 직경이 커지면 평균입경은 증가하는데, 직경이 커지면 유량은 증가하고 충돌면에 충돌된 후의 액막두께는 증가하여 평균입경은 증가한다. 동일압력에서 분사유량이 비슷한 스월 노즐과 노즐 3의 경우를 비교할 경우 낮은 압력에서는 평균입경이 충돌 노즐이 작지만 어느정도 안정된 분무가 형성되면서부터 그 편차는 줄어들고 8기압 이상에서는 거의 일차 함을 알 수 있다. 이것은 Fig.8에서 보는 것처럼 낮은 압력에서는 스월 분무는 이미 원추형 액막을 형성하여 분열이 이루어지는 반면 충동형 노즐은 분무가 덜 발달 되기 때문에 것으로 판단된다. 그러나 분사 압력이 높아질수록 분무가 발달 되기 때문에 어느 정도 높은 압력에서는 충돌 노즐과 스월 노즐의 미립화가 큰 차이가 없음을 알 수가 있다.

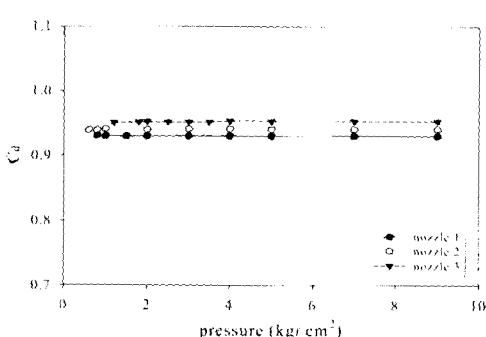


Fig.4 Discharge coefficient with increasing injection pressure

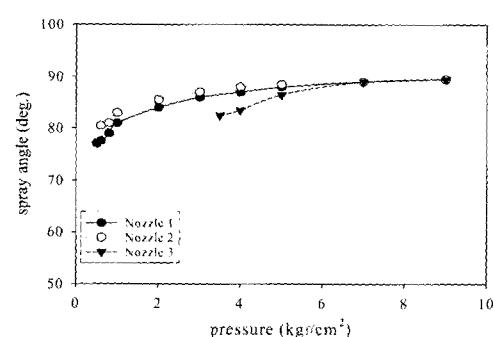


Fig.5 Spray angle on injection pressure

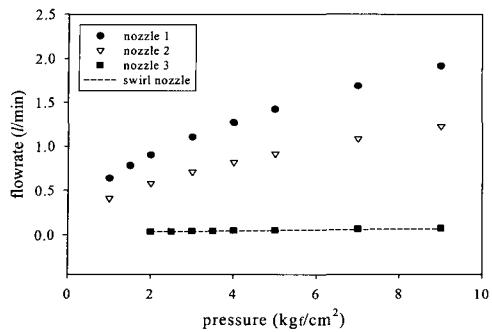


Fig.6 Variation of flowrate the injection pressure

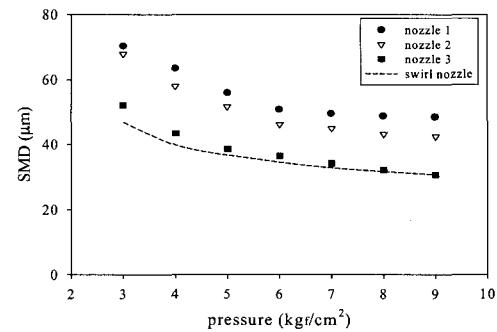


Fig.7 Variation of SMD on the injection pressure

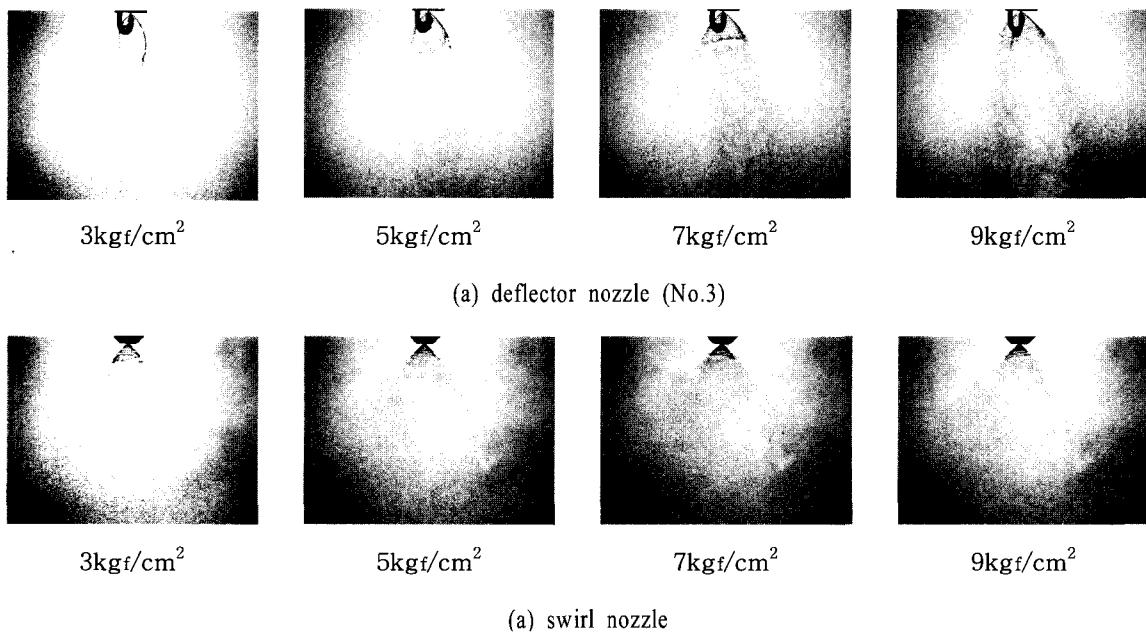


Fig.8 Comparison of deflector nozzle with swirl nozzle

4. 결 론

충돌형 노즐의 분무 특성을 실험을 통해 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 거시 촬영 결과 분무는 낮은 분사 압력에서는 액주형태로 분사되나 압력이 높아짐에 따라, 충돌면에 의해 벼블이 형성되며 벼블형태는 원추형의 액막으로 발달하고 분사 압력이 증가 할수록 공기역학적 과정에 의해 액막의 길이가 짧아지며 액사 형태로 분열되고 다시 액적으로 분열된다.
- 2) 분사압력 변화에 따른 유량계수 변화는 거의 없었으며 노즐 변화에 영향을 받음을 알 수 있었다.
- 3) 분사 압력이 약 7kgf/cm² 이상에서는 충돌면에 의해 분무각이 거의 90도로 근접하였다.
- 4) 평균입경은 분사압력이 증가할수록 작아지는 일반적인 경향 을 보였고 같은유량 범위의 스월 노즐과 비교할 때 큰 차이 가 없음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Kitamura, Y., Egawa, K. and Takahshi, T., "Drop Formation

from Liquid Jet Ejected from a Rotating Nozzle," J. Chem. Eng.of Japan (1977), Vol.10, No.1, pp.1-5.

- [2] Fraser, R. P., Dombrowski, N. and Routley, J. H., "The Atomization of a Liquid Sheet by an Impinging Air Stream," Chem. eng. sci (1963), Vol.18, pp.339-353
- [3] Ashgriz, N. and Poo, J. Y., "Coalescence and Separation in Binary Collision of Liquid Drops," J. Fluid Mech.(1990), Vol. 221, pp.183-204.
- [4] Brenn, G. and Frohn, A., "Collision and Merging of Two Equal Droplets of Propanol," Experiments in Fluids (1989), Vol. 7, pp.441-446.
- [5] 이상용, "액체의 미립화", 민음사(1996), pp.155-156.
- [6] Lefebvre, A. H., "Atomization and Sprays," Hemisphere Pub. Co.(1989).
- [7] Bayvel, L. and Orzechowski, Z., "Liquid Atomization," Taylor and Francis (1993).
- [8] Dombrowski, N. and Fraser, R. P., "A Photographic Investigation into the Disintegration of Liquid Sheets," Phil. Trans (1954), A, Vol. 247, pp.101-130.
- [9] 이상용, 김인구, "분무노즐에서 분사되는 액체막의 분열현상에 관한 실험적 연구-주위기체의 응축에 관한 효과" 대한기계학회논문집(1985), 제9권 제3호, pp.387-394.