

충돌형 노즐의 분무형상 연구

External Spray Characteristics of Deflector Nozzle

김 경 훈*, 최 영 하**, 윤 석 주***

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

Abstract

This study describes the external spray characteristics of deflector nozzle such as the breakup procedures of liquid sheet, spray angle, breakup length and bubble behaviors of spray at deflector nozzle. In order to visualize the spray behaviors shadow graphy technique were used. According to the increase 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. As trying the analysis of the ratio of bubble length and width it was found that the ratios is comparable. Spray cone angle was nearly 90° .

Key Words : Deflector nozzle(충돌형 노즐), Bubble length(버블길이), External spray characteristic(분무형상), Breakup length(분열길이), Spray angle(분무각)

기호 설명

We : We 수 ($= \rho_L U_L^2 D_o / \sigma$)

ρ_L : 액체의 밀도 (kg/m³)

D_L : 유속 (m/s)

D_o : 오리피스 직경 (mm)

σ : 표면장력 (N/m)

1. 서 론

액체 미립화란 액체의 내부 또는 외부에서 작용하는 힘에 의하여 표면장력으로 유지되는

액체의 응집상태가 깨지는 것을 말하는 것으로 스프링클러, 분무 도포장치, 가습장치나 냉각 분무 장치, 보일러나 차량 엔진, 가스터빈, 로켓 기관 등과 같은 열기관과 기타 많은 산업 분야에서 중요한 핵심 기술로 응용되고 있다. 이러한 액체 분무에 대한 미립화와 시스템에 대한 분무 특성으로써 입경분포, 분열길이, 분무면적, 분무각 그리고 침투정도 등은 각각의 응용분야에 아주 중요한 요소로 이용되고 있다.

액체 분무 기구 중에는 단공 노즐이나 와류 노즐, 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 액주 상태의 액체가 충돌면에 충돌되어 미립화가 이

* 전북대학교 기계공학과 대학원

** 전북대학교 기계공학과 대학원

*** 전북대학교 기계공학과

루어지는 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⁾

액막의 길이는 유동 안정영역에서 액막 가장자리에서의 표면장력과 관성력과의 평형에 의해 결정되나, 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)

천공현상이란 어떤 요인에 의해서 액막에 구멍이 생기고 이 작은 구멍들이 표면장력에 의해 커지면서 인접한 구멍들과 서로 합해져서 일단 액사들로 그물막의 형태를 이루었다가 액적들로 분열이 일어나는 형태로 Dombrowski와 Fraser⁽⁸⁾는 액체막 내부의 난류현상의 영향과 젖지 않는 작은 입자들 때문이라고 하였다. 이상용, 김인구⁽⁹⁾는 와류분무 노즐과 디플렉터를 사용하여 포화상태의 수증기중으로 물을 분사할 경우 주위 기체의 응축에 의해서 천공 현상이 분열현상의 지배적인 기구로 작용함을 보고하였다.

공기 역학적 파에 의한 분열형태란 액막과 주위 기체와의 상호작용에 의해서 파가 발생하고 이 파의 진폭이 증가함에 따라 액막이 불안정해지면서 액막은 한 파장 또는 반 파장의 크기로 일단 분리되었다가 표면장력에 의해 액주로 변형되고 이것이 다시 액적으로 분열되는 현상을 말한다.

충돌형 노즐은 액체와 고체면과의 충돌에 의하여 액체를 미립화시키는 노즐로서 충돌 분무는 상대적으로 낮은 분사 압력으로도 높은 분사 압력에서 얻을 수 있는 미립화 특성과 양호한 공간 분포를 가진다.

충돌형 노즐의 기하학적 단순함에도 불구하고 충돌면은 생성되는 유동의 충돌초기의 액막

에 영향을 주게 되며 이 액막의 거동은 분무 특성과 밀접한 관계를 갖게 된다. 따라서, 충돌면의 기하학적 형상에 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 충돌면 형상에 대하여 충돌후의 분무 특성을 액막의 분열현상에 관한 기존의 연구결과들을 토대로 하여 충돌면에 의해 형성되는 분무의 형상에 미치는 영향을 실험적으로 고찰하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 분사노즐

본 연구에서 사용한 충돌형 노즐은 BETE사의 P와 PJ 타입 충돌형 노즐로서 각각의 제원은 Table 1과 같다.

Fig.1은 본 연구에 사용한 충돌형 노즐의 개략도를 도시한 것으로, 노즐 오리피스 출구에 충돌면이 부착되어있어 분출 액체가 충돌면에 충돌하여 액막을 형성하게 되어있다.

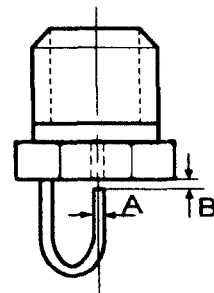


Fig1. Schematic diagram of deflector nozzle

Fig.2는 본 연구에 사용된 노즐의 충돌면을 확대한 그림으로 노즐 오리피스로부터 분출되는 원형 액체분류가 원통형 충돌면과 충돌하여 원추형 액막으로 형성된다.

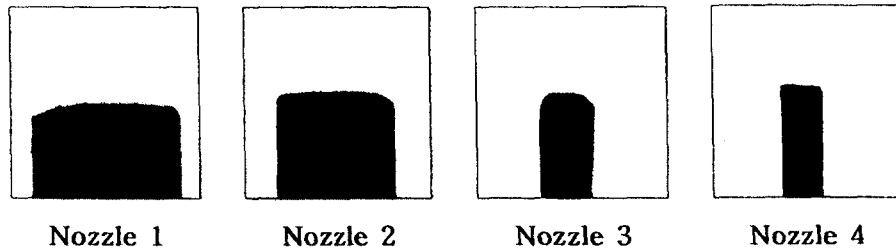
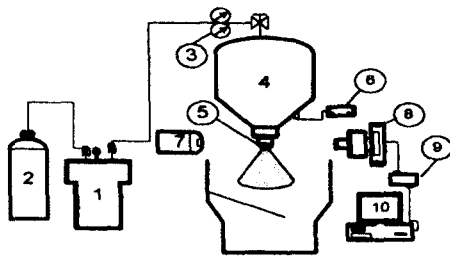


Fig 2. Photographs showing the deflectors

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	0.305	0.305	0.9
4	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

Fig 3. Schematic diagram of experimental apparatus

2.2. 실험장치

Fig.3은 실험장치의 개략도를 나타낸 것이다. 실험 장치는 크게 연료공급계, 연료분사장치, 화상획득장치로 구성되어있다.

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

정확한 분사 압력측정을 위하여 최소 0.01 kg/cm²까지 측정 가능한 압력측정기를 정압실의 노즐 출구에 근접하도록 설치하였으며 정압실에 액체가 채워지면 분사 노즐전의 밸브를 전개함으로써 안정된 액체의 분사가 이루어지도록 하였다.

분무 형상은 105mm AF micro 렌즈가 부착된 CCD 카메라를 이용하여 사진촬영법으로 획득하였으며 광원은 분무의 순간 정지 형상을 획득하기 위하여 발광시간이 6 μ s인 스트로보스코프를 이용하였다. 카메라에 의하여 얻어진 영상신호는 분석을 위해 컴퓨터에 저장되고 이미지 소프트웨어를 이용하여 분석하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 분사 압력이 분무에 미치는 영향

Fig.4는 압력변화에 따른 충돌형 노즐의 분무 형상을 가시화한 것이다.

공기중에 액체를 분사할 때, 낮은 분사 압력

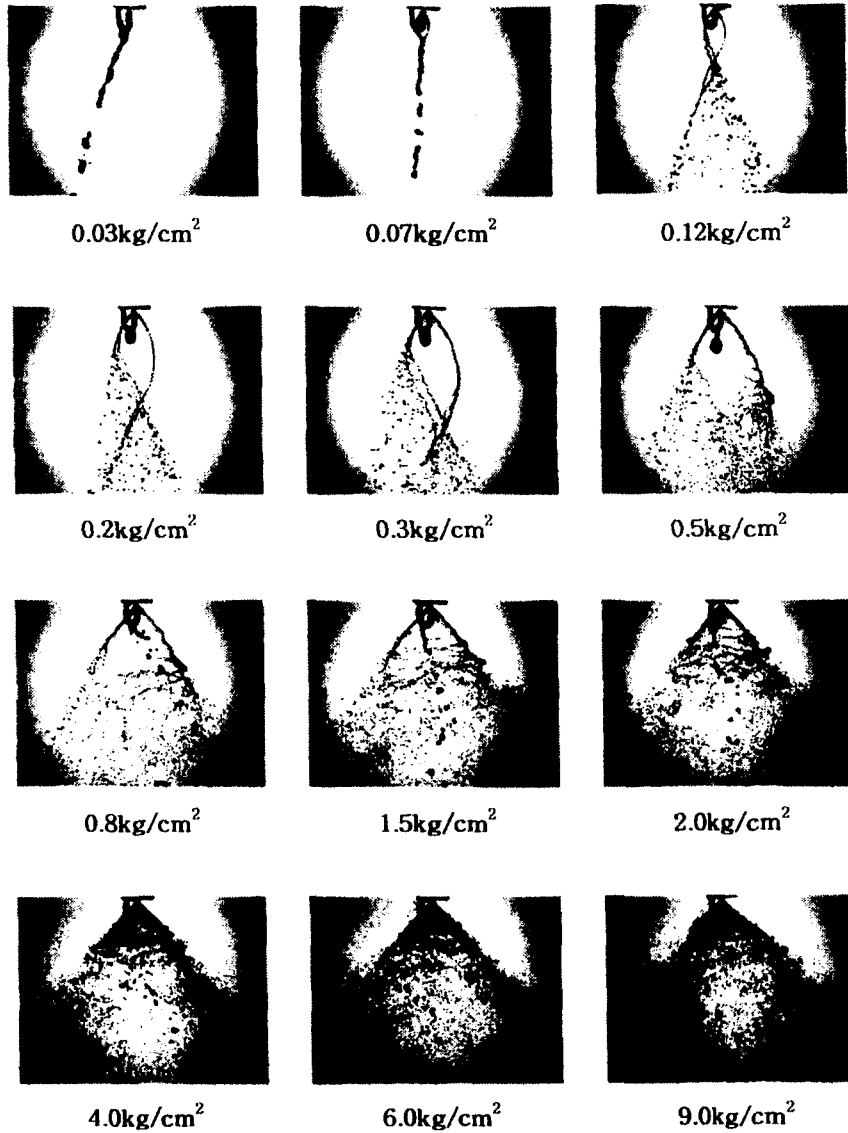


Fig 4. Photographs illustrating spray development in a deflect nozzle with increase liquid injection pressure

에서는 액주형태로 분사되나 압력이 높아짐에 따라, 충돌면에 의한 버블이 형성된다, 버블 형성은 충돌면에 액체가 충돌 후 액체의 운동량과 표면장력의 상호작용에 의해 액막의 형성후 중력과 액체의 운동량으로 확산되다가 운동량

보다 표면장력의 세기가 커지면서 다시 안쪽으로 모아지는 현상 때문에 발생하는 것으로 판단된다. 그리고 액막 합체시 교란, 혹은 액막끼리의 충돌현상으로 인해 확산각을 갖는 분무 발생으로 액적으로 분열되는 현상이 나타난다. 그리고 분사 압력이 커짐에 따라 유량의 증가로 인해 버블의 크기가 커짐을 볼 수 있다. 하

지만 분사 압력이 더 커짐에 따라서, 표면장력보다 액체의 운동량이 커지고 폭이 너무 크게 확장되기 때문에 액막의 합체가 발생되지 못하고 액막 선단에서 액적 또는 액사 형태로 분열되기 시작한다

분사 압력이 증가할수록 버블형태는 원추형의 액막으로 발달하고 교란 즉, 공기역학적 파에 의해서 액사 형태로 분열되고 다시 액적으로 분열된다. 충돌면 지지대에서 액막형성은 액막이 지지대에 의해서 갈라지기 때문에 두꺼운 액사형태로 분열되어 이 부분에서는 비교적 큰 액적으로 분열되는 것으로 생각된다. 초기 원추형의 액막 구간에서는 액막 표면에 파형이 존재하나 비교적 안정된 형상을 보이며 액막이 길게 나타난다. 그러나 분사압력이 증가하면 액체막 표면에 나타나는 공기역학적인 파동에 의해 분산이 일어나며 액체막의 길이가 짧아짐을 볼 수 있다.

3.2. 분열 길이

분열길이를 측정하는 이유는 액막의 길이에 따라서 액막의 두께도 변하기 때문에 분열된 이후에 형성되는 분무 액적의 크기도 달라지게 된다. 따라서 액막의 길이를 측정하는 것은 액체 분무의 성능을 예측하는데 매우 중요하다. 액막의 길이는 이상적으로 액막 가장자리에서 유동 방향의 관성력과 반대방향으로 작용하는 표면장력과의 평형에 의해서 정해진다. 이처럼 액막 분열길이는 액체의 관성력과 표면장력에 따라 영향을 받기 때문에 관성력과 표면장력의 비로 정량화시킬 필요가 있다.

본 연구에서는 분열길이를 측정하기 위하여 사진기법을 이용하였으며, Fig.5는 대기중에 분사했을 때 We수에 따른 분열길이의 변화를 측정 한 것이다.

측정은 각각의 노즐에 대하여 난동폭을 고려하여 15장의 사진을 평균 처리하였다. We수의 증가에 따라 분열길이는 거의 직선적으로 증가하다가 최대치를 나타낸 다음 불규칙하게 흔들리면서 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 분열길이의 최대치는 노즐직경이 작은 경우에 나머지 두 노즐에 비해 큰 We수에서 발생하는 것

을 알 수 있다. 그러나 불안정한 액막을 형성하는 유량영역에서는 액막의 길이가 We수에

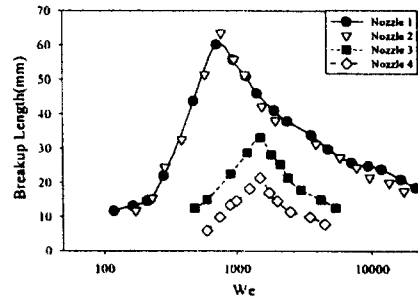


Fig.5 Breakup length of liquid sheet

따라서 감소하는 경향은 두 경우가 비슷하다는 것을 알 수 있다.

노즐의 직경이 작은 경우에 분열길이의 최대치가 짧게 나타나는 것은 분사 압력이 커서 액체의 운동량이 증가하므로 상대적으로 불안정한 파의 성장률이 증가하기 때문에 일어나는 현상으로 생각된다. 또한 액주와 노즐 오리피스 벽면과의 작용에 의한 마찰 저항이 상대적으로 커지기 때문으로 생각된다.

이러한 이유로 액체 노즐이 작을수록 동일 압력에 대한 최대 액체 분출 유량도 작아지는 것으로 나타났다.

3.3. 버블형성구간

본 연구에서 사용된 노즐은 각각의 노즐 오리피스와 같은 직경으로 제작된 충돌면과의 충돌에 의해서 액막을 형성하는 것으로 버블형성구간에서 충돌면에 충돌된 후의 운동량과 표면장력간의 상관관계로 인하여 각각의 노즐에 대한 버블길이와 폭과의 관계가 일률적으로 변화된다고 생각되어 버블형성구간에서의 길이와 폭에 대한 상관 관계를 비교하였다.

Fig.6과 Fig.7은 각각의 노즐에 대한 버블길이와 폭의 변화를 나타내었다.

그림에서 알 수 있듯이 길이와 폭과의 증가양상이 유사하며 Fig.8에서 볼 수 있듯이 폭과 길이의 변화율이 거의 선형적으로 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, Fig.8에서 보는 것

처럼 nozzle3의 경우 다른 노즐에 비해 버블 폭에 대한 길이가 상대적으로 큰 값을 가지는 것을 볼 수 있는데 이는 충돌면이 일정한 각으로 경사진 형태이기 때문에 버블 폭이 그만큼 줄어든다. 따라서 액막 두께가 두꺼워짐에 따라 표면장력이 커지기 때문에 버블길이가 상대적으로 길어진다고 생각된다.

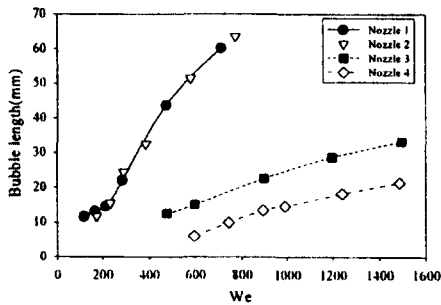


Fig.6 Bubble length of liquid sheet

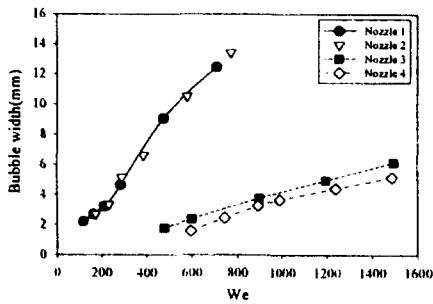


Fig.7 Bubble width of liquid sheet

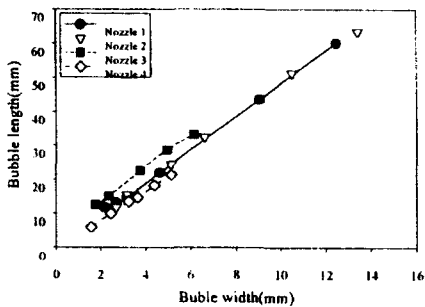


Fig.8 Relation of the Bubble length and width

3.4. 분무각

노즐 외부의 분무 유동을 거시적인 관점에서 기술하는 방법 중에 분무의 공간분포를 파악하기 위해 분무각에 대한 정보가 필요하다. 분무각은 보통 분출되는 지점에서의 분사각도를 의미하지만, 미립화되기 이전에 노즐 근처의 액막이 표면 장력에 의해서 안쪽으로 수축되는 효과가 있으며, 미립화된 이후의 하류에서도 주위기체의 반경방향 유입에 의해서 액적의 궤적이 안쪽으로 휘어지는 효과가 있기 때문에 실제 분무 면적은 줄어들게 된다. 하지만 본 연구에서는 분무각을 초기 분출되는 지점의 각을 분무각으로 정의하고 사진촬영을 통하여 각 조건당 15장의 사진을 수집하여 평균처리하였다.

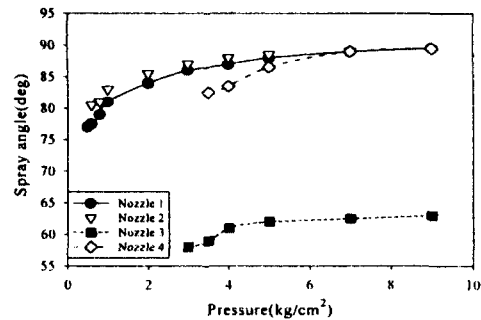


Fig.9 Spray angle with a injection pressure

Fig.9는 각각의 노즐에 대한 분무각의 변화를 측정된 결과이다. 본 연구에 사용된 노즐은 노즐 출구부위에 각각의 노즐오리피스의 직경과 같은 크기의 충돌면을 설치한 노즐이기 때문에 분무각도 충돌면에 상당한 영향을 받을 것이라 생각되며, 충돌면이 원통형이기 때문에 초기에는 분무각이 작지만 분사 압력 즉 유량이 커질수록 충돌면의 형상에 따라 분무각이 형성될 것이라 판단하고 측정된 결과 낮은 분사 압력에서는 어느 정도 차이가 있지만 분사 압력이 높아질수록 그림에서 본 것처럼 예측과 같은 형태임을 확인 할 수 있었다. 하지만 노즐3의 경우 다른 노즐 값과 일치하지 않는 결

과가 나오는데 이는 충돌면이 일정한 경사각을 이루고 있기 때문에 그러한 형상에 따라 분무 폭이 줄어들어 위와 같은 값을 가지게 된다

만 분사 압력이 높아질수록 충돌면의 형상에 따라 분무각이 90도에 근접함을 알 수 있었고, 노즐3의 경우, 충돌면 경사진 형태의 경우이기 때문에 보다 작은 분무각을 형성한다.

4. 결 론

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

1) 거시 촬영 결과 분무는 낮은 분사 압력(유량)에서는 액주형태로 분사되나 압력이 높아짐에 따라, 충돌면에 의해 인위적으로 버블이 형성된다. 그리고 액막 합체시 교란(혹은 액막끼리의 충돌현상)으로 인해 확산각을 갖는 분무 발생 때문에 액적으로 분열되는 현상이 나타난다.

분사압력이 커짐에 따라 유량의 증가로 인하여 버블형태는 원추형의 액막으로 발달하고 교란 즉, 공기역학적 파에 의해서 액사형태로 분열되고 다시 액적으로 분열된다.

초기 원추형의 액막 구간에서 액막 표면에 파형이 존재하나 비교적 안정된 형상을 보이며 액막이 길게 나타난다. 그러나 분사압력이 증가하면 액막 표면에 나타나는 공기역학적인 파동에 의해 분산이 일어나며 액막의 길이가 짧아지는 현상이 관찰되었다.

2) 분사 압력의 증가에 따라 분열길이는 거의 직선적으로 증가하다가 최대치를 나타낸 다음 불규칙하게 흔들리면서 감소하는 것을 알 수 있다. 그리고 분열길이의 최대치는 노즐직경이 작은 경우에 나머지 두 노즐에 비해 큰 We수에서 발생하는 것을 알 수 있다. 그러나 불안정한 액체 막을 형성하는 유량영역에서는 액체 막의 길이가 We수에 따라서 감소하는 경향은 두 경우가 비슷하다는 것을 알 수 있다.

3) 버블 형성이 충돌면에 충돌된 후 액체의 운동량과 표면장력간의 상관관계 때문에 각각의 노즐에 대한 버블길이와 폭의 증가율이 일률적으로 변화됨을 관찰할 수 있었다.

4) 충돌면이 원통형이기 때문에 초기에는 분무각이 작지만 분사 압력이 증가할 수록 초기 낮은 분사 압력에서는 어느 정도 차이가 있지

참 고 문 헌

- (1) Kitamura, Y., Egawa, K. and Takahshi, T., 1977, "Drop Formation from Liquid Jet Ejected from a Rotating Nozzle," J. Chem. Eng. of Japan, Vol.10, No.1, pp.1-5.
- (2) Fraser, R. P., Dombrowski, N. and Routley, J. H., 1963, "The Atomization of a Liquid Sheet by an Impinging Air Stream," Chem. eng. sci., Vol.18, pp.339-353
- (3) Ashgriz, N. and Poo, J. Y., 1990, "Coalescence and Separation in Binary Collision of Liquid Drops," J. Fluid Mech., Vol. 221, pp.183-204.
- (4) Brenn, G. and Frohn, A., 1989, "Collision and Merging of Two Equal Droplets of Propanol," Experiments in Fluids, Vol. 7, pp.441-446.
- (5) 이상용, 1996, "액체의 미립화," 민음사, pp.155-156.
- (6) Lefebvre, A. H., 1989, "Atomization and Sprays," Hemisphere Pub. Co.
- (7) Bayvel, L. and Orzechowski, Z., 1993, "Liquid Atomization," Taylor and Francis.
- (8) Dombrowski, N. and Fraser, R. P., 1954, "A Photographic Investigation into the Disintegration of Liquid Sheets," Phil. Trans., A, Vol. 247, pp.101-130.
- (9) 이상용, 김인구, 1985, "분무노즐에서 분사되는 액체막의 분열현상에 관한 실험적 연구-주위기체의 응축에 관한 효과" 대한 기계학회 논문집, 제9권 제3호, pp.387-394.