

내부혼합형 이류체 분사노즐에서 발생한 분무내 액적들의 크기와 속도의 상관관계

Correlation between size and velocity of drops in a spray
from an internal mixing twin-fluid atomizer

김 상진*, 히로야스 히로유키**.
(현대자동차) (일본 히로시마대학)
SangJin Kim, H. Hiroyasu
(HMC) (University of Hiroshima)

ABSTRACT

Correlations of drop size and velocity in a spray from the disintegration of liquid jet and liquid film from an internal mixing twin-fluid atomizer, were determined by phase Doppler method. The distribution pattern of Sauter mean diameter(SMD) in a spray was changed by a behavior of liquid flow. As smaller droplets became faster and slower easily by the surrounding conditions, the correlation between drop size and mean velocity was found to be varied as next 3 steps; firstly smaller droplets have a higher mean velocity at the area near atomizer, droplets have almost the same mean velocity and finally larger droplets have a higher mean velocity at the area far from an atomizer.

주요기술용어 : twin-fluid(이류체), atomization(미립화), spray(분무), phase Doppler method
(위상차법), Sauter mean diameter(평균 입경), droplet velocity(액적 속도)

1. 서론

노즐을 통해 미립화된 액적들의 크기와 속도의 상관관계는 분무구조의 이해는 물론 분무모델의 설정에 큰 도움이 될 수 있다. 그런데 최근까지 적당한 측정방법이 개발되지 못한 관계로 분무내 공간상의 액적들의 크기와 속도의

상관관계에 관한 연구는 미미한 실정이었다. 일반적으로 액적의 분열과정에서 생성된 분무내의 액적들의 크기와 속도의 상관관계는 미립화를 위해 가하는 에너지의 공급방법에 따라 크게 달라질 것으로 예상된다. 예를 들어 흔히 사용되고있는 미립화 방법 중에 액체를 직접 가압하는 압력법으로 미립화하여 생성시킨 액

* 정회원, 한국액체미립화학회

** 정회원, 일본액체미립화학회

적들은 분열초기부터 큰 액적이 큰 운동량을 가지며 분열되어 액적들의 크기와 속도의 상관관계에는 비례관계가 있다고 알려지고 있다⁽²⁾. 또한 회전체의 원심력을 이용한 미립화로 얻어진 액적의 크기와 속도의 상관관계에 관한 연구보고는 아직 없으나 미립화 방법상으로 압력법과 같은 결과가 예상된다. 그런데 기체의 운동 에너지를 이용하여 미립화시키는 이류체 분사노즐에서 발생한 액적들의 크기와 속도에는 어떠한 관계가 있는가에 대한 연구^(2,3)는 아직 미흡한 실정이다.

본 연구는 노즐내부에서 기류와 액류가 일차적으로 혼합된 후, 분공을 통해 분출되면서 미립화가 이루어지는 내부혼합형 이류체 분사노즐을 이용하여, 분공에서의 액류의 흐름이 액주와 액막인 두 가지 경우에서 발생하는 분열초기의 액적들의 크기와 속도의 상관관계를 위상도플러법⁽⁴⁾으로 측정하여 규명하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험에서는 분사액체는 수돗물, 미립화용 기체는 공기를 사용하여 물의 유량을 15g/s, 미립화용 공기와 물의 질량 유량비가 0.1인 한가지 분사조건에서 실시하였다.

그림 1은 실험 장치의 개략도이다. Accumulator의 물은 고압공기에 의해 가입되며 유량계로 유량을 조절한 후 노즐로 공급하였다. 압축기로 발생시킨 미립화용 공기는 공기탱크에 저장한 후 노즐로 공급하였다. 분무내의 액적의 속도와 크기는 출력 10mW의 He-Ne레이저를 광원으로 사용한 일차원의 위상도플러식 입자분석계 (Aerometric사, 미국)를 이용하여 측정하였다. 광학계는 수광계를 액적의 일차 굴절광이 측정되도록 송광계의 전방 30도 위치에 설치하였다. 그리고 매회의 측정값은 측정체적을 통과한 5000개 액적의 측정 결과의 평균이다. 측정위치는 광학계는 고정시킨채 노즐을 장착한 삼차원 이송대를 이용하여 변화시켰는데 분공의 중심을 기점으로 반경 방향을 X축으로, 분무의 축 방향을 Y축으로 정

하여, Y축으로 20mm, 60mm, 100mm, 150mm의 위치를, X축으로는 최대±32mm까지 2mm 혹은 4mm간격으로 측정했다.

그림 2는 사용한 노즐의 개략도이다. 노즐의 구조는 직경 6mm인 환상의 유로 중간에 내경 2mm인 얇은 파이프를 설치하여 직경 15mm, 길이 15mm의 혼합실 내부로 물과 공기를 혼합한 후, 직경 4mm의 분공을 통하여 분사되도록 제작하였다. 그런데 분공내의 기액류의 흐름 형태에 따라 분무내의 액적들의 공간적 분포가 달라질 것으로 예상된다. 그래서 본 연구에서는, 먼저 공기를 노즐내부의 환상의 유로로 공급하고 물은 중간 파이프를 통하여 공급함으로써 분공에서 액주의 분열로 분무가 발생하는 경우와, 이와 반대로 공기는 중간 파이프를 공급하고 물은 환상의 유로로 공급함으로써 분공에서 액막의 분열로 분무가 발생하는 두가지 경우에 대하여 실험하였다.

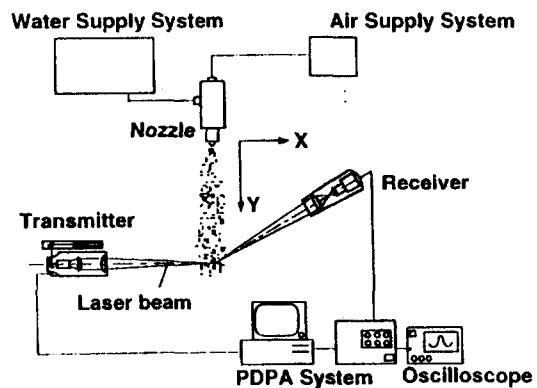


그림1. 실험장치의 개략

그림 3은 분공 주위에서 발생하는 분열의 모식도이다. 그림 3의 (a)는 공기를 노즐내부의 환상의 유로로 공급하고 물은 중간 파이프를 통하여 공급함으로써 발생하는 분무(액주분열)이다. 혼합실 내부의 액류는 주위 공기류에 의해 좌우로 흔들리며 분열되면서 분공까지 다다른 후 사방에서 유입되는 공기류에 의해 분공부에서 주로 미립화된다. 혼합실 내부에서 액주로 부터 분열된 일부의 액류는 선회하는 공기류에 의해 액막류 상태로 혼합실 상부로 밀려올라

간다. 그림 3의 (b)는, 공기는 중간 파이프로 공급하고 물은 환상의 유로로 공급함으로써 발생하는 분공에서의 분무(액막분열)이다. 노즐내의 환상유로에서 분출된 액류는 혼합실 내부에서 공기류에 의해 액막류로 된다. 이 액막류는 혼합실 벽을따라 분공으로 이동되며 분공 중심을 흐르는 공기류에 의해 미립화된다.

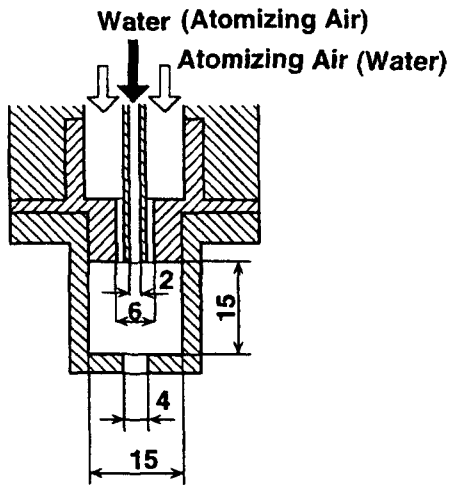


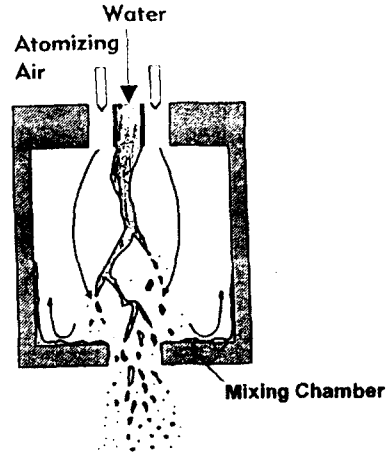
그림2. 노즐의 개략

3. 실험결과 및 고찰

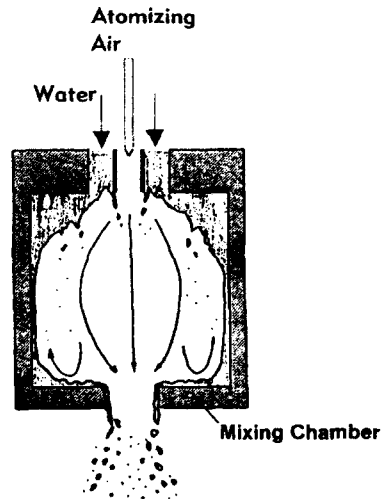
3.1 평균입경

그림 4는 액주의 분열에서 발생한 분무에 대하여 노즐로부터 축방향으로 20mm, 60mm, 100mm, 150mm지점에서 반경방향의 Sauter 평균입경 변화를 나타낸 그림이다. 분공에서 20mm지점에서는 분무의 중심에서 평균입경이 최대이고 외곽으로 갈수록 작아지는 분포였다. 이것은 분무 중심에 액주에서 분열된 큰 액적들이 아직 남아 있기 때문이라고 생각된다. 분공에서 멀어질수록 큰 액적들의 재분열로 인하여 분무중심에서의 평균입경은 작아지고 있음을 알 수 있다. 그러나 분무 외곽에서는 큰 변화 없이 분무가 계속되는 폭이 넓어지고 있다.

그림 5는 분공에서 액막이 분열하여 발생한 분무에 대하여 축방향으로 20mm, 60mm, 100mm, 150mm 지점에서의 반경방향의 Sauter



(a) 액주 분열의 모식도



(b) 액막 분열의 모식도

그림3. 분공에서의 분열의 모식도

평균입경 변화를 나타낸 그림이다. 분공에서 20mm지점에서는 분무의 중심에서 평균입경들이 작고, ±4mm에서 6mm지점에서 최대의 평균입경을 보였다가 외곽으로 갈수록 평균입경이 작아지는 분포를 보인다. 이것 역시 분공벽면을 흘러내리는 액막의 분열로 생성되는 큰 액적들의 영향이라 생각된다. 분무는 계속적으로 분열하여 60mm이후에서는 최대의 평균입경을 보였던 곳이 분무 외곽으로 옮겨져 있음을 알 수 있다. 이와 같이 평균입경의 분포는 액류가 액주 상태 혹은 액막 상태로 분열하는가에 달라짐을 알 수 있다.

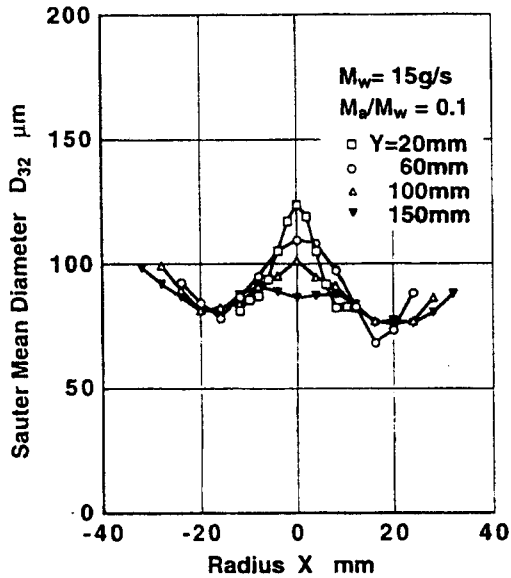


그림4. 평균입径의 반경방향의 분포(액주분열)

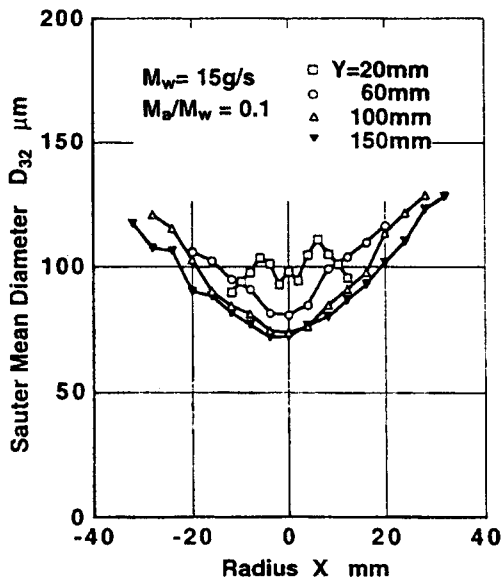


그림5. 평균입径의 반경방향의 분포(액막분열)

3.2 액적들의 평균속도와 RMS속도

(1) 액주분열

그림 6은 분공에서 액주가 분열할 때 발생된

분무내 액적들의 평균 속도와 V_{RMS} 속도의 변화를 나타낸 그림이다. 여기서 액적들의 평균 속도는 전체 액적들이 갖는 속도의 평균을 의미하며, V_{RMS} 속도는 액적들의 속도 변동 크기를 의미한다. 분공 근처($Y=20mm$)에서의 액적의 평균 속도는 반경방향으로 $\pm 2mm$ 에서 $\pm 4mm$ 정도 떨어진 곳에서 최대치가 나타났다. 분공에서 점점 멀어짐에 따라 2개의 평균 속도의 피크는 사라지고, 분무중심에서 최대속도의 분포를 보인다. V_{RMS} 속도는 분무 중심보다 조금 외곽에서 최대가 되는 분포를 보인다. 분공 하류 20mm지점에서는 그 최대의 위치는 평균 속도의 피크 치가 나타나는 곳보다 조금 외곽에서 나타나며 분공에서 멀어질수록 외곽으로 옮겨진다. 그리고 하류로 갈수록 중심과 외곽의 차이는 사라지고 있음을 알 수 있다.

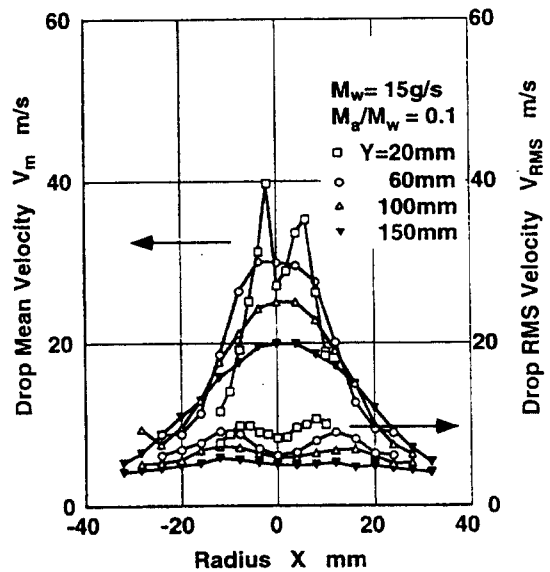


그림6. 액적들의 평균속도의 변화(액주분열)

(2) 액막분열

그림 7은 분공에서 액막이 분열할 때 발생된 분무내 액적들의 평균 속도와 V_{RMS} 속도의 변화를 나타낸 그림이다. 평균속도는 분무의 중심에서 최대가 되는 분포를 가진다. 그런데 분공에서 60mm떨어진 곳의 액적들의 평균 속도

가 20mm 떨어진 곳보다 빠르게 나타났다. 이것은 분공에서 어느 정도 떨어진 거리까지는 분열된 액적의 속도가 주위를 흐르는 상대적으로 빠른 공기류에 의해 가속되면서 빨라지기 때문이라고 생각된다. 그리고 액적들의 V_{RMS} 속도는 분무 중심이 최대인 분포를 가진다. 그리고 하류로 갈수록 분무 중심의 V_{RMS} 속도는 크게 변화하나 분무 외곽의 V_{RMS} 속도는 큰 변화를 보이지 않는다. 이상과 같이 V_{RMS} 속도는, 분공에서의 흐름 형태와는 관계없이 평균입경이 작고 평균속도가 큰 곳에서 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이것은 액류의 흐름에 비해 상대적으로 빠른 공기 흐름이 계속적으로 분열을 일으켜, 액적들이 더욱 작아지기 때문이라 생각된다.

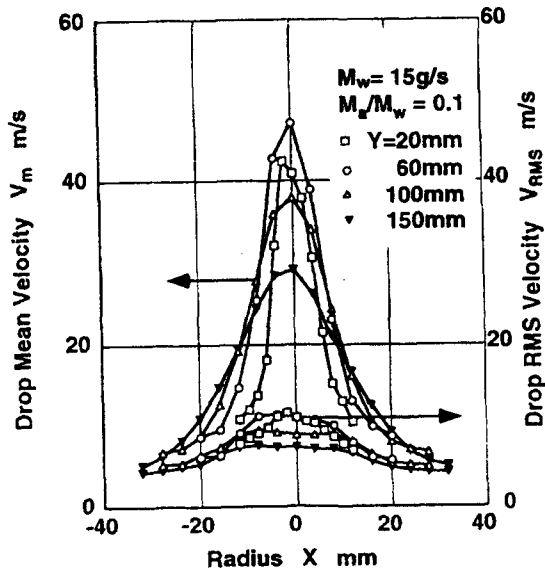


그림7. 액적의 평균속도의 변화(액막분열)

3.3 액적의 크기와 속도의 상관관계

그림 8은 분공에서 액주가 분열할 때의 분무 중심축의 액적의 속도와 크기의 상관관계의 변화를 나타낸 그림이다. 이때의 액적의 속도는 같은 크기범위에 속하는 각각의 액적만의 속도의 평균치이다. 분공에서 20mm 지점에서는 약 30 μ m 이하의 액적들의 속도가 가장 빠르며 액

적의 크기가 커질수록 속도는 점점 늦어지는 분포임을 알 수 있다. 분공에서 60mm 지점에서는 작은 액적에서 큰 액적까지 거의 비슷한 속도를 보인다. 이것은 액적들이 공기류에 의해 가속되는 시간이 길어져 큰 액적들도 충분히 가속되어 액적의 크기에 따른 속도 차가 사라졌기 때문이라고 생각된다. 분공에서 100mm 지점에서는 100 μ m 이상의 큰 액적들의 속도에는 큰 변화가 없으나 그 보다 작은 크기의 액적들의 속도가 늦어지고 있음을 알 수 있다. 150mm 지점에서는 작은 액적들이 속도를 잃는 경향이 더욱 뚜렷이 나타나 큰 액적들이 큰 속도를 갖는 경향으로 나타났다. 이것은 액주에서 막 분열된 액적과 공기류 사이에는 아직 속도 차가 존재하며 작은 액적들이 공기류에 의해 먼저 가속되어 고속으로 되며 큰 액적들이 가속될 때까지는 상대적으로 긴 시간이 필요하기 때문에 초기에는 낮은 속도를 가진다고 생각된다. 그리고 액적들이 가졌던 운동량을 상실하는 것이 작은 운동량을 가진 작은 액적들이 빠르기 때문에 먼저 속도가 늦어지는 것이라 생각된다.

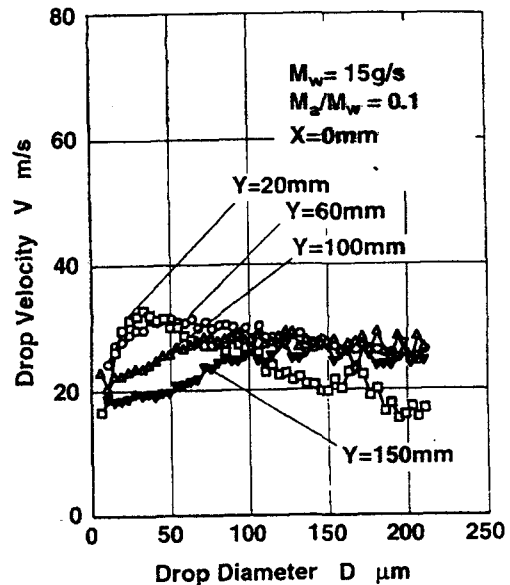


그림8. 축방향 위치변화에 따른 액적의 크기와 속도의 상관관계(액주분열)

그림 9는 분공에서 액막이 분열할 때의 분무에서 분무중심축의 액적의 속도와 크기의 상관관계의 변화를 나타낸 그림이다. 그림 3에서 설명한 것처럼 노즐 내의 좁은 파이프 내에서 공기류가 분출되고 있기 때문에 전체적인 액적의 속도가 분공에서 액주가 분열할 때보다 빠름을 알 수 있다. 분공에서 20mm지점에서의 상관관계는 큰 액적들의 속도가 작은 액적의 속도보다 늦어지는 경향을 보인다. 분무의 하류로 갈수록 액적들의 크기와 속도의 상관관계는 큰 액적들이 큰 속도를 갖는 관계로 바뀌고 있음을 알 수 있다. 그리고 분공에서 60mm 떨어진 곳의 전체 액적들의 속도가 20mm 떨어진 곳보다 빠른 것은 그림 7에서 설명된 것처럼 분공 가까운 곳에서는 액적과 공기류사이에 운동량 교환이 충분히 이루어지지 않아 가속이 되지 않았음을 보여주는 것이다.

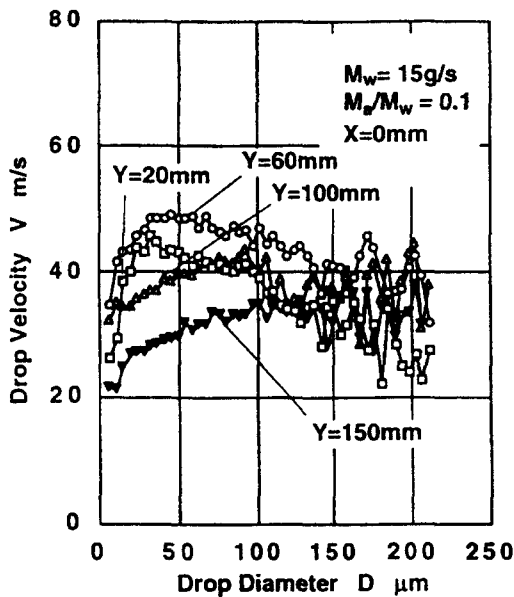


그림9. 축방향 위치변화에 따른 액적의 크기와 속도의 상관관계(액막분열)

3.4 반경방향에서의 액적의 속도와 크기의 상관관계

그림 8, 9에서 알 수 있듯이 두 액류의 흐름 타입에서 분공으로부터 60mm 떨어진 곳의 축상

(X=0mm)에서 액적의 평균속도는 크기와 무관하고 큰 차이가 없다. 그래서 축상으로부터 반경방향으로 0mm, 4mm, 8mm, 16mm 떨어진 곳의 액적의 크기와 속도의 상관관계를 살펴보았다

그림 10은 분공에서 액주가 분열할 때 노즐에서 60mm지점에서의 반경 방향의 액적의 크기와 속도의 상관관계를 나타내고 있다. 분무 중심과 4mm 떨어진 곳과의 액적의 크기와 속도의 상관관계는 큰 차이를 보이지 않으나 8mm로 멀어짐에 따라 약 50μm 이하의 작은 액적들의 속도가 떨어지고 있음을 알 수 있다. 그리고 공기류의 흐름에서 다소 벗어나고 있다고 생각되어지는 16mm지점에서는 전체 액적들의 속도가 떨어지며 분무중심에서의 경향과는 달리 큰 액적들이 큰 속도를 가지는 형태로 되어 있다.

그림 11은 분공에서 액막이 분열할 때 노즐로부터 60mm지점에서의 반경 방향의 액적의 크기와 속도와의 상관관계를 나타내고 있다. 분무 중심과 4mm지점의 액적들의 크기와 속도는 거의 동일하였다. 중심에서 멀어짐에 따라 액적들의 속도의 감소의 폭은 크나, 액적의 속도와 크기의 상관관계에는 명확한 관계가 보이지 않는 분포를 유지한다. 그런데 16mm지점에서는 큰 액적들이 작은 액적보다 속도가 비교적 빠른 상관관계를 보이고 있다.

이처럼 분공에서의 분열형태에 따라 액적들이 갖는 감속의 정도는 달라지나 크기와 속도의 상관관계는 동일한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

내부혼합형 이류체분사변을 이용하여 분공에서 액주 및 액막의 형태로 분출되는 분무의 액적의 크기와 속도의 상관관계를 위상도플러법으로 측정된 결과는 다음과 같다.

- 1) 기액류의 유동상태가 다르면 분무내의 액적의 평균입경과 속도의 분포는 달라진다.
- 2) 내부혼합형 이류체 분사노즐에서 발생한 액적의 크기와 속도의 상관관계는 액적과 미립화

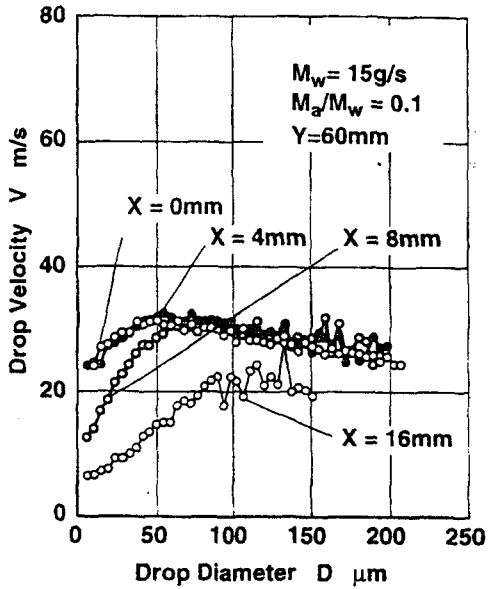


그림10. 반경 방향의 위치 변화에 따른 액적의 크기와 속도의 상관관계(액주분열)

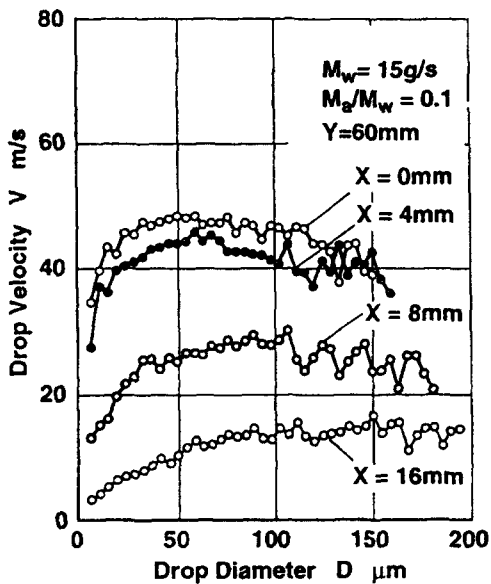


그림11. 반경 방향의 위치 변화에 따른 액적의 크기와 속도의 상관관계(액막분열)

용 공기류와의 운동량 교환 정도에 나눌수 있다.

3) 액적의 크기와 속도의 상관관계는 미립화용 공기에 의해 작은 액적들이 먼저 가속된 영역에서 나타나는 액적의 크기와 평균 속도의 반비례 관계, 큰 액적들도 가속되어 전체 액적들이 비슷한 평균속도를 나타내는 관계 그리고 작은 액적들이 먼저 감속되어 나타나는 액적의 크기와 속도의 비례관계의 3가지 형태가 나타난다.

참고 문헌

1. G. Pitcher and G. Wigley, "Velocity and droplet measurements in Fuel Sprays in a Direct Injection Diesel Engine", Int. Conference on Mechanics of Two-Phase Flows, 1989
2. H. Eroglu and N. Chigier, "Initial Drop Size and Velocity Distributions for Airblast Coaxial Atomizers", Journal of Fluid Engineering, Vol. 113, pp. 453-459, 1991
3. 佐賀井. 趙, "内部混合型二流体噴射器から發生する亂流と噴霧構造の關係", 微粒化, Vol. 1-2 No. 2, pp. 48-57, 1993
4. W. D. Bachalo and M. J. Houser, "Phase/Doppler spray analyzer for simultaneous measurements of drop size velocity Distributions", Optical Engineering, Vol. 23, No. 5, pp. 583-590, 1984