

이중 분무의 중첩 구조에 미치는 분무 노즐의 영향

Effects of spray nozzles on the structure of twin spray

정 중 수*, 박 찬 범**, 임 경 수*

J. S. Jurng, C. B. Park, K. S. Im

ABSTRACT

An experiment was carried out on the structure of twin spray from pressurize-swirl nozzles, in order to investigate the effect of different size of spray nozzles on the characteristics of the overlap of two single sprays, for example, mean diameter, number density, and spatial distribution of flow rate. Using image processing method, the distributions of size and velocity of droplets of a single spray and twin spray were measured and compared to investigate the overlapping effect of two identical sprays. Comparing experimental results from a twin-spray with those from two-single sprays shows that the flow rate distribution of the twin-spray was concentrated around the midst of the overlapping region of two sprays. In this region, Sauter mean diameter (SMD) did not change much in the twin spray from 6032 nozzles, but it was smaller by 10 micrometers in the twin-spray than two-single sprays from 60063 nozzles. In spite of large difference in Weber numbers of the colliding sprays between the 60063 and 6032 nozzles, the phenomena did not have a big change in the overlapping region of twin spray. This shows that in the collision between droplets from two single spray in the overlapping region to cause the disruption of droplets, the size distribution of spray droplets was also important as well as Weber number.

Key Words : Twin Spray(이중 분무), Sauter Mean Diameter(Sauter 평균입경), Ice Slurry Formation (아이스 슬러리 생성), Image Measurement (화상 측정), Collision(충돌), Weber number(웨버 수)

1. 서 론

본 연구실에서는 자연냉매를 이용한 냉열 생리의 생성기술에 관한 연구를 수행하고 있다. 이 기술은 환경오염 측면에서 가장 안전한 물을 냉매로 사용한다는 장점과 더불어 얼음죽의 형태로 냉열을 생성하는 방법을 사용하므로

고밀도 냉열 수송이 가능한 점이 가장 큰 특징이다. 이 기술은 약 5 kPa 정도의 저압의 용기 내에서 물을 노즐로 분무하면 0 ℃ 정도의 저온 하에서 액적 표면으로부터 물이 증발하는 원리를 이용하여 물의 기화열에 의하여 액적의 남아있는 부분의 일부가 얼음으로 변환되어 얼음 슬러리를 생성시키는 기술이 본 연구의 핵심

* 정회원, 한국과학기술연구원

** 학생회원, 한양대학교 대학원

이라고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 “진공 하에서의 아이스 슬러리 생성 장치”의 개발을 위해 요구되는 분무 시스템을 설계하기 위한 설계 자료로서 분무의 입경 분포 및 수밀도, 유량 분포 등의 여러 가지 분무 특성에 대하여 실험적인 연구를 수행하고 있다.^[9]

일반적으로 이러한 분무 시스템에서 액체를 분무하는 이유는 대체로 분무에 의하여 액체를 미립화 함으로써 표면적을 가능한 한 증대시켜 증발을 촉진시키는 데 목적이 있다.^[11]

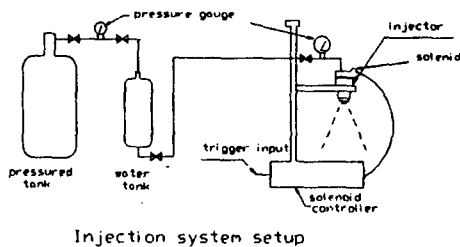


Fig. 1 Schematics of experimental apparatus

본 연구에서도 진공 하에서 노즐을 통하여 분무된 액적의 일부를 증발시켜 그 기화열을 이용하여 액적의 남은 부분을 아이스 슬러리화하는 것이 궁극적인 목표이다.

본 연구에서 요구되는 분무의 특성은 액적이 노즐로부터 아이스슬러리 면으로 낙하하는 0.4 - 1.0 sec 동안 액적의 남은 부분을 아이스 슬러리화하는데 충분할 정도로 증발이 일어나야 하므로 분무의 액적 직경은 100 μm 이하일 필요가 있다. 한편, 분무 입경의 편차에 대해서는 요구 조건이 다른 분무 시스템에 비해 덜 엄격하며, 오히려 균일한 입경 분포를 가지는 분무가 아닌 것이 유리할 가능성도 있다. 그 이유는, 넓은 범위의 입경 분포를 가지는 분무의 경우, 상대적으로 작은 입경의 액적은 낙하하는 동안 거의 대부분 얼음으로 전환되는 반면, 비교적 큰 입경의 액적들은 얼음으로의 전환율이 크지 않으므로 전체적으로는 아이스 슬러리의 얼음 변환 비율을 적절한 수준으로 유지하는데 유리할 수 있기 때문이다.

본 실험에 적용하고 있는 압력 분무 방식의

스웰 노즐은 노즐 출구 직경이 0.15 - 0.4 mm로 노즐 1 개 당의 분무 유량은 분무압 7 kgf/cm^2 기준으로 2 - 20 l/h 정도이고, 분무 평균 입경(SMD)은 60 - 120 μm 정도이다. 본 연구의 대상이 되는 시스템의 용량이 10 kW 이므로 증기발생량은 약 5 g/s 이다. 본 시스템에서는 분무량의 최대 약 10% 정도가 증발한다고 가정하고 설계하므로, 분무량은 10 배인 50 g/s = 3 l/min = 180 l/h 정도가 따라서 현재 적용 예정인 노즐 출구 직경이 0.4 mm의 노즐을 사용하는 경우 개당 분무량 20 l/h 정도이므로 약 9 개의 노즐이 필요하다. 이 노즐의 단일 분무의 평균 직경은 약 80 μm 정도이지만 여러 개의 노즐을 함께 사용하는 경우 발생할 수 있는 분무간의 중복 현상에 의해, 조건에 따라서 액적의 평균 직경이 증가하고 단일 분무와 비교하여 유량 분포의 형태가 상당히 달라질 것이 우려된다. 따라서 본 연구실에서는 다중 분무 중 상대적으로 구조가 간단한 이중 분무를 대상으로 광학적 방법에 의한 비접촉식 분무 입경 분포 및 입자의 속도 등을 측정하여 증발 분무의 특성에 대한 연구를 수행한 결과, 단일 분무에 비해 이중 분무의 증발 부분에서는 유량이 집중되고 수밀도는 증가하나 분무의 평균 입경은 오히려 감소하는 현상이 관찰되었다. 그러나 이러한 현상의 특성은 분무간의 충돌 각도, 웨버 수 (Weber number) 및 분무 입자의 유속 등에 따라 달라질 것으로 예상된다.^[10]

본 연구에서는 유량이 약 5 배 차이가 나는 2 개의 서로 다른 분무 노즐에 대하여 실험을 수행하여, 분무의 증발부를 중심으로 유량 분포 및 분무 입경 등에 대한 비교를 통하여 이러한 증발 구조의 특성 변화에 대한 실험적 연구를 수행하였다.

2. 분무 관련 이론

2-1 압력-스웰 노즐의 분무 형태

와류 분무 노즐로부터 형성되는 액막(liquid sheet)의 분열 형상은 단공 노즐에서 분사되는 액주의 분열 형상과 다르다. 이 경우 액체 분

Table 1 Nozzle specification

노즐	분무각	분무유량 (l/hr)	평균입경 (μm)	노즐출구 직경(mm)
60063	60°	2.2	45	0.15
6032	60°	12.7	60	0.25

무는 액막과 액적 부분 등 두 개의 영역으로 나눌 수 있다. 액막 부분은 비록 짧기는 하나 분열 후의 액막의 크기, 분무 면적, 열 및 물질 전달의 형상들을 결정해 주는 중요한 역할을 한다. 와류 분무 노즐로부터 형성되는 원추형 액막은 표면장력 및 액막 내부 중심축 부근의 기체 재순환, 그리고 분무 용축의 경우 액막 내부의 기체 용축 등에 의해 중심축을 향해 수축되며, 이 액막 형태의 변화는 결과적으로 분무 면적을 결정해 준다. 아울러 액막의 길이에 따라서 액막의 두께가 변하기 때문에 분열된 후에 형성되는 분무 액적의 크기도 달라지게 된다. 따라서 액막의 길이를 예측하는데 매우 중요하다.^[11]

2-2 충돌 분무의 특성

분무 노즐에서 분사되는 다양한 입경의 액적들은 하류로 진행하면서 주위 기체와의 상호작용에 의하여 액적간의 상대 속도가 점차로 달라지고, 또한 그 궤적들도 변하므로 단일 분무의 경우에도 액적간의 충돌이 일어나는 경우가 있으며, 본 연구에서와 같이 두 개 이상의 분무가 중첩되는 경우 이러한 충돌의 가능성이 매우 높고, 충돌 액적간의 반발, 합착, 분리 등의 여러 종류의 현상이 일어난다. 분리의 과정을 좀더 자세히 구분하여 보면 충돌 각도를 포함한 액적간의 상대 속도와 입경의 차이에 따라서 부분 합착(partial coalescence), 스킴 충돌에 의한 분열(disruption), 반발 형태 분열(reflex disjection), 튀김 형태 분열(spatter), 그리고 미세 분열(shatter) 등이 있다.^[7,8]

3. 실험 장치

3-1 분무 발생 장치

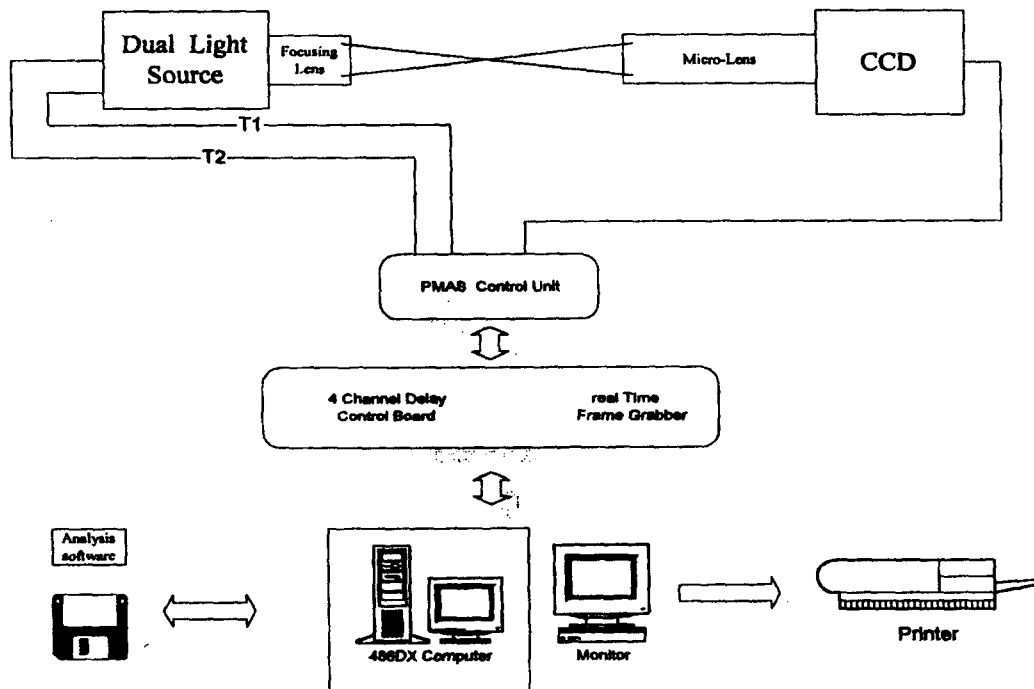


Fig. 2 Schematics of the PMAS (MX-II)

본 연구에 사용된 분무 발생 장치는 분무 노즐, 솔레노이드 밸브, 솔레노이드 밸브 컨트롤러, 가압 탱크 등으로 구성되어 있으며, Fig. 1 이 분무 발생 장치의 개략도이다.

분무 노즐로는 서로 다른 2 종류의 와류 분무 노즐(swirl type spray nozzle, Ikeuchi Model 60063 및 6032)을 사용하였으며, 이 노즐들에 대한 자세한 제원은 Table 1 에 있다. 압축공기 실린더로부터 고압 공기를 공급하여 가압 탱크의 압력을 8 - 10 bar 로 조절하였으며, 솔레노이드 밸브를 통하여 분무의 지속 시간을 조절하였다.

3-2 분무 측정 장치

(1) 입자운동분석 시스템

본 연구에서 분무 입자의 계측에 사용한 입자운동분석 시스템(Particle Motion Analysis System, 이하 PMAS)은 영상 처리에 의한 입자 계측 방법의 일종이다. 이 장치는 입자의 추적성(속도계산) 측정 및 입자의 분포도 측정의 두 가지 기능과 거시적 현상 촬영 기능을 가지고 있다. 아주 작은 크기의 입자에서부터 큰 입자의 크기를 화상으로 저장한 뒤 입자분포도 분석용 소프트웨어를 사용하여 액적의 크기를 분석한다. 또한, Spark light source 의 발광 시간이 짧아 이중 광원을 이용하여 순간적인 입자의 이동을 화상으로 저장할 수 있다. 저장된 화상은 일대일 대화형식의 사용자 위주 처리 프로그램을 이용하여 입자 개개의 거동 해석이 가능하다.

3-3 유량 분포 측정 장치

분무 내의 특정 측정 단면에서 분사된 액체의 유량을 위치에 따라 측정하기 위하여 액적 수집 기구를 제작하였다. 이 기구는 가로 20 mm, 세로 10 mm 칸을 10 mm 간격으로 1 열로 배치한 형태로 아크릴 판을 이용하여 제작하였다. 이 기구를 이용하여 입자의 위치에서 수집된 액적들의 분당 분무 유량을 측정할 수 있다.

4. 실험 방법

4-1 영상처리 방법

(1) SMD 측정

검정용 표적을 이용하여 초점을 맞추고, 측정 시스템의 확대비를 구한다. 렌즈의 직경이 50mm 일 경우 초점거리가 약 160 mm 정도이고 확대비는 300 μ m의 reticle를 중심으로 pixel

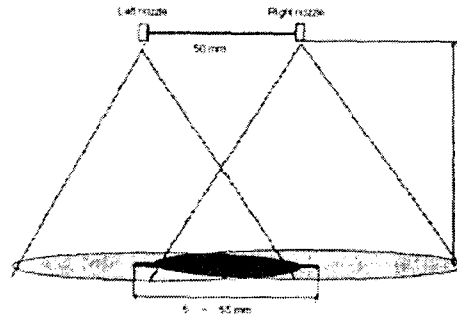


Fig. 3 Measuring points in twin spray

수를 센 후 계산한다. 그 다음 영상 획득하고 획득된 화상을 처리한다. 처리의 순서는 우선 입자들의 경계면을 찾고그후 입자들이 중심을 구한 다음, 입자의 반경을 찾아 내서 입경을 측정한다. 입경을 측정한 후 입경 분포를 나타내고 평균입경을 구한다.

(2) 분무 액적의 속도 계측

분무 액적의 속도 계측 방법은 입경을 측정하는 방법과 원리상 유사하지만, 광원을 약 80 μ s 정도의 간격으로 두 번 연속해서 발광(dual spark) 시킨다는 점에서 차이가 있다. 여기서는 입자의 속도가 대략 1 m/s 정도인데, 입자의 속도가 빠른 경우는 광원간의 간격을 짧게 하여야 한다. 그 이유는, 입자가 화면을 빠른 속도로 지나가 버린 후에는 입자의 추적(particle tracking)이 불가능하게 되기 때문이다. 입경을 구할 때와 동일한 방법으로 입자의 중심을 찾은 후 한 쌍의 입자의 영상을 찾아내고 두 개의 입자의 상의 중심간을 연결한 벡터로부터 속도를 구한다. 속도를 구할 때 주의할 점은 입경크기의 구분별로 두 입자가 떨어진 pixel 값을 어느 정도 가정해 주어야 한다.

(3) 분무의 전체 형태에 대한 거시적 촬영 방법

거시적 촬영은 일대일 광학계를 이루고 있다. 여기서는 105 mm 매크로 렌즈를 사용하였다. 이는 65 cm 의 초점거리를 가지고 있다. 따라서 CCD와 매크로 렌즈의 거리는 130cm 를 이루고 있다. 또한 매크로 렌즈와 광원의 거리도 130cm 이다. 광원 쪽에 매크로 렌즈를 적당한 거리에 두어야 한다. 이는 광을 초점에 잘 맞추어야 하기 때문이다.

4-2 분무 충돌 실험

분무의 충돌 실험을 위해 두 개의 노즐을 동일

높이에 평행하게 노즐 간 거리를 50 mm 가 되도록 설치하였다. 분무의 분사각이 약 60° 이므로 측정 위치를 분무 노즐로부터 90 mm 로 할 때 분무의 직경이 대략 90 mm 정도이므로 노즐 간 거리를 약 50 mm 정도로 하면 분무의 절반 정도가 겹치게 된다.

Fig. 3 에 분무 내의 측정 위치를 노즐과의 상대적인 거리로 나타냈다. 본 실험에서는 노즐로부터의 분무를 확대칭이라고 가정하여 실험에 의하여 검증하였으며 이후의 실험에서는 거의 대칭축의 한쪽 방향만을 측정하였다.

5. 결과 및 고찰

5-1 분무의 중첩에 의한 유량 분포 변화

Fig. 4 는 중첩 분무에 대한 유량 분포 특성을 2 차원 평면에 나타낸 그림이며, 이 그림에서 위치의 기준점인 위치 0 인 점은 한쪽 분무 노즐의 중심부를 나타낸다. 분무 노즐간의 간격은 50 mm 이다. 이 그림의 (a) 및 (b) 는 6032 노즐에 대한 결과이고, (c) 및 (d) 는 6032 노즐에 대한 결과이다. 이 그림에서 (a)와 (c)는 양쪽 노즐 의 분무의 유량 분포를 각각 측정하여, 유량을 단순 합산한 분포를 나타낸 그림이다. 한편, (b) 및 (d)는 실제 이중 분무에서 측정된 결과로, 양측 분무의 상호 작용이

활발히 일어날 것으로 생각되는 위치인 0 mm ~ 50 mm 의 영역에 유량이 집중되며 유량 분포의 형태가 (a)와 (c)에 비교하여 상당히 다르다. 특히 2 개의 분무가 마주치는 중심부에서는 단순 합산한 유량의 수 배에 달하는 유량을 나타내고 있다. 이러한 이중 분무의 유량 집중 현상은 측정 위치인 180 mm 의 상류 측에서 이미 입자간의 충돌이 일어나고 충돌에 의하여 입자들의 반경 방향 유속이 거의 0 이 되어 대부분 그대로 낙하하기 때문인 것으로 생각된다.⁽¹⁰⁾

노즐 6032 로부터의 분무 유량은 60063 보다 동일한 분사압력에 대해 5 배 정도 크다. 노즐 6032 의 유량이 약 140 cc/min 이므로, 도달 거리 180 mm 에서의 분무의 반경을 약 80 mm 라고 하면 면적은 약 200 cm² 이므로, 단위 면적 당 분무 평균유량은 약 0.7 cc/min/cm² 이고 60063 이 0.14 cc/min/cm² 이다. 한편 twin 노즐일 경우에는 분무가 겹쳐지는 것을 고려하면 분무의 면적은 대략 128 cm² 이므로, 두 노즐의 유량의 합인 424 cc/min 이 전체 면적에 고루 퍼진다고 가정하고 면적으로 나누어 계산하면 3.3 cc/min/cm² 이다. 60063 은 단일 노즐의 분무 유량이 42 cc/min 이므로 같은 방법으로 계산할 수 있다. 하지만 실제로는 중첩부의 중심 지역(-10 ~ 60mm)에서는 이 보다 수 배에 달하는 유량 집중현상을 보이고 있다.

유량이 비교적 작은 60063의 분무에서는 6032에 비해 단일 분무의 영향이 더 많이 남아 있는 것으로 생각된다. 이는 액적의 크기가 6032보다 작고 수밀도도 성기기 때문에 보다 충돌을 피할 수 있었다고 볼수 있다.

5-2 분무의 중첩에 의한 평균입경 분포 변화

Fig. 5 은 이중 분무에서 측정된 위치에 따른 평균입경 분포를 나타낸 그림으로 측정 높이는 노즐 출구로부터 90 mm 이다. (a) 는 6032 노즐에 대한 결과이고 (b) 는 60063 노즐에 의한 결과이다. 이 그림 들에서 원으로 나

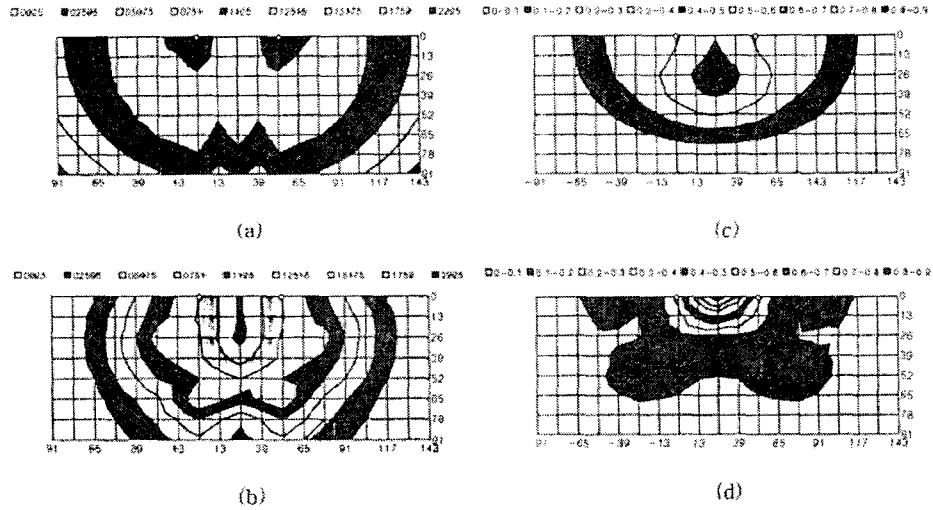


Fig. 4 Iso-flowrate lines of single and twin sprays from different nozzle sizes
 (a) nozzle 6032, single (1+1) (b) nozzle 6032, twin spray
 (c) nozzle 60063, single (1+1) (d) nozzle 60063, twin spray

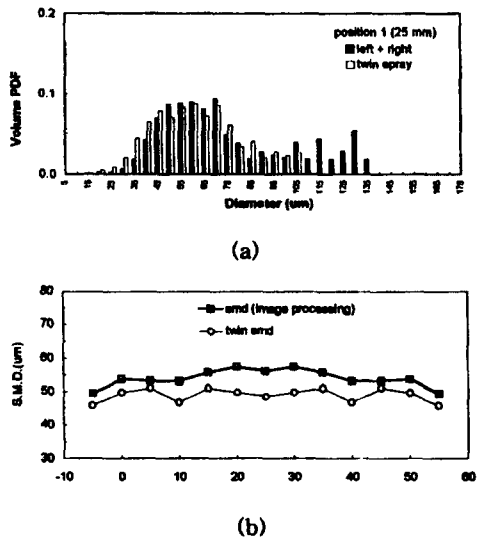


Fig. 5 Comparison between the size distributions of single and twin sprays

타낸 결과가 이중 분무의 측정 결과이고 사각형으로 나타낸 평균입경값이 단일 분무의 측정에서 각각 좌측과 우측의 분무 노즐을 번갈아 사용하여 한 점에서 측정한 결과를 혼합하여 처리한 결과이다. 이중 분무의 측정 결과를 단

일 분무의 측정 결과와 비교하여 보면 6032의 경우 그림 (a)에서 분무 전체에 걸쳐 평균입경값에 큰 차이가 없고 중첩부의 중심인 25 mm 위치에서 최대값을 나타내는 대칭형의 분포를 관찰할 수 있다. 한편 60063의 경우에는 그림 (b)에서 평균입경값이 오히려 분무 전체에 걸쳐 약 10 μm 정도 감소하는 것이 관찰된다. 이러한 현상은 액적 간의 충돌이 일어나는 경우에 특히 분열이 활발히 일어나는 것으로 판단할 수 있다.

5-3 입경 분포의 변화

이중 분무와 단일 분무에 대해 한 측정점에서의 분무의 입경 분포를 서로 비교하기 위하여 본 연구에서는 측정된 입경 분포를 체적 확률밀도함수로 나타내고 비교하였다.

Fig. 6은 각각 6032 및 60063 노즐에서 위치 1 (분무 중첩부의 중심 부분)에서의 분무의 입경 확률밀도함수의 분포를 나타내는 그림으로 사선으로 표시한 분포는 단일 분무의 단순 합산을 통한 입경 분포를 나타내고 있다. 이 그림에서 나타낸 측정 위치는 2개의 분무의

중첩부의 중심인 위치 1(25 mm)에서의 결과로 (b)의 노즐 60063의 결과에서는 확률밀도함수의 분포가 55 - 75 μm 의 영역에서의 감소와 50 μm 이하의 입경이 작은 영역에서의 증가가 관찰되며, 분무된 입자 간의 충돌 지역에서 주로 분열이 일어나서 평균입경이 50 μm 이하로 작아지는 것으로 생각된다. 한편 (a)는 노즐 6032의 결과인데 이 점에서는 60063의 경우에 보인 것과 같은 뚜렷한 차이는 없다. 단 단일 분무에서 관찰되는 비교적 입경이 큰 입자

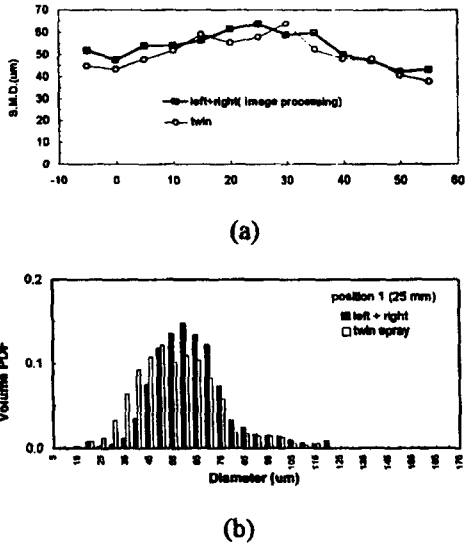


Fig. 6 comparison between droplet size distributions of single and twin spray

가 이중 분무에서는 나타나지 않으며 이러한 영향이 평균입경이 작게 되는 요인인 것으로 생각된다.

한편 Fig. 7은 분무의 유량 누적 분포 함수(cumulative distribution function)를 나타내는 그림이다. 이 함수의 기울기가 크다는 것은 입자의 크기가 균일하다는 것을 의미한다. 따라서 노즐 6032의 결과가 노즐 60063의 결과에 비해 분무 입경의 범위가 상당히 넓다는 것을 의미하며, 단일 분무에 비해 이중 분무의 입경 분포의 범위가 넓은 반면, 노즐 6032의 분무에서는 단일 분무보다 이중 분무의 입경 범위가 좁아지는 역전 현상을 관찰할 수 있다.

충돌하는 입자의 상대 속도와 입경의 함수인 웨버수의 값이 커지면 입자의 충돌 시 분열이

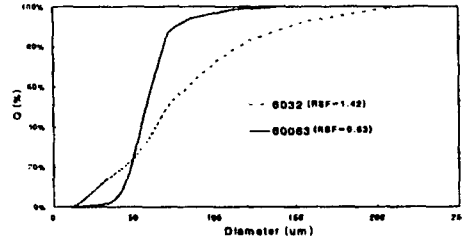


Fig. 7 Comparison of cumulative distributions of droplet size

between single and twin spray 많이 일어나는 것으로 알려져 있는데, 이 2가지의 노즐 분무에 대해 유량 및 평균 입경 등에 의해 웨버수를 추정하여 보면 6032의 경우가 60063보다 4 - 5배 정도 큰 값을 보이고 있으므로 6032가 60063보다 더 많이 분열될 것이라는 예상과는 달리 이 그림들에서 보면 실제로는 더 많이 분열된다고 보기 어렵다. 이러한 현상은 분무의 입경 분포가 영향을 주었다고 생각되는데, 즉 비교적 고른 입경 분포를 보이는 60063에 비해 6032의 분무는 넓은 입경 분포를 보이고 있기 때문에 충돌하는 입자간의 크기의 차이가 많을 가능성이 있으므로 실제로는 분열 뿐만 아니라 합착도 60063의 경우보다 많을 수 있다. 입경 분포의 균일 지수를 나타내는 RSF를 구해 보면 6032가 60063보다 약 2배 정도 큰 값을 보인다.

5-4 충돌에 의한 수밀도 변화

Fig. 8은 단일 분무와 이중 분무의 중첩부에서의 수밀도를 비교한 그림이다. 단일 분무에서는 분무의 중앙 부분에서는 입자의 수밀도가 큰 반면 반경 방향으로 갈수록 수밀도가 대체로 낮아지며 입경은 커진다. 반면에 이중 분무에서는 분무 입자 간의 충돌에 의한 결과로 수밀도의 분포가 변하게 되는데, (b)의 노즐 60063의 경우 전체에 걸쳐서 단일 분무에 비해 수밀도가 20% 정도 증가하였으며, (a)의 노즐 6032의 분무에서는 중첩부인 15 - 35 mm

의 영역에서는 수밀도가 약간 증가하나 중첩이 적은 양측 외곽에서는 오히려 수밀도가 낮아졌다. 이러한 현상은 상대적으로 유량이 크고 수밀도가 높은 6032 노즐의 분무에서는 중첩부에서의 분무 입자 간의 충돌 가능성이 높으므로 주로 이 영역에서 충돌이 발생하고, 외측으로의 입자의 이동이 억제되기 때문이라고 생각된다.

6. 결론

본 연구에서는 얼음슬러리 생성 시스템의 중발기에서 필요로 하는 다중 분무 특성을 연구하기 위하여 평균 분무 입경 60-90 μm 내외의 분무를 중첩시키고, 유량이 약 5 배 정도 차이나는 2 개의 노즐에 의한 분무의 중첩 구조의 차이를 영상 처리에 의한 광학적 측정 방법을 적용하여 실험적으로 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과 얻어진 결론은 다음과 같이 정리할 수 있다.

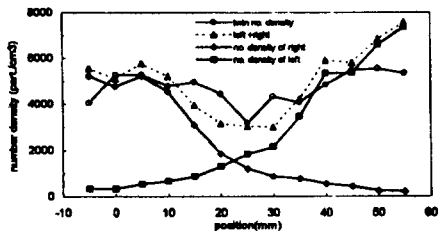
(1) 2 개의 단일 분무를 중첩시킨 이중 분무의 분무 특성은 단일 분무의 특성치를 각각의 위치에 따라 단순히 합하는 방식의 단순 중첩 모델에 의한 예상치와는 상당한 차이가 있다.

(2) 유량의 분포는 두 개의 단일 분무가 중첩되는 위치에서 단순 중첩 모델에 의한 예상치의 수 배에 달하는 집중을 보인다. 이러한 현상은 측정 위치인 90 mm 의 상류 측에서 이미 입자 간의 충돌이 일어나서 입자 들의 반경 방향 유속이 거의 0 이 되어 대부분 그대로 낙하하기 때문인 것으로 생각된다. 60063 에 비해 유량이 큰 의 경우 이러한 현상이 더욱 확실히 일어난다.

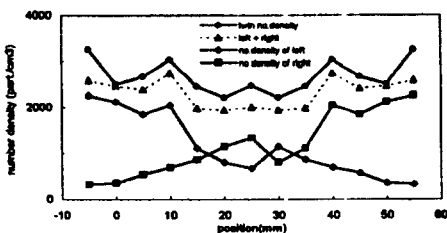
(3) 이중 분무 전체에 걸쳐 6032 의 경우 SMD 값에 큰 변화가 없는 반면, 60063 에서는 SMD 가 약 10 μm 정도 감소한다. 이러한 현상은 액적 간의 충돌에 의해 특히 분열이 활발히 일어나는 것으로 판단할 수 있다.

(4) 입경의 확률 밀도 함수의 비교 결과 60063 에서는 단일 분무에 비해 이중 분무의 입경 분포의 범위가 넓은 반면, 6032 의 분무에서는 단일 분무보다 이중 분무의 입경 범위가 좁아지는 역전 현상이 관찰된다.

(5) 유량 및 평균 입경 등에 의해 추정된 Weber 수는 6032 의 경우가 60063 보다 4 - 5 배 정도 커서 더 많이 분열될 것이라는 예상과는 달리 실험 결과에서는 6032 가 더 많이 분열된다고 보기 어려우며, 이러한 현상에는 비교적 고른 입경 분포를 보이는 60063 에 비해 6032 의 분무가 넓은 입경 분포를 보이고 있기 때문에 충돌하는 입자간의 크기의 차이가 많아서 분열 뿐만 아니라 합착도 많은 것으로 생각된다. 입경 분포의 균일 지수를 나타내는 RSF는 6032 가 60063 보다 약 2 배 정도 크다.



(a)



(b)

Fig. 8 Radial distributions of number density

참고문헌

(1) Lefebvre, Arthur H., 1989, Atomization and Spray, Hemisphere Publishing Co., .
 (2) Garret, T. k., Automotive Fuels and Systems

- (3) Elkoth, M. M., 1982, "Fuel Atomization for Spray Modeling," *Prog. Energy Combust. Sci.*, Vol. 8, No. 1, pp. 61-91.
- (4) Nguyen, Dung D., Application of Laser to Particles Size Measurement,
- (5) 이상용, 한기수, "용축기체 내에서의 두 액체분무간의 유동간섭현상에 대한 실험적 고찰", *대한기계학회논문집*, 제 10 권 제 3호, pp. 326-334, 1986.
- (6) Okamoto, T., Yagia, M., Watanabe, A. and Kawamura, K., 1985, "Interaction of Twin Turbulent Circular Jet," *Bulletin of JSME*, Vol. 28, No. 238, pp.617-622.
- (7) Ashgriz, N. and Poo, J. U., 1990. "Coalescence and Separation in Binary Collision of Liquid Drops," *J. Fluid Mech.* Vol. 1, pp. 183-204.
- (8) Crosby, E. J., 1978, "Atomization Considerations in Spray Processing," *Proc. of the first International conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS-78)*, pp. 435-448.
- (9) 이윤표, 정중수 등, 1996, "에너지 변환 및 고효율 이용 기술: 아이스 슬러리 생성 시스템 용 분무 발생 장치," *과학기술처 연구과제 연차 보고서*.
- (10) 정중수, 박찬범, 임경수, 1996, "압력분무식 노즐 이중 분무의 증첩에 관한 실험," *대한기계학회추계학술대회 발표논문집* pp. 212-218