

회전컵에 의해 분무된 물방울의 크기분포 및 분무실내 거동

장연상 · 이형주 · 이영수 · 박균영[†]

공주대학교 화학공학과
(1999년 12월 30일 접수, 2000년 4월 9일 채택)

Size Distribution of Water Drops Ejected from a Rotating Cup and the Behavior of the Drops in a Spray Chamber

Youn-Sang Jang, Hyung-Ju Lee, Young-Soo Lee and Kyun Young Park[†]

Department of Chemical Engineering, Kongju National University, 182 Shinkwandong, Kongju, Chungnam 314-701, Korea
(Received 30 December 1999; accepted 9 April 2000)

요 약

직경 120 cm의 분무실 내에서 회전컵을 이용한 물의 분무실험을 수행하였다. 물의 공급량 3-10 kg/h, 컵의 회전속도 10,000-20,000 rpm 범위에서 컵 회전속도와 물 공급량이 분무액적 크기에 미치는 영향을 관찰하고, 이미 제안된 실험식에 의한 예측값과 비교하였다. 본 실험에서 측정된 액적크기와 예측값 사이에는 상당한 차이가 있음을 알 수 있었다. 선회공기 주입하에 분무실내 액적분포 측정 및 공기흐름조사를 통하여 분무된 액적이 공기흐름을 타고 축 아래로 갈수록 벽 쪽으로 이동하며, 일부는 분무실에 형성된 재순환 기류에 의해 분무실 중심쪽으로 이동함을 알았다. 선회공기의 영향을 받아 액적의 분무실내 체류시간이 증가하고, 분무실내에 존재하는 난류현상으로 액적의 충돌 합체가 이루어져, 축 아래로 내려갈수록 액적의 크기가 증가하였다.

Abstract – Experiments on the spray of water have been carried out using a rotating cup in a chamber of 120 cm in diameter. The feed rate of water was varied from 3 to 10 kg/h and the rotation speed of the cup from 10,000 to 20,000 rpm. Measured drop sizes were compared with those predicted by empirical equations; there existed considerable discrepancies between experimental data and predicted values. In the presence of a swirling air in the chamber, the water drops ejected from the cup moved toward the wall as they fall down, following the main stream of the air. Some of the drops moved toward the center of the chamber by a recirculating air flow. The drop size increased in the axial direction toward the bottom, probably due to coalescence between water drops. The turbulence of the air and the extension of the residence time of the drops by the swirling action of the air must have increased the chance of the coalescence.

Key words: Spray Dryer, Rotating Cup, Air Swirl, Drop Size Measurement

1. 서 론

분무건조는 고체입자가 분산되어 있는 액상의 슬러리를 분무장치를 이용하여 작은 액적으로 분무시킨 후 고온의 gas와 접촉하게 하여 수분을 증발시켜 건조된 상태의 분말을 만드는 것이다. 액상 슬러리의 미립화는 뜨거운 gas와의 접촉면적을 증가시켜 주기 때문에 빠른 시간내에 건조가 이루어진다. 분무 건조기에 의해 건조된 분말입자의 전체적인 모양은 구형으로 그 흐름성이 우수하여 식품, 염료, 정밀화학제품, 의약품, 고분자 등 매우 광범위한 분야에서 사용되고 있다. 분무 액적의 크기 분포는 건조된 제품의 입도 분포를 결정하는 중요한 요소이며, 분무실내 액적의 거동은 건조효율과 밀접한 관련성을 가진다[1, 2].

슬러리 분무에 사용되는 장치에는 노즐, 회전바퀴, 회전컵 등이 있다.

노즐은 비교적 구조가 간단하나, 점성이 큰 액체나 슬러리를 분무하기에 부적합하다. 회전바퀴, 회전컵은 점성이 큰 액체나 슬러리 분무에 적합하고, 처리용량 조절이 용이한 반면, 분무액적이 수평방향으로 퍼지기 때문에 건조실의 직경이 커야 하는 문제점이 있다. 분무액적이 클 경우 건조실의 직경이 비현실적으로 커져야 하는 문제점이 있으므로, 분무액적이 비교적 작을 경우에 많이 사용된다[3]. 회전컵은 회전바퀴에 비해 큰 분무액적이 요구되는 경우에 적합하다[1]. 회전바퀴는 회전컵에 비해 사용빈도수가 크며, 따라서 분무특성에 관한 연구가 많이 이루어져 있다. 그러나, 회전컵에 대한 분무특성 연구는 매우 제한적이며, 더구나 실제 건조의 경우와 같이 선회공기가 유입되는 상황에서의 연구는 찾아보기 어렵다. 현재 국내에서 생산되고 있는 분무건조기에 회전컵이 사용되고 있는데도 불구하고, 이에 대한 기초연구 데이터 부족으로 기술개발의 한계를 느끼고 있다.

본 연구에서는 회전컵을 대상으로 물의 공급유량, 컵의 회전속도가

[†]E-mail: kypark@knu.kongju.ac.kr

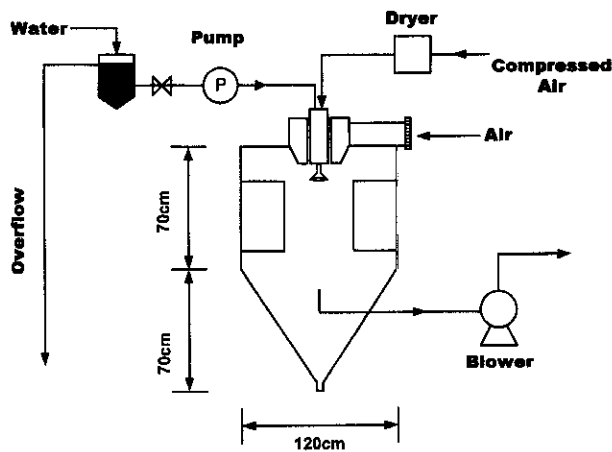


Fig. 1. Schematic diagram of spray experimental apparatus.

분무액적의 크기분포에 미치는 영향을 관찰하였으며, 분무액적의 분무실내 분포를 조사하였다. 실제 분무건조와 같은 상황을 부여하기 위해 분무실 상부로부터 공기를 선회시켜 공급하였다. 선회공기 존재하 액적 거동의 해석을 돕기 위해 백색분말을 사용한 유선 가시화 및 공기 유속계에 의한 분무실내 유속분포 측정을 병행하였다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 본 연구에 사용된 물 분무장치의 개략도로서, 분무장치는 물 공급장치, 회전컵 및 구동장치, 분무실, 공기 흡입 및 배풍기로 구성되어 있다. 분무실은 직경 120 cm, 높이 70 cm의 원통에 높이 70 cm의 거꾸로 세워진 원뿔이 아래로 이어져 있는 형태이다. 회전컵은 분무실 천정에 거꾸로 세워진 형태로 설치되어 있다. 회전컵의 직경은 위쪽(컵의 바닥에 해당)이 5 cm, 아래쪽이 10 cm이며, 높이는 3.2 cm이다. 컵 위로부터 정량펌프에 의해 일정한 유량으로 공급된 물은 컵 바닥의 원둘레 부분에 있는 16개의 홀을 통해 아래로 중력에 의해 낙하한다. 컵의 회전에 따른 원심력에 의해 물은 컵의 안쪽 벽면을 타고 얇은 액막의 형태로 아래로 이동하면서 가속된 후 컵으로부터 분리되어 미세한 물방울로 분무된다. 컵의 구동은 고속모터에 의해 이루어지며, 고정부와 회전축 사이는 소음과 진동을 줄이기 위해 베어링 대신 압축공기를 윤활제로 이용하는 공기 스피들(air spindle)을 사용하였다. 분무실의 직경이 줄어드는 호퍼의 중간 부분에 직경 17 cm의 배기관이 설치되어 있으며, 이 배기관은 배풍기에 연결되어 있다. 배풍기가 작동되면 공기가 흡입관으로 빨려 들어와 공기분산기를 통하여 분무실로 들어오게 된다. 흡입관에 유량계가 설치되어 있으며, 유량은 배풍기 흡입구에 설치되어 있는 밸브로 조절하였다. 공기분산기는 분무실 상부에 분무실 중심으로부터 5 cm와 16 cm 사이에 2열의 둥근데 모양으로 설치되어 있다. 안쪽 열에는 12개의 베인을 수직과 약 30도의 각도로, 바깥 열에는 20개의 베인을 약 30도로 설치하여 흡입공기가 선회하면서 분무실로 유입되도록 하였다. 베인의 각도는 공기에 충분한 선회를 주어 분무액적의 분무실내 체류시간을 길게 해야 하나, 베인의 각도가 지나치면 액적이 분무실 천정을 치게 되므로 적절한 각도를 유지하여야 한다. 본 연구에 사용된 공기분산기는 국내 분무건조기 제조업체의 하나인 삼영화학기에 의해 설계되었다.

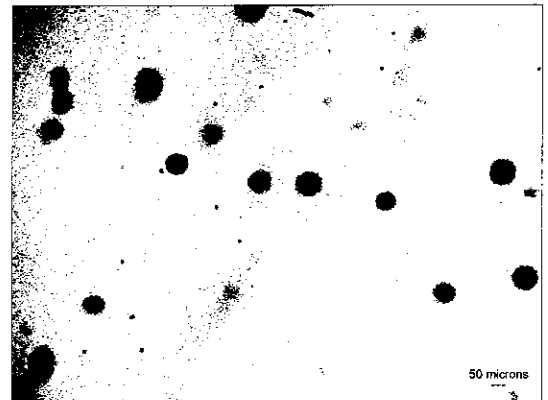
분무액적의 크기는 유리 슬라이드 위에 얇게 입혀진 실리콘 오일 위에 액적이 충돌 부착하도록 한 후 실제 현미경에 의해 영상을 얻어 영상분석 프로그램(Image-pro Plus)을 이용하여 측정하였다. 액적 채집용 유리 슬라이드 한 개의 길이는 5 cm이며, 6개의 슬라이드가 길이 60 cm의 채집대에 5 cm 간격으로 설치되어 있다. 채집대의 뒷개를 뒤로 5 cm 잠

아 당기면 6개의 슬라이드가 동시에 노출되고, 앞으로 밀면 동시에 닫히도록 되어 있다. 노출시간은 슬라이드에 채집된 액적의 개수 밀도를 미리 확인한 후 결정하였다. 채집대는 분무실 벽으로부터 안 쪽으로 밀어 넣도록 되어 있으며, 6개의 슬라이드가 중심에서 벽 쪽으로 5 cm 간격으로 배열되도록 하였다. 분무실 축 방향 액적크기 분포 측정을 위해 분무실 벽에 4개의 구멍을 10 cm 간격으로 뚫어 놓았다. 슬라이드를 이용한 액적 크기 측정법의 문제점 중 하나는 슬라이드 위에 하나의 액적이 부착된 후 다른 액적이 그 자리에 충돌하여 합체가 일어나 실제 보다 액적이 크게 나타날 수 있다는 점이다. 이러한 문제점 발생 여부를 검증하기 위해 분무된 상태에서 액적을 직접 촬영하여 영상을 분석 비교하였다. 액적의 속도가 빠르기 때문에 매우 짧은 노출시간이 필요하며, 촬영에 사용된 장치는 국내업체에 의해 제작된 PMAS(Particle Motion Analysis System-VTEK)이다.

분무실내 공기의 흐름을 관찰하기 위해 미세한 백색분말(Borozin Gun Powder #17-024)을 분무총(Borozin Gun #17-023)을 이용하여 원하는 위치에 주입한 후 조망기구를 이용해 분말의 이동방향을 육안으로 관찰하여 공기 흐름방향을 알아 보았다. 분무실내 위치별 공기 유동의 세기 정도는 RTD(Resistance Temperature Detector) 센서가 부착된 유속계를 이용한 속력측정에 의해 확인하였다. 본 실험에 사용된 유속계(Tri-sense: Model No. 3800-64)에는 2개의 온도센서가 있는데, 하나는 공기 흐름에 노출되어 있고, 다른 하나는 공기 흐름에 노출되어 있지 않다. 공기 흐름이 있을 경우 2 센서의 온도차가 발생하고 공기흐름이 세질수록 온도차이가 증가한다. 분무실 내 공기 흐름의 방향뿐만 아니라 특정방향의 유속을 측정하는 장치(예를 들면 5공 피토티 튜브, 레이저도플러유속계)가 있으나, 본 연구에서는 액적의 정성적 거동만을 다루기 때문에 위의 실험방법에 국한하였다.



a. By Slide



b. By PMAS

Fig. 2. Images of water drops.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2는 물 공급량 3 kg/h, 컵 회전속도 10,000 rpm, 공기 유입이 없는 상태에서 슬라이드와 PMAS에 의해 얻어진 액적의 영상을 나타내고 있다. 전체적인 크기는 서로 비슷해 보이나, 슬라이드 채집의 경우 더 미세한 액적들이 존재함을 알 수 있다. 액적크기의 정량적 비교를 위하여 500개 정도의 액적에 대한 입경누적분포 곡선을 Fig. 3에 나타내었다. 액적의 개수를 만족시키기 위해 여러 개의 영상을 통합하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 PMAS의 경우 20 μ m 이하의 액적이 나타나지 않는 데 그 이유는 본 실험에 사용된 PMAS의 측정가능 하한값을 벗어나기 때문이다. 슬라이드에 물방울이 충돌시 액적이 깨져 작은 액적들이 생성된 것으로 생각해 볼 수도 있으나, 슬라이드 위에 입혀진 오일이 충격을 완화시켜 주며 액적의 충돌속도 및 크기를 고려할 때 충돌에 의한 액적의 미세화 현상은 그렇게 심각하지 않았을 것으로 생각된다. 액적이 커질수록 슬라이드 분석과 PMAS 분석은 점점 그 차이가 없어짐을 볼 수 있다. 슬라이드 분석시 문제점으로 거론되는 액적합체에 의해 액적크기가 크게 나타나는 현상은 별로 나타나지 않았다. 이것은 아마도 슬라이드 노출시간을 적절하게 조절했음을 말해준다. 이하의 모든 액적분석 결과는 슬라이드 측정법에 의한 것이다.

3-1. 컵 회전속도, 물 공급유량이 액적크기에 미치는 영향

분무실내에 공기 유입을 하지 않은 상태에서 회전컵의 속도를 10,000에서 20,000 rpm, 물 공급유량을 3에서 10 kg/h까지 변화시키면서 컵에서 분무되는 액적의 크기를 측정하였다. 액적 채집대를 컵으로부터 7cm 아래에 위치시키고 채집대내에 반경방향으로 배열된 6개의 슬라이드에 채집된 액적을 모두 통합하여 분석하였다. Fig. 4는 3가지 공급유량(3, 5, 10 kg/h)에 대하여 컵의 회전속도에 따른 입도의 누적분포를 보여주고 있다. 위의 공급유량 범위에서 컵의 회전속도가 증가하면 입경이 작아지는 것으로 나타났다. 이는 Freidman 등의 결과와 일치한다[4]. 특히, 10,000 rpm 일 때는 15,000, 20,000 rpm에 비해 액적의 크기가 현저히 큼을 알 수 있다. 15,000 rpm 이상에서는 컵 회전속도의 증가에 의한 입경감소는 별로 크지 않았다. Fig. 5는 컵 회전속도를 고정하고 물 공급유량 변화에 따른 입경의 변화를 나타내고 있다. 10,000 rpm에서는 물 공급유량의 증가에 의한 입경변화가 비교적 뚜렷하나, 15,000 rpm 이상에서는 유량변화에 의한 입경변화가 그렇게 두드러지지 않았다.

회전형 분무장치에 의해 분무된 액체의 분열기구는 공급유량과 회전체의 회전속도에 따라 달라지며, 크게 직접적인 액적형성, 액주형성에 의한 미립화, 액막형성에 의한 미립화로 나눌 수 있다[5, 6].

본 실험조건 하에서 분무 액적의 크기를 다음과 같은 식에 의해 예측할 수 있다고 발표되어 있다[6-8].

$$D_{10} = \left[0.77 \frac{Q}{ND} \left(\frac{\rho N^2 D^3}{\sigma} \right)^{-5/12} \left(\frac{\rho \sigma D}{\mu^2} \right)^{-1/16} \right]^{0.5} \quad (1)$$

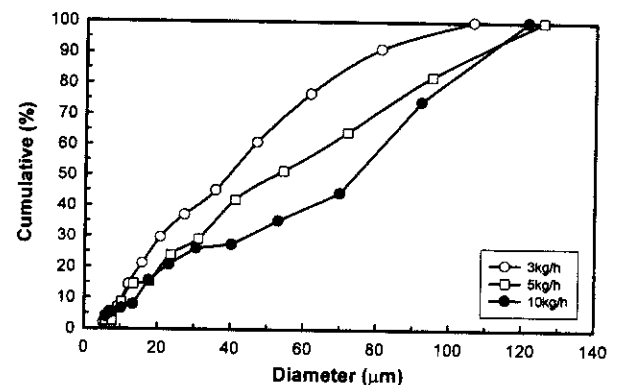
여기서 D_{10} 은 개수 산술평균직경(ft), Q 는 공급유량(ft^3/min), N 는 회전수(rpm), D 는 컵의 직경(ft), ρ 는 액체의 밀도(lb/ft^3), σ 는 액체의 표면장력(dyn/ft), μ 는 액체의 점도($\text{lb}/\text{ft} \cdot \text{min}$)를 나타낸다.

또, Dombrowski와 Lloyd는 본 실험조건 하에서 분무 액적의 SMD (Sauter Mean Diameter)에 대한 예측식을 다음과 같이 제안하였다[9].

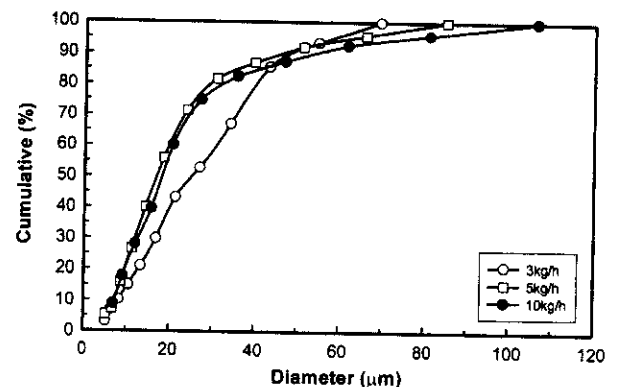
$$D_{32} = 0.0397 \left[\frac{Q^{0.334}}{N^{1.32} D^{1.22} \mu^{0.1}} \right] \quad (2)$$

여기서, D_{32} 는 SMD, Q 는 공급유량, N 는 회전수, D 는 컵의 직경, μ 는 액체의 점도이며, 단위는 m, kg, s이다.

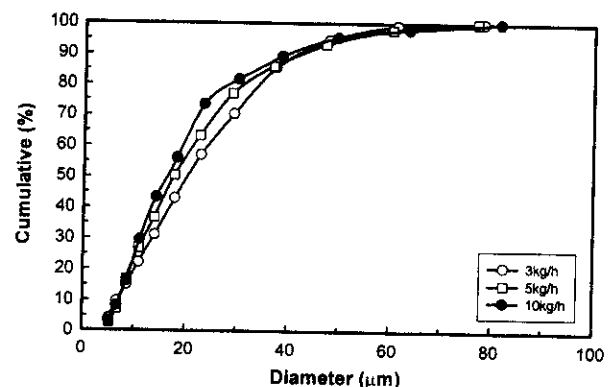
Table 1은 각 실험조건에서 분무액적의 산술평균입경과 Sauter 평균입



a. Rotational speed of cup: 10,000 rpm



b. Rotational speed of cup: 15,000 rpm



c. Rotational speed of cup: 20,000 rpm

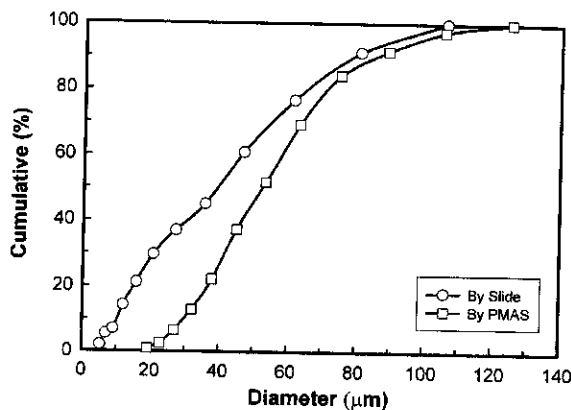


Fig. 3. Comparison of drop size distribution between slide and PMAS.

Fig. 4. Cumulative distribution of drop size with varying feed rate.

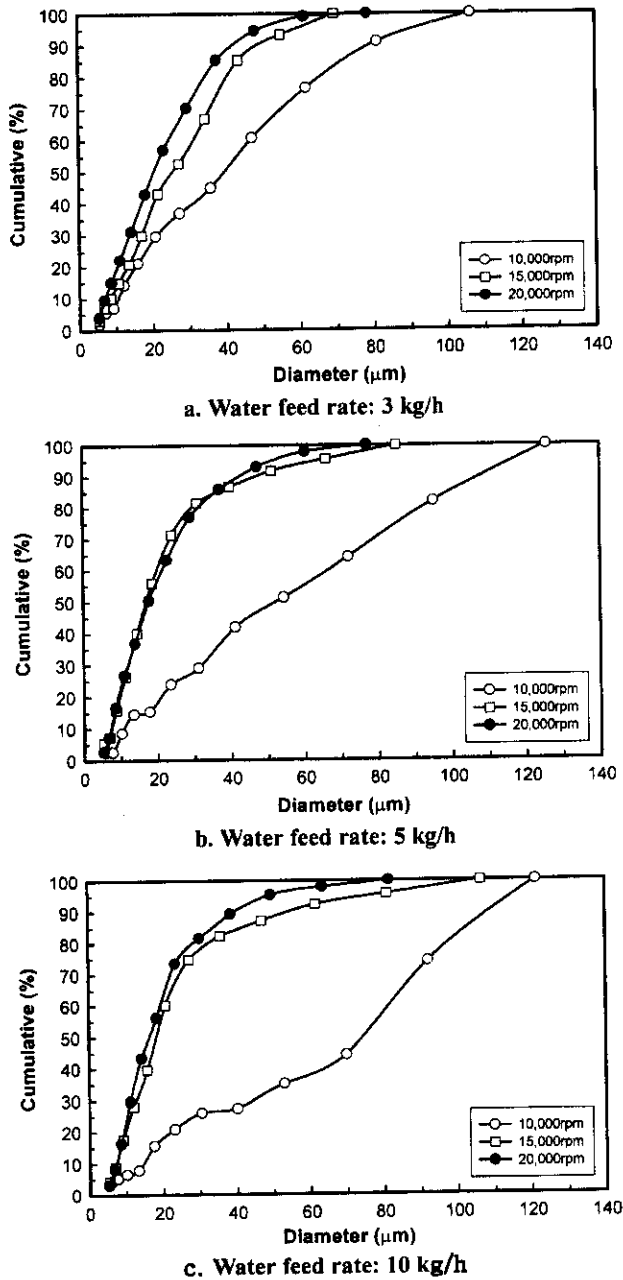


Fig. 5. Cumulative distribution of drop size with varying the rpm of the cup.

Table 1. Comparison of drop size between experimental and predicted values

| Feed rate (Kg/h) | Rotation of cup (rpm) | D_{10} (μm) | | D_{32} (μm) | |
|---------------------|--------------------------|----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|
| | | Predicted ⁽¹⁾ | Experimental | Predicted ⁽²⁾ | Experimental |
| 3 | 10000 | 11.57 | 46.79 | 143.72 | 75.87 |
| | 15000 | 7.98 | 30.80 | 84.15 | 48.71 |
| | 20000 | 6.13 | 25.66 | 57.56 | 43.26 |
| 5 | 10000 | 14.93 | 64.33 | 170.45 | 101.87 |
| | 15000 | 10.30 | 24.78 | 99.81 | 56.77 |
| | 20000 | 7.91 | 24.13 | 68.27 | 46.00 |
| 10 | 10000 | 21.12 | 73.49 | 214.86 | 99.98 |
| | 15000 | 14.56 | 27.92 | 125.81 | 68.52 |
| | 20000 | 11.19 | 22.95 | 86.06 | 49.19 |

⁽¹⁾ by Hinze and Milbom[5], ⁽²⁾ by Dombrowski and Lloyd[9]

경에 대해 예측값과 실험값을 비교하여 나타난 것이다. Hinze와 Milbom [6]이 제안한 예측식에 의하면 산술평균입경은 실험값에 비해 200-400% 정도 작은 수치로 계산되어 그 차이는 매우 크다 할 수 있다. 또한, 낮은 공급유량과 낮은 회전속도에서 그 차이가 더욱 컸다. Dombrowski와 Lloyd에 의한 Sauter 평균입경의 예측값은 실험값에 비해 150-200% 정도 큰 수치로 계산되었다. 따라서, 아직까지 회전컵에 의해 분무된 액적의 입경을 예측하는데 있어 만족할 만한 경험식이 없다고 판단되며, 이에 대한 추가적인 연구가 더 있어야 한다고 본다. 그리고, 회전컵을 이용한 분무장치에 대한 설계시 실험을 통하여 분무액적의 입경을 확인해 볼 필요가 있다고 판단된다.

3-2. 분무실내 액적의 거동

710 Nm³/h의 공기를 분무실내로 유입하면서 물 공급유량 5 kg/h, 컵 회전수 15,000 rpm에서 분무실내 위치별 액적의 크기분포를 측정하였다. 컵으로부터 아래쪽으로 7, 20, 30, 40 cm 위치에서 반경방향으로의 액적 개수분포와 Sauter 평균입경을 Fig. 6에 나타내었다. 컵으로부터 7 cm 지점에서는 액적의 최빈수가 분무실 중심으로부터 벽 쪽으로 15 cm 되는 곳에서 발생했으나, 아래로 내려갈수록 최빈수가 나타나는 지점이 벽 쪽으로 이동하고 있음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 아마도 주입되는 선회 공기와 관련이 있을 것으로 생각되었으므로 분무실내 공기흐름을 조사하였다. 공기유량 710 Nm³/h, 컵 회전속도 20,000 rpm의 조건에서 분무실에 백색분말을 주입하여 공기 흐름의 경로를 추적한 결과 Fig. 7과 같은 결과를 얻었다. Fig. 7의 분무실 천정에 2개의 인접

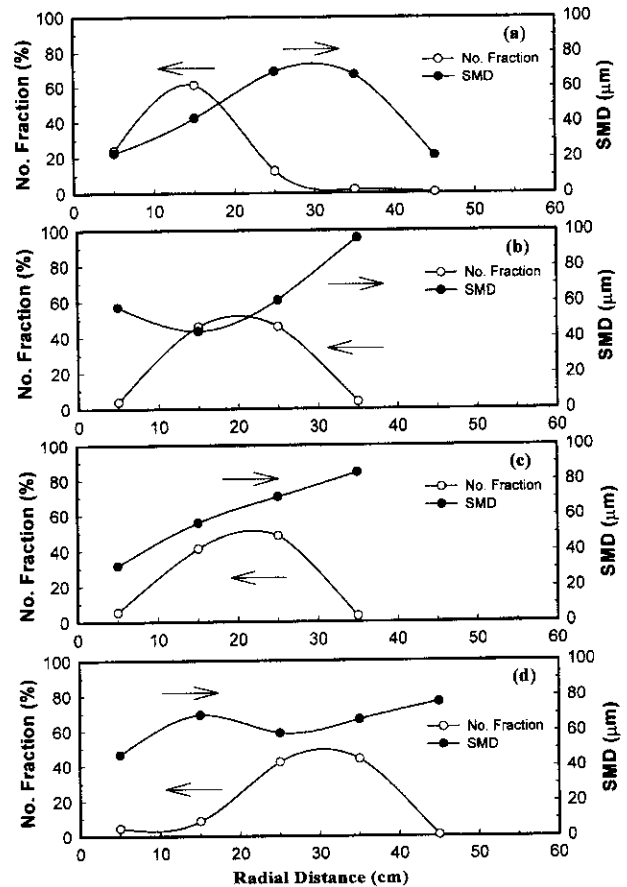


Fig. 6. Radial distribution of number fraction and SMD in the axial direction with swirling air (water feed rate: 5 kg/h, rotational speed of cup: 15,000 rpm, air flow rate: 710 Nm³/h).

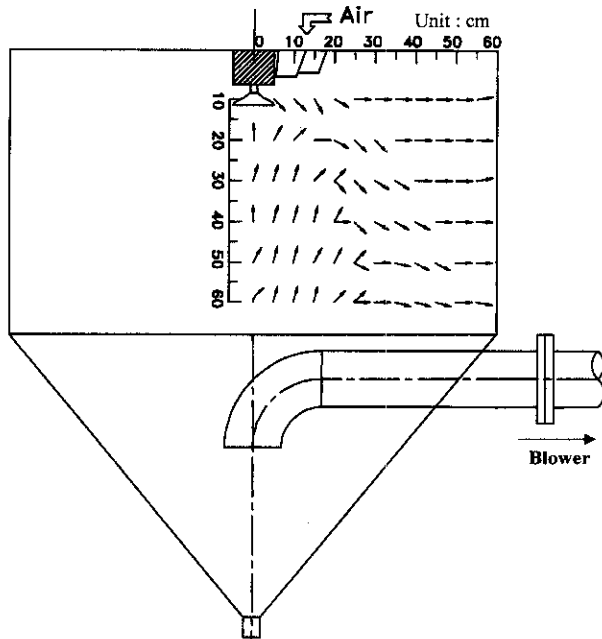


Fig. 7. Air flow pattern in the spray chamber (air feed rate: $710 \text{ Nm}^3/\text{h}$, rotational speed of cup: $20,000 \text{ rpm}$).

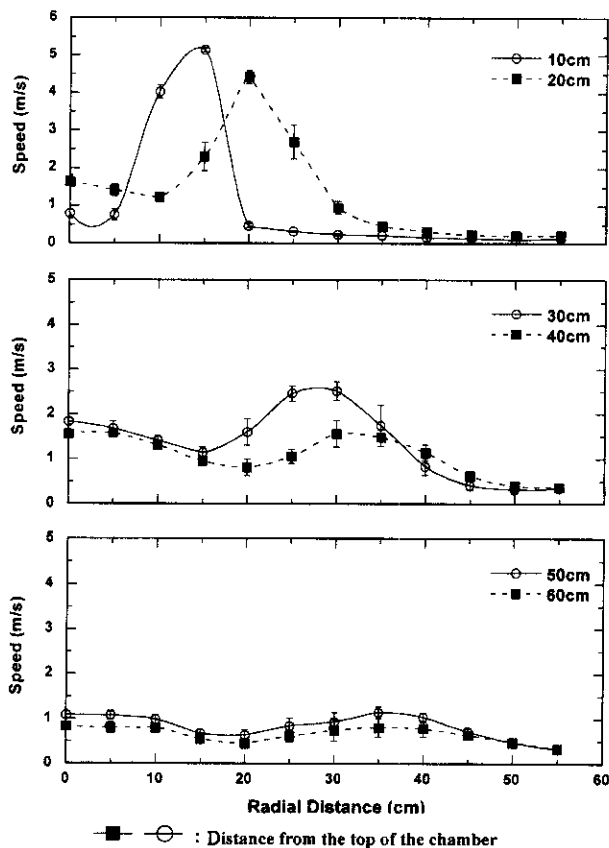


Fig. 8. Radial profiles of air speed in the axial direction (air feed rate: $710 \text{ Nm}^3/\text{h}$).

한 사다리꼴 모양으로 표시한 것이 공기분산기이다. 아래로 비스듬히 표시된 화살표가 공기흐름의 본류(main stream)를 나타낸다. 축 아래로 내려갈수록 공기흐름의 본류가 벽쪽으로 이동하며 그 추세는 Fig. 6의

화학공학 제38권 제4호 2000년 8월

액적 최빈수 발생위치의 변화와 일치하였다. 이것은 액적의 상당부분이 공기흐름에 실려 이동하고 있다는 것을 의미한다. 분무실의 중심부분에서는 공기흐름이 위로 향하고 있다. RTD 유속계로 측정된 분무실내 유속 분포는 Fig. 8과 같다. 최대속력을 나타내는 본류의 위치가 축 아래로 갈수록 점점 벽 쪽으로 이동하며, 그 크기는 점점 약화됨을 볼 수 있다. 분무실 천정으로부터 10 cm 아래에서는 분무실 중심에서 벽 쪽으로 15 cm 지점에서 최대 5.5 m/s 의 속력을 보였다. 컵으로부터 60 cm 아래에서는 분무실 전체에 걸쳐 유속이 거의 1 m/s 수준으로 균일해졌다. 분무실 중심부의 속력이 음의 값이 아니고 양으로 나타난 것은 RTD 유속계가 방향성을 갖는 속도를 측정하는 것이 아니라 scalar인 속력을 측정하기 때문이다.

반경방향의 액적크기 분포를 살펴보면 전체적으로 벽 쪽으로 갈수록 액적의 크기가 증가되었다. 회전접에서 가장 가까운 7 cm에서 벽에 가까운 위치에서 액적크기가 감소하였는데, 이것은 아마도 분무실 중심부에 형성된 상승기류를 타고 작은 물방울들이 비산하여 포물선을 그리며 떨어지기 때문에 벽 쪽으로 멀리 날아간 것이 아닌가 생각된다. 그러나, 그 개수분율은 미미한 수준이었다. 컵으로부터 40 cm 떨어진 지점에서는 분무실 중심에 가까운 곳(중심으로부터 벽쪽으로 15 cm)에서도 액적의 크기가 증가된 것을 볼 수 있는데, 이것은 벽 쪽을 타고 하강하던 물방울들이 공기 재순환 흐름에 휩쓸려 중심부 쪽으로 일부 이동하였기 때문이 아닌가 생각된다.

Fig. 9는 공기유량 $710 \text{ Nm}^3/\text{h}$, 컵 회전속도 $15,000 \text{ rpm}$, 물 공급유량 5 kg/h 의 조건에서 축 방향을 따른 액적크기 누적분포곡선을 보여주고 있다. 축 아래로 내려갈수록 액적의 크기가 증가함을 알 수 있는데, 이것은 물방울끼리의 충돌에 의한 합체에 기인하는 것으로 생각된다. 상기 유속 측정 실험시 측정값이 시간에 따라 많이 변하는 것으로 미루어 상당한 난류가 존재하고 있을 것으로 추측되며, 이러한 난류현상이 물방울의 충돌합체에 기여했을 것으로 생각된다. 선회공기 주입에 의해 액적의 분무실내 체류시간이 증가한 것 또한, 충돌합체에 큰 영향을 미쳤을 것으로 짐작된다. 공기 주입이 없는 상태에서는 축 방향을 따른 액적크기 변화가 별로 없었다. 이 점이 바로 선회공기에 의해 충돌합체가 촉진되었음을 뒷받침한다.

4. 결 론

공기주입이 없는 상태에서, 물 공급유량 $3\text{--}10 \text{ kg/h}$, 컵 회전속도 $10,000\text{--}20,000 \text{ rpm}$ 범위에서의 분무실험 결과, 컵의 회전속도가 증가하고, 유량이 감소할수록 액적의 크기가 감소하였다. 컵의 회전수가 $15,000 \text{ rpm}$

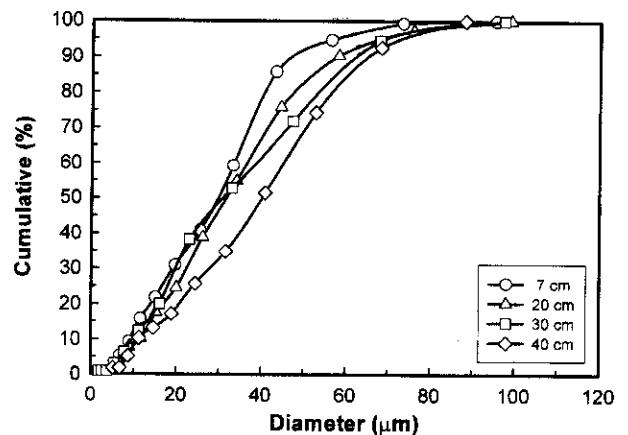


Fig. 9. Drop size distribution in the axial direction with swirling air (water feed rate: 5 kg/h , rotational speed of cup: $15,000 \text{ rpm}$, air flow rate: $710 \text{ Nm}^3/\text{h}$).

이상이 되면 컵 회전속도가 액적크기에 미치는 영향이 줄어들었다. Hinze와 Milbom, Dombrowski와 Lloyd에 의한 액적크기 예측치와 본 실험에서 측정된 값과는 상당한 차이가 있었다. 이것은 아직까지 회전컵의 경우 액적 크기를 예측할 수 있는 믿을만한 실험식이 없다는 것을 의미하며, 회전컵을 이용한 분무장치 및 분무건조기 설계시 액적크기를 미리 실험적으로 확인해 볼 필요가 있음을 말해준다.

공기 주입하에 분무실 내 액적분포 측정 및 공기흐름 조사를 통하여, 액적이 선회공기의 흐름을 타고 축 아래로 갈수록 벽 쪽으로 이동하며, 일부는 재순환 기류를 타고 분무실 중심부 쪽으로도 이동함을 알 수 있었다. 분무실내에 형성된 난류의 영향과 선회공기에 의한 액적의 분무실내 체류시간 증가에 기인하여 액적의 충돌 합체가 일어나, 축 아래로 갈수록 액적의 크기가 증가하였다.

감 사

본 연구는 산업자원부 에너지기술개발사업 수행결과와 일부이며, 인턴 연구원을 지원한 한국과학재단에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Master, K.: "Spray Drying Handbook", 4th eds., George Godwin, London(1985).
2. Filkova, I. and Mujumdar, A. S.: "Industrial Spray Drying Systems," Handbook of Industrial Drying, Marcel Dekker Inc.(1984).
3. Oakley, D. E.: *Chem. Eng. Prog.*, October, 48(1997).
4. Friedman, S. J., Gluckert, F. A. and Marshall jr, W. R.: *Chem. Eng. Prog.*, **48**, 181(1952).
5. Tanasawa, Y., Miyasaka Y. and Umehara, M.: Effect of shape of Rotating Disks and Cups on Liquid Atomization, Proc. 1st ICLASS, Tokyo, 165(1978).
6. Hinze, J. O. and Milbom, H.: *ASME J. of Appl Mechanics*, **17**, 145 (1950).
7. Ryley, D. J.: *British J. of Appl Physics*, **10**, 180 (1959).
8. Lefebvre, H.: "Atomization and Sprays," Hemisphere Publishing Co., 227(1989).
9. Dombrowski, N. and Lloyd, T. L.: *Chem. Eng. J.*, **8**, 63(1974).