

< 논문 >

## 고유량 정전분무를 위한 다중 홈노즐 특성 연구

김경태\* · 김우진\* · 김상수†  
(2007년 5월 7일 접수, 2007년 8월 9일 심사완료)

### Characteristics of Multiplexed Grooved Nozzles for High Flow Rate Electro spray

Kyoungtae Kim, Woojin Kim and Sangsoo Kim

**Key Words :** Electro spray(정전분무), Multiplexing(다중), Grooved Nozzle(홈노즐), Multi-jet(멀티젯)

#### Abstract

The electro spray operated in the cone-jet mode can generate highly charged micro droplets in an almost uniform size at low flow rates. Therefore, the multiplexing system which can retain the characteristics of the cone-jet mode is inevitable for the electro spray application. This experiment reports the multiplexed grooved nozzle system with the extractor. The effects of the grooves and the extractor on the performance of the electro spray were evaluated through experiments. Using the grooved nozzle, the stable cone-jet mode can be achieved at the each groove in the grooved mode. Furthermore, the number of nozzles per unit area is increased by the extractor. The multiplexing density is 12 jets per  $\text{cm}^2$  at 30 mm distance from the nozzle tip to the ground plate. The multiplexing system for the high flow rate electro spray is realized with the extractor which can diminish the space charge effect without sacrificing characteristics of the cone-jet mode.

#### 기호설명

- $E$  : 국부 전기장 세기( $V/m$ )
- $I$  : 액적의 총전류( $A$ )
- $K$  : 액체의 전기 전도계수( $S/m$ )
- $Q$  : 액체의 유량( $m^3/s$ )
- $R$  : 액체 표면 반경( $m$ )
- $r^*$  : 특성 길이( $m$ )
- $\epsilon_0$  : 진공에서의 유전율 상수( $C^2/N \cdot m^2$ )
- $\epsilon_r$  : 액체의 유전율 상수( $C^2/N \cdot m^2$ )
- $\gamma$  : 액체의 표면장력( $N/m$ )
- $\theta_c$  : 콘의 각도(degree)

#### 1. 서론

정전분무는 노즐의 형태와 구조가 단순하기 때문에 시스템을 제작하기 용이하고 미세한 액적을 생성시키기가 매우 간단하다. 또한 발생된 액적들이 공간전하 효과(space charge effect)에 의해 단분산 분포(monodisperse distribution)<sup>(1)</sup>를 가질 뿐만 아니라 액적 표면이 대전되어 있기 때문에 액적끼리 서로 잘 결합하지 않으며 액적 제어가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 이와 같이 정전분무에 의해 발생된 미세 액적은 입자크기 조절의 용이성, 단분산성, 그리고 전하를 띠는 액적 표면을 가지며, 이를 이용하여 의료용 분말 제조<sup>(2)</sup> 및 금속 미세입자의 생성,<sup>(3)</sup> 그리고 세라믹 박막코팅<sup>(4)</sup> 등과 같은 여러 응용분야에 대한 연구가 진행되고 있다.

하지만 정전분무 특유의 장점이 저유량에서만 나타나기 때문에 실제 정전분무가 널리 응용되는 분야가

---

† 책임저자, 회원, 한국과학기술원 기계공학과  
E-mail : sskim@kaist.ac.kr  
TEL : (042)869-3061 FAX : (042)869-3095  
\* 회원, 한국과학기술원 기계공학과

매우 한정되어 있다. 그 한 예가 바로 1980 년대에 예일대(Yale university)의 John B. Fenn 교수 팀이 개발하여 2002 년 노벨 화학상을 받게 한 정전분무 질량분석기(electrospray ionization mass spectrometry)이다.<sup>(5)</sup>

이러한 정전분무의 단점인 저유량 문제를 극복하기 위한 연구가 진행되어 왔으며 노즐 및 발생된 액적들 간의 반발력을 최소화하는 전기장 제어장치,<sup>(6)</sup> 그리고 고유량 정전분무가 가능한 다중노즐(multiplexed nozzle)<sup>(7-9)</sup>에 대한 연구가 이루어지고 있다. 또한 단일 노즐로 고유량 정전분무가 가능한 홈노즐(grooved nozzle)에 대한 연구가 Duby 등에 의해 진행되었다.<sup>(10)</sup>

본 연구에서는 외부 전기장 제어를 통하여 홈노즐간의 반발력을 최소화시켜 홈노즐 간격을 줄이면서 홈노즐 분무특성을 유지할 수 있는 다중 홈노즐 정전분무 장치를 제작하고 그 특성을 파악하는 실험을 하였다.

## 2. 이론적 배경

정전분무란 순수하게 전기력 만에 의해 액체를 작은 액적들로 분열시키는 분무시스템을 말한다.<sup>(11)</sup> 정전분무에서 액적은 적절한 전기 전도성을 가지는 용액을 내경이 작은 금속모세관으로 통과시키고 수에서 수십 kV의 양 고전압(positive high voltage)을 걸어주면 모세관이 양극으로 작용하여 전도성 액체 속에 용해되어 있던 음이온들이 인력을 받아 모세관으로 이동하게 되고, 이와 반대로 양이온들은 반발력을 받아 노즐 팁(tip)에서 액체곡면(meniscus)으로 이동하게 된다. 이처럼 전도성 액체에 용해되어 있던 양이온과 음이온이 서로 분리되는 현상을 전하 분리현상(charge separation)이라고 하고, 이 현상이 일어나는 과정을 전기적 영동기구(electrophoretic mechanism)라고 한다. 모세관에 걸리는 전압이 작을 경우 액체곡면에 작용하는 전기력과 양이온들의 반발력이 액체의 표면장력보다 작기 때문에 액적이 분무되지 않지만, 전압을 증가시키게 되면 액체곡면에 작용하는 전기력과 양이온들의 반발력이 액체의 표면장력보다 커지게 되면서 모세관 팁에서 액적이 분무된다. 여기서 전압을 더 증가시키게 되면 모세관 팁에서 액체곡면이 콘(cone) 모양을 형성하는데 이것을 Taylor 콘<sup>(12)</sup>이라 부른다. 이때 Taylor 콘 팁에서 표면전단응력(surface tangential stress)을 받아 매우 가는 액주(liquid ligament)가 형성되고, 액주 끝에서 액주 표면에 작용하는 표면과의 교란에 의해 액적들로 깨지게 된다. 이를 콘젯모드(cone-jet mode)라 한다. 콘젯모드에서 전압을 더 증가시키면 콘젯이 모세관 팁 가장자리로 분열되어 여러 개가 발생하게 되는 멀티젯모드가 된다.

모세관 팁에 형성된 액체 콘 표면에 수직하게 각도

작용하는 국부 전기장의 세기  $E$ 는 국부 반경  $R$ 과 콘의  $\theta_c$ , 액체의 표면장력  $\gamma$ 와 진공에서의 유전율  $\epsilon_0$ 에 의해 주어진다.

$$E = \left( \frac{2\gamma \cot \theta_c}{\epsilon_0 R} \right)^{1/2} \quad (1)$$

이 전기장의 세기는 콘의 꼭지점으로 가까워질수록 증가하고, 액체 콘은 콘 꼭지점에서 전기장에 의해 액체 젯으로 변형되어 나온다. 또한 액체 콘에 작용하는 전기장의 세기는 표면장력 계수의 제곱근에 비례함을 알 수 있다. 즉 표면장력이 클수록 액체 콘을 형성하는데 필요한 전기장의 세기는 더 커지게 된다.

액적의 총전류량과 액적의 평균지름에 관한 식은 다음과 같다.<sup>(13)</sup>

$$I = f(\epsilon_r) \left( \frac{\gamma Q K}{\epsilon_r} \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$r^* = (Q \epsilon_r \epsilon_0 / K)^{1/3} \quad (3)$$

여기서  $\epsilon_r$ ,  $K$ ,  $Q$ 는 각각 액체의 유전율 상수, 전기 전도계수, 유량이고,  $r^*$ 는 액적의 크기를 나타내는 특성길이이다. 액적의 총 전류량은 유량의 제곱근에 비례하고, 액적 크기는 유량의 세제곱근에 비례함을 알 수 있다.

## 3. 실험 장치 및 실험 방법

### 3.1 홈노즐 정전분무 장치

홈노즐 정전분무 장치의 구성은 금속모세관, 익스트랙터(extractor), 접지판(ground plate), 유체 공급장치, 고전압 발생장치로 구성되어 있다.

홈노즐 정전분무 실험을 위해 내경 1.6 mm, 외경 3.2 mm 인 스테인리스 스틸(stainless steel) 모세관을 사용하였다. 모세관의 팁에 wire electro-discharge machining(EDM) 가공법을 이용하여 Fig. 1과 같이 폭이 0.5 mm, 깊이가 0.5 mm 인 12개의 홈(groove)를 만들었다.

다중 홈노즐 지지대는 5 개의 홈노즐을 십자형태로 고정할 수 있으며 중심 홈노즐에서 5~25 mm 간격으로 나머지 노즐을 설치할 수 있도록 설계되었다. 전기장을 제어할 익스트랙터는 두께가 2 mm 인 스테인리스 스틸 평판에 9 mm 내경을 가지는 홀(hole)을 십자형태로 10 mm 간격으로 가공하였고 홈노즐 팁(tip)과 같은 높이에 설치하였다. 접지판은 발생된 액적이 축적(accumulation)되는 것을 방지하기 위해 링(ring)과 메쉬(mesh)형태의 스테인리스

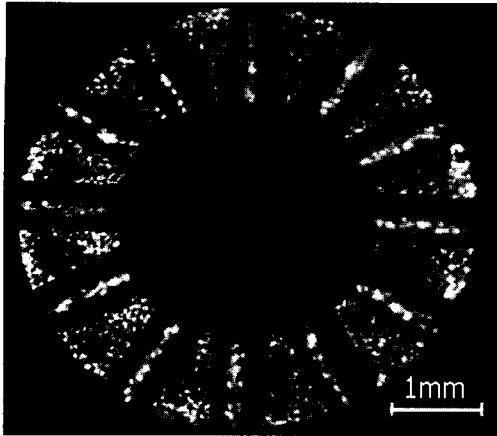


Fig. 1 Picture of the grooved nozzle tip

스틸을 이용하여 직경 20 cm 원판으로 제작하였으며, 흡노즐 지지대와 접지판을 3 차원 이송대에 설치하여 흡노즐 팁과 접지판 사이의 간격을 30 mm 로 고정하였다.

유체 공급 장치로는 주사기 펌프(KD Scientific KDS-220)에 5 개의 주사기(Hamilton gastight glass, 10 ml)를 설치하고, 테플론(teflon) 관을 주사기 바늘과 흡노즐에 서로 연결하여 각 흡노즐에 동일한 유량을 공급하였다. 두 대의 고전압 발생기(Korea Switching, +30 kV)로 흡노즐과 익스트랙터에 고전압을 독립적으로 인가하였다.

작동 유체는 에탄올(ethanol)을 사용하였으며, 전 기전도도(electric conductivity)는 정전분무에 적합한  $1 \times 10^{-5}$  S/m 이다.

### 3.2 정전분무 특성 측정 장치

정전분무 특성을 평가하기 위하여 모세관 팁 가시화, 인가전압 및 공급유량에 따른 정전분무 모드, 분무 전류, 그리고 액적 크기를 측정하였다.

실험장치의 개략도를 Fig. 2 에 나타내었다. 모세관 팁 가시화를 위해서 CCD 카메라(TOSHIBA, IK-642K), 고배율 렌즈(OPTEM, ZOOM 70XL), 그리고 광원(Light Solution, LS-100W)을 사용하였으며, 이를 이용해 금속 모세관 팁에서 형성되는 액체곡면의 확대영상을 얻어 정전분무 모드를 확인하였다. 또한 발생된 젯의 수를 측정하기 위해 He-Ne 레이저(MELLES GRIOT, 1135P) 빔(beam)을 두 개의 렌즈에 통과시켜 평면 빔으로 만들어 모세관 팁 하단 5 mm 를 통과하게 하였다. 접지판 하단에서 근접 카메라(NIKON, E990)를 이용하여 레이저에 의해 산란된 젯의 형상을 촬영하였다. 분무 전류 측정은 접지판에 미소전류 측정기(Keithly 6514

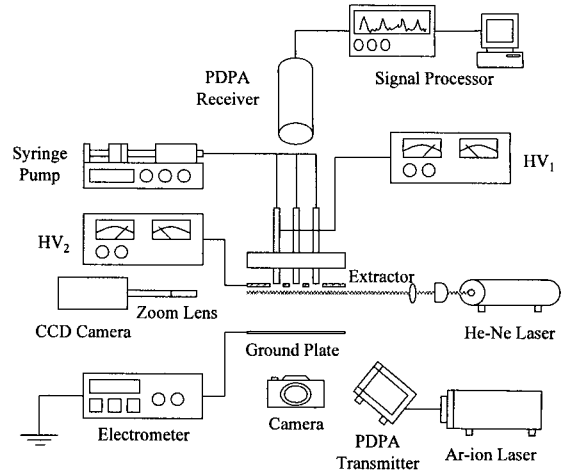


Fig. 2 Schematic diagram of the experimental system for the multiplexed grooved nozzles

Electrometer)를 연결하여 연속적으로 분무되는 전류를 측정하였다. 액적 크기 측정을 위해 Phase Doppler Particle Analyzer(TSI)와 Ar-ion 레이저(MELLES GRIOT, Air-Cooled 543)를 이용하였다. 정전분무에 발생하는 세틀라이트(satellites)<sup>(14,15)</sup>를 측정에서 배제하고 액적의 증발효과를 최소화하기 위하여 금속모세관 팁으로부터 5 mm 떨어진 곳에서 액적 크기를 측정하였다. 각각의 실험조건에 대해 10000 번씩 측정을 하여 소프트웨어(TSI FSA3500 Flow Sizer)를 이용하여 평균 액적 크기를 계산하였다.

## 4. 실험 결과 및 고찰

### 4.1 단일 흡노즐 정전분무 특성

#### 4.1.1 정전분무 모드 특성

Fig. 3 은 흡노즐을 이용하여 인가 전압에 따른 분무 전류 및 분무 모드 변화를 보여준다. 유량이 6 ml/h 로 공급될 때, 흡노즐을 사용한 경우에도 단일 콘젯모드가 나타나며, 콘젯모드 전압영역보다 높은 전압조건에서 젯의 수가 하나씩 늘어나는 멀티젯모드가 나타난다. 이를 서브 홈모드(sub-grooved mode)라 한다. 그리고 서브 홈모드에서 계속 전압을 증가시키면 일정 전압조건 이상에서 팁에 가공한 홈 개수와 같은 수의 젯이 형성되며, 젯은 각각의 홈 마다 하나씩 발생한다. 각각의 젯은 콘젯모드와 같은 형상을 나타내며 일정 전압구간 동안 이러한 모드가 유지된다. 이는 흡노즐에서 홈의 날카로운 형상에 의해 홈에 걸리는 전기

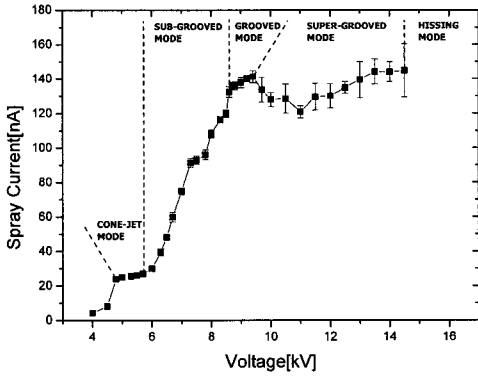


Fig. 3 Current vs. voltage for the grooved nozzle operated at  $Q=6$  ml/h

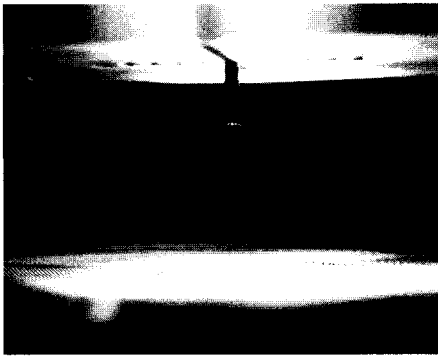


Fig. 4 Picture of the grooved mode operation

장 크기가 주위와 비교해 매우 강하기 때문에 젯이 흡에서 먼저 생성되고 유지되는 것이다. 이를 흡모드 (grooved mode)라 한다. 또한 인가되는 전압이 증가하여도 분무전류가 일정하게 유지되는 콘젯모드 특성을 흡모드도 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. 흡모드에서 전압을 더 높여주면 분무 전류가 급격히 떨어지고 젯의 수가 흡 수보다 많아지는 슈퍼 흡모드(super-grooved mode)가 발생한다. 전류 급감의 원인은 젯의 수가 많아지면서 젯을 유지하기 위해 노즐 하나당 필요로 하는 최소 유량보다 공급되는 유량이 적어 일부 젯이 생성되어야 할 부분에서 코로나 방전(corona discharge)이 일어나서 발생하는 현상이라 생각된다. 그리고 일정 전압영역을 넘어가면 분무 전류가 급격히 변화하고 노즐 팁에서 강한 코로나 방전이 일어나면서 발생되던 젯은 사라지고 히싱음(hissing sound)을 내며 전하가 공기 중으로 방출되는 히싱모드(hissing mode)가 나타난다.

Fig. 4 는 흡모드에서의 정전분무 형태를 보여주

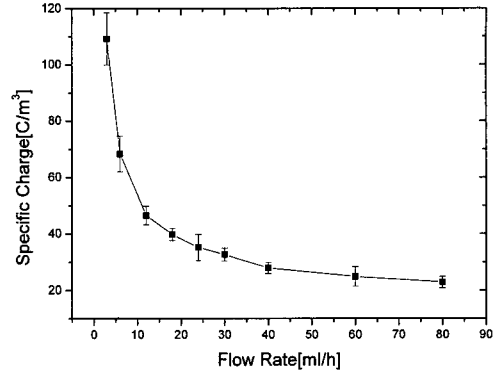


Fig. 5 Specific charge versus flow rate for the grooved mode

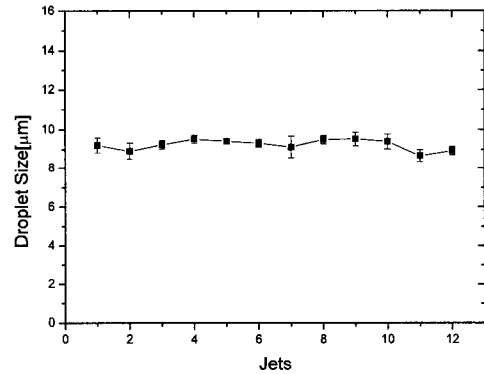


Fig. 6 Droplet size at 6 ml/h in individual electrostatic jets for the grooved mode

며, 흡모드 구간에서 흡의 개수와 같은 12 개의 젯이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 그리고 각각의 젯은 노즐 팁 외각의 흡에서 형성되며 안정적인 정전분무가 형성되었다. 또한 형성된 젯의 형상이 콘젯모드의 젯과 유사하다는 것을 알 수 있다.

#### 4.1.2 분무 전류 특성

Fig. 5 는 유량에 따른 흡모드에서의 분무 전류 측정값을 비전하량으로 변환하여 나타낸 것이다. 흡모드 정전분무 전류 특성도 일반적인 콘젯모드 정전분무와 같이 유량이 증가함에 따라 비전하량이 감소하는 것을 알 수 있으며, 전체적으로 높은 비전하량 값을 가진다는 것을 확인할 수 있다.

#### 4.1.3 액적 크기 특성

흡모드 정전분무 구간에서 형성되는 12 개의 젯에서 발생하는 액적의 크기를 측정하여 Fig. 6 에 나타내었다. 각 젯에서 발생하는 액적의 크기가

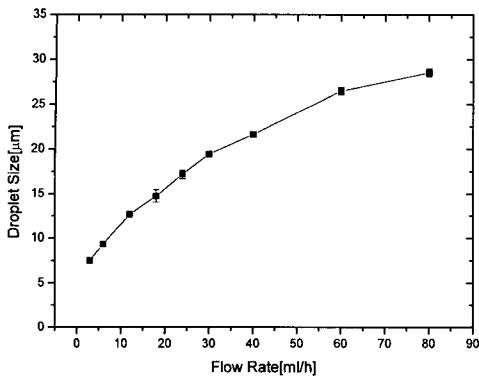


Fig. 7 Droplet size for various flow rates in the grooved mode

거의 동일함을 확인할 수 있었으며, 콘젯모드와 같은 단분산 분포를 가진다. 하지만 홈노즐 가공상에서 발생한 홈 크기와 위치의 미세한 오차, 그리고 액적 크기 측정 위치 변화 등에 의해 일정부분에서 액적 크기의 불균일성이 발생했다고 생각된다. Fig. 7은 홈모드에서 유량에 따른 액적 크기를 측정한 것이다. 실험에 사용된 홈노즐은 최대 80 ml/h의 유량 조건에서 안정된 홈모드를 형성시킬 수 있으며, 홈모드에서 발생하는 액적 크기도 유량 증가에 따른 액적 크기 증가가 콘젯모드와 유사함을 가진다.

## 4.2 다중 홈노즐 정전분무 모드 특성

### 4.2.1 정전분무 모드 특성

단일 홈노즐의 정전분무와 동일한 실험조건에서 5개의 홈노즐을 이용하여 인가 전압에 따른 정전분무 특성 변화를 측정하였다. 홈모드는 고유량 조건에서 보다 안정적이며, 또한 형성되는 전압구간도 넓어지는 특성을 가지고 있기 때문에 각 노즐에 저유량 조건인 6 ml/h로 에탄올을 공급하고 다중 홈노즐 정전분무 특성 실험을 수행하였다.

먼저 익스트랙터를 설치하지 않고 노즐간의 간격을 25 mm부터 10 mm까지 5 mm씩 줄이면서 분무 특성을 관측하였다. 간격이 줄어들수록 홈노즐간의 전기장 반발력과 정전분무에 의해 발생된 고전압 액적들에 의한 공간 전하 효과 등으로 인하여 중심부에 위치한 홈노즐에서의 전기장 세기가 외각 노즐에 비해 크게 약화된다. 따라서 외각에 위치한 홈노즐과 중심 홈노즐의 분무형태가 달라지며, 발생한 젯과 액적은 외각 방향으로 기울어지게 된다.

이를 He-Ne 레이저 빔을 이용한 분무 가시화를

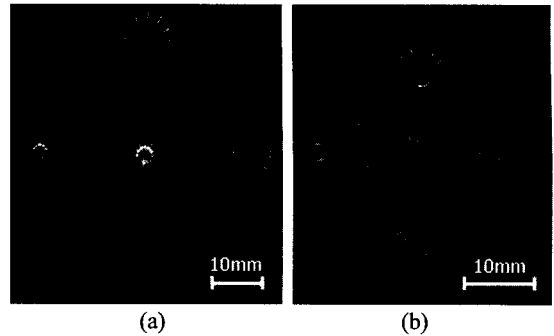


Fig. 8 Spray visualization of the multiplexed grooved nozzles without extractor for (a) 20 mm and (b) 10 mm nozzle spacing at 6 ml/h

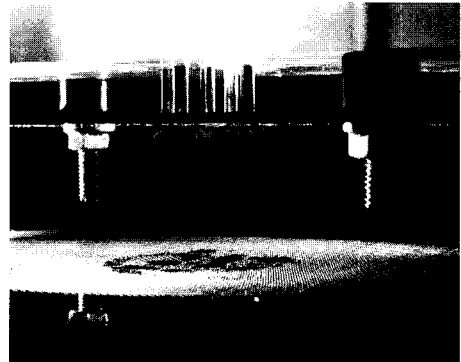


Fig. 9 Picture of the multiplexed grooved mode with extractor for 10 mm nozzle spacing at 6 ml/h

통해 살펴보면 노즐간의 간격이 20 mm인 경우 Fig. 8(a)에 나타나듯이 중심에 위치한 홈노즐에서 홈모드 정전분무가 발생할 때 외각 홈노즐에서는 슈퍼 홈모드가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 노즐 간격이 줄어들수록 더 심화되어 Fig. 8(b)와 같이 간격이 10 mm인 경우 중심 홈노즐에서는 서브 홈모드가 형성되었음에도 불구하고 외각 노즐에서는 슈퍼 홈모드가 발생하였으며 중심 홈노즐에서 홈모드를 형성시키기 위해 전압을 더 인가하게 되면 코로나 방전 현상이 발생하는 히싱모드가 나타난다. 노즐간의 최대 간격인 25 mm 조건에서도 5개의 홈노즐에서 홈모드 정전분무를 동시에 형성시킬 수 없었다.

따라서 고유량 정전분무가 가능한 다중 홈노즐을 구현하기 위하여 노즐간의 간격이 10, 20 mm 조건에서 전기장 제어가 가능한 익스트랙터를 설치하고 익스트랙터에 고전압을 인가하여 모든 홈노즐에서 홈모드가 형성되는 다중 홈모드 조건을 알아보았다. 노즐간의 간격이 20 mm에서는 익스트랙터에 7 kV를 인가하였을 때부터, 그리고 10

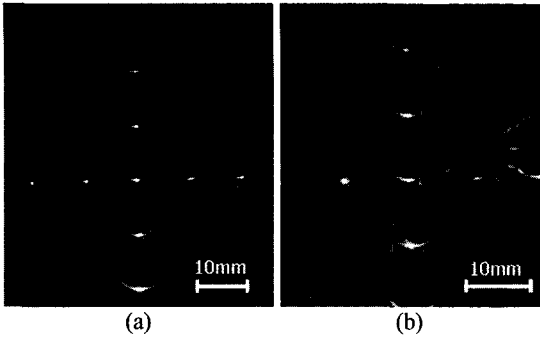


Fig. 10 Spray visualization of the multiplexed grooved nozzles with extractor (a) 20 mm and (b) 10 mm nozzle spacing at 6 ml/h

mm 에서는 10 kV 를 인가하였을 때부터 다중 홈모드를 형성할 수 있었다. Fig. 9 는 노즐 간격이 10 mm 일 때 다중 홈모드 분무 형태를 나타낸 것이며, 익스트랙터에 의한 분무 액적의 손실이 없는 것을 알 수 있다. 그리고 익스트랙터에 의해 발생하는 축방향 전기장으로 인해, 분무 액적이 이루는 분무각이 줄어드는 것을 확인하였다.

다중 홈모드 정전분무에서 발생하는 젯을 레이저 빔을 이용한 분무가시화를 이용해 Fig. 10 에 나타내었다. Fig. 10(a)는 노즐 간격이 20 mm 인 조건에서의 분무형상을 나타내는데, 5 개의 홈노즐에서 각각 12 개의 젯이 분무되는 다중 홈모드를 형성하고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 익스트랙터가 없을 때와 비교하였을 때 젯이 외각방향으로 치우치는 현상이 나타나지 않았다. Fig. 10(b)는 노즐 간격이 10 mm 일 때 분무형상을 나타낸 것으로 안정적인 다중 홈모드를 형성하고 있음을 확인할 수 있으며, cm<sup>2</sup> 당 발생시킬 수 있는 젯의 수가 12 개로 정전분무의 집적도가 매우 큰 것을 확인할 수 있다.

4.2.2 다중 홈모드 전압구간

노즐 간격에 따른 다중 홈모드 형성 전압구간을 Fig. 11 에 나타내었다. 개시(onset) 전압과 붕괴(collapse) 전압 사이에서 다중 홈모드가 발생하며, 노즐간의 거리가 가까워질수록 다중 홈모드를 형성하기 위한 익스트랙터 인가전압이 증가하고 다중 홈모드 형성 전압구간은 좁아진다는 것을 확인하였다. 다중 홈모드가 발생할 수 있는 익스트랙터의 최소 인가전압보다 낮은 전압을 인가한 경우에는 Fig. 8 과 같은 불안정한 정전분무모드가 발생하고 또한 익스트랙터 인가전압이 낮아질수록 발생된 액적이 익스트랙터에 부착되는 현상이 크게 나타난다. 반대로 더 높은 전압을 익스트랙터에 인가하는 경우에는 다중 홈모드를 형성하기 위

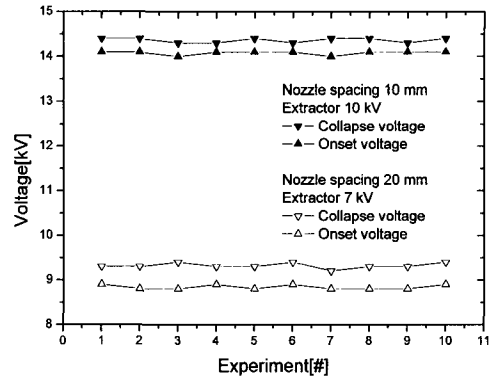


Fig. 11 Voltage range for the multiplexed grooved mode operated at 6 ml/h

해 필요한 홈노즐 인가전압이 증가하며, 다중 홈모드 형성 전압구간도 넓어진다. 또한 분무되는 액적의 초기 속도가 증가하며 액적들이 형성하는 분무각이 더욱 줄어드는 것을 알 수 있었다.

5. 결론

본 연구는 스테인리스 스틸 재질의 홈노즐에 일정한 유량으로 에탄올을 인가하고 고유량 정전분무 조건에서 멀티젯모드를 안정적으로 제어하며 그 분무 특성을 평가하였다. 일반 노즐의 불안정한 멀티젯모드 분무 형태와 비교하였을 때 홈노즐은 홈 수만큼의 안정된 단일 콘젯을 홈에 발생시킬 수 있었으며, 일정 전압범위에서 이러한 홈모드 정전분무를 유지할 수 있었다. 홈모드에서 발생하는 각 젯에서의 액적 크기는 6 ml/h 유량 조건에서 약 9.2 μm 로 거의 일정하였으며, 이 때 비전하량은 68.4 C/m<sup>3</sup> 로 측정되었다. 홈노즐을 이용하여 유량이 최대 80 ml/h 까지 안정적인 홈모드를 형성할 수 있었으며, 유량 증가에 따른 액적 크기 증가는 일반적인 콘젯모드 정전분무에서의 액적 크기 특성과 동일하였다.

이러한 홈노즐을 십자 형태로 배열하여 다중 홈노즐을 구성하였을 때 노즐간의 전기장 반발력과 발생된 액적들에 의한 공간 전하 효과로 인해 노즐간의 간격이 25 mm 인 경우에도 5 개의 노즐에서 모두 홈모드 정전분무를 형성하는 다중 홈모드를 구현하지 못하였다. 반면에 익스트랙터를 홈노즐 팁과 같은 높이에 설치하여 고전압을 인가한 경우 다중 홈모드를 구현할 수 있었다. 노즐 간격이 줄어들수록 익스트랙터에 인가해야 하는 전압

이 높아졌으며, 다중 홈모드를 형성할 수 있는 홈노즐 인가전압 범위도 좁아졌다. 익스트랙터를 설치한 다중 홈노즐 장치를 통해 홈노즐 팁과 집지판 사이의 거리가 30mm 인 조건일 때 10 mm 노즐 간격에서 다중 홈모드를 구현하였으며,  $\text{cm}^2$  당 12 개의 젯을 발생시킬 수 있다.

단일 노즐로도 고유량 정전분무를 발생시킬 수 있는 홈노즐을 익스트랙터를 이용하여 고집적화하고 작동 유량을 극대화할 수 있는 다중 홈노즐 정전분무 장치를 구현하였다.

## 후 기

본 연구는 부분적으로 교육인적자원부의 BK21 사업과 환경부의 차세대 핵심환경기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고문헌

- (1) Tang, K. And Gomez, A., 1994, "on The Structure of an Electrostatic Spray of Monodisperse Droplets," *Phys. Fluid*, Vol. 6, Pp. 2317~2332.
- (2) Gomez, A., Bingham, D., Juan, L. D. and Tang, K., 1997, "Production of Protein Nanoparticles by Electro spray Drying," *J. Aerosol Sci.*, Vol. 29, pp. 561~574.
- (3) Lohmann, M., Beyer, H. and Schmidt-Ott, A., 1997, "Size and Charge Distribution of Liquid Metal Electro spray Generated Particles," *J. Aerosol Sci.*, Vol. 28(Suppl. 1), pp. S349~350.
- (4) Miao, P., Blalchandran, W. and Xiao, P., 1999, "Formation of Ceramic Thin Films using Electro spray in Cone-jet Mode," *IEEE Trans. On Ind. Appl.*, Vol. 4, pp. 2487~2496.
- (5) Fenn, J. B., Mann, M., Meng, C. K., Wong, S. K. and Whitehouse, C., 1989, "Electro spray Ionization for Mass Spectrometry of Large Biomolecules," *Science*, Vol. 246, pp. 64~71.
- (6) Park, H. Kim, K. and Kim, S., 2004, "Effects of a Guard Plate on the Characteristics of an Electro spray in the Cone-jet Mode," *J. Aerosol Sci.*, Vol.35, pp. 1295~1312.
- (7) Lozano, P., Martinez-Sanchez, M. and Lopez-Urdiales, J. M., 2004, "Electro spray Emission from Nonwetting Flat Dielectric Surfaces," *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 276, pp. 392~399.
- (8) Bocanegra, R., Galan, D., Marquez, M., Loscertales, I. G. and Barrero, A., 2005, "Multiple Electro sprays Emitted from an Array of Holes," *J. Aerosol Sci.*, Vol. 36, pp. 1387~1399.
- (9) Deng, W., Klemic, J. F., Li, X., Reed, M. and Gomez, A., 2006, "Increase of Electro spray Throughput using Multiplexed Microfabricated Sources for the Scalable Generation of Monodisperse Droplets," *J. Aerosol Sci.*, Vol. 37, pp. 696~714.
- (10) Doby, M., Deng, W., Kim, K., Gomez, T. and Gomez, A., 2006, "Stabilization of Monodisperse Electro sprays in the Multi-jet Mode Via Electric Field Enhancement," *J. Aerosol Sci.*, Vol. 37, pp. 306~322.
- (11) Fernandez de la Mora, J. and Gomez, A., 1995, "Electro spray Atomization: Fundamentals and Applications," *AAAR '95-Tutorial*, pp. 1~33.
- (12) Taylor, G. I., 1964, "Disintegration of Water Drops in an Electric Field," *Proc. R. Soc.*, Vol. A280, pp. 383~397.
- (13) Fernandez de la Mora, J. and Loscertales, I. G., 1994, "The Current Emitted by Highly Conducting Taylor Cones," *J. Fluid Mech.*, Vol. 260, pp. 155~184.
- (14) Cloupeau, M., 1994, "Recipes for Use of EHD Spraying in Cone-jet Mode and Notes on Corona Discharge Effects," *J. Aerosol Sci.*, Vol. 25, pp. 1143~1157.
- (15) Hartman, R. P., Brunner, D. J., Camelot, D. M., Marijinissen, J. C. M. and Scarlett, B., 2000, "Jet Break-up in the Electrohydrodynamic Atomization in the Cone-jet Mode," *J. Aerosol Sci.*, Vol. 31, pp. 65~95.