

정전분무를 이용한 패턴화된 생물현탁액 액적의 유량에 따른 변화 연구

정 상 빈 · 장 경 수 · 이 건 웅 · 정 의 석 · 허 기 준 · 이 병 욱¹⁾

¹⁾건국대학교 기계공학부 입자공학 및 생명공학 연구실

(2015년 12월 1일 투고, 2015년 12월 22일 수정, 2015년 12월 24일 게재확정)

Variation of Nutrient Broth Droplets Patterned by Electrospray System with Flow Rates

Sang Bin Jeong, Kyung Soo Jang, Gunwoong Lee, Euseok Chong, Ki Joon Heo, and Byung Uk Lee¹⁾

¹⁾*Aerosol and Bioengineering Laboratory, College of Engineering, Konkuk University*

Abstract

An electrospray patterning method has been considered as a new and effective way for controlling very fine droplets. Drop-on-demand patterning for unstained nutrient broth on wafers was newly conducted with an electrospray pulsed jet. The patterns had been made under varying experimental conditions including flow rate, vibration frequency, and translational speed of the electrospray patterning system. In this experiment, especially, variation of nutrient broth droplet was measured under varying flow rate conditions. This new technique has a potential to be applied in biology experiments and hormone medical industry.

Keywords : Electrospray, Patterning, Nutrient Broth, Droplet

* Corresponding author.

Tel : +82-2-450-4091, Fax : +82-2-447-5886

E-mail : leebu@konkuk.ac.kr

1. 서 론

정전분무란 전기력만을 이용해 액체를 고전하의 미세 액적으로 분무시키는 방법이다. 기타 미세 액적 생성 방법과 비교했을 때 노즐의 구조가 단순하여 시스템 제작이 용이하고 다양한 크기의 액적을 만들기 쉽다. 이때 생성되는 액적은 단분산 분포를 보이는데 이 특징은 자동차, 선박 등 도장 작업에 활용 가능하다(Kim et al., 2007). 또한 연료추진 등 여러 분야에서 활용되고 있다. 최근 연구에서 정전분무를 통해 마이크로 단위의 잉크패턴을 생성할 수 있음이 확인되었으며(Park et al., 2007), 정전분무를 통해 패턴화된 생물물질 또한 그 생명성이 입증된 바 있다. (Chong et al., 2015).

정전분무를 통해 생물물질을 패턴화 하면, 화학적 처리를 하지 않고 특정 물질 표면에 고정시킬 수 있기 때문에 포토리소그래피 (photolithography) 방법(Wang et al., 2009)과 달리 화학반응에 의한 세포의 변질을 우려할 필요가 없다 (Park et al., 2006). 정전분무를 통한 살아있는 생물물질 패턴링 기술은 2010년에 발견되었으며(Kim et al., 2010), 현재 박테리아를 정전분무하여 패턴화하는 연구가 진행되었고, 그 활용분야 또한 연구되고 있다 (Chong et al., 2015). 정전분무를 통해 생물물질을 패턴링하는 기술은 최근에 발견된 기술이며, 이를 최적화하기 위해서는 분사되는 물질의 유량을 통제하기 위한 연구가 필요한 상황이다. 이번 연구를 통해 생물물질을 배양하기 위해 사용되는 영양액이 정전분무를 통해 패턴화 되었을 때, 액적의 크기가 유량에 따라 어떻게 변화하는지 관찰하고 추후 생명 물질을 패턴화 할 때 적절한 유량을 선택할 수 있는 기준을 제시하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 정전분무 패턴링 시스템 구성

Figure 1은 실험구성을 간략하게 도식한 것이다. 실험장치는 실리카 모세노즐과 접지판, 유체이송장치, 고전압 전원장치, 그리고 가시화장치로 구성되어 있다. (Chong, 2014) 실리카 모세노즐 (PicoTip Emitter, New Objective, The US)는 뾰족한 끝부분 지

름이 $30\ \mu\text{m}$ 인 노즐을 사용했다. 접지판은 스테인리스 스틸 재질을 사용하였고 위에 지름 7.62cm 인 실리콘 웨이퍼를 올려서 사용하였다. 실리콘 웨이퍼는 모세노즐의 $100\ \mu\text{m}$ 아래에 장치되었으며, 패턴을 위해 적절하게 고정된 속도로 움직이는 자동화된 이송대를 사용하였다. 유체이송장치에는 $500\ \mu\text{l}$ 정밀 주사기 (1750TLLX, Hamilton, Germany)와 주사기펌프 (781100, KD Scientific, The US)를 사용했다. 주사기와 모세노즐은 미세유동장치 (P-662, 1572, F-242, U-322, Upchurch, The US)를 통해 연결되어 있다. 전원장치 (AC +15KV, Korea Switching, Korea)와 함수발생기 (FG-7002C, EZ Digital, Korea)를 통하여 수 킬로볼트(kV)의 직사각파형의 전압을 모세노즐과 접지판에 걸어주었다.

생물현탁액 (a mixture of 8g of nutrient broth media (beef extract 0.3%, peptone 0.5%, Difco) with 1 liter of deionized filtered water; electrical conductivity of $1.39 \times 10^{-3}\ \text{Scm}^{-1}$)은 패턴링에 사용되었다.

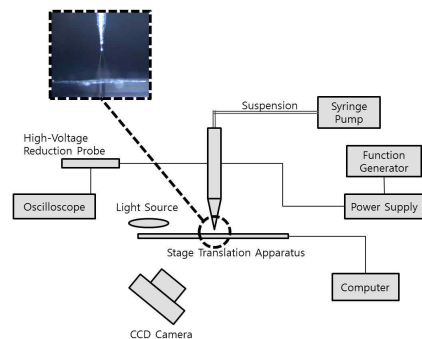


Fig. 1. A schematic diagram of the experimental setup

2.2 측정장치 및 관찰장치

정전분무장치에 걸린 전압을 실시간으로 확인하기 위해 1/1000 AC 고전압 감소 침상전극 (P6015A, Tektronix, The US)과 오실로스코프(TDS2014, Tektronix, The US)를 사용했다. 미세노즐과 펄스화된 젯 (Pulsed Jet)을 가시화하기 위해 CCD Camera (Marlin F-145C2, Allied Vision Tech, Germany), 그리고 할로겐 광원 (LS-100W, Light Solution, Korea)을 사용하였다. 패턴이 된 판을 확인하기 위해 CCD

Camera (INFINITY1, Lumenera Co, Canada)를 부착한 광학현미경 (ECULIPSE ME600, Nikon, Japan)과 470-490nm 여기 필터를 거친 할로겐 광원을 사용하였다.

2.3 정전분무 패턴닝 및 유량 조건

실린지 펌프(Syringe pump)가 생물현탁액을 주사기(Syringe)에서 지름 100 μm의 미세노즐로 보낸다. 미세노즐에는 10 μL/h, 20 μL/h, 30 μL/h의 유량을 보내준다. 흡수발생기가 달린 고전압 전압장치에서 정전분무시스템으로 전압을 걸어준다. 이 때 1.0kV의 전압을 걸어주고, 직사각형의 20Hz의 주기를 갖는다. 정전분무장치에서 펄스화 된 콘젯이 형성되면 이송대를 10mm/s의 고정된 속도로 움직인다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2. 는 정전분무 시스템을 통해 패턴화된 생물현탁액을 금속표면현미경을 이용하여 촬영한 사진이다. 각각 A는 유량이 10 μL/h일 경우, B는 유량이 20 μL/h일 경우, C는 유량이 30 μL/h 일 경우의 패턴화된 생물 현탁액 사진을 나타낸다.

Table 1은 각각의 유량 당 10개의 액적의 지름과 두 액적 사이의 평균 거리를 보여준다. 유량이 10 μL/h일 경우 액적의 지름은 평균 80.4±7.64 μm 이며, 유량이 20 μL/h일 경우는 125±10.4 μm, 그리고 유량이 30 μL/h 일 경우에는 151±10.1 μm으로 나타났다. 유량이 증가함에 따라 액적의 지름이 증가함 (y=3.53x+48.2, R²=0.9774)을 알 수 있다. 유량이 10 μL/h일 경우 두 액적 사이의 평균 거리는 369±11.3 μm 이며, 유량이 20 μL/h일 경우는 345±8.62 μm, 그

리고 유량이 30 μL/h 일 경우에는 325±9.91 μm으로 나타났다. 유량이 증가함에 따라 액적의 지름은 증가하고, 그 만큼 두 액적 사이의 평균 거리는 가까워짐을 알 수 있다.

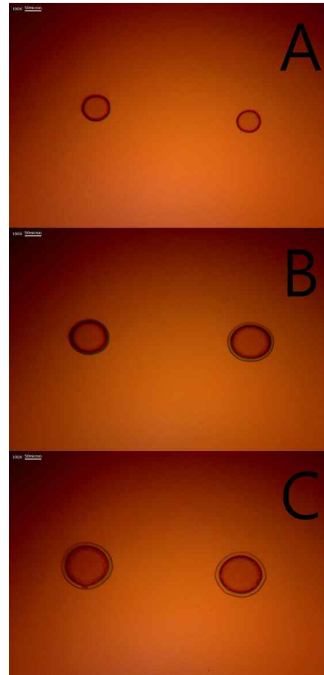


Fig. 2. Patterns of nutrient broth droplets. The flow rate of the electrospray system were (A) 10 μL/h, (B) 20 μL/h, (C) 30 μL/h. Scale bars are 50 μm respectively.

Table 1. Diameter of patterns of droplets and distance between patterns of droplet. (Experimental Conditions : 20Hz, 1.0 kV, 10 mm/s)

Flow Rate	Diameter of patterns of droplets	Distance between Patterns of Droplets
10 μL/h	80.4±7.64 μm	369±11.3 μm
20 μL/h	125±10.4 μm	345±8.62 μm
30 μL/h	151±10.1 μm	325±9.91 μm

4. 결 론

종합적으로 어떤 화학처리나 압력 노출, 열처리를 하지 않고 오로지 전기적 에너지만을 이용해서 생물 현탁액을 패터닝 할 수 있다는 것을 보여준다. 또한 유량을 적절히 변화시킴으로써 패턴의 크기와 거리를 조절 할 수 있다. 그리고 위 실험은 정전분무가 생물입자에도 적용 가능하며, 적절한 조건 하에 다른 여러 입자에도 활용할 수 있음을 보여준다. 생물물질을 원하는 크기와 위치에 패터닝할 수 있는 기술은 생화학실험 등에 응용될 수 있으며, 의학 호르몬 산업과 같이 생물입자를 통해 물질을 합성하는 산업 등에서 효율을 높일 수 있을 것이라 기대된다.

감사의 글

This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (2015R1D1A1A09056879).

References

- Chong E. S., Hwang G. B., Kim K., Lee I. S., Han S. H., Kim H.J., Jung H., Kim S. J., Jung H. I., and Lee B. U. (2015). "Viable Bacterial Cell Patterning Using a Pulsed Jet Electro spray System" *Jouranal of Microbiology and Biotechnology*. 25(3), 381-385.
- Kim, W., Kim, K., and Kim, S.S., (2007). "Characteristics of the electro spraying combustion using grooved nozzle" *Korea Society of Mechanical Engineers B*. 31(12), 979~985.
- Kim, K., Lee, B. U., Hwang, G. B., Lee, J. H., & Kim, S. (2010). Drop-on-demand patterning of bacterial cells using pulsed jet electro spraying. *Analytical chemistry*, 82(5), 2109-2112.
- Park J., Hardy, M., Kang S. J., Barton, K., Adair, K., Mukhopadhyay, D. K., Lee, C. Y., Strano, M. S., Alleyne, A. G., Georgiadis, J. G., Ferreira, P. M., Rogers, J. A. (2007). High-resolution electro hydrodynamic jet printing. *Nature materials*. 6(10), 782-789.
- Park, T. J., Lee, S. Y., Park, J. P., Yang, K. S., Lee, K.; Ko, S., Park, J. B., Kim, T., Kim, S. K., Shin, Y. B., Chung, B. H., Ku, S., Kim, D.H., Choi, I. S. (2006). Protein nanopatterns and biosensors using gold binding polypeptide as a fusion partner. *Analytical Chemistry*. 78(20), 7197-7205
- Wang L., Lei, L. X.F. Ni, J. Shi, Y. Chen. (2009). Patterning bio-molecules for cell attachment at single cell levels in PDMS microfluidic chips. *Microelectronic Engineering*, 86(4-6), 1462-1464
- Chong E. S. (2014). "Viable Organism Particle Patterning By Electro spray System and Its Application for Alcohol Fermentation Process, *Konkuk University Master Thesis*.

List of Table and Figures

Table 1. Diameter of patterns of droplets and Distance between patterns of Droplet. (Experimental Conditions : 20Hz, 1.0 kV, 10 mm/s)

Fig. 1. A schematic diagram of the experimental setup
 Fig. 2. Patterns of nutrient broth droplets. The flow rate of the electro spray system were (A) 10 μ L/h, (B) 20 μ L/h, (C) 30 μ L/h. Scale bars are 50 μ m respectively.