

# Fly back 현상을 줄이기 위한 EHD 노즐 설계 EHD nozzle with extractor for prevent fly back phenomenon

\*최재영<sup>1</sup>, 김영재<sup>1,2</sup>, 김도형<sup>1</sup>, 황정호<sup>1</sup>, #김용준<sup>1</sup>

\*J. Y. Choi<sup>1</sup>, Y. J. Kim<sup>1,2</sup>, D. H. Kim<sup>1</sup>, J. H. Hwang<sup>1</sup>, #Y. J. Kim (yjk@yonsei.ac.kr)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 연세대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 삼성전기 중앙연구소

Key words : Electrohydrodynamic, Fly back phenomenon, Jet breakup, Multi-nozzle

## 1. 서론

기존의 반도체 공정은 고가의 포토 마스크와 노광기, 포토레지스트, 재료의 사용 효율이 낮은 스퍼터링과 같은 공정을 요구한다. 지난 수년간의 공정혁신은 이러한 공정에 있어서 원가절감의 한계에 달하였다. 또한 공정 중 산과 같은 화학약품 사용으로 환경적 문제까지 대두되고 있다. 이에 반도체 공정을 대신하여 수 마이크로에서 나노 크기의 미세패턴을 형성 가능한 직접쓰기기술(direct write technology)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 직접쓰기 기술은 직접적인 잉크의 증착을 통하여 패턴이나 구조물을 얻을 수 있어서 재료의 낭비가 적고 생산가격의 절감, 빠른 생산속도, 친환경적인 공정이 가능하다[1]. 또한 분무를 통해 패턴을 얻기 때문에 2, 3 차원의 구조가 가능하고 대면적화에 유리하다. 직접 쓰기 기술 중 가장 대표적인 잉크젯 프린팅 기술의 장점은 50pL 보다 작은 액적(1-20pL)을 원바이원(one-by-one)의 형성 방법으로 생성하는데 있다. 그러나 이러한 잉크젯 프린팅은 토출되는 액적의 크기가 노즐 크기의 1.89 배이기 때문에 만약 10um 의 선 폭을 제작해야 할 경우 5.3um 미만의 노즐이 필요하게 된다. 미세한 노즐을 사용하여 기능성 나노파티클 파우더, 액체, 분산제 등으로 구성되어있는 기능성 나노콜로이드 (nanocolloid) 용액을 쓸 경우 노즐의 막힘 현상이 일어나게 된다. 또한 노즐의 폭이 좁을 수록 노즐의 생산성이 떨어지게 된다. 이러한 문제를 극복하기 위해 전기수력학 젯 프린팅 기술이 활발히 연구 중이며 이는 전기적인 힘을 추가로 사용하기 때문에 토출되는 젯의 직경이 노즐 직경의 1/20 정도로 비교적 큰 노즐이 사용 가능하다.

전기수력학 프린팅은 전기장 형성을 위해 접지전극이 필요하다. 접지전극이 프린팅 하고자 하는 기판 아래에 위치할 경우 젯이 토출된 이후에도 전기장에 의한 가속이 계속 생겨 인쇄선 단면이 요철 모양과 같이 되는 등 인쇄품질이 좋지 못하다. 또한 기판에 의해 전기장이 영향을 받기 때문에 한계가 있다. 반면 접지전극이 노즐과 기판 사이에 위치할 때 이를 추출장치(extractor)라고 부르고 전자에 비해 인쇄품질이 우수하고 기판에 영향을 받지 않는 프린팅이 가능하다. 하지만 추출장치를 통과한 젯은 액적 분열점에서 분열이 일어나고 고전압으로 대전된 미세 액적들은 상대적으로 낮은 전위를 가지고 있는 추출장치와 노즐 기판으로 거꾸로 올라오는 현상(fly back)이 일어나게 된다. 이는 지속적이고 안정적인 프린팅을 어렵게 하는 문제를 야기한다. 이러한 문제를 위해 기판 아래에 추출장치 이외의 접지전극을 추가하여 젯을 토출시키는 연구가 있었다[3]. 하지만 이는 추출장치를 사용하여 얻는 장점을 상쇄한다는 단점이 있다.

이에 본 연구에서는 추출장치(extractor) 및 반발을 위한 전극(repulsion electrode)를 포함한 PCB 기반의 멀티 노즐을 제작하였다. 이는 인쇄품질을 높이고 노즐을 일체화하면서 인쇄하고자 하는 기판에 영향 받지 않는 프린팅이 가능하다. 또한 추출장치 아래에 반발을 위한 추가의 전극을 설치하여 대전된 미세 입자에 반발력 주어 플라이백 현상을 줄일 수 있었다.

## 2. 전기수력학의 원리 및 분열(jet breakup)

전기 전도성을 가지는 용액이 전기가 흐를 수 있는 노즐을 통과할 때 노즐에 양 고전압(positive high voltage)을 인가하면 액체 속에 용해되어 있던 음이온들은 인력을 받아 노즐 쪽으로 이동하게 된다. 반대로 양이온들은 반발력을 받아 노즐 팁에 맺혀있는 메니스커스로 이동하게 된다. 이러한 현상을 전하분리현상이라고 하며 이러한 현상이 일어나는 과정을 전기적 영동기구 (electrophoretic mechanism)라고 한다. 전압을 증가시키게 되면 액체표면에 작용하는 전기력과 양이온들의 반발력이 액체의 표면장력보다 커지게 되어 젯이 토출된다.[4] 이때 액체의 모양이 콘(cone) 형태를 갖게 되는데 이를 테일러 콘(Taylor cone)이라 한다. 토출된 젯은 추출장치를 통과하면서 노즐과 접지전극 사이에 인가된 포텐셜 전기장과 유체의 상호작용에 의해 액체 분산 현상이 일어난다. 메니스커스 에서부터 분열점까지의 거리는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다[5].

$$l_j = \frac{u}{w} \ln \left( \frac{a}{2\delta_0} \right)$$

여기서 Q는 액체의 유량, a<sub>j</sub>는 젯의 직경, γ는 액체의 표면장력, μ는 액체의 점도, ρ는 액체의 밀도, K는 액체의 도전율,  $u = \frac{4Q}{\pi d_j^2}$ ,  $w = \frac{\gamma}{3\mu d_j}$ ,  $\delta_0 = 0.001d_j$ ,  $a = \pi^{-2/3} Q^{1/2} \left( \frac{\rho \epsilon_0}{\gamma K} \right)^{1/6} f_b$  을 뜻한다.

## 3. 노즐의 설계 및 제작

노즐은 앞서 언급한 액적 분열 위치를 기반으로 설계되었다. 반발력을 위한 전극은 액적 분열 위치보다 위에 위치한다. 그림 1은 설계된 노즐의 개략도로 PCB 기반의 노즐은 상판(upper plate)과 하판(bottom plate)으로 구성되어 있다. 상판에는 노즐과 양전압을 인가할 수 있는 전극이 있다. 하판에는 윗면에는 전위차를 형성하기 위한 접지전극 역할을 하는 추출장치(extractor)를 포함하고 있고 아랫면에는 분열된 미세 입자에 반발력을 주기 위한 전극을 제작하였다. 노즐은 상용 PCB 공정 기술로 제작 되었으며 비전도성 물질을 사용하기 때문에 인가 전압을 낮출 수 있다는

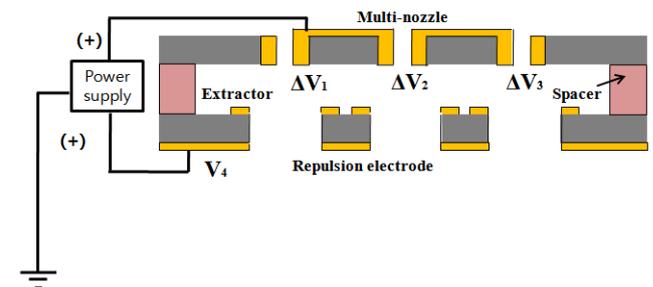


Fig. 1 Schematic of nozzle with repulsion electrode

장점이 있다[6]. 그림 2,3 과 같이 노즐의 직경은 120  $\mu\text{m}$  이고, 토출장치의 직경은 1.5mm 이다. 반발을 위한 전극은 성능을 극대화 시키기 위해서 토출장치 뒷면 전체에 제작하였다. 노즐과 토출장치의 간격은 1.4mm 로 하여 실험을 진행하였다.

#### 4. 실험장치 및 결과

실험장치는 크게 액체공급 장치, 가시화 장치, 전기공급 장치, 기관을 이송시키는 정밀이동 장치로 구성된다. 노즐과 추출장치는 전기 공급 장치(HV-Rack, Ultravolt Inc.)와 연결된다. 토출과정과 액적분열 현상은 초고속 카메라(Motion Pro HS-4, Redlake Inc.)를 이용하여 모니터링 하였으며 플라이백 현상은 디지털 카메라를 이용하여 확인하였다. 젯을 토출하기 위한 잉크로 에틸렌글리콜 (Ethylene glycol)을 사용하였고 시린지 펌프(kds-100, KD Scientific Inc.)를 이용해 일정한 유량을 노즐에 공급하였다.

실험은 일정한 노즐에 일정한 전압과 액체의 유량을 고정한 후 플라이백 현상을 막기 위한 전극에 양전압을 인가하여 미세 액적의 움직임을 관찰하였다. 0.7 kV의 전압을 인가하였을 때 미세 액적은 플라이백 현상 없이 기관으로 인쇄되는 것을 확인하였다. 그림 4 는 0.7 kV의 전압을 인가하기 전과 후의 사진이다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 토출장치를 사용한 PCB 기반의 노즐에서 플라이백 현상을 줄이기 위해 추가의 전극을 사용하였다. 추가의 전극에 일정한 양전압을 인가하여 플라이백 현상을 줄일 수 있었다. 이는 안정된 전기수력학 프린팅이 가능하게 하고 노즐을 일체화 시킬 수 있었다. 또한

#### 후기

본 연구는 신, 재생에너지기술개발사업(2008-N-PV08-P-06-0-000)의 일환으로 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

1. Douglas B. Chrisey, "MATERIAL PROCESSING : The Power of Direct Writing", Science, **289**, 879~881, 2000.
2. Weiwei Deng, James F. Klemic, Xiaohui Li, Mark A. Reed, Alessandro Gomez, "Increase of electro spray throughput using multiplexed microfabricated sources for the scalable generation of monodisperse droplets", Journal of Aerosol Science, **37**, 696~714, 2006
3. R. Bocanegra, D. Galan, M. Marquez, I.G. Loscertales, A. Barrero, "Multiple electro sprays emitted from an array of holes", Journal of Aerosol Science, **36**, 1387~1399, 2005.
4. 김경태, Marie-Helene Duby, Weiwei Deng, Tommaso Gomez, "흡노즐을 이용한 고유량 정전분무 특성 연구", 대한기 계학회논문집 B, **31(10)**, 848~854, 2007.
5. H. F. Poon, Electrohydrodynamic Printing, Ph.D. thesis, Princeton University, 2002.
6. H. Park, K. Kim, and S. Kim, "Effect of a guard plate on the characteristics of an electro spray in the cone-jet mode", Journal of Aerosol Science, **35**, 1295~1312, 2004.

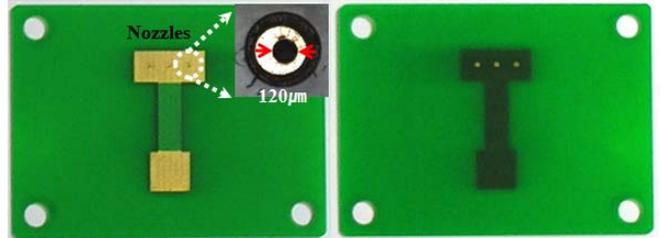


Fig. 2 Optical photograph of nozzle (upside and back side)

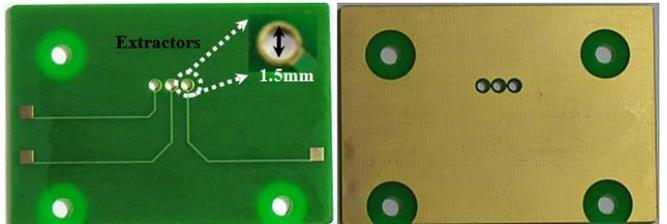


Fig. 3 Optical photograph of nozzle with repulsion electrode (upside and back side)

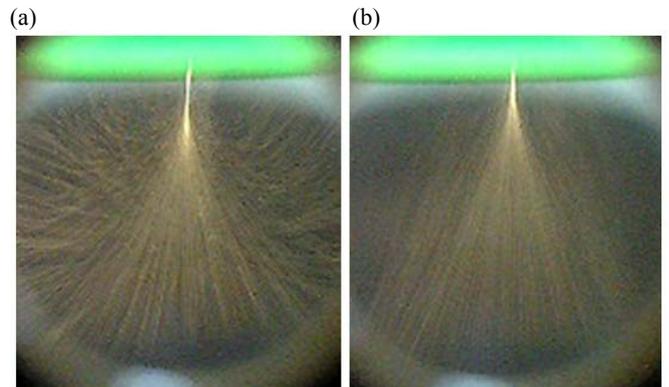


Fig. 4 Optical photograph showing the reduction fly-back effect on the electro spraying process: (a) without the repulsion electrode, (b) with the repulsion electrode to which the electric potential of 0.7 kV was applied.