

Electrostatic Field Induced Inkjet Head 개발을 위한 Drop-On-Demand 토출 및 MEMS 공정에 관한 연구

The Investigation of Drop-On-Demand Ejection and MEMS Fabrication for Electrostatic Field Induced Inkjet Head

최재용¹, 손상욱¹, 김용재², Vu Dat Nguyen³, Si Bui Quang Tran³, #이석한¹, *변도영³, 고한서²
J. Y. Choi¹, S. U. Son¹, Y. J. Kim², V. D. Nguyen³, B. Q. Tran³, #S. H. Lee(lsh@ece.skku.ac.kr)¹, *D. Y. Byun³, H. S. Ko²
¹성균관대학교 전자전기컴퓨터공학부, ²성균관대학교 기계공학부, ³건국대학교 항공우주공학과

Key words : Electrostatic induced inkjet head, Micro-dripping mode, Drop-on-demand, MEMS, Printing

1. 서론

비 접촉식 방식으로 원하는 영역에 선택적으로 패터닝을 할 수 있는 잉크젯 프린팅 기술은 현 공정 상에서 발생하는 많은 유해 물질과 복잡한 공정 과정을 줄일 수 있으며, 3 차원 구조체 상의 패터닝 및 제작이 가능한 장점으로 인해 디스플레이 분야, 바이오 분야 및 MEMS 분야에서 많은 주목을 받고 있다^[1]. 이러한 잉크젯 프린팅 기술은 마이크로 액적의 토출 및 그 현상에 관한 많은 연구를 바탕으로 발전되어 왔으며, 열 기포 방식 잉크젯 프린터 헤드, 압전 효과를 이용한 피에조 잉크젯 프린터 헤드 등이 현재 가장 일반적인 잉크젯 프린터 헤드이다^[2]. 그러나 최근 위의 프린터 헤드보다 좀 더 미세한 액적 토출 및 패터닝이 가능하고, 잉크 특성의 제한이 적다는 장점을 가지는 전기수력학을 이용한 정전기장 방식의 잉크젯 헤드 기술에 대한 연구가 많이 진행되고 있다^[3].

전기수력학은 노즐 상에 정전기장을 가하여 메니스커스를 형성하여 마이크로 액적 및 가는 실 모양의 spray 를 토출시키는 원리이며, 액적 분리 및 형성의 주요 형태로는 10 가지 정도로 압축된다^[4]. 이 중 cone-jet mode 는 전기수력학의 가장 큰 응용 분야인 electro-spray 현상의 가장 기초적인 모델로 많은 연구^[5]가 진행되어 있으며, 그로 인해 현재의 전기수력학 잉크젯 프린팅 기술도 cone-jet mode 로의 토출에 대한 연구에 치중되어 있다. 하지만 가는 실 모양의 액적을 연속적으로 토출시키는 cone-jet mode 는 원하는 시간과 장소에 하나의 액적을 토출해야 하는 drop-on-demand (이하 DOD) 특성을 보이기 매우 어렵다.

따라서 본 논문은 고유의 정전기장 유도된 잉크젯 프린터 헤드를 제작하여, 하나의 액적을 분리 및 토출이 가능한 micro-dripping mode 에 대한 연구 및 이 방식을 이용하여 DOD 특성을 갖는 액적 토출을 보인다. 이를 위해 먼저 일반적인 전기수력학 실험 방법인 capillary tube 을 이용하여 micro-dripping mode 로의 토출 및 DOD 특성을 보았다. 또한 산업적 응용 가능성 및 적용을 판단하기 위해 실리콘 웨이퍼를 기반으로 한 MEMS 공정 기술을 이용하여 MEMS 잉크젯 프린터 헤드를 제작한 후, 위의 capillary tube 실험결과를 접목하여 micro-dripping mode 의 액적 분리 및 토출, DOD 특성을 연구하였다. 그리고 이러한 DOD 특성을 보기 위해 중수(D₂O), 계면활성제(SDS), SWNT(Single Walled Carbon Nanotube)가 혼합된 CNT 잉크를 사용하였다.

2. Assembly capillary inkjet head 를 이용한 실험

정전기장 유도된 잉크젯 프린터 헤드의 micro-dripping mode 로의 토출 및 DOD 특성을 보기 위해 외경이 170 μm 인 glass capillary tube 안에 백금 선을 넣어 ground 를 설정하고, 테플론 튜브와 본딩하여, fluidic system 을 제작하였다. 또한 그림 1(c)와 같이 전극을 제작한 후, fluidic system 과 전극의 동시 제어 및 가시화 측정의 용이함을 위해, 그림 1(b)와 같이 아크릴 가공을 통해 만든 특수 지그에 본딩하여 assembly capillary inkjet head system 을 구성하였다. 그리고 제

작된 시스템을 마이크로 실린지 펌프에 연결하여 CNT 잉크의 유량을 제어하여 공급 하였으며, 전극과 ground 를 고전압 펄스 발생장치에 연결하여 원하는 DC 전압 및 구형파를 인가 하였다. 또한 액적 토출의 DOD 특성 가시화를 위해 마이크로 줌렌즈를 장착한 고속카메라를 사용하여, 그림 1(a)의 실험 장치를 구성하였다.

정전기장 유도된 잉크젯 헤드는 인가된 전압에 의한 메니스커스의 변화에 의해 액적 토출이 결정된다. 따라서 DC 전압 토출 실험을 우선적으로 수행하여, CNT 잉크의 메니스커스 형성 및 유지를 위한 전압과 메니스커스에서 미세 액적을 뜯어내어 토출시키는 전압을 알아보았다. 그 결과, CNT 잉크는 1.4 kV 에서 1.5kV 사이에서 액적이 토출되었고, 1.5 kV 이상에서 dripping mode 가 나타났다. 그리고 그림 2(a)에서 보듯이, 2.0 kV 이상에서 노즐보다 작은 크기의 미세 액적과 높은 제팅 주파수를 갖는 micro-dripping mode 가 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로, CNT 잉크의 정전기장 유도된 잉크젯 헤드에서의 DOD 특성을 보기 위해, 유량이 0.1 μl/min 에서, 바이어스 전압과 펄스 전압을 각각 1.4 kV, 1.1 kV 로 설정하고 0.5 kHz 주파수와 duty time 0.2 ms 의 값의 구형 파를 입력하였다. 그 결과 그림 2(b)와 같이 펄스 전압이 인가될 시에만 액적을 토출시킬 수 있는 DOD 특성이 나타났다. 또한 액적이 토출될 시의 전압이 바이어스 전압과 펄스 전압의 합인 2.5 kV 이므로, DC 전압 2.5 kV 을 인가한 경우와 마찬가지로 매우 작은 크기의 액적을 얻을 수 있었다.

3. MEMS 잉크젯 헤드를 이용한 실험

MEMS 공정으로 제작된 정전기장 유도된 잉크젯 헤드는 그림 3(a)와 같이 제작되며, 그림 3(b)는 완성된 잉크젯 헤드의 SEM 이미지이다

이렇게 제작된 MEMS 잉크젯 헤드는 그림 3(c)와 같이 제어전극을 포함한 부분과 튜브 형상의 노즐을 지닌 ground, 전극 부분으로 이루어지게 되고, 공급되는 액체는 모세관효과에 의해 튜브형태의 노즐까지 도달하여 유도된 정전기장에 의해 볼록한 형상의 메니스커스가 형성되며, 전기적 신호에 의해 drop-on-demand 방식으로 토출된다. 튜브형태의 노즐은 특별한 표면 처리 없이, 볼록한 형상의 메니스커스를 형성할 수 있도록 하며, 노즐을 주위의 다른 표면에 비해 더 높게 설계함으로써, 튜브 주위의 정전기력이 더 강하게 형성될 수 있도록 하였다.

제작된 MEMS 잉크젯 헤드는 그림 3(d)와 같이 시스템을 구성하였고, 위의 assembly capillary inkjet head system 의 DOD 결과를 바탕으로 실험을 수행하였다.

위의 결과에서 micro dripping mode 는 특정한 인가전압과 액체유량 상태에서 나타남을 알 수 있었고, 특히 DOD 특성이 나타나기 위해서는 바이어스 전압 및 펄스 전압의 설정이 매우 중요하였다. 또한 인가 구형 파의 조건(주파수 및 duty time)에 따라 DOD 특성이 나타났다. 이러한 조건 및 결과를 바탕으로 노즐의 외경과 내경이 각각 50 μm, 20 μm 이며 노즐 높이가 50 μm 로 제작된 MEMS 잉크젯 헤

드로 DOD 실험을 수행한 결과, 그림 4 와 같이 입력한 구형 파의 주파수와 같은 주기로 액적이 토출되는 DOD 특성이 나타났다. 이 실험에서 헤드 노즐 면의 끝 단과 제어 전극 사이의 거리는 800 μm , 주입되는 잉크의 액체유량은 0.1 $\mu\text{l}/\text{min}$ 로 일정하게 유지하였으며, 바이어스 전압 1.4 kV, 펄스 전압 1.1 kV, duty time 0.2 ms, 주파수가 0.5 kHz 인 구형 파를 인가하였다.

따라서 동일한 잉크를 사용할 경우, 위의 assembly capillary inkjet head system 의 조건 및 결과와 마찬가지로 바이어스 전압상태에서 메니스커스가 형성, 유지되며 펄스 전압이 인가 되었을 때 입력 주파수 신호마다 주기적으로 토출이 이루어짐을 볼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 일체형 잉크젯 헤드 시스템을 제작하고자, assembly capillary inkjet head system 을 구성하여 DOD 특성 실험을 수행하였다. 실험 결과 CNT 잉크의 메니스커스 형성 및 유지를 위한 바이어스 전압과 메니스커스에서 액적을 뜯어내는 펄스 전압의 중요함을 확인하였으며, 본 연구에서는 1.4 kV 의 바이어스 전압과 펄스 전압 1.1 kV 에서 가장 좋은 특성을 보였음을 확인하였다. 이러한 조건을 바탕으로 주파수 및 duty time 등의 입력 신호를 조절하여 원하는 구형 파를 만들어 본 잉크젯 헤드 시스템에 입력하면, 원하는 시간에 액적을 토출시킬 수 있는 DOD 특성이 나타났으며, DC 전압을 인가한 실험 결과와 마찬가지로 매우 작은 액적이 토출되었다.

또한 MEMS 공정을 이용하여, 노즐 크기가 50 μm 인 잉크젯 헤드 device 를 제작하여, 위와 동일한 조건을 입력하였다. 그 결과, 정전기장 유도된 MEMS 잉크젯 헤드에서도 원하는 주파수 및 주기로 액적이 토출되는 DOD 특성이 나타났으며, 이는 MEMS 공정으로 제작된 잉크젯 헤드 시스템도 미세 액적의 DOD 토출이 가능하다는 점에서 의미가 있다.

따라서 향후 많은 실험을 통해 신뢰성이 확보 된다면, 산업용 잉크젯 프린터 시장에 본 잉크젯 헤드 시스템의 적용이 가능하리라 기대 된다.

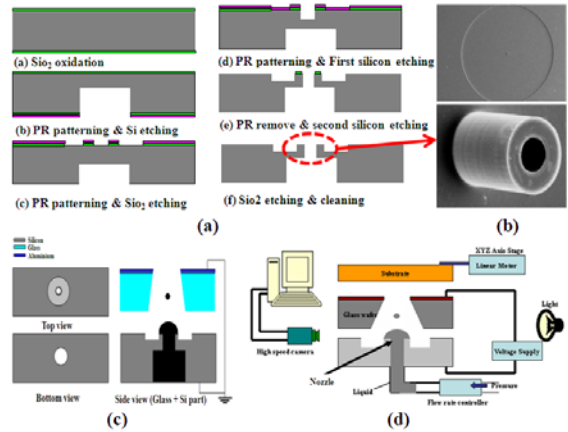


Fig. 3 Electrostatic field induced MEMS inkjet head (a) the fabrication procedure, (b) the SEM images, (c) the schematic illustration and (d) experiment set-up

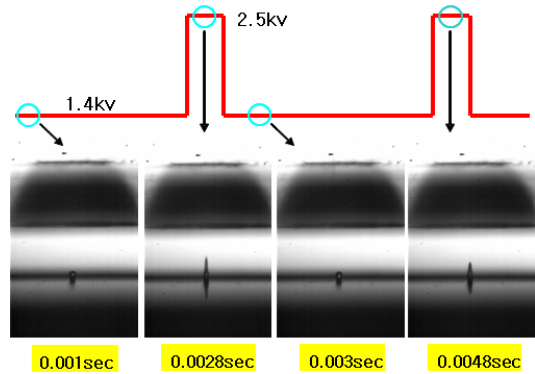


Fig. 4 The jetting images of drop-on-demand result using CNT ink; 0.5 kHz, 0.1 $\mu\text{l}/\text{min}$

후기

본 연구는 서울시 전략산업혁신클러스터 육성 사업과 산업 기술연구회 전문화연구사업(COE)의 연구비 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

1. Jin-Won Song, Joondong Kim, Yeo-Hwan Yoon, Byung-Sam Choi, Jae-Ho Kim and Chang-Soo Han, "Inkjet printing of single-walled carbon nanotubes and electrical characterization of the line pattern", Nanotechnology, Vol. 19, 095702, 2008.
2. Hue P. Le, "Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology", Journal of Imaging Science and Technology, Vol. 42, pp. 49-62, 1998.
3. Jang-Ung Park and John A. Rogers, "High-resolution electrohydrodynamic jet printing", Nature Materials, Vol. 6, pp. 782-789, 2007.
4. A. Jaworek and A. Krupa, "Classification of the modes of EHD spraying", J. Aerosol Sci., Vol. 30, pp. 873-893, 1999.
5. Sukhan Lee, Doyoung Byun, Daewon Jung, Jaeyong Choi, Yongjae Kim, Ji Hye Yang, Sang Uk Son, Si Bui Quang Tran and Han Seo Ko, " Pole-type ground electrode in nozzle for electrostatic field induced drop-on-demand inkjet head", Sensors and Actuators A, Vol. 141, pp. 506-514, 2008.

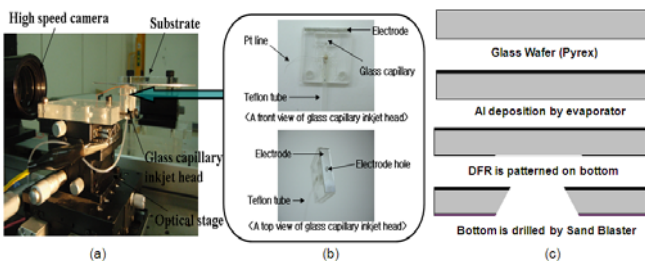


Fig. 1 Schematic and photographs of (a) experiment set-up, (b) assembly glass capillary inkjet head and (c) the fabrication procedure of electrode

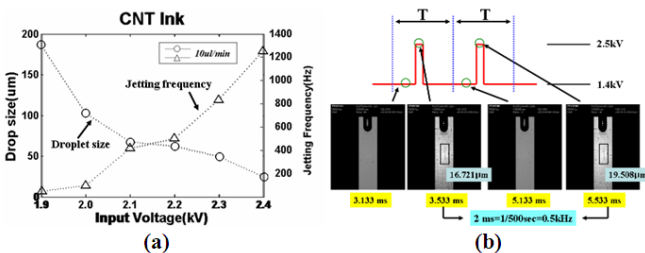


Fig. 2 (a) the jetting image and graph at supplied 1.9 kV ~ 2.4 kV, the jetting images of drop-on-demand result using CNT ink; (b) 0.5 kHz, 0.1 $\mu\text{l}/\text{min}$ and (c) 1.0 kHz, 0.1 $\mu\text{l}/\text{min}$