

EHD 원리를 이용한 정전기장 유도 잉크젯 프린터 헤드의 마이크로 Drop-on-Demand 제팅 성능 연구

최재용* · 김용재† · 손상욱* · 안기철* · 이석한* · 고한서** · Vu Dat Nguyen*** · 변도영***

Key Words : electrostatic induced inkjet printer head(정전기장 유도 잉크젯 프린터 헤드), drop-on-demand(드랍온디맨드), EHD(전기수력학)

Abstract

Printing technology is a very useful method in the several process of industrial fabrication due to non-contact and fast pattern generation. To make micro pattern, we investigate the electrostatic induced inkjet printer head for micro droplet generation and drop-on-demand jetting. In order to achieve the drop-on-demand micro droplet ejection by the electrostatic induced inkjet printer head, the pulsed DC voltage is supplied. In order to find optimal pulse conditions, we tested jetting performance for various bias and pulse voltages for drop-on-demand ejection. In this result, we have successful drop-on-demand operation and micro patterning. Therefore, our novel electrostatic induced inkjet head printing system will be applied industrial area comparing conventional printing technology.

1. 서 론

마이크로/나노 기기에서 유체의 유동을 제어하여 원하는 위치에 원하는 속도로 전달하거나, 유체로부터 액적을 분리/생성하여 이동 또는 분사시킬 수 있는 기술은 현재 유체와 관련된 마이크로/나노 기기에 있어 가장 주요한 연구 대상이다. 특히 이러한 마이크로/나노 유체 시스템이 MEMS/NEMS 기술과 결합하여, 많은 응용 제품과 신 시장을 창출할 수 있을 것이라는 기대감으로 인해 이 분야를 산업 분야에 응용시키고자 하는 많은 연구가 진행 중이다(1).

그 중 비 접촉식 방식으로 원하는 영역에 선택적으로 패터닝을 할 수 있는 잉크젯 프린팅 기술은 제팅된 마이크로/나노 크기의 액적을 이용하여, 복잡한 프로세스를 요구하는 종래의 광학 lithography 기반 패터닝 방식과 달리 단순한 프로세스를 요구하는 비 접촉식 3D 프린팅 기반

패터닝 방식으로 대 면적 패터닝을 가능하게 하는 저가의 기술이다. 또한 현 공정 상에서 발생하는 많은 유해 물질과 복잡한 공정 과정을 줄일 수 있어, LCD, OLED, PDP 등 디스플레이, PCB, RFID, micro 적층 안테나, micro lens 등 전자재료 프린팅 분야와 각종 micro/nano sensor, bio chip, 생물 세포 배양 등 응용 범위가 점차 확대되고 있으며, 산업적 중요성도 점차 커지고 있다(2).

잉크젯 프린팅 기술은 마이크로 액적의 토출 및 그 현상에 관한 많은 연구를 바탕으로 발전되어 왔으며, 최근에 메니스커스(meniscus)에 인가된 전기적, 물리적 힘에 의해 메니스커스를 잡아당겨 액적을 형성시키는 물리적 공정인 전기수력학(EHD) 방법에 기인한 프린팅 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(3). 이러한 전기수력학은 EHD 스프레이 실험을 통해 액적 분리/형성의 주요 형태가 대략 10 가지 정도로 압축된다(4). 그 중 본 논문에서는 Drop-on-Demand(이하 DOD) 특성을 갖는 액적의 분리 및 형성을 위해 드리핑 모드와 마이크로 드리핑 모드 현상에 초점을 맞추었다. 우선 드리핑 모드의 경우, 액적을 토출시킬 수 있는 전압 범위를 갖지만 제팅 주파수가 매우 낮고, 매우 큰 메니스커스가 되어야 액적을 토출시킬 수 있으므로, 드리핑 모드의 특정 전압 범위를

† 회원, 성균관대학교 기계공학부
E-mail : warriorkim@skku.edu
TEL : (031)290-7475 FAX : (031)299-6467

* 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학부

** 성균관대학교 기계공학부

*** 건국대학교 항공우주정보시스템공학과

메니스커스를 안정시킬 수 있는 바이어스 전압으로 설정하였다. 또한 매우 미세한 단일 액적을 토출하고, 높은 제팅 주파수를 갖는 마이크로 드리핑 모드의 특정 전압 범위를 펄스 전압으로 설정하여, 안정된 미세 액적 분리 현상을 관찰하였다.

따라서 본 연구팀에서 제안한 고유의 정전기장 유도 잉크젯 프린터 헤드(5)에 기반하여, EHD 원리 중 드리핑 모드와 마이크로 드리핑 모드를 이용하여 원하는 시간과 장소에 하나의 액적을 분리 및 형성하는 DOD 특성을 본 논문에서는 기술한다. 이를 위해 정전기장 유도 잉크젯 프린터 헤드에 사용하는 잉크를 다양하게 구성하여, 미세 액적을 토출시킬 수 있는 마이크로 드리핑 모드로의 제팅이 이루어짐을 보는 동시에 바이어스 전압 및 펄스 전압, 주파수 등을 입력한 구형 파의 조건을 갖는 DOD 특성을 보았다.

2. 실험 장치

정전기장 유도 잉크젯 헤드의 DOD 특성을 규명하기 위해, 그림 1 (a)와 같이 실험 장치를 구성하였다. 액적 토출의 DOD 특성 가시화를 위해 마이크로 줌 렌즈를 장착하고 125x512 해상도에서 초당 최대 1500 장을 촬영할 수 있는 고속 카메라를 이용하였다. 고속카메라는 컴퓨터에 USB 로 연결되어, 해당 소프트웨어를 통해 영상을 고속카메라 메모리 (4GB)에 임시로 저장한 다음 데이터 선별작업을 거쳐 컴퓨터 하드디스크로 최종 저장하게 된다. 사용된 고전압 펄스 발생장치는 전압 3 kV 에서 주파수 1 kHz 의 안정된 파형을 제공할 수 있으며, 마이크로 펌프를 통해 유량을 조절하여 노즐로 잉크를 공급하였다.

그림 1 (a)의 검은색 원으로 표시된 부분이 정전기장 유도 잉크젯 프린터 헤드로써, 그 모식도는 그림 1 (b)와 같다. 100 μ m X 170 μ m 인 glass capillary tube 을 노즐로 구성한 후, 50 μ m 금속 선을 넣어 하나의 전극을 설정하고, Teflon tube 와의 epoxy bonding 을 하여 fluidic system 으로 제작하였다. 또한 glass wafer 에 Al 증착 후, sanding 방식으로 1 mm ~ 2.5 mm 크기의 구멍을 뚫어 다른 하나의 전극을 구성하였다. 이렇게 제작된 두 개의 전극 중 하나는 접지에 연결하고, 다른 하나에는 전압을 인가하여 정전기장 유도 잉크젯 프린터 헤드를 구성하였다. 그리고 fluidic system 과 전극을 동시에 제어하기 힘든 점을 극복하고자, 아크릴

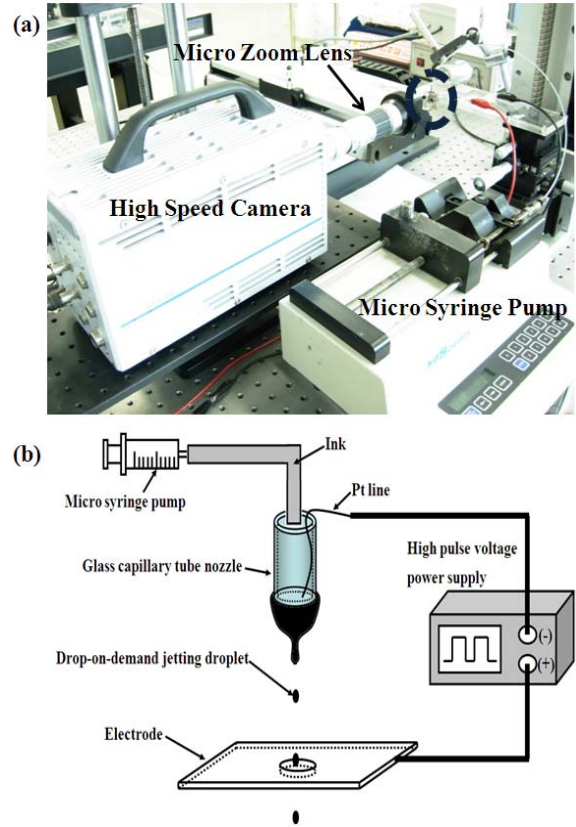


Fig. 1 (a) The photograph of experimental set-up, (b) the schematic of electrostatic induced inkjet printer head

가공을 통해 만든 특수 지그에 이 둘을 조립하여 실험의 편의성을 도모하고자 하였다.

이렇게 제작된 정전기장 유도 잉크젯 헤드를 본 연구팀에서는 assembly capillary inkjet head 라 명명하고, 이를 정전기장 유도 잉크젯 헤드의 DOD 성능 규명을 위해 사용하였다.

3. 실험 결과

각기 다른 잉크에서의 DOD 성능 규명을 위해서 DI water 에 SDS(sodium dodecyl sulfate) 5wt%를 섞은 잉크와 현재 OA 잉크젯에서 사용되고 있는 solvent-based 잉크(K300), PCB 배선용으로 만들어진 conductive nano silver 잉크(TEC-IO10) 로 실험을 하였다.

정전기장 유도 잉크젯 헤드는 EHD 원리에 기초하여 액적을 토출시키므로, 인가된 전압에 의한 메니스커스의 변화에 의해 액적 토출의 유무가 결정된다. 따라서 위에서 언급했듯이, 메니스커스를 안정시킬 수 있는 바이어스 전압과 메니스커스를 변화시켜 매우 빠른 시간에 안정된 액적을 분리시킬 수 있는 펄스 전압을 설정하는 것이 매우 중요

하다. 이러한 바이어스 전압 및 펄스 전압은 각각의 잉크마다 우선적으로 넓은 범위의 DC 전압을 인가하여, 드리핑 모드와 마이크로 드리핑 모드를 갖는 전압 범위를 찾은 후, 드리핑 모드가 나오는 전압 범위에서의 특정 전압을 바이어스 전압으로, 마이크로 드리핑 모드가 나오는 전압 범위에서의 특정 전압을 펄스 전압으로 설정하고, 이를 DOD 특성 규명을 위한 구형파 전압 조건으로 하였다.

그림 2 는 DI+SDS(5wt%)를 잉크로 사용하여 나타난 DOD 특성이다. DC 전압 실험 수행 후, 바이어스 전압과 펄스 전압을 각각 1.3 kV, 0.5 kV 으로 설정하고 duty time 이 400 us, 주파수 1 kHz 의 구형파를 입력한 결과 정확히 1 kHz 의 제팅 주파수를 갖는 DOD 특성이 나타났다. 또한 액적의 크기가 약 20 이하로, 매우 작은 액적이 토출되어 미세 패턴이 가능한 DOD 제팅 성능을 갖추었다.

그림 3 은 conductive nano silver 잉크에서의 DOD 특성을 나타내는 결과이다. 위의 실험과 마찬가지로 우선 DC 전압 실험 후, 바이어스 전압과 펄스

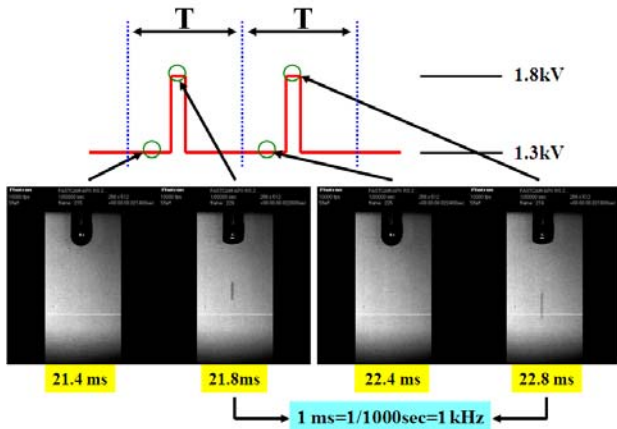


Fig. 2 The jetting images of drop-on-demand result using DI+SDS(5wt%) ink

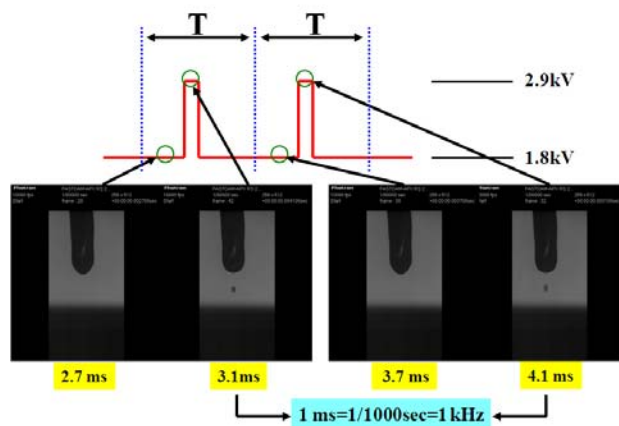


Fig. 3 The jetting images of drop-on-demand result using conductive nano silver ink

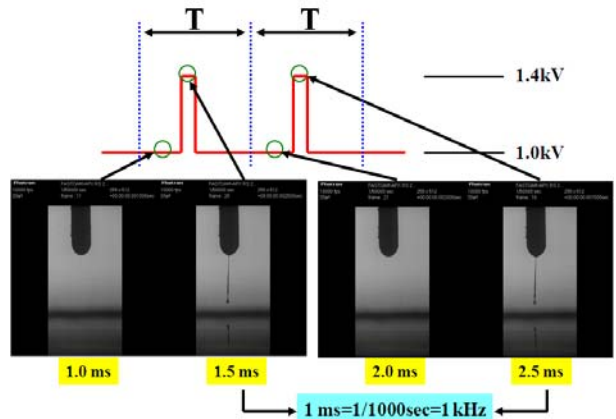


Fig. 4 The jetting images of drop-on-demand result using inkjet printer OA solvent-based ink

전압을 1.8 kV, 1.1 kV 으로 설정하였고, duty time 이 300 us, 주파수 1 kHz 의 구형파를 입력한 결과 제팅 주파수 1 kHz 를 갖는 DOD 특성이 나타났다. 그 때 토출되는 액적의 크기도 약 30 um 로, 미세한 액적이 토출 되었지만, 그림 2 의 결과보다 매우 높은 전압에서 비슷한 크기의 액적을 토출하였다. 하지만 입력한 구형파의 제팅 주파수와 동일한 제팅 주파수를 갖는 액적 토출 현상이 나타났고, 이 때 토출된 액적의 크기도 작으므로, conductive nano silver 잉크도 DOD 제팅 성능을 갖추었다.

그림 4 는 현재 OA 잉크젯에서 사용되고 있는 solvent-based 잉크의 DOD 특성 결과이다. 위의 실험결과와 마찬가지로 DC 전압 실험 후, 바이어스 전압 1.0 kV, 펄스 전압 0.4 kV 와 duty time 200 us, 주파수 1 kHz 의 구형파를 입력한 결과, 입력 조건과 같은 DOD 특성이 나타났다. 그러나 이번 잉크의 경우 하나의 액적이 형성되는 마이크로 드리핑 모드가 나타나지 않고, 액적 분리 시 메니스커스가 길게 늘어나는 현상이 관찰되었다. 이러한 현상은 위의 10 가지의 EHD 모드 중 스피들(spindle) 모드에 해당되는 것으로, 단일 액적이 아닌 긴 꼬리를 가지는 액적이 토출되므로, DOD 특성이 나타난다 하더라도 기판 위의 패턴링 결과에는 많은 영향을 끼치게 된다. 이러한 현상은 짧은 duty time 을 가지면서 액적 토출을 용이하게 하는 전압 파형을 입력하면, 마이크로 드리핑 모드로의 토출 특성이 나타날 것이라고 기대되지만, 고전압 펄스 발생 장치의 한계로 인해 추가 실험을 수행하지는 못하였다.

4. 결론

본 논문에서는 glass capillary tube 을 노즐로 사용하고, 하나의 전극은 접지에 다른 하나의 전극에는 전압을 인가하여, EHD 원리를 이용한 고유의

정전기장 유도 잉크젯 프린터 헤드의 DOD 특성을 보았다. 특히 다양한 잉크에서의 DOD 성능 평가를 위해 서로 다른 물성을 갖는 3 가지 잉크를 사용하여 실험을 수행하였다.

우선 DC 실험을 통해, 각 잉크의 메니스커스 형성 및 유지를 위한 바이어스 전압과 메니스커스에서 액적을 뜯어내는 펄스 전압을 설정 한 후, 해당 duty time 및 1 kHz 의 주파수를 갖는 구형파를 입력하여, DOD 특성이 나타남을 보았다. DI+SDS(5wt%) 잉크와 conductive nano silver 잉크의 경우, 인가한 구형파의 조건에서 미세 액적을 갖는 마이크로 드리핑 모드로의 DOD 제팅이 나타났다. 그러나 OA 용 잉크의 경우, 메니스커스에서 액적 분리 시 길게 늘어지는 스핀들 모드가 나타났다. 이 것은 잉크의 물성에 기인해 발생한 현상으로 생각되며, 전압 파형의 조정을 통해 마이크로 드리핑 모드에 가까운 액적 토출이 가능하리라 생각된다.

따라서 향후 잉크 물성에 대한 분석 및 여러 가지 모양의 파형 및 조건을 인가한 실험을 수행하여 높은 신뢰성이 확보 된다면, 다양한 잉크에서 단일 미세 액적을 토출시킬 수 있는 마이크로 드리핑 모드로의 DOD 제팅 특성을 볼 수 있으리라 기대된다.

후 기

본 연구는 서울시 전략산업혁신클러스터 육성 사업과 산업기술연구회 전문화 연구사업(COE)의 연구비 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

- (1) Chih-Ming Ho, 2001, "Fluidics - the Link between Micro and Nano Sciences and Technologies", *Proc. IEEE Int. Conf. MEMS*, pp. 375-384.
- (2) Jin-Won Song, Joondong Kim, Yeo-Hwan Yoon, Byung-Sam Choi, Jae-Ho Kim and Chang-Soo Han, 2008, "Inkjet printing of single-walled carbon nanotubes and electrical characterization of the line pattern", *Nanotechnology*, Vol. 19, 095702.
- (3) Sukhan Lee, Doyoung Byun, Daewon Jung, Jaeyong Choi, Yongjae Kim, Ji Hye Yang, Sang Uk Son, Si Bui Quang Tran and Han Seo Ko, 2008, " Pole-type ground electrode in nozzle for electrostatic field induced drop-on-demand inkjet head", *Sensors and Actuators A*, Vol. 141, pp. 506-514.
- (4) A. Jaworek and A. Krupa, 1998, "Classification of the modes of EHD spraying", *J. Aerosol Sci.*, Vol. 30, pp. 873-893.
- (5) Jaeyong Choi, Yong-Jae Kim, Sang Uk Son, Youngmin Kim, Sukhan Lee, Doyoung Byun and Han Seo Ko, 2007, "Pattern Characteristic by Electrostatic Drop-On-Demand Ink-jet Printing Using Capillary Inkjet Head System", *The proceeding of NSTI-Nanotech 2007*, pp. 403-406.