

정전기력 방식의 Drop-on-Demand 토출을 위한 MEMS 잉크젯헤드 제작

論 文
56-8-15

Fabrication of MEMS Inkjet Head for Drop-on-Demand Ejection of Electrostatic Force Method

孫 尙 郁* · 金 永 珉** · 崔 在 鎔*** · 李 錫 漢† · 高 漢 瑞§ · 金 容 載§§ · 邊 渡 泳§§§
(S. U. Son · Y. M. Kim · J. Y. Choi · S. H. Lee · H. S. Ko · Y. J. Kim · D. Y. Byun)

Abstract - This paper presents a novel electrostatic drop-on-demand ejector with a conductive pole inside nozzle. The MEMS fabricated pole-type nozzle shows a significant improvement in the performance and reliability of forming meniscus and generating a micro dripping mode of droplet out of the meniscus. It is verified experimentally that the use of the pole-type nozzle. The liquid is used D2O+SDS+SWNT (5 %wt). The gap between upper electrode and nozzle is about 600 μm . Electrostatic drop-on-demand ejection is observed when a DC voltage of 1.5 kV is applied between the control electrode and ground electrode. Droplet diameter is 100 μm .

Key Words : Electrostatic (정전기), Inkjet (잉크젯), Print Head (프린터헤드), Ejector (이젝터)

1. 서 론

최근 디스플레이 산업에서 잉크젯 프린터 기술이 크게 주목을 받고 있다. 잉크젯 프린팅 기술은 기존의 사진식각 공정을 대체할 수 있어, 재료비 절감, 공정 수 감소 등이 가능하며, 저온에서 직접적인 미세패턴 형성이 가능하므로, FPDS (flat panel displays), PCB, 센서, 바이오소자, 광학소자 등 많은 분야에서 적용이 가능하다 [1]. 상용화된 잉크젯 프린팅 기술은 열전사 방식과 피에조 방식이 대표적이다 [2]. 이러한 잉크젯 프린팅 기술은 기본적으로 액츄에이터를 사용하여 챔버 안에 잉크를 밀어내는 방식이다. 하지만, OA 프린팅 기술로서 성공적인 이러한 방식들은 산업용 프린팅 기술로서 사용하는 데는 많은 어려움을 갖고 있다. 열전사 방식의 경우 어레이배열 시 열 문제와 열기포로 인한 잉크변성이 발생할 수 있고, 피에조 방식의 경우 노즐의 반경이 작아지고 잉크의 점성이 높아질수록 더 강한 액츄에이터의 힘을 필요로 하게 되어 노즐의 밀도를 높이기가 매우 어렵다. 또한 이들 방식은 노즐의 반경보다 더 작은 액적(droplet)을 형성하기가 힘

들다 [2-4]. 반면에, 정전기력을 이용한 잉크젯 프린팅 기술은 기존의 상용화된 방식에 비해 많은 장점을 지니고 있다. 새로운 정전기력 방식의 잉크젯 헤드는, 챔버 안에 잉크를 밀어내는 방식이 아닌, 외부에서 인가된 정전기력을 이용하여 노즐의 방출구(orifice)에 형성된 메니스커스(meniscus)의 끝단(tip)에서 미세 액적을 뜯어내는 방식이다 [5]. 따라서 메니스커스의 끝단에서 뜯어내는 액적의 양을 정전장, 노즐의 형상, 잉크의 특성을 조절하여 정할 수 있으므로 노즐의 반경보다 작은 크기의 액적을 다양하게 토출(ejection)할 수 있다. 또한 직접 잉크에 전기장을 걸어주기 때문에 액적을 토출하기 위해 간접적인 액츄에이터 펌핑이 필요 없다 [5-7]. 본 논문에서는 MEMS 기술을 사용하여 튜브 형상의 노즐 내에 전도성 동축형 기둥 (conductive coaxial pole) 을 지닌 정전기력 방식의 DOD (drop-on-demand) 잉크젯 프린터 헤드를 제작하고 액적 토출 실험을 통해 특성을 분석하였다. 이러한 구조의 잉크젯 프린터 헤드를 간단히 Pole-type 정전형 잉크젯 헤드라고 하겠다.

2. 정전기력 방식의 잉크젯 헤드 설계

Pole-type 정전형 잉크젯 헤드는 그림 1에서 나타낸 바와 같이, 제어전극을 포함한 부분과 튜브 형상의 노즐 내부에 동축형의 기둥 형상을 지닌 접지 전극 부분으로 이루어져 있다. 이전의 연구에서 우리는 메니스커스의 중앙에 정전기장이 강하게 형성되는 노즐 형상이 미세 액적 토출에 있어 최적화된 구조임을 알았다 [8].

† 교신저자, 正 會 員 : 成均館大學 情報通信工學部 教授 · 工博
E-mail : lsh@ece.skku.ac.kr

* 悲 會 員 : 成均館大學 情報通信工學部 博士課程

** 正 會 員 : 成均館大學 智能시스템연구센터 研究教授 · 工博

*** 悲 會 員 : 成均館大學 情報通信工學部 碩士課程

§ 悲 會 員 : 成均館大學 機械工學部 教授 · 工博

§§ 悲 會 員 : 成均館大學 機械工學部 博士修了

§§§ 悲 會 員 : 建國大學 機械航空工學部 教授 · 工博

接受日字 : 2007年 6月 8日

最終完了 : 2007年 7月 11日

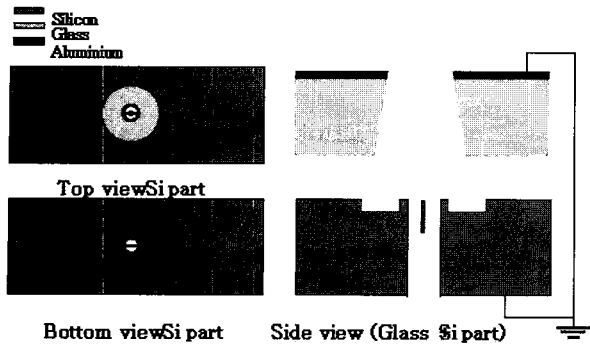
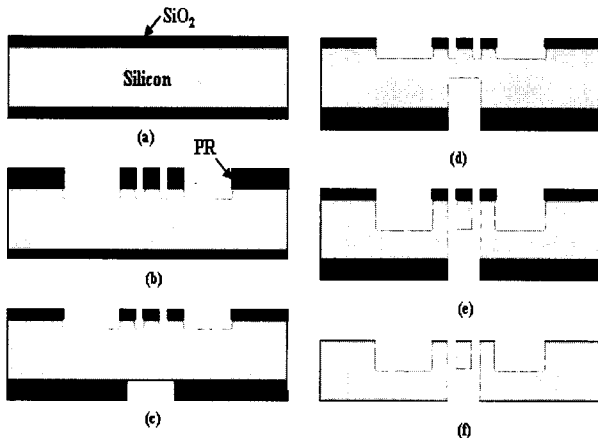


그림 1 튜브 형상 노즐내에 전도성 동축형 기둥을 지닌 정전 기력 방식의 drop-on-demand ejector의 개념도
 Fig. 1 Illustrations of electrostatic drop-on-demand ejector with a conductive pole in tube-shaped orifice

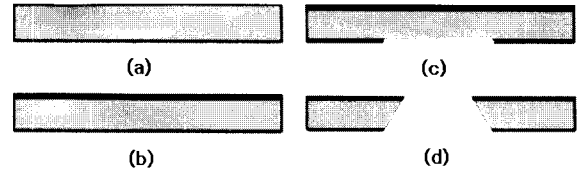
Pole-type의 접지 전극형상은 바다 접지 전극의 경우에 비해 더 강한 정전기장을 형성할 수 있다. 정전형 잉크젯 프린팅 기술에서는 초기의 메니스커스 형상을 안정적인 형태로 유지하는 것이 매우 중요하다. 튜브형태의 노즐은 특별한 표면 처리 없이, 볼록한(convex) 형상의 메니스커스를 형성할 수 있도록 한다. 또한, 노즐을 주위의 다른 표면에 비해 더 높게 설계함으로써, 튜브 주위의 정전기력이 더 강하게 형성될 수 있도록 하였다. 공급되는 액체는 모세관효과에 의해 튜브형태의 노즐까지 도달하고 볼록한 형상의 메니스커스가 형성되며, 유도된 정전기장에 의해 메니스커스에 전하가 충전되고 노즐 끝단에서 미세 액적이 형성, 토출, 가속된다.

3. 소자 제작

그림 2는 Pole-type 정전형 잉크젯 헤드의 공정 과정을 보여준다. 그림 2의 A에서 보는 바와 같이 노즐부분을 형성하기 위하여 양면 연마한 (100) p-형 실리콘 웨이퍼를 사용하였다.



A. Bottom part of conductive pole ground electrode surrounded by the tube-shaped nozzle



B. Top part with control electrode

그림 2 Pole-type 정전형 잉크젯 헤드의 제작 과정

Fig. 2 Schematic of process flow for the fabrication of electrostatic inkjet head with a pole-type nozzle

먼저 양면에 2 μm 두께의 열적 산화막 (thermal oxide)을 성장시켰다. 전면에 사진식각 공정을 사용하여 패턴을 형성한 후, RIE (reactive ion etching) 공정을 사용하여 실리콘 산화막 (SiO₂)을 식각하고, DRIE (deep reactive ion etching) 공정을 사용하여 실리콘을 식각하여 튜브형태의 노즐과 동축형 기둥을 함께 형성하였다. 그런 다음 뒷면에 사진식각 공정을 사용하여 패턴을 형성한 후, 전면과 동일한 방식으로 실리콘 산화막과 실리콘을 식각하여, 동축형 기둥을 지지해 주는 일자 모양의 지지대와 유체를 공급할 수 있는 챔버(chamber)를 형성하였다. 마지막으로 습식식각을 사용하여 실리콘 산화막을 제거하였다. 또한 그림 2의 B에서와 같이 제어 전극 부분을 제작하기 위해 유리 기판을 사용하였다. 스퍼터 (sputter)장비를 사용하여 전면에 알루미늄을 증착한 후, 전극 패턴을 정의하고 샌드 블래스터(sand blaster)를 사용하여 유리기판을 관통하였다. 그림 3은 완성된 잉크젯 헤드를 주사전자 현미경(SEM)을 사용해 찍은 이미지이다. 튜브 형태의 노즐의 외경은 150 μm, 내경은 120 μm 이며 높이는 50 μm 이다. 노즐 내부의 동축형 기둥의 반경은 15 μm 이다. 실리콘 식각시에 웨이퍼 전면이 식각되는 것을 방지하기 위해 노즐 주위로 500 μm 정도의 큰 원형 패턴을 형성하였다.

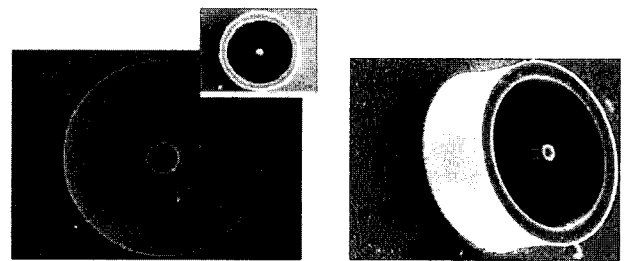


그림 3 Pole-type 정전형 잉크젯 헤드의 SEM 사진

Fig. 3 SEM images of the electrostatic inkjet head with a pole-type nozzle

4. 실험 장치 및 방법

그림 4는 실험 장치 구성도를 보여준다. 미세 액적의 토출 가시화를 위해 고속카메라 (IDT XS-3)와 마이크로 줌 렌즈를 사용하였다. 제어 전극과 튜브형태의 노즐 사이의 정렬 상태를 확인하기 위해 노즐에 수직인 방향으로 CCD 카메라

를 설치하였다. 광원으로 할로겐램프를 사용하였고, 고전압 공급 장치(최대 36 kV)와 전압 공급 장치(최대 50 V)를 고전압 제어장치가 스위칭(switcing) 동작으로 제어하게 된다.

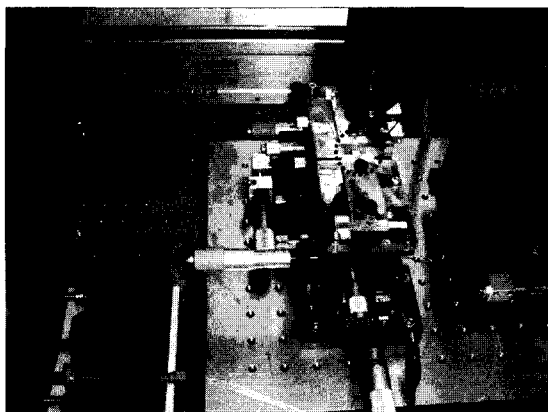
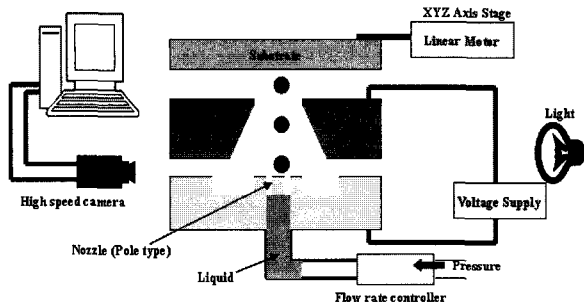
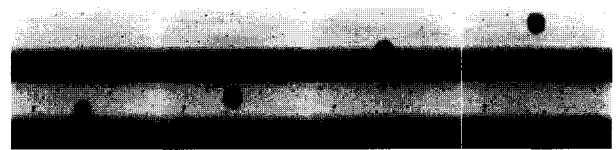


그림 4. 실험 장치 구성도
Fig. 4 Illustrations of the experimental setup

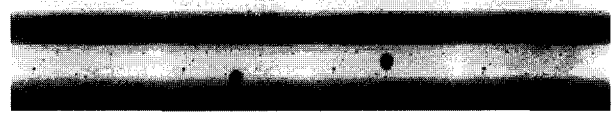
5. 실험결과

그림 4는 실험 장치 구성도를 보여준다. 미세 액적의 Pole-type 정전형 잉크젯 헤드의 특성을 분석하기 위해, 중수 (D2O), 계면활성제 (SDS), SWNT (Single Walled Carbon Nanotube) 가 혼합된 전도성 액체를 잉크로 사용하여 실험을 수행하였다. 이전의 연구에서 [6,8], micro dripping mode는 특정한 인가 전압과 액체유량 (flow rate) 상태에서 나타남을 알 수 있었다. 또한 그것은 전도성 (electric conductivity), 표면장력 (surface tension), 점성 (viscosity) 등의 액체 특성에도 영향을 받음을 알 수 있었다. 그림 5는 MEMS 공정을 이용하여 제작한 잉크젯 헤드를 사용하여 실험한 결과로써 고속 카메라에 의해 촬영한 액적의 토출 과정을 보여주고 사진이다. 본 실험에서는 노즐의 외경과 내경이 각각 150 μm , 120 μm 이며 노즐 높이가 50 μm , 노즐 내부의 동축형 기둥의 반경이 15 μm 인 MEMS 공정을 이용하여 제작한 잉크젯 헤드를 사용하였다. 헤드 노즐면의 끝단과 제어 전극 사이의 거리는 600 μm , 주입되는 잉크의 액체유량은 20 $\mu\text{l}/\text{min}$ 으로 일정하게 유지하였다.

그림 5(a)는 전극과 접지 사이에 1.2 kV의 DC 바이어스 전압을 인가했을 때, 그림 5(b)는 1.5 kV의 DC 바이어스 전압을 인가했을 때의 잉크 액적 토출 현상을 고속 카메라로 촬영한 사진을 보여주고 있다.



(a) Apply voltage is 1.2 kV and droplet diameter is 150 μm .



(b) Apply voltage is 1.5 kV and droplet diameter is 100 μm

그림 5 pole-type 정전형 잉크젯 헤드의 액적 토출 현상
Fig. 5 Jetting images of electrostatic inkjet head with a pole-type nozzle. The liquid is used D2O+SDS+SWNT (5 %wt). The gap between upper electrode and nozzle is about 600 μm .

실험 결과 본 논문에서 구현한 MEMS 잉크젯 헤드를 이용하여 정전기력에 의한 잉크 토출을 확인할 수 있었다. 토출된 액적의 크기는 인가 전압이 1.2 kV에서 약 150 μm , 1.5 kV에서 약 100 μm 정도로 인가된 전압이 증가함에 따라 액적 크기가 감소함을 알 수 있었다.

6. 결 론

본 논문에서는 새로운 개념의 정전기력 방식의 Drop-on-Demand 토출을 위한 MEMS 잉크젯 헤드를 설계, 제작하고 실험을 통하여 잉크 토출 특성을 실험하였다. 제어전극과 튜브형상의 노즐내에 전도성의 동축형 기둥 사이에 전압이 인가되면 형성된 정전장에 의해 미세 액적이 형성, 토출됨을 확인할 수 있었다. 이때 토출되는 미세 액적은 메니스커스의 끝단에서 정전기력에 의해 떨어져 나오게 되며, 본 실험 결과에서 액적의 크기는 인가되는 전압과 유체의 특성, 액체 유량 등의 조건에 따라 변할 수 있음을 예측할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국학술진흥재단의 협동연구 지원 사업 및 서울시 전략산업혁신클러스터 육성사업 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

[1] E. Lee, Microdrop Generation, CRC Press, 2003.
[2] Hue P. Le, Progress and Trends in Ink-jet Printing Technology, Journal of Imaging Science and Technology, 42, 1, 49 - 62, 1998
[3] C. M. Ho, "Fluidics-the link between micro and nano sciences and technologies-," in Proc. IEEE Int. Conf. MEMS, Interlaken, Switzerland, Jan.2001, pp. 375-384.

- [4] D. Englert, "Microarray Biochip Technology", M. Schena, Ed., Eaton Publishing, 2000.
- [5] S. Lee, D. Byun, S. J. Han, S. U. Son, Y. J. Kim, H. S. Ko, Electrostatic Droplet Formation and Ejection of Colloid, 2004 MHS, Nagoya, Japan, July 31, 2004.
- [6] S. H. Lee, D. Byun, H. S. Ko, Y. Kim, J. H. Yang, S. J. Han, S. U. Son and J. T. Oh, Electrostatic Droplet Ejector with Monolithic Fabrication of nozzle, Nanotech 2005, May 8-12, 2005, Anaheim CA USA.
- [7] S. H. Lee, J. T. Oh, J. H. Yang, D. Byun, An Electrostatic Drop-On-Demand Micro Droplet Ejector with a Pole Type Nozzle, IEEE NEMS 2006, IEEE-NEMS 2006 Zhuhai, China January 18-21.
- [8] D. Jung, Y.J. Kim, D.Y. Byun, H. S. Ko, Sukhan Lee, Investigations of the Mechanisms of the Electrostatic Droplet Ejections, IEEE-NEMS 2006 Zhuhai, China January 18-21.

저 자 소 개



손 상 욱 (孫 尙 郁)
 2003년 성균관대 전자전기공학과 학사.
 2005년 동 대학원 전자전기공학과 석사.
 현재 동 대학원 전자전기공학과 박사과정
 Tel : 031-290-7228
 E-mail : ssu2003@skku.edu



김 영 민 (金 永 珉)
 1990년 제주대 공학사, 1997년 동대학원 석사, 2004년 경북대 전자공학 박사.
 2003년~2004년 상주대학교 겸임교수.
 2006년~현재 성균관대학교 지능시스템 연구센터 연구교수.
 Tel. 031-299-4632
 E-mail : rockeyk@lycos.co.kr



최 재 용 (崔 在 鎔)
 2006년 성균관대 전자전기공학과 학사.
 현재 동 대학원 전자전기공학과 석사 과정
 Tel : 031-290-7228
 E-mail : steinkopf@skku.edu



이 석 한 (李 錫 漢)
 1982년 Purdue University 전기공학과 공학박사. 1983~1997 University of Southern California 교수. 1998년~2003년 삼성종합기술원 전무. 1998년~현재 USC 겸임교수. 2007년~현재 Georgia Tech 겸임교수. 2003년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수.
 Tel : 031-290-7150
 E-mail : lsh@ece.skku.ac.kr



고 한 서 (高 漢 瑞)
 1990년 연세대 공학사, 1994년 Texas A&M University 기계공학 석사, 1998년 동대학원 박사, 1999년~2001년 동경대 전임연구원. 2001년~현재 성균관대 기계공학부 교수.
 Tel : 031-290-7453
 E-mail : hanseoko@mail.skku.ac.kr



김 용 재 (金 容 載)
 2001년 성균관대 기계공학 학사.
 2003년 동대학원 기계공학 석사.
 현재 동대학원 박사과정수료.
 Tel : 031-290-7475
 E-mail : warriorkim@skku.edu



변 도 영 (邊 渡 泳)
 1994년 한국과학기술원 학사. 1996년 동대학원 석사. 2000년 동 대학원 박사. 1996~2000년 한국과학기술원 연구조교. 2000년~2003년 KISTEP 전임연구원. 2003년~현재 건국대학교 항공우주공학과 부교수
 Tel : 02-450-4195
 E-mail : dybyun@konkuk.ac.kr