

링형태 추출장치를 이용한 전기수력학 기반 하이브리드 젯팅 시스템

Electrohydrodynamic based hybrid jetting system using a ring shape extractor

*김도형¹, 김영재^{1,2}, 황정호¹, #김용준¹

*D. H. Kim¹, Y. J. Kim^{1,2}, J. H. Hwang¹, #Y. J. Kim (yjk@yonsei.ac.kr)¹

¹ 연세대학교 기계공학과, ² 삼성전기 중앙연구소

Key words : electrohydrodynamic force, piezo actuator, drop on demand ejection, ultra fine droplets

1. 서론

최근에 수마이크로에서 나노크기의 미세패턴을 형성하기 위한 방법으로 직접쓰기(Direct writing) 방식에 대한 연구에 많은 노력이 기울여지고 있다.[1] PCB 기판위에 금속배선을 형성하기 위한 기존의 포토리소그래피(photolithographic) 공정은 공정 시간과 비용을 많이 소비하고 환경적인 측면에서도 좋지 않은 방법이다.[2] 이에 반하여 직접쓰기 방식은 도금, 식각 그리고 노광공정 없이 마이크로 구조 및 미세 패턴을 형성할 수 있기 때문에 고속, 저비용, 친환경적인 방법이다.[3] 그리고 비 접촉식이므로 3D 패턴이 가능하여 전자기기, 디스플레이 뿐만 아니라 바이오 분야에서도 다양하게 응용되고 있으며 산업적으로 그 입지가 점차 늘어나고 있는 실정이다. 이러한 직접 쓰기 방식 중에 가열판 또는 압전물질을 이용한 잉크젯 방식이 널리 쓰이고 있으며 이러한 잉크젯 방식의 장점은 DOD(drop on demand) 프린팅이 가능하다는 것과 10-100 khz 의 고주파 토출이 가능하여 생산성이 좋다는 것이다. 그러나 이러한 잉크젯 방식은 열에 의한 사용잉크 제약이 있고, 헤드 구조가 복잡하여 제작이 어렵다는 단점이 있다. 그리고 미세 패턴을 위하여 고비용의 노즐 사이즈 축소가 요구되고, 노즐 막힘 현상으로 인해 고점도 잉크 사용이 어렵다는 단점이 있다. 일반적으로 잉크젯 방식의 액적 부피는 20pl 정도이다. 따라서 미세액적(직경 10 μ m 이하) 구현을 위하여 현재 전기수력학 원리를 이용한 프린팅 기술이 활발히 연구되고 있다.[4] 전기수력학 기반의 프린팅은 노즐 직경 대비 10 배 이하의 직경을 갖는 젯팅이 가능하고 노즐 구조가 간단하며 금속, 유기화합물, 바이오 물질 등을 포함하는 다양한 잉크 사용이 가능하다는 장점을 지닌다. 이러한 전기수력학 프린팅에서 DOD 구현을 위한 방식은 테일러 콘 형성 전압 보다 낮은 DC 전압에서 매니스커스의 맥동에 의한 미세 액적 토출이 이루어 지는 pulsating jet mode 와 고전압 펄스에 의하여 미세 액적 토출이 이루어 지는 pulsed voltage conejet mode 로 나뉘어 있는데, 각각 3-10 msec, 3.6msec 의 주기와 delay 이 타임이 존재하여 300Hz 이상의 토출 주파수 구현 및 정확한 미세액적의 DOD 구현이 어렵다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 본 연구 그룹에서는 전기수력학 방식과 압전 액추에이터를 접목 시킨 싱글 노즐 프린팅 시스템에 대한 연구를 수행 하여 하이브리드 방식에 관한 원리 검증을 완료 하였다.[5] 하지만 이 방식은 핀(pin) 형태의 전극을 사용하므로 멀티노즐 적용 및 대면적 프린팅 적용에 한계가 있고, 고전압이 기판 아래의 전극에 인가 되므로 기판의 특성에 의한 전기장 간섭 및 왜곡 현상이 존재 하여 안정적인 프린팅이 힘들다. 따라서 본 논문에서는 기판에 의한 영향 없이 전기수력학적 힘을 노즐에 인가할 수 있는 링형태 추출 장치를 제작하였고, 이를 이용하여 미세 액적 및 1khz 이상의 토출 주파수 구현을 위한 하이브리드 젯팅 실험을 수행 하였다.

2. 본론

2.1 Hbrid jetting system(HJS)의 원리

링형태 추출장치를 이용하여 기판의 영향을 제거한 HJS의 구조는 Fig. 1 과 같다. 헤드 내부의 압전체에 구동신호가 인가되면 압전체가 휘어져 헤드 내부의 압력을 높게 된다. 이 압력에 의해서 매니스커스(meniscus)가 노즐 외부로 밀려나오게 되고, 이때 외부에 형성되어 있는 전기장에 의하여 잉크는 콘 형태(Taylor cone)로 변하게 되어 토출이 이루어 진다. 구동 신호가 종료 되면 안쪽으로 휘어져 있던 압전체가 원래 형태로 되돌아 가면서 헤드 내부의 압력은 초기값으로 돌아가게 되므로 노즐 밖에 뿔어져 있던 매니스커스는 노즐 내부로 다시 들어가게 된다. 그리고 전기장에 의하여 끌려 내려오던 잉크는 끊어지게 되어 토출이 종료 되게 된다. 이와 같은 방법으로 DOD 프린팅을 구현 한다.

2.2 실험

Fig. 2 는 하이브리드 젯팅 시스템에 이용되는 장비의 전체 구성을 보여 준다. 그 구성 요소로는 압전 소자가 구비된 내경 60 μ m 의 glass capillary(Microfab.) 와 전기장 형성을 위하여 제작된 링형태 추출장치, 구동 신호를 생성하는 압전소자구동신호 발생기(Sofrmecha), 전기수력학적 토출을 위한 고전압 생성장치, 노즐 내부 압력을 일정하게 유지해주는 공압장치, 액적 관찰을 위한 고속 카메라가 있다. 본 연구에 사용된 잉크는 순도 99.7%의 C₂H₅OH 이며 특성은 table.1 에 정리 하였다.

2.3 링형태 추출장치

Fig.3 은 제작한 링형태 추출 장치를 보여 준다. 그 구성은 노즐에 전기장을 인가하기 위한 상판의 링 전극과 기판 하부의 전극을 대신 할 수 있는 링 전극, 피에조 헤드를 고정하기 위한 아크릴 지그(jig)로 구성 된다. 링 전극은 평판 형태의 PCB 를 이용하여 제작 되었다. 평판 형태의 PCB 를 이용할 경우 전위선의 형태가 노즐과 수평으로 생기게 되므로 전기장에 의한 앤드이펙트(end effect)가 생기지 않아 콘 젯의 안정성 확보에 도움을 줄 수 있다.[6]

2.4 실험 결과

구동 신호에 따른 액적 토출 결과는 Fig. 4 와 같다. 토출이 시작되기 전에 초기의 매니스커스는 공압장치에 의해 유지되어 있고, 링형태 추출장치의 상·하판 전극 중 하나는 접지에 연결되고 다른 하나는 4.5kV 의 고전압이 인가 되어 전기장이 형성 되어 있다. 구동 신호가 인가 된 후 피에조 액추에이터 동작에 의한 내압 증가로 매니스커스가 밀려나오기 시작하고, 구동 신호(20V)는 25 μ s 에서 종료 되지만 residual electric force 와 inertia of liquid 에 의하여 밀려나온 매니스커스는 콘 형태로 변형 되어 토출이 시작되는 것을 40 μ s 지점에서 확인 할 수 있다. 이러한 콘형태의 미세 액주는 90 μ s 이후에 노즐에서부터 완전히 분리 되는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 이론적으로

10kHz 이상의 토출 주파수 실현이 가능하여 기존의 DOD 를 위한 pulsating jet mode 와 pulsed voltage conejet mode (300Hz 이하)에 비해 30 배 이상 빠른 토출이 가능하다.

그림에서 보면 잉크젯 프린팅 방식에서 주로 발생하는 satellite droplet 과 유사한 형태로 미세액적이 분리 되어 토출 되는 것을 볼 수 있는데 이는 전기장의 크기, 구동신호, 공압장치에 의한 초기 챔버내의 압력 등과 같은 다양한 젯팅 변수의 조절로 최적화 가능하리라 생각 된다.

3. 결론

본 논문은 전기장 인가 방식이 기존과 다른 새로운 방식의 hybrid jetting system 의 검증을 보여 준다. glass capillary 에 인가되는 구동신호로 매니스커스를 제어 하고, 기관에 의한 전기장 간섭 및 왜곡 현상을 제거하기 위하여 제작한 PCB 기반 링형태의 추출장치를 사용 하여 미세 액적 토출을 보여 준다. 피에조 액추에이터는 20V 의 낮은 전압으로 구동 되었고, 액적 토출에 걸리는 시간은 90 us 로써 DOD 구현을 위한 기존의 pulsating mode 와 pulsed cone-jet mode 의 3.6msec 에 비해 훨씬 짧은 delay time 을 갖는 토출을 실현 하였다.

참고문헌

1. K. H. Church, C. Froe, T. Feeley, Commercial applications and review for direct write technologies, Proc. Material Research Sym. (2000).
2. Hak Sung Kim, et al., "Inkjet printer electronics for multifunctional composite structure," Composites Science and Technology, **69**, 1253-1264, (2009).
3. D. B. Chrisey, The power of direct writing, Science 289, 1872 (2000).
4. Jand-Ung Park, et al., " High-resolution electrohydrodynamic jet printing", Nature materials, **6**, 782-789, (2007).
5. Young-Jae Kim, et al., "On-demand electrohydrodynamic jetting ultra-fine patterns ", J. Micromech. Microeng. 19 107001 (2009).
6. characteristics of an electrospray in the cone-jet mode", J. Aerosol Sci., Vol. 35, pp.1295~1312. (2004)

후기

본 연구는 신·재생에너지기술개발사업(2008-N-PV08-P-06-0-000) 및 국과학재단을 통한 연세대학교 나노메디컬 국가핵심연구센터의 지원으로 수행 되었습니다. 연구비 지원에 감사 드립니다.

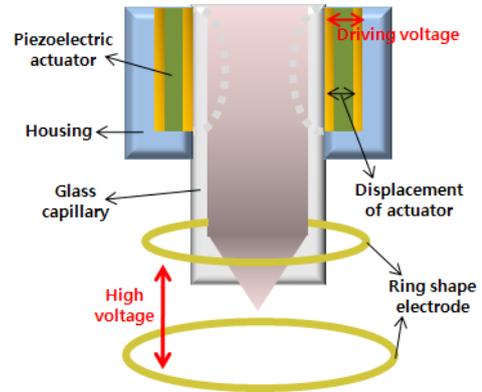


Fig. 1 Structure of Hybrid jetting System

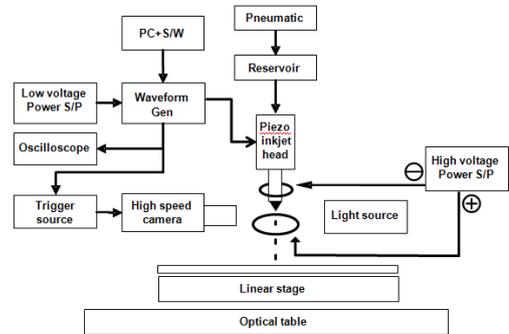


Fig. 2 Schematic of hybrid jetting system

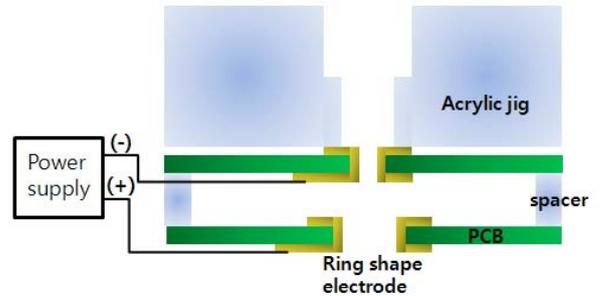


Fig. 3 Schematic of ring shape extractor

Table 1. Characteristic of C₂H₅OH

Viscosity (mPa s)	Electrical conductivity (Sm ⁻¹)	Relative permittivity (ε _i / ε ₀)	Surface tension coefficient γ (Nm ⁻¹)	Density (kgm ⁻³)	Charge relaxation time β ε ₀ /K (s)
1.16	3.0E-4	25	0.022	789	6.0E-7

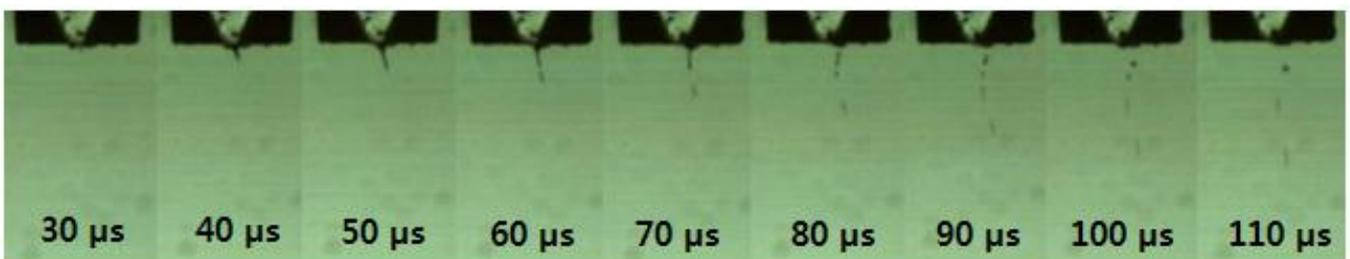


Fig. 4 Jetting and change of meniscus when the waveform of piezoelectric actuator was applied