

# 전기수력학 기반의 Hybrid jetting 시스템을 이용한 미세 액적의 토출 제어

## Droplets jetting controls using hybrid jetting system based on electrohydrodynamic printing

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

\*D. H. Kim<sup>1</sup>, Y. J. Kim<sup>1,2</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 force, jet length, piezoelectric actuator, ultra-fine droplet

### 1. 서론

PCB 기판위에 금속 배선을 형성하기 위한 포토리쓰그래피(Photolithographic) 공정은 시간을 많이 소비하고 비용이 많이 들 뿐만 아니라 환경적인 측면에서 좋지 않은 방법이다. [1] 그래서 전도성 잉크를 기판위에 직접 패턴을 하기 위해 잉크젯 방식의 프린팅 대한 연구가 이루어져 왔다. [2] 하지만 잉크젯 방식으로 미세 액적을 형성하기 위해서는 액적의 크기가 노즐 사이즈에 의해 결정 되므로 미세 액적을 형성하기 위해 노즐 사이즈를 줄여야만 한다. 이는 가공 비용도 많이 들고 토출 특성이 유니폼 하지 않게 되어 노즐 막힘 현상이 잘 일어 난다는 단점이 있다. 그래서 잉크젯 방식의 프린팅은 미세 액적(10 $\mu$ m 이하) 구현에 어려움이 있다. 이를 극복하기 위하여 현재 전기수력학 원리를 이용한 프린팅 기술이 활발히 연구 되어 지고 있다. [3]

전기수력학 기반의 프린팅은 액적 형성이 노즐 직경에 제한되지 않는다는 큰 장점을 지니지만 잉크를 토출하기 위하여 고점압을 필요로 한다. 특히 드랍 온 디멘드(DOD) 구현을 위해 고점압의 펄스 입력을 필요로 하고 토출 주파수의 한계와 delay 타임이 길다는 단점이 있다.

Hybrid jetting 시스템은 노즐의 직경보다 훨씬 작은 잉크 토출을 가능하게 하여 고해상도 프린팅을 구현하는 전기수력학 프린팅의 장점과 DOD 를 쉽게 구현 해주는 피에조 액추에이터 방식의 프린팅을 접목시킨 프린팅 시스템이다. 본 논문은 Hybrid jetting 시스템에서 피에조 액추에이터의 입력 펄스값과 전기장 형성을 위한 전압 값의 변화로 미세 액적의 토출 제어를 보여준다.

본 연구에 사용한 에탄올(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH) 잉크에 대한 전기, 물리적 성질은 Table 1 과 같다.

### 2. 본론

#### 2.1 Hybrid jetting system 원리

Hybrid jetting system 의 구조는 Fig. 1 과 같다. 헤드 내부의 압전체에 전기를 가하면 압전체가 휘어져 헤드 내부의 압력을 높게 된다. 이 압력에 의해서 잉크가 노즐 밖으로 밀려나오게 되고 그 순간 노즐 밑의 핀에 걸려있는 전기장에 의해 잉크는 콘젯을 형성하여 토출이 된다. 입력 신호가 종료 되면 안쪽으로 휘어져 있던 압전체가 원래대로 되돌아가게 되고 헤드 내부의 압력은 초기 값으로 돌아가게 된다. 이때 노즐 밖에 맺혀있던 매니스커스는 노즐 내부로 다시 들어가서 전기장에 의해 끌려 내려오던 잉크는 끊어지게 되어 토출이 끝나게 된다. 이와 같은 방법으로 DOD 프린팅을 구현 한다.

#### 2.2 액적 토출을 위한 실험 장치

Fig. 2 Hybrid jetting system 시 이용되는 장비의 전체 구성을 보여 준다. 그 구성 요소로는 크게 매니스커스 형성을 위한 피에조 액추에이터(노즐직경 60 $\mu$ m) 와 입력 신호를 주는 피에조 액추에이터 구동신호기(Softmecha), 전기수력학적 토출을 위해 전기장을 형성하는 고전압 생성기, 노즐 내부 압력을 일정하게 유지해주는 공압 장치, 그리고

미세 액적 토출 제어를 관찰하기 위한 고속 카메라가 있다.

#### 2.3 실험 결과

실험에서 사용한 피에조 액추에이터에 준 기본 입력 신호는 Fig. 3 과 같다. Fig. 4 는 앞서 말한 펄스 형태를 가지는 신호를 이용하여 전압값 -5V, +17V 를 피에조 액추에이터에 입력하고 전기장을 형성하기 위한 고전압 생성기의 전압 값을 4579V, 4683 V, 4770 V, 4875 V, 5034 V, 5132 V, 5234 V, 5315 V, 5425 V 로 각각 인가 하였을 때 펄스 인가점을 기준으로 30  $\mu$ s 지점에서의 액적 형태를 보여준다. Fig. 4 에서 보는 것과 같이 전기장 형성을 위한 전압 값이 높아 질수록 관찰 되는 젯의 길이가 길어 지는 것을 볼 수 있었다. Poon 의 젯 길이에 관한 식 [4]

$$l_j = \frac{u}{w} \ln \left( \frac{a}{2\delta_0} \right) \quad (1)$$

$$u = \frac{4Q}{\pi d_j^2} \quad (2)$$

$$w = \frac{\gamma}{3\mu d_j} \quad (3)$$

$$a = \pi^{-2/3} Q^{1/2} \left( \frac{\rho \epsilon_0}{\gamma K} \right)^{1/6} f_b \quad (4)$$

$$\delta_0 = 0.001 d_j \quad (5)$$

- u: Velocity of jet
- w: Maximum disturbance growth rate
- a: Effective hydrodynamic radius of the liquid
- $\delta_0$ : Initial disturbance amplitude
- K: Electrical conductivity of liquid
- $f_b$ : Nondimensional radius of the jet
- $\gamma$ : Surface tension of liquid
- Q: Flow rate of liquid
- $\rho$ : Density of liquid

에서 외부 전기장 값을 제외한 나머지 값들은 모두 동일한 조건 이므로 식 (2)의 변수 'u' 를 제외한 식 (3), (4), (5)에 명시된 나머지 변수들은 각각의 실험에서 일정한 값으로 가정할 수 있기 때문에 젯의 길이는 변수 값 'u' 에 비례하여 결정 됨을 가정 할 수 있다. 고점압의 전기장은 젯을 강하게 가속 시켜 식 (1) 에서 u 값(젯의 속도) 을 높이므로 Fig. 4 에서 보듯이 더 길어진 액적을 토출 시킨다는 것을 확인 할 수 있었다.

Fig. 5 는 동일한 크기의 전기장인 4322V 속에서 피에조 액추에이터에 각각 전압값 27V, 29V 인가 하였을 때 액적 토출 결과를 보여 준다. 피에조 액추에이터에 가하는 전압 값을 높이면 노즐 내부에 가해지는 압력이 더 높아져서 상대적으로 더 큰 매니스커스를 노즐 밖에 형성 한다. 이것은 위에서 명시한 Poon 의 젯 길이에 관한 식에서 유량 변수인 'Q' 값을 증가 시킨다고 가정 할 수 있다. 변수 'u' 는 식 (2)에서 보는 바와 같이 변수 'Q' 값에 비례 고 식 (4)에서 보면 변수 'a' 는 'Q' 값이 커질수록 증가하므로 피에조 액추에이터에 가하는 점압값을 높이면 토출되는 액적의 길이가 길어 짐을 가정 할 수 있다.

실험 결과 Fig. 5 에서 보는 바와 같이 젯의 길이가 길어 지는 것을 확인 할 수 있었다.

### 3. 결론

본 논문은 피에조 액추에이터 방식의 프린팅과 전기수력학적 프린팅 방식이 혼합된 Hybrid jetting 방식에서 미세

액적 토출 제어를 위해 피에조 액츄에이터의 입력 신호 값과 전기장 형성을 위한 전압값을 달리하였을 때 나타나는 실험 결과이다. 각각의 입력 신호로 Poon 의 젯 길이 공식에 의거하여 액적의 토출을 제어 할 수 있음을 확인 할 수 있었다. 이러한 미세 액적의 토출 제어는 다이렉트 프린팅에서 미세 배선과 넓은 패드의 동시 패터닝 가능성과, Grayscale 방식의 적용을 통한 해상도 향상 가능성을 보여줌으로써 포토공정을 대체할 고효율적 직접 패터닝의 가능성을 보여준다.

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.

참고문헌

1. Hak Sung Kim, et al., "Inkjet printer electronics for multifunctional composite structure," *Composites Science and Technology*, **69**, 1253-1264, 2009.
2. Park BK, et al., "Direct writing of copper conductive patterns by ink-jet printing," *Thin solid films*, **151**, 7706-11, 2007.
3. Jand-Ung Park, et al., "High-resolution electrohydrodynamic jet printing", *Nature materials*, **6**, 782-789, 2007.
4. H.F.Poon, *Electrohydrodynamic Printing*, PH.D. thesis, Princeton University, 2002.

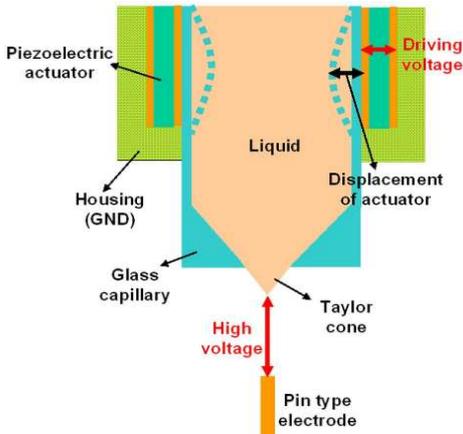


Fig. 1 Structure of Hybrid jetting System

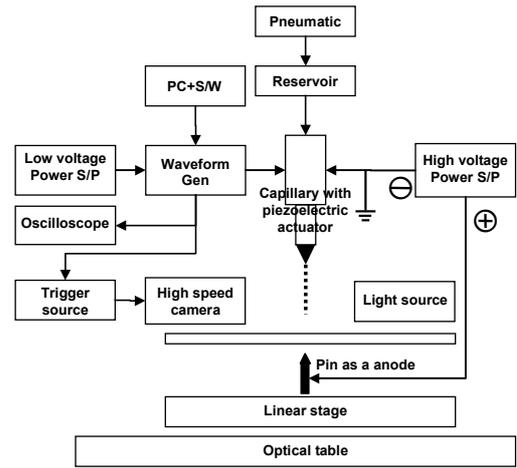


Fig.2 Schematic of hybrid jetting system

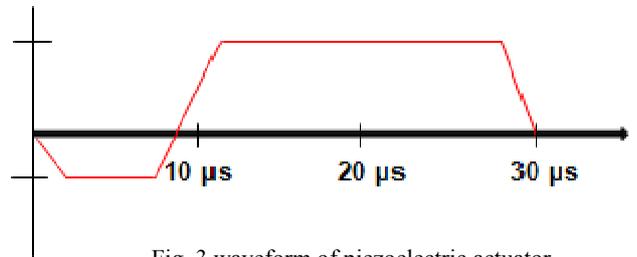


Fig. 3 waveform of piezoelectric actuator

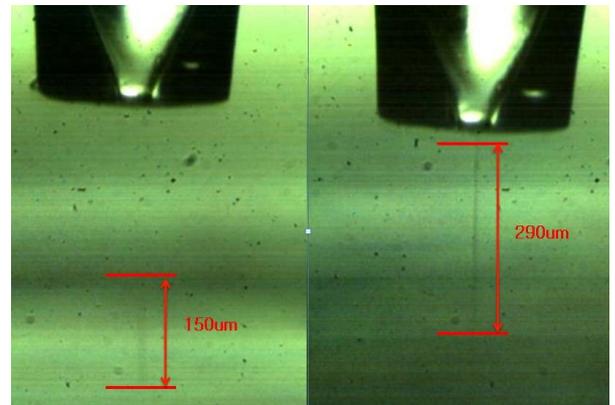


Fig. 5 changes of jet length when the different waveforms (27V and 29V) were applied

Table 1 Characteristic of C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH

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

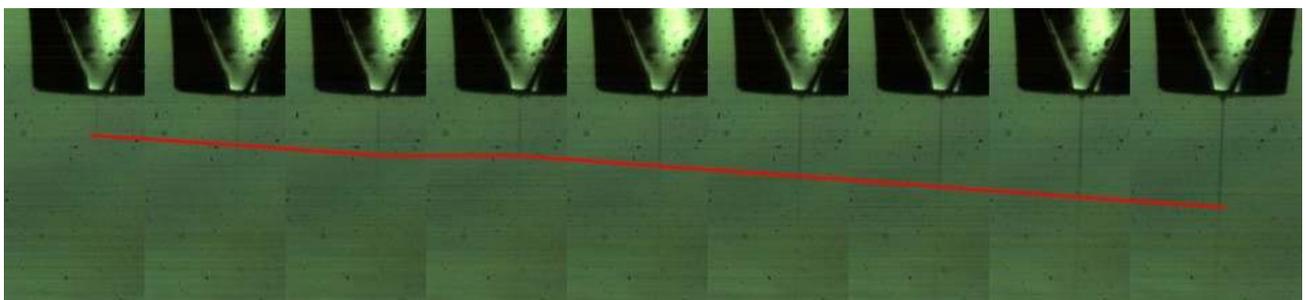


Fig. 3 changes of jet length when the different electrohydrodynamic force applied at the same waveform.