

칩 타입 노즐을 이용한 정전기력 잉크젯 프린팅에 관한 안정된 원뿔형 액주 형성 및 전도성 라인 패턴

Formation of a Stable Cone-jet and Conductive Line Patterns on Electrostatic Inkjet Printing Using Chip Type Nozzle

*박재홍¹, 김상윤¹, 김 용¹, 이준성¹, 김용준¹, #황정호¹

*J. H. Park¹, S. Y. Kim¹, Y. Kim¹, J. S. Lee¹, Y. J. Kim¹, #J. H. Hwang¹ (hwangjh@yonsei.ac.kr)

¹ 연세대학교 기계공학과

Key words : Electrostatic inkjet printing, cone-jet, conductive line, thermal curing

1. 서 론

직접쓰기기술 연구분야의 하나의 방식인 전기수력학 젯 프린팅 기술은 일정한 유량의 유체가 높은 전압이 인가된 전도성 노즐 내부를 통과하며 대전된 후, 노즐 끝단에 형성된 전기장을 통과하며 작은 물방울로 미립/분무되는 일련의 과정을 통해 패턴을 하는 것을 말한다 [1]. 기존연구의 경우 핀 타입의 노즐을 이용하는 핀-핀 타입 전기수력학 젯 프린팅 기술을 이용하여 100 μ m의 선폭을 구현하였다. 본 연구에서는 패턴 정밀도 향상을 위해 MEMS 기반 칩 타입 단일 노즐설계를 통해 원뿔형 액주모드의 안정성 확보와 패턴정밀도 향상을 얻고자 한다. 또한 열처리를 통하여 패턴 된 선의 전기적 특성을 측정해 보고자 한다.

2. 실험

연구를 위한 실험장치는 Fig. 1과 같이 액체공급장치, 전원공급장치, 기관이송장치로 구성된다. 실린지펌프(kds-100, KD Scientific Inc.)와 실린지(81320, Hamilton Co.), 내경 140 μ m, 외경 320 μ m 인 스테인리스 재질의 핀 타입 노즐, 그리고 MEMS기반의 내경 140 μ m 인 칩 타입의 노즐을 사용하였다. DC전압공급장치를 사용하였으며 접지 전극의 경우 직경 1 μ m 인 텅스텐 재질의 핀을 사용하였다. 분무에 사용된 잉크의 경우 에틸렌글리콜 기반에 20wt%의 은나노 입자를 함유한 용액을 사용하였다. 원하는 패턴을 하기 위해 2축 정밀 이송장치를 사용하였다.

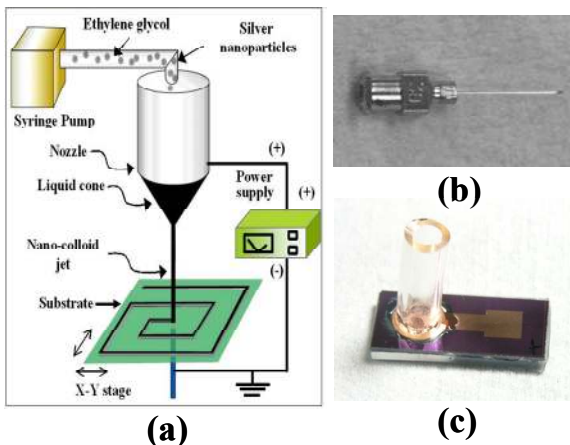


Fig. 1 (a) Experimental setup (b) pin-typed nozzle, (c) chip-typed nozzle

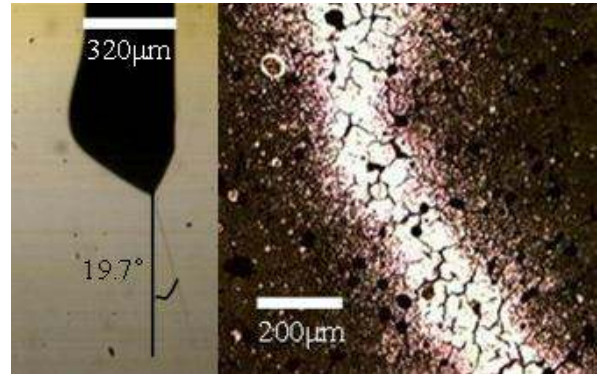


Fig. 2 Cone-shape and printed pattern using pin-type nozzle

3 결과 및 고찰

3.1 위치오차

패턴되는 선의 정밀도의 척도로 위치오차를 계산하였으며 위치오차는 다음과 같다.

$$\epsilon_{RMS} = \sqrt{(\epsilon_S)^2 + (\epsilon_D)^2} \quad (1)$$

ϵ_S 는 이송장치의 이동오차이며, ϵ_D 는 노즐 끝단에서 액주가 분사될 때 편향에 의한 오차이다. 액주가 분사될 때 굴절에 의한 오차는 다음과 같다.

$$\epsilon_D = \pm [h \times \tan(\theta)] \quad (2)$$

h 는 액주의 끝 단에서부터 패턴 되는 판까지의 거리이며, θ 는 액주의 편향 각이다.

3.2 기존 핀 타입 노즐에서의 원뿔형 액주모드

Figure 2는 핀 타입의 노즐을 사용하였을 때 형성되는 원뿔형 액주모드와 이때 패턴된 형상으로 3.5kV의 전압을 인가하였을 때 원뿔형 액주모드가 발생 하였으며, 100-200 μ m의 선폭으로 패턴 되었으나, 선폭이 일정하지 않고 프린팅된 패턴이 불안정한 것을 관찰되었다. 이 경우 $h = 1.5$ mm, $\theta = 19.7^\circ$ 로 측정 되었으며 위치오차는 ± 537.07 μ m 로 계산되었다. 100 μ m의 선폭 구현에서 이 정도의 오차는 안정적인 선을 구현함에 있어 정확도가 떨어진다. Fig 2에서와 같이 앞에서의 위치오차로 인하여 선이 크게 휘어지는 것을 관찰 할 수 있었다.

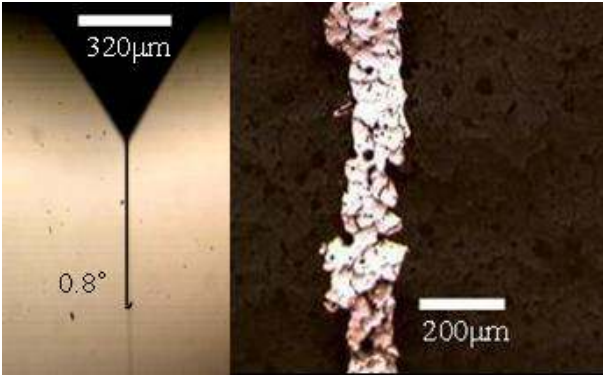


Fig. 3 Cone-shape and printed pattern using chip-typed nozzle

3.3 칩 타입 노즐에서 원뿔형 액주모드

Figure 3는 칩 타입의 노즐을 사용하였을 때 형성되는 원뿔형 액주모드와 이때 패턴 된 형상이다. 4.73kV의 전압을 인가하였을 때 원뿔형 액주모드가 발생하였고, 100 μm의 선폭으로 패턴 되었다. 핀 타입 노즐결과와 비교했을 때 보다 균일하고 안정적으로 패턴 된 것을 확인 할 수 있으며, h = 1.5mm, θ = 0.8°로 측정 되었고 위치오차는 ±21.52 μm로 계산되었다.

3.4 열처리를 통한 패턴 성능 평가

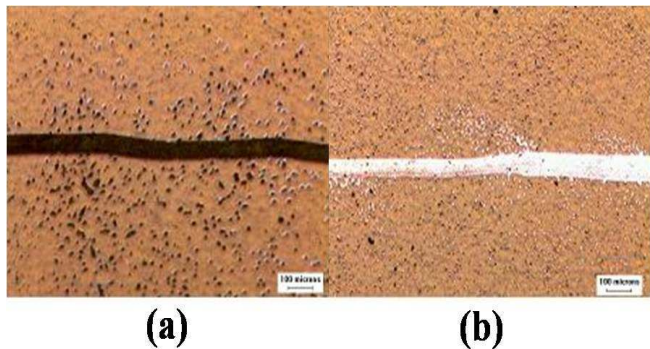


Fig. 4 (a) Pattern result before curing (b) Pattern result after curing

Figure 4는 PI (Polyimide) film 위에 패턴 한 후에 열처리를 수행하기 전과 후의 결과 이다. 패턴 결과 80 μm의 선폭에 0.5 μm의 두께를 가지는 선이 패턴 되었고 230 °C의 온도에서 1시간 동안 열처리를 하였을 때 1 cm 당 약 32.4 Ω의 저항을 얻었다 이 결과를 이용하여 선의 저항률을 계산하였고 그 식은 다음과 같다.

$$\rho = \frac{R \times w \times t}{L} \tag{3}$$

ρ는 저항률, R은 저항, w는 패턴 된 선의 선폭, t는 패턴된 선의 두께이며 계산 결과 12.48 μΩ-cm의 저항률 가졌다. 위의 저항률의 계산 결과를 Julia R. Greer가 제시한 열처리 모델과 비교를 해 보았다[2]. 그 모델에 대한 식은 다음과 같다.

$$\rho(t) = \frac{2\rho_0}{\pi} \times \ln \left\{ \frac{2a(1 - \sqrt{1 - 5.77(t/\tau_L)^{2/5}})}{2a(1 + \sqrt{1 - 5.77(t/\tau_L)^{2/5}})} \right\} \tag{4}$$

ρ₀는 고유 저항률, τ는 격자 확산에 의한 소결에서의 특성 시간이며 a는 입자의 반지름, t는 열처리 시간이다. 특성시간 τ은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\tau_L = \frac{kTa^3}{D_{lattice}\gamma_{sv}\delta^3} \tag{5}$$

T는 온도, D_{lattice}는 격자확산계수이며, k는 볼츠만 상수, γ_{sv}는 표면에너지, a는 원자의 반지름이다.

위 식을 통하여 입자의 종류, 소결온도, 소결시간에 대한 저항률 값을 계산 할 수 있으며 그 결과 4.7μΩ-cm의 저항률을 얻을 수 있었다.

4. 결론

MEMS 기반의 칩 타입 노즐을 이용한 원뿔형 액주형상의 안정성과 액주모드 패턴링 경향을 살피기 위한 실험을 진행하였으며, 정밀도의 척도로 위치오차를 계산하였다. 핀 타입 노즐 경우 액주 끝 단에서의 편향각이 크고, 액적이 맺힐 때 액적의 접촉력에 의해 맺힌 노즐의 옆면의 액적에도 전기장이 가해지면서 안정적으로 원뿔형 액주모드를 발생하는데 방해가 되기 때문에 오차가 증가한다. 그러나 칩 타입 노즐의 경우 노즐 끝 단이 넓은 판 형상으로 되어 있어 분사 되는 액주 끝 단에서의 편향각이 핀 타입의 노즐 보다 작고 옆면이 젖는 현상 또한 발생하지 않아 안정적으로 원뿔형 액주모드를 발생 할 수 있으며 보다 안정적인 패턴이 가능해진다. 이에 더해 패턴의 전기적 특성 향상을 위해 열처리를 수행 하였고 12.48 μΩ-cm의 저항률을 얻을 수 있었다. Julia R et al. 가 제시한 열처리 모델로 계산한 4.7 μΩ-cm의 저항률은 이상적인 결과 이므로 여러 열처리 조건의 변화를 통해 이에 근접하는 결과를 낼 수 있는 조건을 찾을 예정이다.

후기

본 연구는 중기거점 개발사업으로 정부 지원을 받아 진행되었습니다.

참고문헌

1. Hartman, R.P.A., Brunner, D.J., Camelot et al, 2000, "Jet break-up electrohydrodynamic atomization in the cone-jet mode", Journal of Aerosol Science, Vol.31, No 1, pp.65-69.
2. Julia R, Greer, Robert A. Street, 2007,"Thermal cure effects on electrical performance of nanoparticle silver inks", Acta MATERIALIA, Vol55, pp6345-6349