

정전기력 잉크젯을 이용한 고 종횡비 패턴 제작에 관한 연구

Study of High aspect ratio pattern development use the Electrostatic Inkjet

김형찬¹, *#고정범¹, 김동수³, 도양희¹, 최경현²

H. C. Kim¹, *#J. B. Ko(no1kori@jejunu.ac.kr)¹, D. S. Kim³, Y. H. Doh¹, K. H. Choi²

¹ 제주대학교 전자공학과, ² 제주대학교 메카트로닉스공학과, ³ 한국기계연구원 나노융합기계연구본부

Key words : Electrostatic Inkjet, Inkjet Nozzle, Pin to plate, High aspect ratio

1. 서론

최근 인쇄전자 기술은 RFID 태그, 센서, 유연기관 디스플레이, 태양전지, OLED, E-paper, 스마트카드, LED 광고판 등과 같은 다양한 응용이 이루어지고 있다 [1]. 특히 이 분야에서 다이렉트 패턴링 기술이 각광받는 이유는 종전기술인 리소그래피 공정에서의 식각, 현상, 증착 등과 같은 과정에서 발생하는 고비용의 마스크 제작비용, 고가의 재료 낭비와 공정 장비 설비비용, 환경오염 문제 등을 해소할 수 있는 해결책으로 주목받고 있기 때문이다 [2]. 즉, 다이렉트 패턴링 기술은 리소그래피 공정에서 필요로 하는 식각, 현상, 증착 과정을 생략하고 금속 미세 입자가 첨가 되어 있는 전도성 잉크를 사용하여 압전소자, 에어로졸, 열 분사, 정전기력 등 기반의 프린팅 헤드 또는 Roll-to-roll 인쇄 방식을 통하여 다양성 기관위에 전자소자 또는 매체를 인쇄하여 환경문제, 고가 재료 낭비 등이 거의 없이 저비용, 효율적인 공정 교체 등으로 기존 공정을 대체하는 시도가 이루어지고 있다. 비록 현재 기술로는 수 마이크로미터에서 수십 마이크로미터의 선폭 정도가 인쇄 가능한 한계를 가지고 있지만, 대면적 고속 패턴링으로 양산할 수 있는 설비를 갖춘다면 중간영역의 새로운 시장을 창출할 수 있으리라 예상된다.

기술적으로 다이렉트 패턴링 분야는 프린팅 장비, 잉크 그리고 기관으로 분류 할 수 있는데, 프린팅 장비에서는 Roll-to-roll 장비와 잉크젯 프린팅 헤드로 다시 분류가 된다. Roll-to-roll과 같은 미디어 인쇄 장비의 경우는 이미 대규모 시장이 형성되어 있고 세계적으로 이미 기업, 연구소, 학교에서 활발히 연구 되고 있다. 본 논문에서 다루고자 하는 정전기력 기반의 잉크젯 헤드는 아직 시장이 크게 형성되진 않았으나, EHD, ESD, DOD, Continuous, Spray 등으로 분류되어 유럽국가나 일본 등에서 앞서 기술 개발을 주도 하고 있는 실정이나, 국내에서도 수년전부터 기술 개발을 시작하여 현재 잉크, 장비, 헤드, 기관 등 세부분야로 나누어 활발히 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 앞서 명시한 정전기력 잉크젯 프린팅 시스템을 구축하고, 정전기력 잉크젯 헤드를 장착하여 유연기관위에 고점도 전도성 잉크를 프린팅 하여 고 종횡비의 패턴을 얻고, 보다 정확한 공정 변수 설정하여 안정적인 전도성 잉크 액적토출을 위한 시스템을 구축하고자 한다.

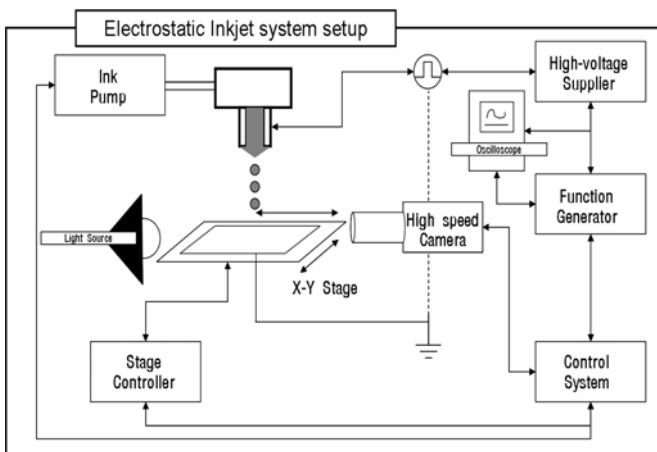


Fig. 1 Electrostatic Inkjet system architecture

2. 실험 장치 구성 및 조건

2-1 세부 실험 장치

Fig1. 에 전체 시스템의 구성을 나타내었다. 전도성 잉크 액적의 토출은 Pin to plate 형식으로 구성하였고, Pin 부분에 해당하는 잉크젯 헤드에 양전원을 인가하고 기관에 접지를 인가하였다 [3]. 전원부의 구성은 10kv까지 전원을 생성하는 고전압 발생장치와 액적토출의 주기를 조절하기 위해 펄스 파를 출력할 수 있는 함수발생기 그리고 입력전원과 출력전원의 비교 모니터링을 위한 오실로스코프로 구성하였다. 또한 액적 토출량의 한 가지 제어변수로 작용할 수 있는 잉크의 유량, 유속을 제어할 수 있는 마이크로 잉크 공급 장치를 구성하였고, 기관위에 패턴 형성을 위한 100um 급 2축 스테이지와 잉크젯 헤드 토출 구에서 생성되는 액적 메니스커스 모양을 모니터링 할 수 있는 고속 카메라 장치를 구성하였다. 이 밖에 시스템을 통합제어하기 위한 소프트웨어를 프로그램 하여 정전기력 잉크젯 시스템을 구성하였다.

2-2 정전기력 잉크젯 헤드

Table 1 은 정전기력 잉크젯 헤드의 전체적인 사양을 나타내었다. 헤드는 금속 모세관 타입이며 내부 직경은 100um 외부 직경은 500um 이며 전체 길이는 1mm 의 스펙을 갖는다. 헤드 몸체에 직접적으로 양전원을 인가하고 잉크 공급 장치에서 나온 튜빙을 연결하여 모세관 내부에 잉크가 채워지면 모세관 끝에서 액적 메니스커스를 잡아당겨 액적을 토출하게 된다.

2-3 실험 조건 설정

Table 2 에 정전기력 잉크젯 실험에 필요한 공정 변수를 나타내었다. 인가전압의 설정은 잉크젯 헤드에 직류 전원을 인가하여 헤드 끝단의 전도성 잉크의 메니스커스를 확인하며 액적이 원뿔 형태를 이루며 토출되기 시작하는 지점을 Peak voltage 로 설정하였고, 토출 주기를 조정하기 위하여 펄스파 형태로 인가하면서 주파수를 300Hz로 설정하였다. 또한, 고 종횡비를 얻기 위해 약 55 wt% 가 되는 전도성 잉크를 사용하였고 상세 스펙은 Table 2 에 표시하였다.

Table 1 Specification of Electrostatic Head

Inner Diameter	Outer Diameter	Capillary Length
100um	500um	1mm

Table 2 Experiment Parameters

Experiment Parameters	Ink specification		
Peak Voltage	1.0 kv	Viscosity	87 cps
Offset Voltage	0.5 kv	Density	55.66 wt%
Frequency	300Hz	Resistance	1.051E-05 Ω · cm
Ink flow rate	20 ul/hr	Surface tension	5.3 dyn/cm

3. 실험 결과 및 분석

실험 패턴은 100um 간격으로 일정 길이의 직선을 연속으로 형성하여 정전기력 잉크젯 헤드의 액적 토출 현상의 재현성을 염두에 둔 방식으로 진행하였다.

Fig.2 에서는 패턴닝 결과의 마이크로스코프 사진과 AFM에서 측정한 평면과 입체 이미지를 보여준다. Fig. 2 (a), (b)의 결과의 선폭 측정 결과 평균적으로 70um 정도의 패턴을 얻어낼 수 있었다. 여기에 패턴 높이에 대한 결과를 측정하기 위해 AFM에서 측정한 결과는 Fig. 3 에서 보여주고 있다. 측정 결과 평균적인 높이는 1.2um로 측정되었으며 중형비는 58 : 1 정도 나온다는 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 3의 높이 그래프에서 보이는 패턴의 양쪽 끝의 단차 비는 8.3 : 1 정도로 측정되어 고점도의 잉크를 사용함에 따라 좀 더 명확한 패턴을 형성할 수 있다는 점을 보여준다.

Fig. 4 에서는 정전기력 잉크젯 헤드에서의 전도성 잉크 액적 토출 현상을 고속카메라 연속 캡처 사진으로 보여준다. Fig.

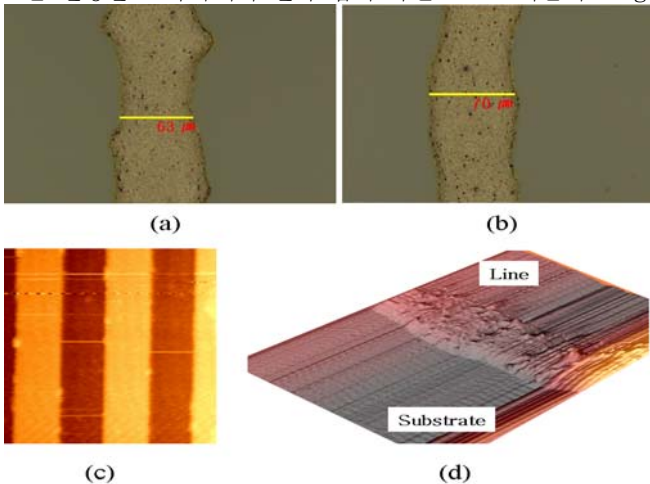


Fig. 2 (a), (b) shows microscope images of pattern line(70um)
(c), (d) shows AFM images of pattern line

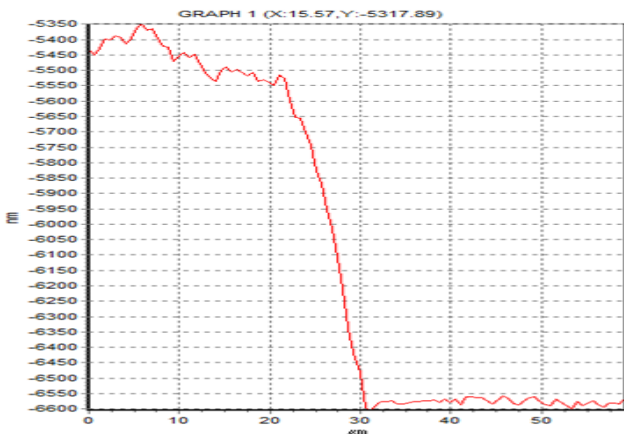


Fig. 3 shows height of pattern line(1.2um)

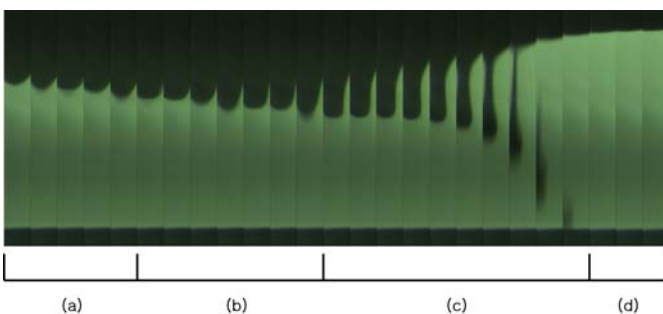


Fig. 4 shows high-speed camera captured images in drop mode

4 (a) 에서는 잉크젯 헤드 끝단과 기관에 걸린 정전기력의 의해 잉크 Cone이 형성되는 과정을 보여준다. Fig. 4(b)는 앞서 형성된 Cone이 기관 방향으로 정전기력에 의하여 끌려드는 과정을 보여주고, Fig. 4(c)에서는 Cone에서 전도성 잉크 액적이 토출되어 기관 위에 패턴닝 되는 과정과 Fig. 4(d)와 같이 액적 토출 후 Cone 사라지고 재 토출을 위하여 초기 상태로 돌아가는 과정을 보여주고 있다. 초기 실험 과정에서는 액적의 토출 주기를 실험 패턴이 연속적으로 프린팅 될 수 있도록 조정하는 과정에서 본 액적 토출 이후 좀 더 작은 잉크 액적이 같이 따라오는 현상이 발견되기도 하였으며, 이를 인가전압의 조정으로 해결할 수 있었다. 또한 Fig. 2 (d)에서는 패턴 표면이 균일하지 못한 상태를 볼 수 있는데 이는 실험에 사용된 고점도 잉크의 특성에서 이미 별도의 소성 공정을 거치지 않고도 기관위에서 잉크가 일부 소성되어 용제가 남아있는 상태에서 금속 미세 입자가 서로 결합하여 소성 공정을 거친 후에도 표면이 균일해지지 않는 결과를 보였다.

실험 패턴은 형성 후 150°C에서 5분간 소성 과정을 거쳤으며, 앞서 명시한 고점도 잉크에 있어서 배합 문제점은 나노 잉크의 특성상 점도와 함량을 맞추는 과정에서 용제 선택의 문제 및 일반 실험실 온도에서 쉽게 소성되는 특성 등이 조속히 해결되어야 할 과제임을 알 수 있다. 또한 고점도 잉크를 사용함에 있어 Fig. 2 (a)(b)에 보이는 결과에서 알 수 있듯이 패턴 폭이 일정하지 못한 점 또한 또 다른 공정변수의 추가와 함께 해결되어 한다는 점이다.

4. 결론

고점도의 전도성 잉크를 이용한 정전기력 잉크젯 실험 결과 기존 저점도의 묽은 잉크의 패턴 결과보다 좀 더 높은 중형비와 단차 비를 얻을 수 있었다. 그러나 잉크의 고점도성 때문에 생기는 잉크젯 헤드의 오리피스 막힘 현상과 패턴 선폭의 증가는 기대에 못 미치는 결과를 보여줘 해결방안이 필요할 것이다. 하지만 본 연구에서는 50%이상의 고점도 전도성 잉크를 사용하여 충분히 70um 급의 패턴을 생성 할 수 있다는 점을 보여줬으며 향후 연구에서는 정전기력 잉크젯 헤드와 실험 장치를 재설계하여 좀 더 높은 중형비를 얻고 추가적으로 전도도의 측정을 도입하여 패턴의 성능평가도 같이 겸하고자 한다.

후기

본 연구는 지식경제부에서 지원하는 전략기술개발사업으로 수행 되었습니다.

참고문헌

1. 김동수, 김강대, 김명섭, 배성우, 김정수, 2008, “플렉시블 전자 소자를 위한 프린팅 기술”, 한국정밀공학회 2008년도 춘계학술대회논문집, pp. 965~966
2. 최현철, 이택민, 강현욱, 김충환, 성형진, 김동수 2008, “실버잉크 그라비아 프린팅에서의 독터링에 대한 연구”, 한국정밀공학회 2008년도 춘계학술대회논문집, pp. 957~958
3. “Study of Droplet Generation through Drop on Demand Electrostatic Inkjet for printed Electronics”, A. Rahman, J.B. Ko, K. Rehman, M. A. Ali Rehmani, Y.H. Doh, K.H. Choi at 1st International Conference on R2R Printed Electronics Apr 30-May 2, 2008 in Konkuk University, Seoul, Korea.