

ESD를 이용한 전도성 잉크 패터닝에 관한 연구

A Study of Patterning of Conductive Ink using ESD Method

*#김동수¹, 김정수¹, 김준우¹

*D. S. Kim(kds671@kimm.re.kr)¹, J. S. Kim¹, J. W. Kim¹

¹ 한국기계연구원 나노기계연구본부

Key words : ESD, Conductive Ink, Patterning

1. 서론

프린팅 기술에서는 대표적으로 써멀 버블젯 방식과 피에조 방식이 있다. 이는 그간 잉크젯 프린팅의 가장 대표적인 방법으로 사용되어 왔다. 하지만 최근에는 잉크젯 및 다양한 프린팅 기법이 유기 반도체, 유기 EL 등의 제작 목적으로 사용되어 짐으로 인해 그 단점에 따른 문제점이 대두 되었다. 써멀 버블젯의 사용 재료에 대한 한계와 피에조의 노즐 막힘 현상등이 가장 대표적인 문제점이라고 볼 수 있다. 따라서 근래에는 이러한 문제점을 해결하고자 다양한 분사 기법이 연구되고 진행되고 있다.

ESD(Electrostatic Spray Deposition)는 정전기력을 이용하여 재료를 분사하는 기법으로 아주 높은 고전압을 재료에 가하여 입자들이 분리되고 전도되어 마치 스프레이처럼 분무되는 현상을 이용한 것이다. 본 논문에서는 이러한 기법을 이용한 전도성 잉크 패터닝 실험을 하고 그 결과를 분석하였다.

2. 잉크젯 프린팅 기법

2.1 써멀 버블젯

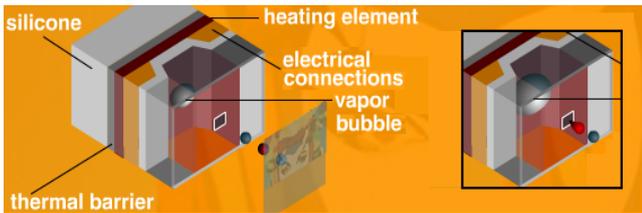


Fig. 1 The structure of thermal bubble ink jet head

그림 1은 써멀 버블젯 잉크젯 헤드의 구조를 나타낸 것이다. 써멀 버블젯 기법의 경우 높은 온도(약 300°C 이상)에서 버블을 형성시켜 이를 이용하여 재료를 밀어내는 방식으로 분사하는 기법이다. 이러한 기법의 문제점은 재료의 한계에 있다. 써멀 버블젯에 사용되는 재료는 점도가 1cps 정도(물에 가까운 점도)의 아주 점성이 낮은 재료에 대하여 사용이 가능하다. 이는 최근의 전자 인쇄기법에서 써멀 버블젯이 제외되는 주원인이라고 볼 수 있다.

전자 인쇄 공정은 다양한 재료가 복합적으로 프린팅 되어야 한다. 특히 전도성 잉크의 경우 다양한 용제가 서로 복합 혼합되어 사용되어지고 그 비율에 따라서 전도 특성이 달라지기 때문에 분사 재료의 제약은 가장 단점으로 나타난다.

2.2 피에조 잉크젯

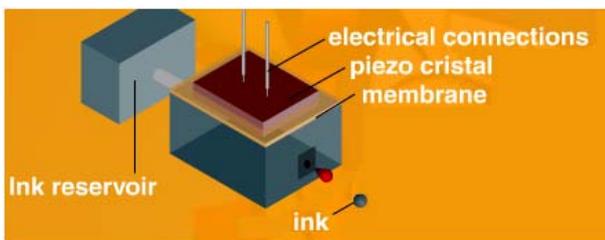


Fig.2 The structure of piezo ink jet head

그림 2는 피에조 잉크젯 헤드의 구조를 나타낸 것이다. 피에조 잉크젯은 헤드 내의 각 노즐별 챔버를 가지고 있고 챔버내에 공급된 재료가 액츄에이션된 피에조의 힘에 의해 분사되는 기법을 이용한 것이다. 이는 써멀 버블젯에 비해 고 점도(10~15cps)의 재료가 분사 가능하며 다양한 종류의 재료를 분사하여도 큰 문제가 없다는 장점을 가진다. 하지만 피에조 헤드의 경우 헤드를 약 50°C 이상으로 히팅시켜 제팅을 하기 때문에 노즐의 막힘 현상의 나타날 수 있다. 이는 사용되는 재료의 점도를 낮추고 액츄에이션 되는 피에조의 효과를 높이기 위한 방법이기 때문에 현재 구조상 히팅이 전혀 이루어지지 않고 분사를 할 수는 없으며 그럴 경우 재료가 피에조 표면에 남아있거나 재료 공급라인을 막히게 하는 요소가 된다. 따라서 현재 피에조 헤드를 이용한 잉크젯 기술은 언제나 전원을 인가한 상태로 일정 온도를 유지하여야만 노즐의 막힘 현상을 줄 일수 있고 그러한 방법 역시도 영구적이지는 못하다. 따라서 일반적인 피에조 헤드는 약 6개월 정도(사용 빈도에 따라 다름)의 사용 제약을 가지고 있으며 주로 그 주기마다 교체를 하는 방법을 사용하고 있다.

노즐의 막힘(Nozzle clogging) 현상은 피에조 잉크젯의 고질적인 문제점이다. 이는 일반적인 인쇄 공정에서는 색을 도트들의 혼합으로 표현하기 때문에 몇 개의 노즐 막힘에 대해서도 결과물에 큰 영향을 주지 못하지만 전자 인쇄 공정에서는 하나의 노즐이 막힘으로 해서 미치는 과급효과가 상당히 크다. 즉, 전기 전도도가 변할 수 있으며 LCD 공정등에서는 몇 개의 픽셀들이 데미지를 입을 수도 있다. 따라서 현재 많은 전자 인쇄 공정에서 피에조 잉크젯 기술이 대표적으로 사용되고 있지만 현재로서는 실제 제품 생산 라인에 도입하기 어려운 문제점으로 대두되고 있고 이러한 문제점의 해결방법으로 많은 연구가 진행되고 있다.

2.3 정전기력 분사 기법

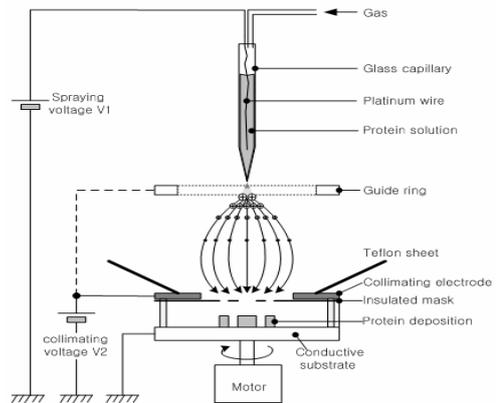


Fig.3 The schematic of ESD

그림 3은 ESD 시스템의 원리를 나타낸 것이다. ESD는 정전기력을 이용하여 재료를 스프레이와 같은 형태로 분사하는 기법으로서 기존 써멀 버블젯과 피에조 잉크젯의 단점을 보완한 최신의 분사 기법이다. ESD 공정의 장점은 재료의 대한 제약이 작다는 것이다. 즉, 재료의 점도에 의해 분사 재료가 결정되어지는 것이 아니라 재료의 전도성에 의해 분사 재료가 결정되어진다. 이는 비전도성 물질도 약간의 전도성 물질을 혼합함으로써 해서 분사가 가능하며 순수하게 정전기력에 의해 분사가 이루어지기 때문에 노즐의 막힘 현상이나 기타 기존 잉크젯에서 가진 다양한 문제점

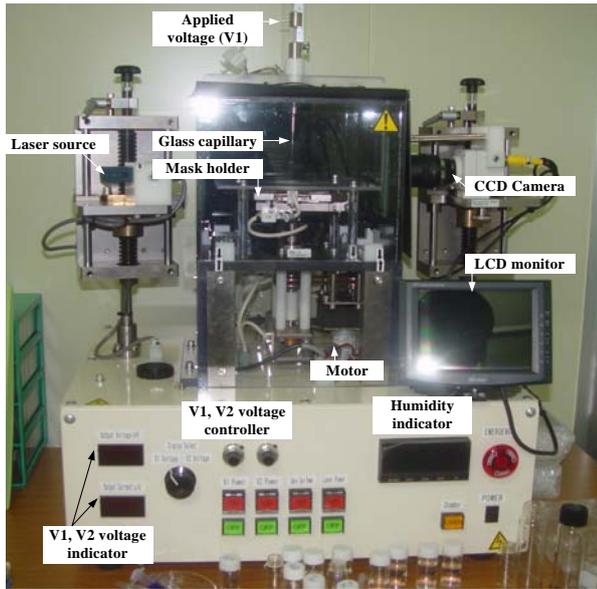


Fig.4 ESD system with a patterning mask

을 해결하고 전자 인쇄 분야에서는 손쉽게 제품 생산 공정에 적용이 가능한 장점을 가지고 있다.

ESD의 원리는 높은 전압을 분사 재료에 인가 시켜 이를 입자로 분해시키고 분사 기관에 전위차를 이용하여 적층하는 방법이다. 입자로 분해된 재료는 높은 전압에 의해 극성을 띄게 되고 기관위에 전위차를 형성시켜주는 것으로서 입자들의 유도 증착이 가능하게 된다. 본 논문에서는 이러한 원리를 이용하여 전도성 잉크를 패터닝하였다.

스프레이 방식의 분사 기법에서는 원하는 형태로 패터닝을 하기 위해서 마스크를 통하여 패터닝하는 방법이 필요로 하며 그림 4는 마스크를 포함한 ESD 패터닝 시스템을 나타낸다.

3. ESD 기법을 이용한 전도성 잉크의 패터닝

3.1 전도성 잉크 패터닝

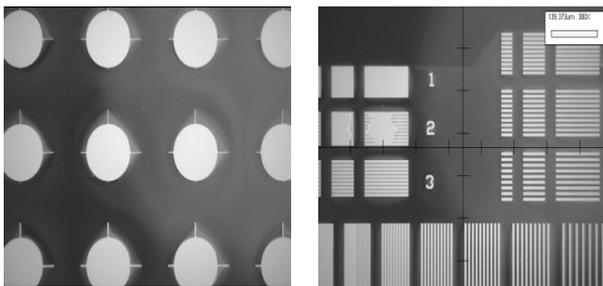


Fig.5 A various mask pattern

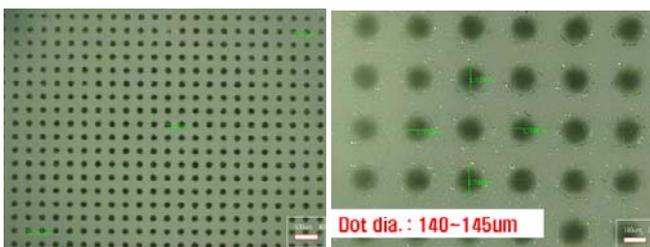


Fig.6 Patterning result of conductive ink using ESD method

그림 5는 패터닝을 위해 제작된 다양한 마스크 모양을 나타내며 실제 실험에서는 도트 타입의 마스크를 이용하여 전도성 재료를 패터닝 하였다. 패터닝된 물질은 Pani-X의 실버나노 잉크를 사용하였으며 그 결과 약 140-145um의 도트 사이즈를 가지는 전도성 잉크가 균일하게 패터닝 되어 졌다. 이는 전도성 재료의 패터닝을 ESD 기법을 이용하여 손쉽게 분사하였다.

3.2 전도성 고분자 코팅

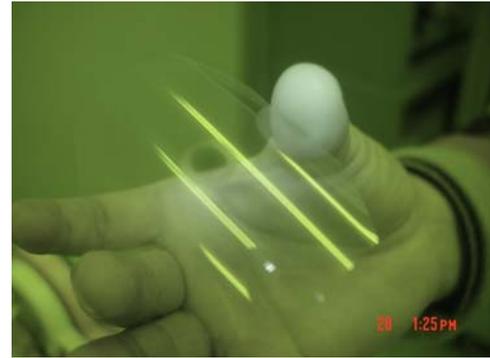


Fig.7 Deposition of conductive polymer

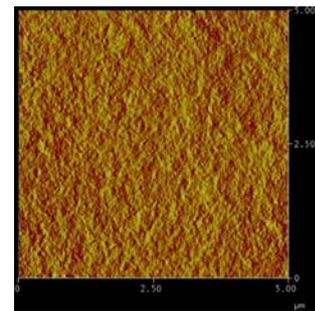


Fig.8 AFM image of a coated surface

앞선 실험을 통하여 전도성 재료의 분사 가능성을 실험한 결과 그 패턴이나 패터닝된 잉크의 조밀성이 상당히 정밀하게 컨트롤 가능함을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서는 최근 전자 인쇄 공정에서 이슈가 되는 ITO layer를 대체하는 투명 전극 layer를 전도성 고분자 재료를 ESD로 코팅함으로써 가능성을 평가 하였다. 패터닝 실험과 동일하게 전도성 고분자 잉크 코팅 실험도 기관으로 플렉시블한 플라스틱 필름의 일종인 PET 필름을 사용하였다. 그림 7은 전도성 고분자가 ESD 기법에 의해 박막 코팅된 PET 필름을 나타낸다. 그림 8은 박막 코팅면의 AFM 이미지 사진을 나타내며 그 결과 상당히 조밀하게 박막을 형성하였음을 알 수 있다.

전기 전도도는 측정 결과 약 120Ω/□의 표면 저항값을 가졌다. 이는 기존 ITO에 거의 근접한 수준이다. 기존 ITO 코팅 PET 필름의 경우 약 80Ω/□의 표면 저항값을 가지고 있으며 제작 비용을 비교 할 때 기존 ITO 코팅 비용에 비해 ESD 전도성 고분자를 이용한 기법이 10배 이하로 저렴하게 제작이 가능하다.

4. 결론

본 논문에서는 ESD 기법을 이용한 전도성 잉크의 패터닝과 전도성 고분자의 투명 박막 형성에 관해 실험을 하였다. 그 결과 전도성 잉크의 패터닝은 마스크 패턴에 의해 미세하고도 균일하게 패턴이 가능하였으며 전도성 고분자의 투명 박막 형성 역시 기존 ITO 공정과 유사한 성능의 결과를 가져왔다. 향후 ESD 분사 기법에서 다양한 공정변수 (전압, 분사 높이, 분사 시간, 다양한 용제 첨가등)를 조절하여 실험 할 계획에 있으며 나아가 스프레이 방식이 아닌 기존 잉크젯을 대체할 멀티 노즐의 DOD 분사 기법을 연구 할 것 이다.

후기

본 연구는 산업기술연구회 전문화연구사업(COE)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. V. N. Morozov, and T. Y. Morozova, "Electrospray Deposition as a Method To Fabricate Functionally Active Protein Films", Anal. Chem., vol. 71, pp. 1415-1420, 1999.