

# 은나노입자 기반 잉크젯 프린팅을 이용한 셀룰로오스 EAPap 전극제조

## Fabrication of electrode on cellulose EAPap using ink jet printing with silver ink

\*문성철<sup>1</sup>, #김재환<sup>1</sup>, 적림동<sup>1</sup>

\*Seongcheol Mun<sup>1</sup>, #Jaehwan Kim(jaehwankim@inha.edu)<sup>1</sup>, Lindong Zhai<sup>1</sup>

<sup>1</sup>인하대학교 기계공학과

Key words : Ink-jet printing, Printable electronics, Cellulose EAPap, Silver ink

### 1. 서론

잉크젯 프린팅 기술은 용액공정이 가능한 기능성 잉크소재를 이용하여 전자소자를 제작하는 인쇄전자기술이다. 기판에 직접적인 접촉이 없는 공정으로 기판의 오염이나 손상이 적고, 기판의 특성에 상관없이 전극 제작이 가능하므로 센서, 광학, 플라스틱 기반 및 유연한 전자소자 제작에 적합한 기술로 각광 받고 있다. Lift-off를 비롯한 기존의 전자소자제작 공정은 복잡하고 많은 장비와 재료가 필요하였다. 이로 인하여 공정시간이 길어졌으며 비싼 공정비용이 필요하였다. 뿐만 아니라 공정 중 버려지는 재료가 많아 환경적인 문제가 있었다. 잉크젯 프린팅 기술은 잉크젯 프린터와 잉크만으로 전극을 제조 할 수 있는 간단한 공정으로 공정시간과 비용을 절약 할 수 있다. 또 마스크 없이 다양한 패턴의 전극 제작이 가능하여 기존 공정의 한계점을 극복할 수 있다 [1,2].

셀룰로오스는 지구상에서 가장 풍부한 천연고분자로, 석유기반 재료들과 달리 친환경적이며 뛰어난 생분해성을 가진다. 셀룰로오스의 섬유질을 재생하여 만든 셀룰로오스 EAPap (Electro-Active Paper)은 전기활성고분자의 하나로써, 친환경적이며 가볍고, 높은 생분해성, 투명도, 유연성 등 많은 장점으로 센서나 작동기로 사용 될 수 있다[3]. 본 논문에서는 저온에서 소결 가능한 유기금속성은 잉크와 잉크젯 프린터를 이용하여 셀룰로오스 필름에 전극을 제작하였다. 제작된 전극은 전도성 평가와 형태적 분석으로 가장 적합한 전극 제작 조건을 판단하였다.

### 2. 실험 방법

셀룰로오스 필름을 제조하기 위해서 LiCl /

DMAc 를 이용하여 목화섬유를 팽윤 및 용해재생 처리를 하여 재생 셀룰로오스를 만들고, 닥터 블레이드를 이용하여 필름 형태로 제조하였다. 이를 DI water와 IPA 혼합액에 넣어 고형화 한 후 근적외선 조사기를 이용하여 건조시켜 제조하였다.

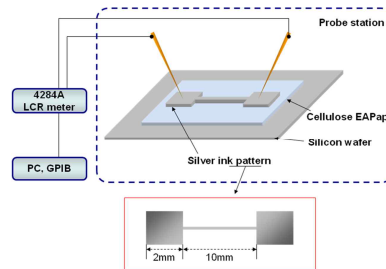


Fig 1. Schematic of resistance measurement system with silver electrode on cellulose EAPap.

전극을 제작하기 위하여 원하는 위치에 전극을 인쇄 할 수 있는 주분형 잉크젯 프린터(DMP 2800, Dimatrix)가 사용 되었으며, 피에조 기반의 카트리리지(DMC 11610)를 이용하여 잉크 분사상태를 조절 하였다. 저온에서 소결이 가능한 유기금속성은 잉크(Tec-IJ-010, InkTec)가 사용되었으며 은 함유량은 15%이다. 그림1은 인쇄된 패턴과 전기저항 측정 시스템의 개략도이다. 특성 비교가 용이한 선 패턴의 전극을 인쇄하였으며, 사각형 전극을 10mm 간격으로 선 패턴 양쪽에 인쇄하였다. 탐침을 연결한 LCR미터(4284A, HP)로 전극의 전기저항을 측정하였으며, 식  $\rho = R \cdot A/L$  이용하여 단위면적·단위길이의 저항 값인 비저항( $\rho$ )으로 전도성 특성 평가를 하였다. 주사전자현미경(SEM, S4000, Hitachi)과 원자전자현미경 (AFM, Dimension 3100,

Veeco)를 이용하여 전극의 형태를 분석하였다.

### 3. 결과 및 논의

인쇄된 전극은 유기금속성 잉크속의 바인더가 소결과정의 열처리에 의해 녹으면서 은 입자들의 응집을 유도하며 응집된 은 입자들이 패턴의 전반적인 연결망을 형성하여 전도성을 갖게 된다. 전극을 인쇄 한 후 100°C에서 200°C까지 증가시키며 소결하였다. 그러나 높은 온도의 소결로 인하여 바인더가 증발하였으며, 이로 인하여 은 입자의 응집이 어려워 전도성을 갖지 못하였다[2]. 바인더의 증발을 막고 전도성을 구현하기 위하여 잉크젯 프린터의 받침부분인 압반(platen)을 이용하였다.

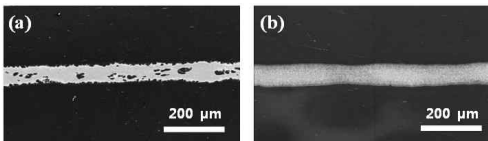


Fig 2. SEM images of printed electrode with platen(a) and without platen(b).

그림2(a)는 50°C로 가열된 압반을 이용한 전극의 SEM이미지이며, 그림2(b)는 압반의 이용 없이 제작한 전극의 이미지이다. 두 전극 모두 160°C에서 10분간 소결시켰다. 그림2(a)에서는 은 입자들의 응집으로 인하여 패턴의 모서리가 깨끗하지 않은 것을 볼 수 있다. 또한 패턴의 중앙 부분의 형태적인 결함이 있으며 이는 소결과정에서 온도 구배차이에 의한 커피링 효과에 기인한 것이다. 이러한 결함에도 불구하고  $1.39 \times 10^{-7} \Omega \cdot m$ 의 낮은 비저항 값이 측정되었다.

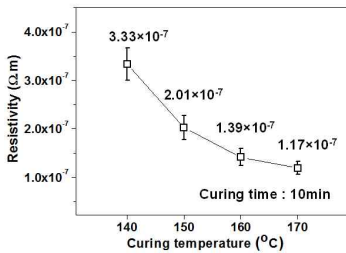


Fig 3. Measured resistivity of printed electrode at various curing temperature.

그림 3은 소결온도를 증가하며 제작된 전극의 비저항 값이며 160°C와 170°C의 경우 비슷한 값이 측정되었다. 폴리머인 셀룰로오스 필름을 고려하였을 때, 160°C가 더 적합한 소결온도로 판단된다.

압반을 이용하여 제작된 전극은 형태적인 결함이 있었다. 이러한 결함을 극복하고자 다층 인쇄를 시도하였다. 그림4는 다층 인쇄를 통하여 제작된 전극의 AFM이미지이며, 형태적 결함이 보완된 것을 확인 할 수 있었다. 뿐만 아니라 측정된 비저항 값이 50% 이상 향상되었음을 확인 할 수 있었다.

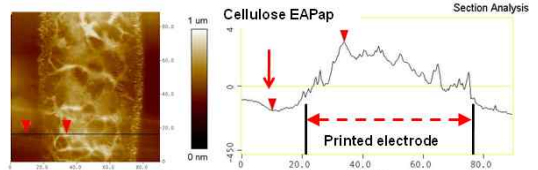


Fig 4. AFM image of printed electrode with multi-layer printing

### 4. 결론

본 연구에서는 셀룰로오스 필름에 전극을 제작하기 위하여 잉크젯 프린팅 공정을 사용하였다. 유기금속성 잉크를 이용하여 제작된 전극은 전도성 측정과 형태학적 분석을 통하여 평가하였다. 바인더의 원활한 작용을 위하여 압반을 이용한 공정을 고안하여, 낮은 온도와 짧은 공정시간으로 전도성이 좋은 전극 제작 할 수 있었다. 형태적 결함 또한 다층인쇄 공정을 통하여 보완 할 수 있었다. 이를 통하여 유연하고 투명한 전자소자로서의 EAPap 응용가능성 제시하였으며, 다양한 패턴의 전극 제작이 가능한 잉크젯 프린팅 공정으로 더욱 다양한 분야에 적용이 가능 할 것이다.

### 후기

이 연구는 연구재단 창의적연구 진흥사업(EAPap Actuator)의 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. P. J. Smith, D.Y. Shin, J. E. Stringer, B. Derb, "Direct ink-jet printing and low temperature conversion of conductive silver patterns", Journal of Materials Science, **41**, 4153-4158, 2006.
2. J. Perelaer, C.E. Hendriks, A.W.M. de Laat, U.S. Schubert, "One-step inkjet printing of conductive silver tracks on polymer substrates", Nanotechnology, **20**, 165303, 2009.
3. J. Kim, S. Yun, Z. Ounaies, "Discovery of cellulose as a smart material", Macromolecules, **39**, 4202-4206, 2006.