

잉크젯 기술을 이용한 저항 제작을 위한 잉크 재료의 특성 분석

*심형섭¹, 이상호², 강희석², 강신일³

¹ 연세대학교 대학원 기계공학과, ² 한국생산기술연구원, ³ 연세대학교 기계공학과

Characterization of Ink materials for Fabricating a Resistor by Ink-Jet Technology

*H. S. Shim¹, S. -H Lee², H. S. Kang², S. Kang³

¹ Dept. of Mech. Eng., Yonsei Univ., ² Mechatronics Team, Korea Institute of Industrial Technology,

³ School of Mech. Eng., Yonsei Univ.

Key words : Ink-jet technology, resistor, PEDOT, resistance

1. 서 론

잉크젯 기술은 현재 주변에서 쉽게 볼 수 있는 데스크 톱 프린터에 사용되는 디지털 인쇄기술이다. 적은 비용으로 원하는 위치에 잉크를 비접촉 방식으로 분사하는 기술로 종이는 물론 옷감, 폴리머 등 다양한 재료 위에 수십 마이크로미터의 해상도로 자유롭게 인쇄할 수 있는 장점이 있다. 따라서 반복 패턴이 필요한 디스플레이는 물론 e-paper 나 RFID 등 플렉서블 전자기기에 적용 가능하며, 더 나아가 반도체 회로 제작에도 응용될 수 있는 잠재력을 가진 것으로 평가 받고 있다. 잉크젯 기술은 원하는 곳에 직접 분사하기 때문에 기존 포토리소그래피 공정처럼 재료 대부분을 버리거나 패턴/재료 수마다 공정을 반복하는 과정이 필요 없다. 잉크젯 공정이 적용되면 비용 절감은 물론 공정 수를 최소화할 수 있고, 패턴 제작 시간도 줄일 수 있다.[1-4] 몇몇 연구자들이 이런 장점을 가지고 있는 잉크젯 기술을 이용하여 저항을 제작하고자 하고 있으며[5], 본 연구에서는 이를 위한 기초작업으로 잉크 재료의 물리적, 전기적 특성을 분석하고 분사 조건을 확립하였다.

2. 본 론

저항 제작을 위해 현재 가장 많이 사용되는 전도성 잉크재료인 silver ink 와 Poly Elyene Dioxy Thiopspnene (PEDOT) 의 물리적 특성을 Table 1 에 비교 정리하였다.

Table 1 Physical Characteristics of Silver ink and PEDOT

	Silver ink (Sima)	PEDOT CPP105D (BAYTRON [®] P)
Surface Tension	23.8 dyne/cm	29 dyne/cm
Viscosity	22.7 cp	27 cp
Cost (200ml)	\$2000	\$22
Jetting Temperature	65℃	25℃
Line shape	Good	Good

Table 1 에서 보듯이, PEDOT 105D 는 상온에서 분사가 가능하며, silver ink 에 비하여 가격이 저렴하고 ink-jet printing 시 line shape 이 우수하다 점을 알 수 있다. 또한 비저항치를 고려하여 ink-jet 기술을 이용한 저항 제작에 전도성 폴리머인 PEDOT 105D 를 잉크 재료로 선정하였으며 특성 분석 연구를 수행하였다. Table 2 는 PEDOT 105D 성분 에 대한 조성비를 나타낸다.

Table 2 Chemical composition of CPP 105D

Component	% by weight
BAYTRON [®] P	42.92
N-Methy-2-pyrrolidone	2.58
Silquest [®] A187 TM	0.86
Isopropanol	53.34
Dynol TM 604	0.30

저항을 설계하기 위해 정확한 비저항 (specific resistance) 값이 필요한데, PEDOT 105D 박막의 면저항(sheet resistance) 과 두께를 측정하여 계산하였다.

$$\text{비저항}(\Omega \cdot \square) = \text{면저항} [\Omega / \square] \times \text{두께} [m] \quad (1)$$

Spin coating 으로 도포된 박막의 높이는 SEM 을 이용하여 측정하였으며, 면 저항은 4-point-probe 를 이용하여 측정하였다. 측정 결과는 Fig. 1 과 같은데, 일정 두께(300 nm) 이하에서의 비저항이 변하지 않는다는 것을 알 수 있다.

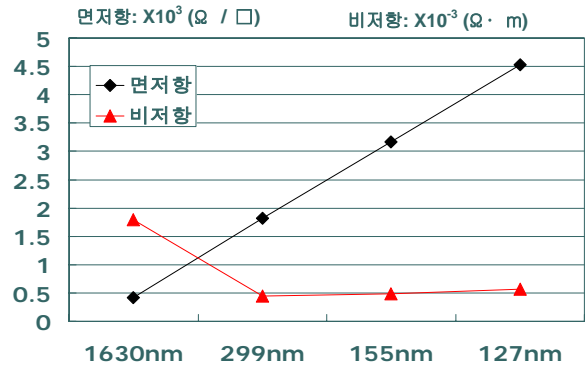


Fig. 1 Specific resistance versus coated thickness

Fig.2 는 curing 온도에 따른 면저항의 변화를 측정한 그래프로 일정 두께(155 nm)에서는 curing 시간을 일정(1min)하게 주었을 경우 거의 변화가 없음을 알 수 있다.[6]

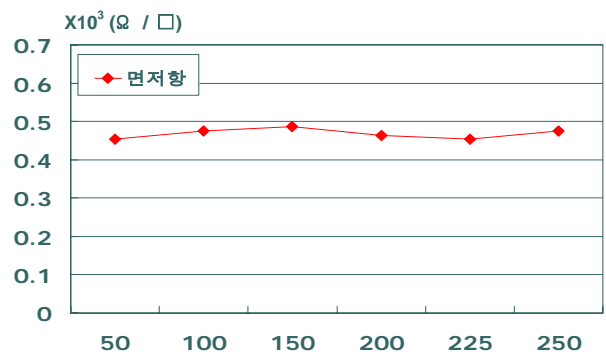


Fig. 2 Specific resistance as a function of curing temperature

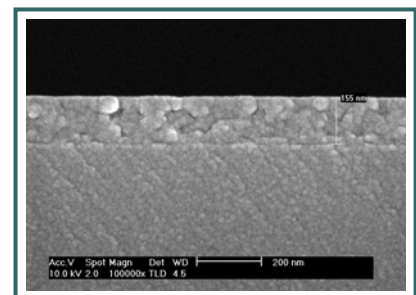


Fig.3 SEM image of a PEDOT coated substrate

Fig.3 은 cover slide glass 위에 PEDOT 을 750rpm 속도로

코팅한 후, 200°C에서 1분 동안 curing 한 sample 의 단면을 측정할 모습이다. 균일한 단면 형상을 가짐을 알 수 있었다.

jetting 시 사용된 장비는 MicroFab Technologies Inc. 에서 만든 single nozzle 기본 장비에 정밀 stage 와 주변 편의 장치를 결합하여 고안된 장비로 2 μm까지 위치제어가 가능하다. single nozzle 은 piezo 방식으로 펄스에 따라 잉크가 분사되며 Fig.4 (a) 에서와 같이 펄스는 크게 rise time, dwell time, fall time, echo time, fris time 으로 나누어 지는데 rise time 에서는 노즐이 팽창하여 잉크가 nozzle 안으로 흡입되게 된다. 그 다음 dwell time 동안 대기후 fall time 에서 압축이 되어 잉크가 분사 된다. echo time 에 의해서 분사 시간이 조절이 되고 fris time 에 의해 다시 처음상태로 돌아간다[7]. Fig. 4 (b)는 jetting 시 dwell time, echo time, 과 amplitude 를 변화하여 검출된 최적조건에 의해 분사된 PEDOT-CPP105D 의 액적 모양을 나타내고 있다.

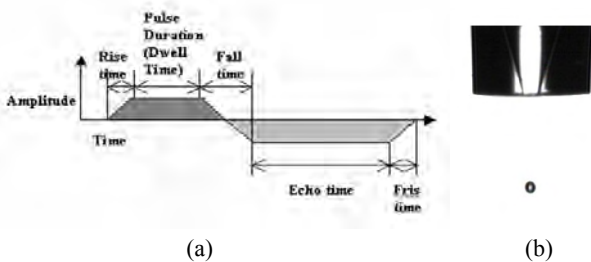


Fig. 4 (a) Driving electronic signal for ink-jetting, (b) Jetted droplet

잉크젯 인쇄 기법을 이용한 전기 소자의 제작에서 기판의 조도 (roughness)는 제작될 소자의 설계 및 신뢰성에 영향을 주는 매우 중요한 인자로 작용될 수 있다[6]. 4 가지 종류의 substrate 를 선정하여 조도(roughness)분석을 하였다. 측정결과는 Table 3 에서 보여주고 있다.

Table 3 Roughness of substrate

Substrate	Rrms	R peak-to-peak
Cover slide glass	2.702 nm	50 nm
Plain glass	5.704 nm	100 nm
PI film	5.777 nm	100 nm
Copper-patterned PI film	13.67 nm	5000 nm

분석 결과 cover slide glass 가 가장 낮은 약 2nm 의 조도를 가지고 있었으며 copper-patterned PI film 은 거친 표면을 가지고 있었다. 본 연구에서는 잉크 분사 실험의 기판으로서 가장 낮은 조도를 가진 cover slide glass 를 기판으로 사용하여 인쇄실험을 수행하였다.

Fig. 5 는 기판 위에 인쇄된 Drop 의 광학 현미경 사진을 나타낸다. 인쇄된 Drop 의 직경은 약 82 μm 이며, 두께는 약 200 nm였다. 높이는 AFM 과 Surface Profiler(α -step)을 이용하여 측정하였으며, 인쇄된 Drop 의 직경은 광학 현미경을 이용하여 측정하였다.

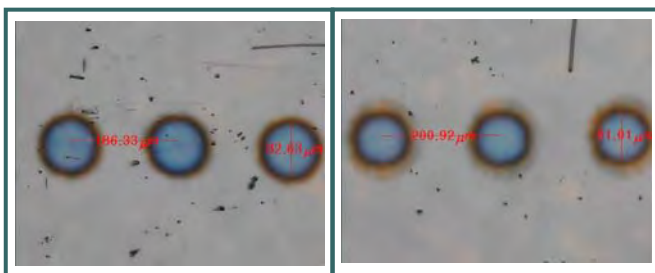


Fig.4 Microscopic images of PEDOT-CPP105D printed on a cover slide of slide glass

인쇄된 drop 의 두께가 200 nm 임을 고려할 때, peak-to-peak 조도가 100 nm 이하인 cover slide glass, plain glass, PI film 이 저항제작에 적합한 기판으로 사용 가능할 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 잉크젯 기술을 이용한 저항 제작을 위해 먼저 잉크 재료의 물리적 특성, 비저항, 두께, 면저항, substrate 의 거칠기 등을 측정하였으며, 그 다음 curing 조건 및 jetting 조건을 검출 하였다. 측정된 비저항 값은 $0.45 \times 10^{-3} [\Omega \cdot m]$ 였으며, 300nm 이하의 두께에서는 curing 온도에 따라 면저항의 변화가 미소함을 알 수 있었다. 검출된 분사 실험에서 인쇄된 drop 의 직경은 200 μm, 두께는 200 nm로 측정되었다. 향후 연구에서는 본 연구에서 얻어진 결과들을 토대로 flexible printed circuit board (FPCB) 기판 위에 저항을 설계 제작하고 측정할 예정이다.

후기

본 연구는 G7 첨단생산시스템개발사업의 기술료 활용사업의 지원으로 진행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

1. 안동훈 "잉크젯 기술의 디스플레이 응용," 한국정보디스플레이학회지, 4, 40-45, 2003.
2. R. Guo, H, Qi, D, Guo, X. Chen, Z. Yang, Y. Chen "Preparation of high concentration ceramic inks for forming by jet-printing" Journal of the European Ceramic Society, 23, 115-122, 2003
3. T. Kawase, H. Siringhaus, R.H. Friend, T. shimoda "All-Polymer thin film transistors fabricated by high-resolution ink-jet printing" Tech. Dig. Of IEDM, 623, 2000
4. 이원재 "인쇄잉크의 특성과 전망," 공업화학 전망, 5, 64-69, 2002.
5. Virang G. Shah and Donald J. Hayes "Trimming and printing of embedded resistors using demand-mode ink-jet technology and conductive polymer" IPC Printed Circuit Expo, 1-5, 2002
6. Jun Fukai, Hirotaka Ishizuka, Yosuke Sakai, Masayuki Kaneda, Masamichi Morita, Atsushi Takahara "Effects of droplet size and solute concentration on drying process of polymer solution droplets deposited on homogeneous surface" International Journal of Heat and Mass Transfer, 49, 3561-3567, 2006
7. W. Royall cox, Ting chen, and Donald J. Hayes "Micro-Optics Fabrication by Ink-jet Printing" Optics & Photonics News, 32-35, 2001