

잉크젯 Ag 전극 패턴의 비저항 특성

Specific Resistivity of Ag Electrode Fine Patterns by Inkjet Printing

*이동준¹, 오피승¹, #오제훈²

*D. J. Lee¹, P. S. Oh¹, #J. H. Oh (jehoon@hanyang.ac.kr)²

¹한양대학교 기계설계·메카트로닉스 공학과, ²한양대학교 기계공학과

Key words : Inkjet Printing, Specific Resistivity, Mud Crack

1. 서론

잉크젯 프린팅 기술은 마스크를 사용한 별도의 공정 없이 원하는 위치에 미세한 Ink Drop을 분사하여 기판 위에 패턴을 직접 형성하는 인쇄 기술로서, 패턴을 직접 인쇄하기 때문에 대폭적인 공정 단축이 가능하다[1].

이러한 잉크젯 프린팅 기술을 이용하여, 나노 금속 입자가 분산되어 있는 잉크로 도전성 패턴을 형성하기 위해서는, 소결 공정을 거쳐 금속 입자를 경화시켜야 한다. 하지만 현재 소결 공정에 대한 연구는, 소결 온도와 시간에 따른 비저항의 변화 경향에 대해서 주로 진행되어왔다[2,3]. 그리고 기존의 잉크를 통해서 수 μm 이상의 두께를 얻기 위해서는 중첩 인쇄가 필요하나, 이러한 중첩 인쇄가 비저항에 미치는 영향에 대한 연구는 진행되지 않았다.

본 연구에서는 소결 온도와 시간은 고정시키고, 패턴의 선폭과 두께 그리고 기판의 종류를 프린팅 변수로 하여, 이러한 공정변수들이 비저항에 미치는 영향을 살펴보고, 건조/소결 후 패턴에서 발생하는 머드 크랙(Mud Crack)에 대하여 고찰해보았다.

2. 실험 및 평가방법

일반적으로 금속은 수백~수천°C에 이르는 녹는점을 가지지만, 금속의 입자가 작아져 나노 사이즈가 될 경우, 소결 온도가 낮아져 녹는점 이하에서도 소결이 가능해진다. 그래서 금속 입자를 수십 나노 사이즈로 만든 후 분산시켜 잉크화하면, 프린팅하고 낮은 온도에서 소결하는 과정을 거쳐 도전성 패턴으로 제작할 수 있게 된다. 소결 온도 및 소결 시간은 프린팅 생산성 및 기판 선정에 영향을 주는 중요 요소이기도 하지만, 도전성 패턴의 성능을 평가하는 중요 지표인 비저항과도 연관되어 있다.

전도성 잉크에서 나노 금속 입자의 함유량은, 소결 후 형성되는 패턴의 두께에 직접적인 영향을 주게 된다. 즉, 무게비 20wt%의 금속 입자를 함유한 잉크라도 부피비로는 약 2 vol% 수준이 되므로, 한 번 프린팅하는 것으로는 1μm 이상의 패턴 두께를 얻기가 어렵다. 현재는 중첩 인쇄를 통한 패턴 높이 상승이 해결책으로 제시되고 있는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 소결 온도와 시간은 고정시키고 패턴의 두께를 변화시킴으로써, 중첩 인쇄가 패턴의 비저항에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다.

또한 요구되는 패턴의 치수에 따라서 중첩 인쇄뿐만 아니라, 패턴의 측면으로 프린팅이 연속으로 이어지는 중복 인쇄도 필요하게 된다. 이러한 중복 인쇄에 의한 패턴 선폭의 증가 외에도, 노즐 자체의 사이즈가 커서 발생하는 선폭의 증가도 있을 수 있다. 본 연구에서는 패턴의 선폭을 변화시킴으로써, 이러한 경우들이 패턴의 비저항에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다.

비저항에 연관되어 언급된 변수들의 영향을 파악하기 위해서 우선 기판의 종류를 유리와 폴리이미드로 선택하였다. 각 기판은 동일하게 O₂와 Ar을 이용하여 표면개질을 한 후에 소수성을 가지게 하기 위해서 불화탄소 플라즈마 표면 처리를 하였다. 플라즈마 소수처리(Hydrophobic Treatment)를 위하여 사용한 C₄F₈ 가스의 경우, 기판 표면에 CF₂, CF₃기의 박막을 형성시켜 소수성을 띄게 한다[4].

비저항 측정을 위한 테스트 시편은 잉크젯 장비를 사용하여 Fig. 1에서와 같이 아령형으로 패터닝하였으며, 패터닝 조건은 기판 위 Drop의 지름이 약 50μm 상태에서 Drop간에 약 31μm가

중첩이 되는 820dpi로 설정하였다. 그리고 선폭의 간격은 200~800μm로 200μm씩 증가시키면서 제작하였다. 또한 두께를 다르게 하기 위해서는, 제작된 아령형 패턴의 상단 동일 위치에 두 번, 세 번 중첩 프린팅을 하여 적층 Layer를 증가시켰다. 중첩 과정에서 재 프린팅을 할 경우에는 이전에 형성된 패턴이 완전히 건조된 후에 수행하였다. 소결은 분당 5°C씩 상승하도록 하여 200°C에서 1시간 동안 소결을 하였다. 이러한 실험에 대한 내용을 Table 1에 정리하여 나타내었다.

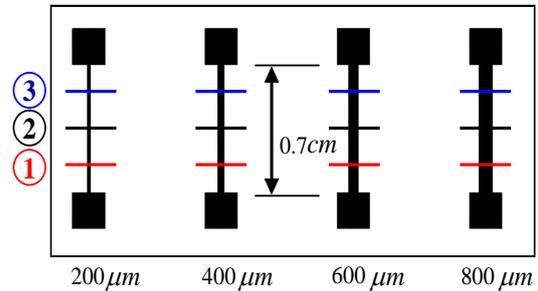


Fig. 1 Patterns with various line widths.

Table 1 Experiment conditions

Exp. no.	Substrate	Sintering	Number of Layers	Line Width (μm)
1	Slide Glass	200°C / 1 hr	1	200, 400
2			2	
3			3	600, 800
1	Polyimide	200°C / 1 hr	1	200, 400
2			2	
3			3	600, 800

그리고 형성된 패턴의 저항(R)은 밀리미터를 사용하여 측정하였고, 식 (1)에 의하여 비저항(ρ)을 구하였다.

$$\rho = \frac{RA}{l} \quad [\mu\Omega \cdot \text{cm}] \quad (1)$$

패턴의 단면적 A는 비접촉 나노형상 측정기를 사용하여 구했으며, 측정기를 통하여 Fig.1의 표시된 위치에서 각 시편 당 세 번의 단면적을 구한 뒤에 평균하여 사용하였다. 패턴의 길이 l은 모든 경우에 동일하게 0.7cm가 된다.

3. 결과 및 고찰

소결 온도가 200°C인 경우에 적층 수에 따른 선폭 별 비저항이 Fig. 2에 나타나 있다. 유리 기판과 폴리이미드 기판을 비교하였을 때, 두 기판에서 모두 1 Layer의 경우와 선폭이 200μm의 경우에는 비저항에서 큰 차이가 나타나지 않았다. 하지만 선폭이 400μm 이상이며, 적층 수가 2, 3 Layers일 경우에는 비저항이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 중첩 인쇄를 통하여 Layer 수를 증가시킨 시편의 비저항이 1 Layer에 비하여 증가하였다는 것은, 동일 잉크를 사용하여 단위 길이에서의 패턴의 단면적을 증가시키더라도 저항이 감소하지 않았다는 것을 의미한다.

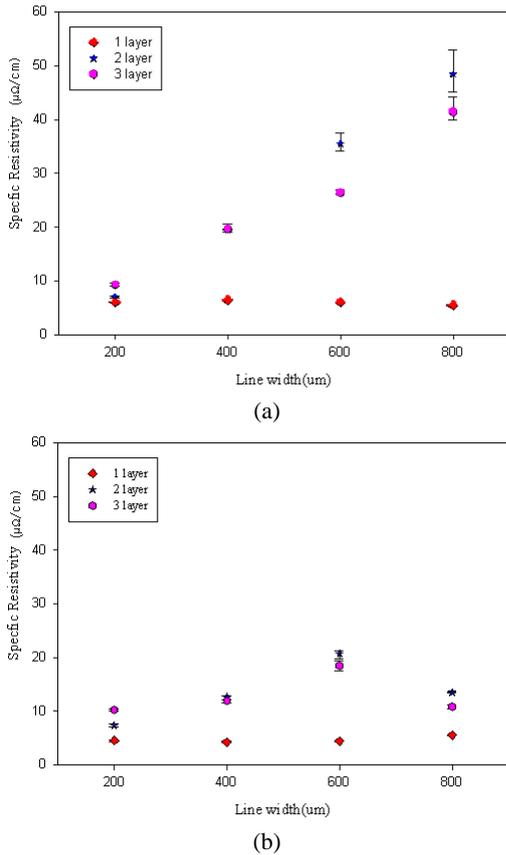


Fig.2 Specific resistivity of Ag lines for various line widths and layer thickness: (a) Glass and (b) Polyimide

이러한 경향의 원인은 머드 크랙 현상을 통하여 설명이 가능하다. 머드 크랙은 수분을 함유하고 있는 점도성 물질이 건조되면서 발생하는 수축으로 인하여, 불규칙한 다각형 모양으로 갈라지는 현상을 말한다. Ag 잉크를 사용하여 프린팅한 본 시편에서도 Fig. 3에서와 같이 건조 후 시편과 소결 후 시편 모두에서 머드 크랙과 동일한 현상을 발견할 수 있었다.

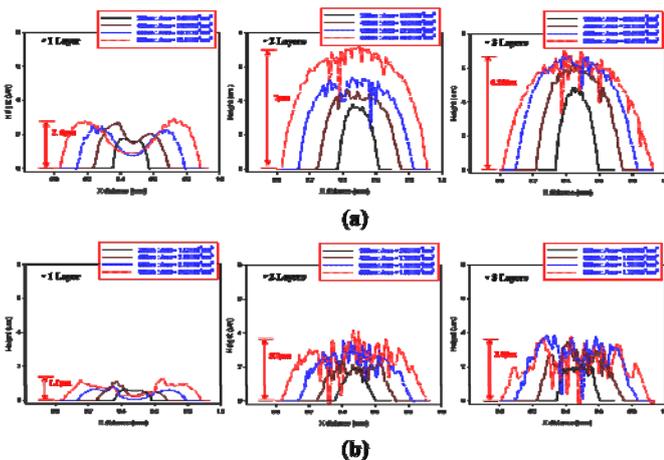


Fig.3 Sectional profiles of Ag lines on the polyimide for various line width and number of layers: (a) after drying (35°C) and (b) after sintering (200°C)

잉크젯 패턴에서 머드 크랙이 발생하는 것은, 잉크 내부에 존재하던 첨가제들이나 용매들이 증발되면서 건조가 일어나고, 이로 인한 부피 감소가 증발되지 못하고 남아있는 입자들에게 인장응력을 발생시키기 때문으로 생각된다. 이때의 인장응력이, 남아있는 입자들의 강도를 초과하게 되면 크랙이 발생하게 되는 것이다.

따라서 이러한 머드 크랙의 전파로 인하여 1 Layer에 비하여 2, 3 Layers에서 비저항이 크게 나타나는 것으로 생각된다. 두 기관 모두 1 Layer에서는 머드 크랙이 발생하지 않았으나, 2, 3 Layers에서는 건조 후 부터 머드 크랙이 발생함을 확인할 수 있다. 또한 소결 공정을 거치면서 크랙의 경계면을 기점으로 입자가 성장하기 때문에 크랙의 깊이와 크기가 발전되는 것으로 분석된다.

또한 건조/소결 시에 머드 크랙이 발생하지 않는 1 Layer에서는 선폭의 증가에 따른 비저항의 차이가 없었으나, 2, 3 Layers에서는 선폭의 증가와 함께 비저항도 증가하는 경향을 보인다. 이는 선폭의 증가와 함께 큰 폭으로 상승된 패턴의 체적 증가가 건조 시 발생하는 수축 현상을 보다 진행시키게 되고, 이러한 결과가 머드 크랙의 넓이 및 깊이의 심화로 나타났기 때문으로 생각된다. 그리고 이러한 특성이 결과적으로 비저항에 영향을 주는 것으로 생각된다.

그리고 폴리이미드 기관보다 유리 기관에서 비저항이 크게 측정되는 것을 알 수 있었으며, 이는 기관 종류의 차이에 의한 것이라 생각된다. 잉크의 Ag 입자와 두 기관과의 열팽창 계수의 차이가, 소결 과정에서 머드 크랙의 성장에 영향을 주었기 때문으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 비저항에 영향을 주는 변수로서 도전성 패턴의 선폭, 두께와 기관의 종류를 선택하였다. 그리고 프린팅된 패턴의 단면을 관찰하였고, 비저항을 측정하였다. 그에 따른 결론은 다음과 같다.

1. 머드 크랙은 잉크젯 패턴의 건조 과정에서 발생을 하며 소결 공정을 거치면서 크게 성장한다는 것을, 이미지 및 단면 프로파일을 통하여 확인하였다. 그리고 이러한 머드 크랙의 유무와 성장 정도에 의하여 비저항이 크게 영향을 받음을 알 수 있었다. 또한 중첩/중복 프린팅으로 인한 패턴 체적의 증가가 머드 크랙의 심화 정도에 영향을 준다는 것도 알 수 있었다.
2. 사용된 기관의 종류에 따라서 머드 크랙의 성장 정도가 영향을 받음을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 기관과 잉크와의 적합성이 머드 크랙에 영향을 주고, 결과적으로는 비저항에 영향을 줄 수 있음을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 경기지방중소기업청 지원에 의하여 수행되었음 (과제번호: 2007-000-0000-5419).

참고문헌

1. H.H. Lee, K.S. Chou and K.C. Huang, "Inkjet printing of nanosized silver colloids," *Nanotechnology*, 16, 2436-2441, 2005.
2. A.L. Dearlen, P.J. Smith, D.Y. Shin, N. Reis, B. Derby, and P. O'Brein, "A low curing temperature silver ink for use in ink-jet printing and subsequent production of conductive tracks," *Macromolecular Rapid Communication*, 26, 315-318, 2005.
3. J.R. Creer, and R.A. Street, "Thermal cure effects on electrical performance of nanoparticle silver inks," *Acta Materialia*, 55, 6345-6349, 2007.
4. Alfred Grill, "Cold plasma in material fabrication: from fundamentals to application," Wiley-IEEE Press, 179-185, 1994.
5. E. Santanach Carreras, F. Chabert, D.E. Dunstan, and G.V. Franks, "Avoiding "mud" cracks during drying of thin films from aqueous colloidal suspensions," *Journal of Colloid and Interface Science*, 313, 160-168, 2007.