

<학술논문>

DOI:10.3795/KSME-A.2010.34.3.263

패턴 형상, 인쇄 및 건조 조건이 전도성 잉크를 이용한 그라비아 인쇄 결과물의 성능에 미치는 영향

안병준* · 한경준* · 고성림**†

* 건국대학교 기계공학부, ** 건국대학교 기계공학부

Influence of Micro Pattern Geometry and Printing and Curing Conditions in Gravure Printing on Printing Performance When Using Conductive Ink

Byoung Joon Ahn*, Kyung Joon Han* and Sung Lim Ko**†

* Dept. of Manufacturing & Production Engineering, Konkuk Univ.

** Dept. of Mechanical Engineering, Konkuk Univ.

(Received March 18, 2009 ; Revised January 13, 2010 ; Accepted January 20, 2010)

Key Words: e-Printing, Engraving(조각), Gravure Printing(그라비아 인쇄), Printed Electronics(인쇄 전자소자)

초록: e-Printing은 전통 인쇄 기술을 기반으로 하는 전자소자를 생산하기위한 새로운 기술이다. 이러한 인쇄 전자 소자들은 가격을 낮추기 위하여 대면적 인쇄가 요구된다. 이렇듯 원가를 절감하며 전자 소자에 요구되는 정밀도를 충족하기 위하여 롤투롤(Roll to Roll) 방식의 그라비아(Gravure) 인쇄 시스템이 하나의 대안으로 제시된다. 그라비아 인쇄에는 인쇄 전자 소자의 성능에 영향을 미치는 요소들이 매우 많다 : 건조 방식, 건조 온도, 운전 장력, 인쇄 속도, 잉크 점도, 잉크의 전도성, 망집 및 패턴의 정밀도. 이상에서 언급한 요소들은 각각 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 따라서 인쇄 전자소자의 성능을 향상시키기 위해서는 반듯이 인쇄 적합조건을 찾아야만 한다. 본 논문에서는, 전도성 잉크 및 그라비아 인쇄기를 사용하여 다양한 요소의 조건을 변화하여 패턴(선 및 면)을 인쇄하였으며, 각 인쇄 요소의 변화가 인쇄 전자소자의 성능에 미치는 영향에 관하여 분석 및 연구를 수행하였다.

Abstract: e-Printing is a new manufacturing technology for electronic products and is based on traditional printing technology. The electronic products require a large area to facilitate printing and to be economical. A gravure printing system that supports a roll to roll (R2R) manufacturing process can be used to reduce the cost and to achieve the required accuracy. Many factors such as drying method, drying temperature, tension, printing velocity, ink viscosity, ink conductivity, pattern accuracy, and dot geometry influence the performance of printed electronics. These factors are closely interrelated. The optimum condition for printing must be determined to enhance the performance of the printed electronics. In this study, lines and areas are printed using a gravure printer with conductive ink under different conditions of the above mentioned factors. The results are analyzed to investigate the influence of various factors on the performance of the printed electronics.

- 기호설명 -

1. 서론

ρ : 비저항(resistivity)($\mu\Omega \cdot cm$)

$1cP = 10^{-2}P = 10^{-3}Pa \cdot s$

U/W : Unwinding

I/F : In-feeding

R/W : Rewinding

현재 e-Printing에 적합한 공정으로 얇은 필름 기반 연속공정 방식과 연계된 그라비아 인쇄(Gravure printing)가 부각되고 있다.^(4,5) e-Printing에 사용될 R2R System을 구성하는 중요 요소들로는 인쇄 시스템, 전도성 잉크, web 소재, 그라비아 인쇄용 롤(Gravure printing roll) 네 가지를 들 수 있다. 그라비아 제판은 철제 롤에 동 도금을 한 후, 실린더의 외경 측정 및 연마를 통한 외경오차 보정 후 각 가공 방법에 따른 과정을 거친 후

† Corresponding Author, slko@konkuk.ac.kr

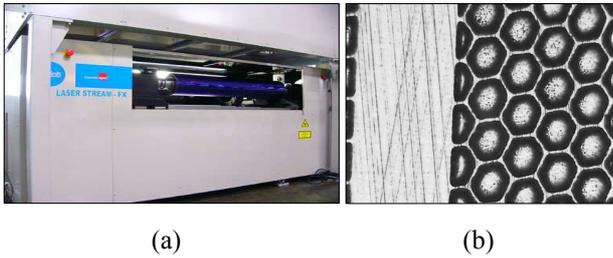


Fig. 1 (a) A machine for engraving gravure roll pattern using laser and etching (b) Gravure roll pattern with honeycomb geometry of dot

크롬 도금을 하게 된다. 롤의 가공 기법에는 필름 부식 기법, 전자조각 기법, 레이저(Laser) 조각 부식 기법이 있다. 현재 가장 높은 해상도(Resolution)를 가지는 방식은 레이저를 이용한 방식으로, 망점(dot)의 형상을 Fig. 1과 같이 다양하게 구성 할 수 있는 장점이 있다.⁽¹⁾

기존의 시각적인 효과만을 만족시키면 되는 기존의 그라비아 인쇄용 제판의 제작 시 미세선폭 및 전기적 성능이 요구되지 않았지만, 전자회로 인쇄에서는 고집적도의 회로 인쇄를 위하여 가능한 최소 선폭 및 우수한 전기적 성능이 매우 중요한 과제가 된다. 실제 그라비아 인쇄 결과물들은 작은 조건의 변화에도 많은 영향을 받는다.

이상에서 언급한 그라비아 인쇄의 중요한 네 가지 요소들의 변화는 인쇄 결과물에 매우 많은 영향을 미친다. 네 가지 요소들의 세부적인 항목들을 살펴보면 다음과 같다 : 인쇄 방식, 인쇄 속도, 운전 장력, 압동롤(Nip roll)의 압력, 건조(curing) 방식, 건조 온도, 건조 시간, web 소재의 표면 특성(접착성), web 소재의 기계적 특성, 잉크의 점도, 잉크의 전도성, 롤 상의 패턴의 정밀도, 망점의 형상, 망점의 크기, 망점의 깊이 등, 각각의 요소들은 매우 밀접한 연관성을 가지며, 이러한 많은 요인들의 작은 변화가 인쇄 결과물들의 형상 왜곡 및 전기적 성능에 많은 영향을 미친다.

따라서 우리가 원하는 패턴의 형상과 전기적 성능을 도출해 내기 위해서는 이러한 각 요소들 간에 matching condition을 찾아내야만 한다.

본 연구에서는 R2R system의 핵심 요소 중에 하나인 인쇄용 롤의 가공 조건의 변화에 따른 인쇄 결과물의 형상 왜곡 및 전기적 성능의 변화를 분석하고, 그라비아 인쇄용 롤의 관점에서 인쇄 결과물의 성능을 최적화 할 수 있는 조건을 찾는 것이 목적이다. 이는 차후의 전도성 잉크를 이용

Table 1 Properties of KCG-100

Product ID	Solids	S.G. (wet)	Viscosity	Resistivity
Parmod KCG-100	~83 weight %	~3.2 g/ml	19,600 cp	10.7 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$

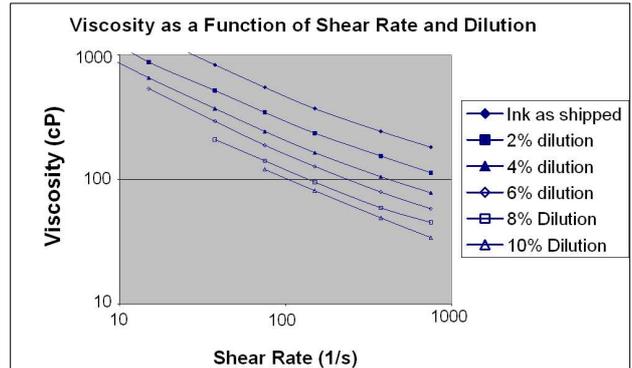


Fig. 2 Viscosity as a function of shear rate and dilution

한 인쇄 전자 소자(도선, 저항, 캐패시터, 인덕터 등의 수동소자, 박막트랜지스터(TFT)를 비롯한 능동소자) 및 RFID tag, flexible display 등의 광학소자, solar-cell, flexible battery 등의 에너지 소자, 각종 센서의 인쇄 시, 최적화 되어진 인쇄용 롤의 생산을 통하여 불량률 최소화를 도모하고자 한다.

2. 사전 인쇄 실험

2.1 전도성 잉크(Conductive ink)

인쇄 방식, 인쇄 속도, 운전 장력, 인쇄 시 잉크의 공급 방법, 건조 시간, 건조 온도, 개략적인 web 소재의 특성 등을 고려하여 최적화 되어진 전도성 잉크를 선정하였다.

본 인쇄 실험에 사용 된 잉크는, 잉크의 전이율 및 접착성, 건조 성능 등을 고려하여 solvent base의 Parmod KCG-100(Parelec, USA)를 선정하게 되었다.

Table 1의 비저항은 건조 온도 150 $^{\circ}\text{C}$ 상에서 180초간 건조를 시켰을 경우의 수치이다. 일반적인 은(silver)의 비저항은 1.62 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 이다.

Parmod KCG-100은 항공 규정상 솔벤트(solvent)와 같은 위험물질을 함유할 수 없기 때문에, 적정 솔벤트를 중량대비 희석하여 사용하여야 한다. 본 실험에서는 n-Propyl acetate를 사용하였다. 희석비율에 따른 점성의 변화는 Fig. 2와 같다.



Fig. 3 IGT F-1 mini Gravure printer & Curing machine

2.2 Web 소재 선정을 위한 인쇄 실험

2.2.1 실험 준비

R2R 방식의 인쇄 시, 실험결과에 많은 영향을 미치는 요인들 중에 하나가 전도성 잉크와 web 소재이다. 전도성 잉크의 점도 및 접착성, 전도성, web 소재 역시 표면 처리에 의한 접착성이 중요한 선정기준이다. 하지만 현재까지 개발된 전도성 잉크와 web 소재 각각의 성능이 우수하다 하여 인쇄 결과가 좋은 것이 아니다. 각각의 전도성 잉크와 web 소재 간에 서로 matching이 되어야만 좋은 인쇄 결과를 얻을 수 있다. 이에 본 실험에 앞서, 잉크 및 Web 소재 선정을 위한 사전 실험을 진행하였다.

IGT F-1 mini gravure printer와 열풍건조기(Fig. 3)를 이용하여 선정된 전도성 잉크와의 적합성 및 솔벤트 함량결정을 위한 실험을 진행하였다.

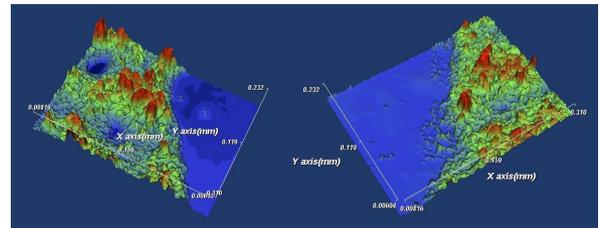
2.2.2 실험 진행 및 결과

잉크의 전이율 및 패턴 형상 왜곡 등을 고려한 적정 솔벤트 함량을 구하기 위하여, 중량대비 8~12%의 함량으로 실험을 하였다. 그 결과 8~10%에서는 망점과 망점 사이의 공간에 잉크가 채워지지 않는 부분이 다량 발생하였으며, 12%에서는 양호한 결과를 가져왔다. 또한, 잉크 전이에 적절한 인쇄 속도를 구하는 실험도 병행하였다. 그 결과 15mpm 미만, 42mpm 이상에서는 잉크전이에 문제가 발생하였다.

각각의 substrate에 전이된 잉크의 두께 및 표면 상태, 왜곡 정도를 관찰하였다(Fig. 4, Table 2). 대부분의 substrate에서 양호한 결과를 보였으며, 그 중 Coveme사의 제품과 SKC사의 AH81, SH34의 경우 잉크 전이량 측면에서 결과가 뛰어났지만(Fig. 4), SH34를 제외한 다른 제품들은 상대적으로 매우 고가 이므로 SH34를 선정하였다.

Table 2 Printed layer thickness on various web substrate

Web materials	Layer Thickness(After printing)
Coveme	1.89 μm
AH81	2.04 μm
SH71B	1.99 μm
SH82	1.83 μm
SH34	1.96 μm



(a) SH34, t=125 μm (b) Coveme, t=50 μm

Fig. 4 Measurement of printing result on substrate

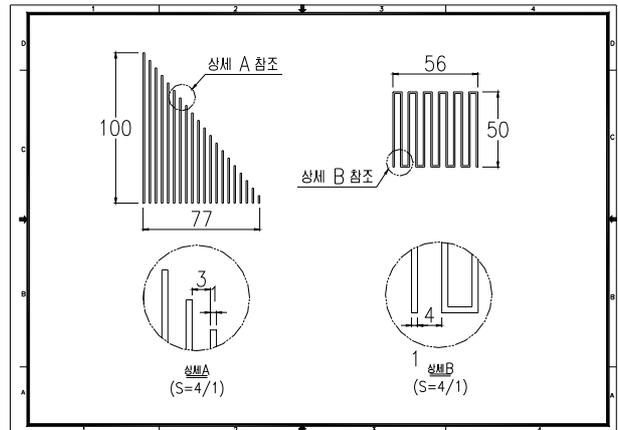


Fig. 5 Drawing of test patterns

3. 인쇄 실험

3.1 그라비아 인쇄용 롤 제작

본 실험에서는 레이저 조각 부식 기법을 이용하여 각 조건 별로 6개의 롤을 제작하였다. 실험에 사용된 패턴은 총 10가지이며 그중 대표적인 패턴은 Fig. 5와 같다.

모든 패턴을 선폭, 선 간격 그리고 망점의 형상과 해상도를 기준으로 6그룹으로 분류하여 제작하였다(Table 3). 선폭이 90 μm 이하인 경우, 잉크의 퍼짐을 고려하여 선 간격을 다른 패턴들에 비

Table 3 Group data of gravure printing roll

Group No.	Line width (μm)	Line interval (μm)	Depth of dot (μm)	Shape of dot	Resoluti on (LPI)
1	10~90	30~270	12	Groove	350
2	10~90	30~270	12	Square, Honeycomb	350, 400
3	10~90	30~270	10	Square, Honeycomb	350, 400
4	100~500	100~500	12	Square, Honeycomb	350
5	100~500	100~500	10	Square, Honeycomb	400
6	30, 50, 80, 100, 200	90~600	10	Square	350

하여 높게 결정하였다. 선폭은 10μm ~ 500μm이며, 선 간격은 1~3, 6 그룹의 경우 선폭의 3배로 결정하였다. 4, 5 그룹의 선 간격은 선폭과 동일하게 하였다. Table 3에서 보는바와 같이, 각각의 그룹 별로 해상도와 망점의 구성 및 형상을 달리 하였다.

3.2 인쇄 실험 및 결과물 측정

앞에서 결정된 100μm 두께의 SH34와 Parmod KCG-100 전도성 잉크를 이용하여 인쇄실험을 진행하였다. 인쇄 조건은 Table 4, 건조 조건은 Table 5와 같으며 열풍건조 방식을 사용하였다. 본 2차 실험에서는 잉크의 소모량을 최소화하기 위하여, 공기 압축식 분사기를 사용하여 잉크를 공급하였다.

인쇄 결과물의 측정을 위하여 비접촉 두께 측정방법으로서 interferometer 방식의 Nano Scan과 공구현미경을 사용하였고, multi-tester를 사용하여 저항을 측정하였다.

4. 실험 결과 분석

측정된 결과를 토대로 각 망점의 형상, 구성, 해상도, 패턴의 방향(MD(Machine direction, 소재 진행방향) or CMD(Cross machine direction, 인쇄 롤의 축 방향)) 등에 관하여 data를 정리하고 도 표화 하였다.

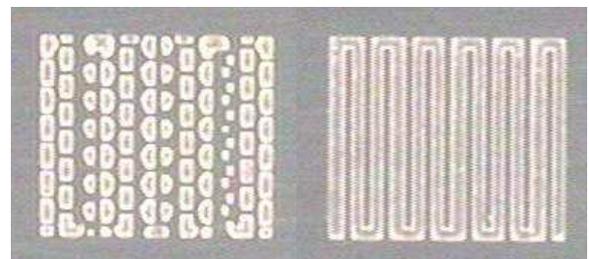
인쇄용 롤의 제작 기법인 레이저 제판 가공 기법의 장점은 높은 해상도의 패턴을 원하는 형상

Table 4 Printing factors

Test No.	Velocity (m/min)	Tension(kg·f)			Dilution Ratio	Nip Roll Pressure (kg·f)
		U/W	I/F	R/W		
1	20	5	6.5	4	12%	2.2
2	25	5	6.5	4	12%	2.2
3	30	5	6.5	4	12%	2.2
4	20	5	8.5	4	12%	2.2
5	25	5	8.5	4	12%	2.2
6	30	5	8.5	4	12%	2.2

Table 5 Printing factors

Test No.	Drying	2 nd Curing	Substrate	Conductive Ink
	Temperature (4.5m)	Temperature (Free hand)		
1~6	Input 141℃	150℃	SH34	Parmod
	Output 125℃	0~180sec.	100μm	KCG-100



(a) Dot pattern (b) Groove pattern

Fig. 6 Manufacturing result on printing roll(Line width : 10μm, 350LPI)

의 망점 또는 홈 형상(groove)으로 제작이 용이하다는 것이다. 하지만 이러한 부식 기법의 단점은 깊이 방향으로의 부식과 동시에 폭 방향으로의 부식도 함께 진행된다는 것이다. 다시 말하면, 좁은 선폭의 가공일수록 패턴의 깊이는 낮아진다는 것이다. 일반적으로 부식 가공에서 폭과 깊이의 비율은 3.2:1 또는 2.5:1의 비율로 가공된다. 이러한 이유로 심도 10μm의 깊이를 가지는 선폭 10μm의 선을 망점으로 구성할 경우 Fig. 1의 형상처럼 완벽한 망점 형상을 가지지 못하게 된다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 미세 선폭이 망점의 크기보다 매우 작은 경우에는 망점의 형상이 완전하게 나오기가 어려움을 알 수 있다. 그렇기 때문에

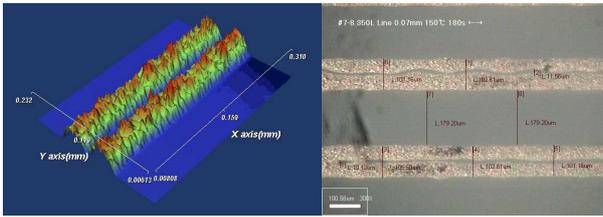


Fig. 12 Printed line with the pattern(Line width : $70\mu\text{m}$, 350LPI, Groove, MD)

동물의 변형에서 원인을 찾을 수 있다. 패턴의 단면을 살펴보면 한 쪽이 막힌 미세 관으로 가정할 수 있다. 이러한 형상에서는 용액의 응집력과 부착력 사이에 특수한 관계를 가지게 된다. 관의 직경이 작을수록, 용액의 응집력은 높아지고 부착력은 낮아진다. 반대로 관의 직경이 커질수록, 용액의 응집력은 낮아지고 부착력은 높아진다. 이러한 원인으로 패턴 안에 담겨진 용액은 벽과 바닥 쪽으로 몰리게 되며, 특정 선폭을 기준으로 압동롤의 변형에 의하여 잉크와의 접촉 면적이 줄어들게 되어 web 소재의 부착력으로는 중앙부 용액의 전이가 이루어 지지 못하는 것이다.

또한, Xiuyan Yin의 잉크 전이의 유동 가시화에 관한 논문에서도 언급하였듯이, 인쇄용 롤 상의 홈형 패턴과 압동롤 또는 web 소재 사이에 발생하는 표면 장력에 의한 모세관 현상으로 인하여 발생하기도 한다.⁽³⁾

MD 상의 패턴들을 살펴보면, 패턴의 시작 부분과 끝 부분에서는 중앙부의 미전이 현상이 없는 것을 볼 수 있다. 이는 시작 부분에서 발생한 표면장력에 의한 모세관 현상으로 인하여 잉크가 빨리 올라간 이후, 앞서 빨리 올라간 잉크가 모세관 현상에 의한 공간을 채워줘야 하지만 계속적인 패턴으로 인하여 Fig. 13과 같이 계속적으로 잉크가 web을 향하여 빨리 올라가기 때문에 중앙부의 전이가 이루어 지지 않는 것이다. 이러한 계속적인 MD상의 패턴에서는 그 후속 공간에서 발생하는 air entrainment에 의한 가속 현상 또한 이러한 문제점을 발생시키는 큰 원인이다.⁽³⁾

4.2 패턴의 구성 및 방향에 따른 전기적 성능 변화

측정된 형상 자료 및 저항, 잉크의 비저항(resistivity, ρ)을 이용하여 각 패턴의 이론적 저항값과 비저항을 구하였다. 이론적으로는 잉크, 인쇄 조건, 건조 조건이 동일하다면 모든 패턴의

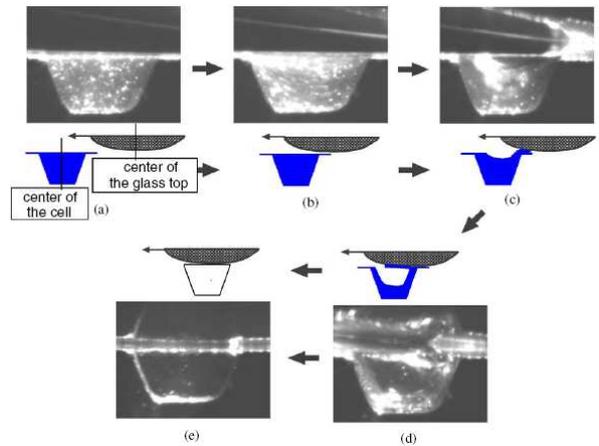


Fig. 13 Emptying process for a flat-filled cell⁽³⁾

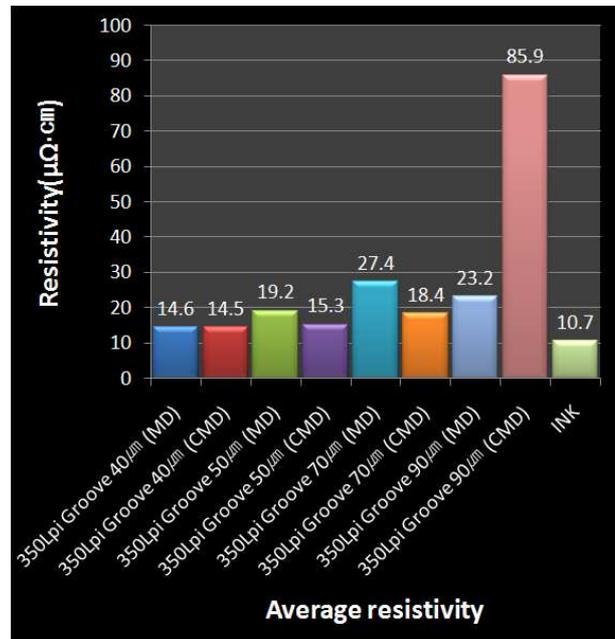


Fig. 14 Change of resistivity according to the change of pattern(350LPI, Groove)

비저항 값은 동일하여야 한다. 하지만, 각 패턴에 따라 잉크의 전이량의 차이가 발생하고 이로 인하여 패턴의 단선 및 왜곡이 발생하였기 때문에 비저항은 서로 다른 결과 값을 가진다. 각 패턴을 하나의 구조체로 가정하면, 계산된 비저항으로부터 어떠한 패턴이 잉크의 전이율 및 전기적 성능이 뛰어난지를 알 수 있다. 또한, 동일 패턴 디자인에 대하여 선폭이 다르더라도, 선 길이와 폭의 비가 같기 때문에 동일한 저항값과 비저항을 가져야한다. 측정결과를 살펴보면, 한 가지 흥미로운 점을 발견 할 수 있다. 전체 패턴 형상

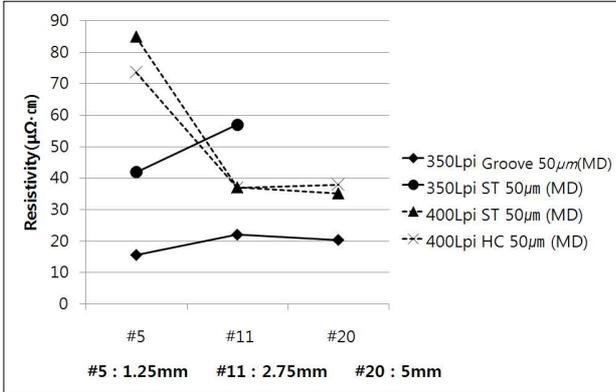


Fig. 15 Resistivity according to the change of line length and dot shape (Line Width : 50µm, MD)

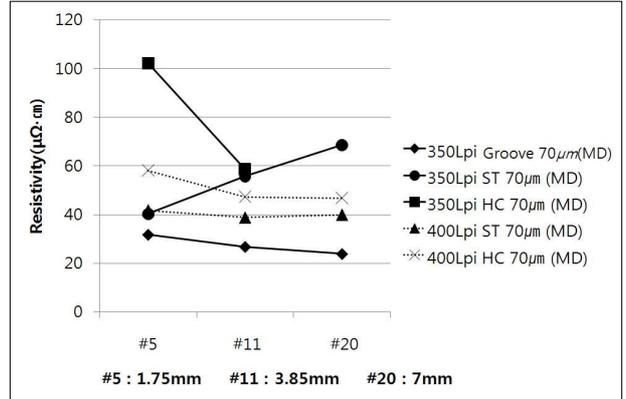


Fig. 17 Resistivity according to the change of line length and dot shape (Line Width : 70µm, MD)

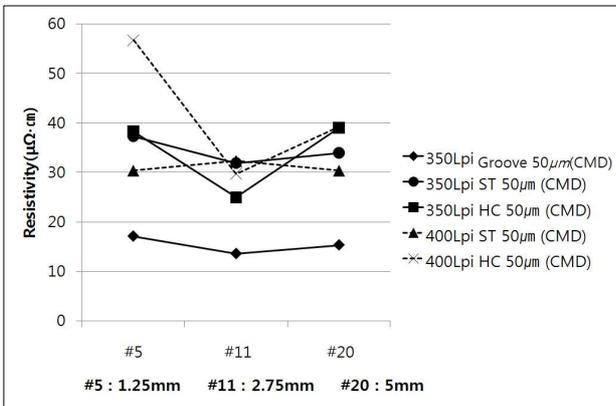


Fig. 16 Resistivity according to the change of line length and dot shape (Line Width : 50µm, CMD)

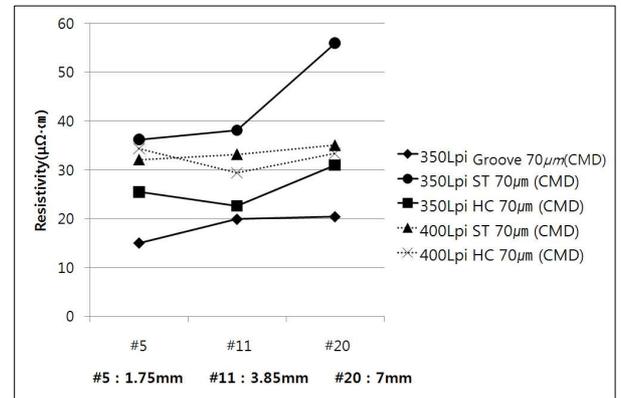


Fig. 18 Resistivity according to the change of line length and dot shape (Line Width : 70µm, CMD)

중에서 왜곡이 심한 CMD상의 패턴들이 동일 선 폭에서 낮은 비저항을 나타냄으로써 전기적 성능이 더 우수함을 알 수 있다(Fig. 14). 이는 각각의 경우에 따라 성능이 우수해지는 요인이 다르다. 홈 형상으로 가공되어진 선들의 경우, 고무로 만들어진 압동물에 압력이 인가된 상황에서 변형이 발생하여, CMD 상의 패턴에 상대적으로 깊이 침투하여 잉크의 전이량을 높이기 때문이다.^(2,6) Fig. 15의 MD상의 홈 형상으로 가공된 패턴의 경우, 약 20 µΩ·cm인 반면, Fig. 16의 CMD상의 패턴의 경우 약 15 µΩ·cm의 비저항을 나타낸다. 이는 두께 측정 결과에서도 확인할 수 있다. 망점으로 형성된 선들의 경우, 각각의 망점에서 전이된 잉크들이 서로 고무 퍼져 선을 이루어야 하기 때문에 CMD 상의 패턴들은 오히려 왜곡의 원인이 되는 요인으로 인하여 상대적으로 균일한 선을 구성하게 된다.

선폭 50µm 이하의 패턴의 경우에는 조금 다른 양상을 띠고 있다. 선폭이 작을수록 망점으로 선을 구성할 때 적은 수의 망점으로 구성 될 수밖에 없다. 따라서 CMD 방향에 놓인 패턴이더라도 잉크 전이량의 한계로 단선이 될 수밖에 없다. 홈 형상으로 가공된 패턴의 경우, 상대적으로 잉크를 담을 수 있는 공간이 크기 때문에 선폭 50µm 이하의 잉크에서도 단선의 확률이 낮고, 좀 더 높은 두께를 가짐으로써 어느 정도의 전기적 성능을 가질 수 있다(Fig. 15~16). 40~70µm 선폭에서는 CMD상의 홈 형상으로 이루어진 패턴의 비저항이 가장 우수하였다(Fig. 15~18). 90µm 선폭의 경우에는 CMD상의 400LPI, Honeycomb 망점 형상으로 가공된 패턴의 비저항이 가장 우수하였다. 여기서 비저항이 우수하다는 이야기는, 다시 말해 잉크의 전이량이 가장 우수하다고 말할 수 있다. 이는 전체적으로 균일한 면을 구성할 수 있기 때문이다.

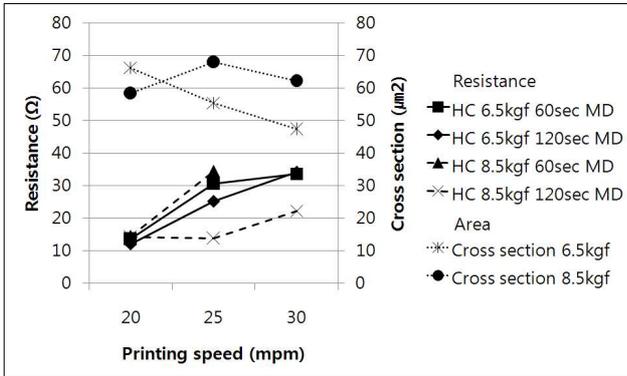


Fig. 19 Resistance & Cross section according to the change of printing speed, tension & curing time (Line Width : 70µm, Honeycomb dot, MD)

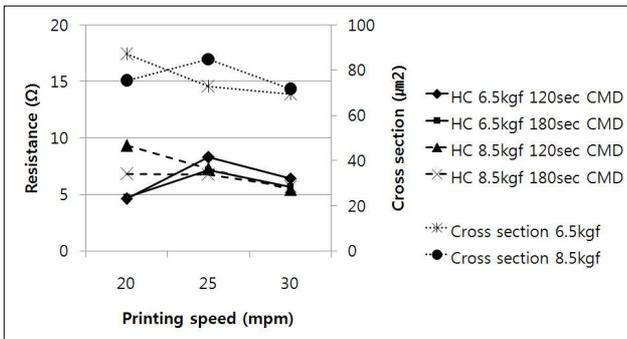


Fig. 20 Resistance & Cross section according to the change of printing speed, tension & curing time (Line Width : 70µm, Honeycomb dot, CMD)

비저항의 변화를 각 조건 별로 살펴보면, 흠형상으로 구성된 패턴의 경우 선폭이 증가할수록 비저항이 일정부분 증가함을 알 수 있다. 하지만 90µm 선폭의 경우 급격하게 성능이 저하된다(Fig. 14). 이는 이전에도 언급한 바와 같이, 패턴 중앙부에 잉크가 전이 되지 않는 현상이 급격하게 나타나기 때문이다.

이와는 반대로, 망점으로 구성된 패턴의 경우에는 선폭이 증가할수록 비저항이 낮아지고, 일정 선폭(90µm) 이상에서는 해상도가 높을수록, 망점의 형상이 honeycomb 일 때 성능이 우수하다. 이는 honeycomb 형상이 square 형상보다 잉크의 전이량이 많으며, 잉크가 고루 퍼질 수 있기 때문에 단선의 경우가 낮고 전체적으로 고른 단면을 가질 수 있기 때문이다.

4.3 인쇄 공정조건에 따른 전기적 성능 변화
선폭이 70µm이고, honeycomb 형상의 망점인 경

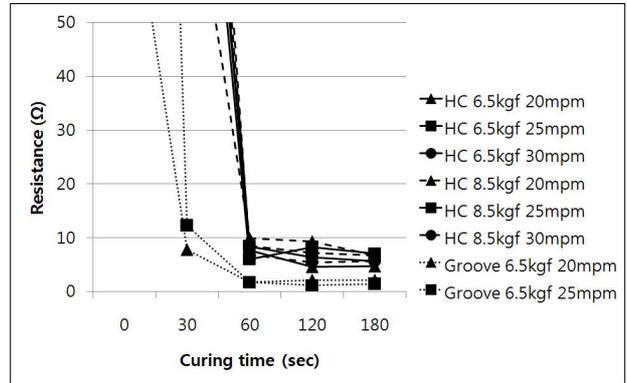


Fig. 21 Resistance according to the change of curing time (Line width : 70µm)

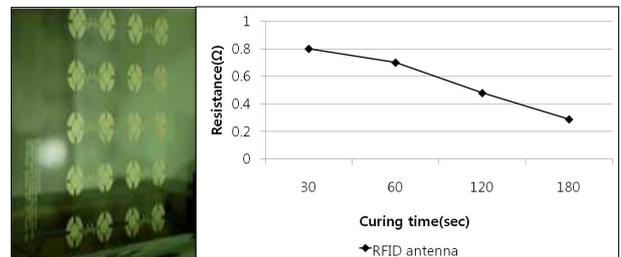


Fig. 22 Resistance according to the change of curing time(RFID antenna)

우에 장력에 따른 잉크 전이량에 미치는 영향을 Fig. 19와 20으로부터 관찰하였다. 8.5kg · f의 장력이 적용되는 경우에는 MD, CMD 양방향 패턴에서 속도변화에 따라 큰 차이가 없으나, 6.5kg · f에서는 인쇄 속도 증가에 따라 전이량이 감소함을 알 수 있다. 또한, 잉크 전이량의 감소에 따라서 저항이 증가함을 알 수 있다.

전반적으로 honeycomb 형상의 망점의 경우에는, CMD 상의 미세선 가공 시 8.5kg · f 장력에서 속도의 증가에 따른 잉크 전이량이나 저항의 변화가 적음을 알 수 있다. 이 사실은 CMD 상의 미세선 가공이 안정적임을 말해준다.

전도성 잉크 업체에서 제시한 건조온도와 시간은 150°C, 180초이다. Fig. 21를 살펴보면 60초 이전까지 저항이 급격하게 감소한다. 이는 0~60초 구간에서 잉크에 첨가한 솔벤트가 휘발되면서 은 입자들이 소결되기 때문이다. 60초 이후의 구간에서는 저항의 감소가 거의 없다. 하지만, Fig. 22에서 보는바와 같이 RFID 안테나와 같이 상대적으로 체적이 큰 패턴의 경우에는 180초가 될 때까지도 뚜렷한 저항의 감소가 확인된다.

이상의 결과는 on-line curing을 수행하는 R2R

공정에서는, 한정된 건조 온도와 챔버의 길이에 의해 인쇄 속도가 매우 중요한 요인으로 작용한다 할 수 있다. 인쇄 전자 소자에 사용 될 패턴의 체적을 미리 계산하여, 이에 맞게 각 요소들의 값을 설정하여야만 할 것이다.

5. 결 론

본 논문에서는 그라비아 인쇄의 핵심요소 중 하나인, 인쇄용 롤의 관점에서 가공 형상 및 인쇄 및 건조 조건들이 인쇄 전자 소자의 인쇄 결과에 어떠한 영향을 미치는지에 대하여 고찰하였다.

결과를 다시 한 번 살펴보면, MD상의 패턴들보다 CMD상의 패턴의 성능이 우수하였지만, CMD상의 패턴 형상 왜곡이 상대적으로 심하였다. 또한 특정 선폭(70 μ m) 이하에서는 망점으로 구성된 패턴들의 성능이 매우 낮았으며, 홈 형상으로 구성된 패턴들의 성능이 우수하였다. 본 실험에서는 실험을 위한 단순한 형상 위주의 가공을 하였지만, 실제 제품을 설계, 생산 할 경우에는 MD와 CMD상의 패턴들이 항상 존재한다. 그렇기 때문에 어느 한 쪽이 우수하다하여 실제 제품들의 성능을 보장 할 수는 없다. 또한 80~90 μ m 선폭 이상의 제품을 생산할 경우에는, 패턴을 형성 할 때 홈 형상이 아닌 망점으로 형성하여야 한다. 하지만 망점으로 구성된다 하더라도, 현재 망점의 형상의 개선이 요구된다. MD, CMD에 의한 성능에 차이를 보완하기 위한 대안으로, 각 패턴을 인쇄 진행 방향에 45°를 회전하여 가공할 수도 있다. 망점 형상의 개선점으로는, 각 망점간에 존재하는 벽을 일정 부분 개방하여 잉크가 전이 된 후, 공간이 남지 않고 균일한 면을 가질 수 있도록 유도하는 것이다.

이처럼 앞으로 진행하여야 할 연구 과제는 매우 많지만, 인쇄용 롤의 개선으로는 인쇄를 이용한 전자 소자 개발에 있어 한계를 가질 수밖에

없다. 이는 R2R 시스템 기술, 잉크, 소재 및 인쇄용 롤의 가공에 대한 연구가 함께 진행되어야만 극복 할 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 서울시 산학연 협력사업(10848) 및 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다. (No. K20701040597-09A0404-05110).

참고문헌

- (1) Seo Jung and Han YuHee, 1999, "Development of Roll Engraving Technology Using Laser," *Machine and Material*, KIMM, 39, pp. 99~110.
- (2) Xiuyan Yin, Satish Kumar, 2005, "Lubrication Flow Between Cavity and a Flexible Wall" *Physics of Fluids*, 17, 063101.
- (3) Xiuyan Yin and Satish Kumar, 2006, "Flow Visualization of the Liquid-Emptying Process in Scaled-Up Gravure Grooves and Cells" *Chemical Engineering Science*, 61, pp. 1146~1156.
- (4) Kim, D.S. and Lee, T.M., 2006, "Technical Trend of Printed Electro-Mechanical System," *Journal of the Korean Society for Mechanical Engineering*, Vol. 46, No. 12, pp. 38~44.
- (5) Choi, B.O., Kim, D.S., Lee, T.M., Kim, C.H., Lee, M.H. and Lim, K.J., 2006, "Study on the Roll Printing Process for Fine Line-width Printing," *Journal of the Korean Society for Mechanical Engineering*, Vol. 46, No. 12, pp. 67~73.
- (6) Chung Hwan Kim, Taik-min Lee, Dong Soo Kim and Byung Oh Choi, 2007, "Distortion of Printed Patterns in Printed Electronics," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol.24, No. 8, pp. 74~79.