

그라비아 인쇄용 롤(roll)의 가공 정밀도에 따른 전자 인쇄 정밀도에 관한 실험적 연구

An experimental study on the effect of machining accuracy of a gravure roll to electronic printing

*안병준¹, #고성림²

*B. J. Ahn(khansoul@konkuk.ac.kr)¹, #S. L. Ko(slko@konkuk.ac.kr)²

¹ 건국대학교 기계설계학과, ² 건국대학교 기계설계학과

Key words : e-printing, engraving, gravure printing, printed electronics

1. 서론

e-printing이란 프린팅 공정기법을 이용하여 electric product를 생산하는 기법이다. e-printing제품으로는 2차원 3차원 형상의 프린팅 패턴과 구조체, 이를 전도성 잉크로 프린팅한 도선, 저항, 캐패시터, 인덕터 등의 수동소자, TFT 등의 능동 소자가 있으며, 이들의 집합체로 이루어진, RFID(Radio Frequency Identification) tag, flexible display, Solar-cell, flexible battery 등이 있다.

현재 e-Printing에 가장 적합한 공정으로 Web-based Roll to Roll(이하 RtoR) 방식인 Gravure printing이 부각되고 있다. e-printing에 사용될 RtoR System을 구성하는 중요 요소들로는 인쇄기, Conductive Ink, Web 소재, Gravure 제판으로 네 가지를 들 수 있다. Gravure 제판은 철제 roll에 동 도금을 한 후, roll의 외경 측정 및 연마를 통한 외경오차 보정 후 각 가공 방법에 따른 과정을 거친 후 크롬 도금을 하게 된다. Roll의 가공 기법에는 필름 부식 기법, 전자조각 기법, Laser 조각 부식 기법이 있다. 현재 가장 높은 해상도를 가지는 방식은 Laser를 이용한 방식으로, dot의 형상을 다양하게 구성 할 수 있는 장점이 있다.

기존의 시각적인 효과만을 만족시키면 되는 기존의 Gravure 인쇄용 제판의 제작 시 미세선폭이 요구되지 않았지만, 전자회로 인쇄에서는 고집적도의 회로 인쇄를 위하여 가능한 최소선폭이 매우 주요한 과제가 된다. 더욱이 일반 잉크가 아니고 전도성 잉크를 사용하기 때문에 점도 및 전도성 향상을 위하여 첨가된 나노입자의 영향으로 인쇄 후 인피턴스의 변화가 매우 중요한 평가항목이 된다.

Gravure printing의 결과물에 영향을 미치는 제판의 특성 요소들로 외경오차와 dot의 형상 및 표면 조도가 있다. Fig. 1은 Roll 외경의 가공 측정 방법을 보여주고 있다. 고집적도(선폭 수 μm 이하)의 electric product를 인쇄할 때에는 0.01mm의 외경오차에도 큰 영향을 받으며, 이러한 외경오차는 RtoR 전체 시스템의 Register error를 유발하는 요인이 된다.

일반 연포장 인쇄가 아닌 e-Printing 경우 dot의 형상 또한 매우 중요한 요인이 된다. Gravure printing의 특징은 선, 면 등을 인쇄할 때에 dot라 불리는 점의 집합으로 구성된다는 점이다. Fig. 2에 나타난 레이저를 이용한 Gravure 제판(Roll) 제작 장비를 이용하여 Fig. 3과 같은 형상의 dot를 가지는 제판(Roll)을 제작한다. Dot의 형상 및 dot 주변의 표면 조도, dot edge의 형상 등에 의하여 Ink의 전이율 및 형상의 균일도에 많은 영향을 받는다. 이러한 Ink의 전이율 및 형상의 균일도는 electric product의 성능에 매우 큰 영향을 준다.

전자인쇄를 위한 Gravure 프린터용 제판(roll)을 각 조건 별로 시험제작하여 1 color 실험 Gravure 인쇄기를 이용하여 실험 인쇄한 하였다. 본 논문에서는 인쇄 결과물을 이용하여 roll 가공 정밀도가 인쇄 결과에 미치는 영향 및 결과물 측정에 관하여 실험 및 고찰하였다.



a. 연마 전 Roll



b. Roll 외경오차 측정



c. Roll 연마



d. Roll 가공

Fig. 1 Cylinder 연마 및 가공 공정



Fig. 2 Laser 제판 가공 장비

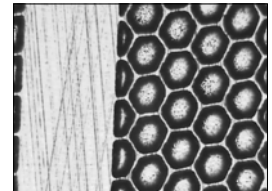


Fig. 3 Dot, Honeycomb

2. 실험용 Gravure printing roll 제작

Gravure printing roll의 가공 기법에는 대표적으로 필름 부식 기법, 전자조각 기법 및 Laser 조각 부식 기법이 있다. 본 실험에서는 현재 가장 높은 해상도를 가지는 Laser 조각 부식 기법을 이용하여 각 조건 별로 4개의 roll을 제작하였다. Laser를 이용하는 기법에는 UV(ultra-violet) 광경화성 폴리머를 사용하는 기법과 IR(infrared) 광분해성 폴리머를 사용하는 방법이 있다. 이번 Roll 제작에 사용된 가공 장비는 Fig. 2의 Laserstream-FX(think lab., Japan)으로 UV광원을 사용한다. 광경화 가공공정은, 우선 roll의 표면에 UV 광경화성 폴리머를 코팅한 후 건조 시킨다. 폴리머가 코팅된 표면에 UV 광원을 입력된 형상대로 선별적으로 조사한 후 폴리머를 현상액으로 세척한다. 여기서 laser beam이 조사되어 광경화가 일어난 부분은 표면에 남게 된다. 다음으로 산성의 에칭액으로 표면을 부식시키면 경화된 폴리머는 부식액에 용해되지 않고 남게 되며 나머지 부분만 가공된다. 이후 물을 물로 세척하여 광경화 된 폴리머를 제거한 후 내구성 향상을 위하여 크롬 도금을 한다.

본 실험에 사용된 실험용 패턴 및 RFID tag 패턴은 총 10 가지이다(Fig. 6-7). 모든 패턴을 심도 및 선 폭, 선 간격을 기준으로 4그룹으로 분류하여 제작하였다.(Table. 1) 선 폭이 $80\ \mu\text{m}$ 이하의 잉크의 퍼짐을 고려하여 선 간격을 다른 패턴들에 비하여 높게 결정하였다. 선 폭은 $1000\ \mu\text{m} \sim 10\ \mu\text{m}$ 이며, 선 간격은 1, 2 그룹의 경우 선 폭과 동일하게 결정하였다. 3, 4 그룹의

선 간격은 선 폭의 4배로 결정하였다.

1, 2그룹은 선의 구성을 dot로 하였지만, 3, 4그룹은 선의 구현이 dot로 구성 할 경우 미세 dot로 인하여 잉크의 전이에 문제가 발생할 수 있으므로 하나의 선으로 구성하였다(Fig. 4~5)

Table 1 Group data of Gravure Roll

Group No.	Line width	Line Interval	Depth	Resolution
1	1000 μ m~100 μ m	1000 μ m~100 μ m	20 μ m	200 dpi
2	1000 μ m~100 μ m	1000 μ m~100 μ m	18 μ m	200 dpi
3	80 μ m~10 μ m	320 μ m~40 μ m	14 μ m	200 dpi
4	80 μ m~10 μ m	320 μ m~40 μ m	10 μ m	200 dpi

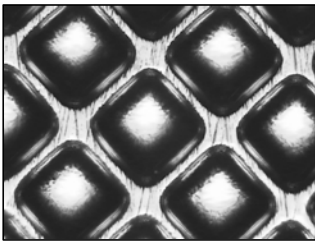


Fig. 4 Group 1~2

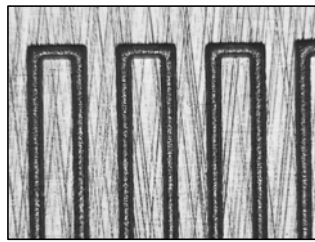


Fig. 5 Group 3~4

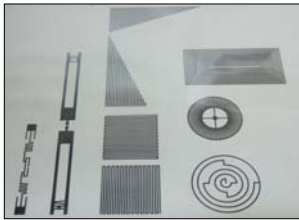


Fig. 6 Group 3~4

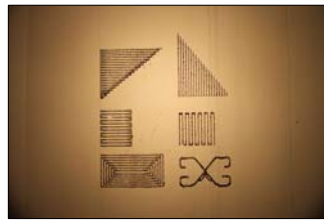
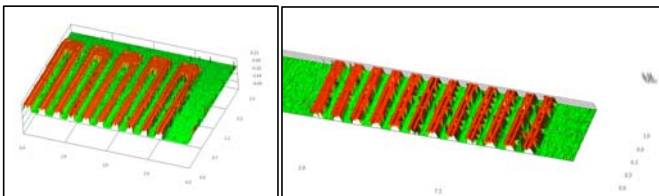


Fig. 7 Group 1~2

3. 인쇄 실험 및 결과물 측정

제작된 4개의 Roll은 1 color gravure 시험 인쇄기를 이용하여 인쇄 실험을 하였다. 인쇄 실험에 사용된 Conductive 잉크는 Micro PE PG-003(PARU, Korea)을 사용하였다. 잉크의 점도는 120 mP·s와 약 500 mP·s로 두 가지를 사용하였으며, substrate는 일반 포장용 O.P.P.(Oriented Poly Propylene) 및 P.E.T.(Polyethylen Terephthalate)를 사용하였다.

실험 결과물의 측정은 Nano Scan 및 Conoscopic Probe measurement System을 사용하였다.



a. Line width = 50 μ m

b. Line width = 70 μ m

Fig. 8 Result of Conoscopic Probe measurement System

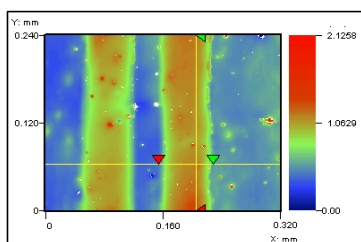


Fig. 9 Result of Nano Scan
Line width = 50 μ m

4. 결과 분석

인쇄 결과물을 직관적으로 확인하였을 때, 가장 큰 문제점은 잉크의 점도였다. 낮은 점도의 잉크를 사용하였을 경우, 잉크의 표면장력에 의한 잉크의 뭉침 현상 및 번짐 등의 문제가 발생하여 미세 선 폭 및 100 μ m 이상의 선 폭의 결과물 모두 정렬 정밀도가 현저히 떨어졌다. 또한, substrate의 선택도 문제점을 유발하였다. 일반 연포장용 O.P.P.(t = 10 μ m)에서는 본 실험에서 사용한 잉크의 접착성이 현저히 떨어져 뭉침 및 번짐, 갈라짐 현상이 증가하였다. 반면 P.E.T.(t = 60 μ m)에서는 잉크와 substrate간의 접착력이 O.P.P.에 비하여 양호하였다. 하지만 잉크의 점도를 500 mP·s 로 증가 시켰음에도 불구하고, 패턴 끝단에서 번짐 현상이 발생하였다. 이는 본 실험에서 사용한 Conductive의 잉크가 water based 잉크였기 때문이라 판단된다.

공구 현미경을 이용하여 측정한 결과, dot로 선을 구성하지 않은 3~4그룹에서는, CMD(Cross Machine Direction) 상의 선들이 인쇄 시 doctor blade에 밀리는 현상이 발생하여 선의 번짐 및 선들 간의 간섭이 발생하였다. MD(Machine Direction) 상의 선들은 이러한 현상 때문에 오히려 좋은 결과를 가져왔다. 또한, 각 선의 중앙을 따라 잉크가 전이되지를 못하였다. 이는 액체의 특성상 장력에 의하여 Roll 상의 라인들의 벽 쪽으로 잉크가 몰리는 현상 때문이라 판단된다.

Nano Scan 및 Conoscopic Probe measurement System을 이용하여 측정한 결과를 살펴보면, Roll 상의 선 폭이 50 μ m, 70 μ m일 경우 인쇄 결과물의 선 폭은 약 140 μ m, 190 μ m로 Roll 상의 선 폭에 비하여 약 3배의 결과물을 가지는 것으로 나타났다(Fig. 8). 이는 잉크의 점도에 의한 영향으로 잉크가 Roll에서 substrate로 전이되는 과정에서 즉시 건조가 되지 못하고 퍼지기 때문이다. 측정결과 각 선의 평균 두께는 약 2 μ m로 측정되었다(Fig. 9). 이는 printed electronics를 구성하기에는 부족한 결과로써 두께의 증가가 필수적이다.

5. 결론

우리나라 국가 미래 성장 동력의 하나인 디스플레이는 일본, 대만, 중국 등의 추격을 받으며 세계 1위를 고수하고 있으나, 다가올 시장중심기술 변화 및 기술 혁신을 철저히 대비해야만 각축전을 벌이고 있는 세계 디스플레이 시장의 수위를 유지할 수 있을 것이다. 또한 확대되어지는 RFID 시장을 위해서는 생산단가의 인하가 필수적으로 선행되어야 한다. 이러한 디스플레이 및 RFID 제품의 생산단가 절감 및 생산성 향상을 위한 Web-Based Roll to Roll 방식에 관한 연구가 필수적으로 이루어져야 한다.

본 논문을 위한 실험에서 측정 가능한 최소 선 폭은 30 μ m였다. 이는 디스플레이 및 RFID 등 비교적 낮은 해상도를 요구하는 printed electronics에 사용하기에 충분한 선 폭이다. 하지만 실제 이러한 정렬 정밀도를 가지더라도 충분한 전기적 성능을 발휘하기 위해서는 충분한 두께를 확보해야하므로, 현재 80 μ m 이상의 선 폭 만이 실제 제품의 제작에 적용이 가능하리라 판단된다.

본 논문의 결과를 살펴보면, e-printing에 관한 연구의 발전 단일 영역의 연구만으로는 이루어지기 어렵다는 것을 알 수 있다. R2R시스템 기술, 잉크, Substrate 및 제판(Roll)의 연구가 함께 진행되어야만 e-printing의 발전을 이룰 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 서정, 한유희, "Laser 응용 Roll 각인 기술 개발", 기계와재료, 한국기계연구원, 39, 99-110, 1999
2. Xiuyan Yin, Satish Kumar, "Lubrication flow between cavity and a flexible wall" Physics of Fluids, 17, 063101, 2005.