

인쇄 롤의 간접식 레이저 가공을 위한 코팅과 에칭 기술

이승우[✉], 김정오, 강희신

한국기계연구원 첨단생산장비연구본부 광응용기계연구실

Coating and Etching Technologies for Indirect Laser processing of Printing Roll

Seung-Woo Lee, Jeong-O Kim, HeeShin Kang

Department of Laser & Electron Beam Application, Korea Institute of Machinery & Materials

Abstract

For mass production of electronic devices, the processing of the printing roll is one of the most important key technologies for printed electronics technology. A roll of printing process, the gravure printing that is used to print the electronic device is most often used. The indirect laser processing has been used in order to produce printing roll for gravure printing. It consists of the following processing that is coating of photo polymer or black lacquer on the surface of printing roll, patterning using a laser beam and etching process. In this study, we have carried out study on the coating and etching for 25 μm line width on the printing roll. To do this goals, a 4 μm coating thickness and 20% average coating thickness of the coating homogeneity of variance is performed. The factors to determine the thickness and homogeneity are a viscosity of coating solution, the liquid injection, the number of injection, feed rate, rotational speed, and the like. After the laser patterning, a line width of 25 μm or less was confirmed to be processed through etching and the chromium plating process.

Keywords: Printing roll(인쇄 롤), Indirect laser processing(간접식 레이저가공), Spray coating(분사코팅), Coating thickness(코팅두께), Coating homogeneity(코팅균질도), Line width(선폭), Etching(식각)

1. 서론

전자소자를 대량 생산하는 인쇄전자 기술에서 가장 중요한 핵심 기술 중의 하나는 인쇄 롤의 가공기술이다.¹ 인쇄 롤을 사용하는 공정은 오프셋(offset), 플렉소(flexo), 스크린(screen), 그라비어(gravure) 프린팅 등이 있으며, 전자소자를 인쇄하기 위해서는 그라비어 프린팅이 많이 사용되는 것으로 나타나고 있다.^{2,3} 그라비어 프린팅 공정용 인쇄 롤을 제작하는 기술은 기계가공, 전자기(electro-mechanical)가공, 직접식 레이저가공, 간접식 레이저가공 등이 있는데 주로 많이 사용되고 있는 가공방식은 간접식 레이저가공 이다. 이 방식은 인쇄 롤의 표면에 광경화성 폴리머 또는 블랙 래커(lacquer) 혹은 페인트를 코팅한 후 레이저 빔을 이용하여 전자소자 회로를 패터닝한 후

에칭공정에서 롤 표면의 회로 패턴을 식각하여 롤 표면에 회로를 각인하는 방식이다.⁴ 간접식 레이저가공 방식이 공정이 복잡함에도 불구하고 많이 사용되는 이유는 직접식 방식에 비해 롤 표면에 버(burr) 발생을 최소화 할 수 있고, 비교적 정밀한 선폭을 유지할 수 있기 때문이다. 선폭은 코팅의 두께와도 많은 영향을 미친다.

본 논문에서는 인쇄 롤의 간접식 레이저가공을 위해 인쇄 롤의 표면에 코팅 기술을 제안하고 에칭공정에 대한 연구를 수행하였다. 25 μm 선폭의 레이저 가공을 위해 4 μm 두께의 코팅두께와 목표두께의 20% 편차를 가지는 균질도 구현을 위한 코팅기술과 레이저 가공 후 에칭 및 크롬도금 공정을 통한 선폭 25 μm 달성 유무를 측정하였다.

2. 스프레이 코팅을 이용한 인쇄 롤 코팅

인쇄 롤은 평판이 아닌 곡면을 가지는 원통형 금형이므로 별도의 코팅방법이 필요하다. 코팅의

투고일 : 2013년 12월 7일 심사완료일 : 2013년 12월20일
 게재승인일 : 2013년 12월 23일
 교신저자 : 이승우 ✉ lsw673@kimm.re.kr

방식으로 페인트 브러싱, 닥터 블레이드, 스펀코팅, 딥 코팅(dip coating), 스프레이 코팅 등이 있다. 인쇄 롤에 많이 사용되는 방식으로는 코팅액 통에 인쇄 롤을 담갔다가 일정한 속도로 수직을 유지하면서 들어 올리는 딥 코팅 방법과 스프레이 노즐을 이용한 스프레이 코팅이 있다. 두 방법 모두 블랙 래커에 사용가능하며, 코팅액의 점도가 매우 중요한 요소이다. 딥 코팅은 간단한 원리이나 담그는 속도 및 들어 올리는 속도에 따라 코팅두께가 변화되어 많은 실험데이터가 필요하다. 반면 스프레이 코팅은 노즐의 분사량, 이송 속도 등을 컴퓨터로 제어하기 때문에 코팅 두께 및 균질도를 제어하는데 용이하다.^{5,6} 본 논문에서는 스프레이 노즐을 이용한 코팅방법을 사용하여 인쇄 롤의 표면에 블랙 래커를 코팅하였다.

2.1 스프레이 코팅

코팅에서 중요한 요소는 코팅액으로서, 인쇄 롤의 패턴 가공에 사용되는 파이버 레이저(1064nm)에 반응하는 블랙 래커를 선정하였다. 선정된 블랙 래커는 유기화합혼합물(PLAS Coat RY-480(GOO Chemical, Co., LTD, 일본))로서 25℃에서 28 ± 2 cst의 점도를 가지고 있으며, 코팅 가능 두께는 80℃에서 10분 건조하면 3-50µm 두께로 코팅막을 형성할 수 있다. Table 1에 블랙 래커의 구성 성분을 나타내었다.

Table 1 Composition/Information on Ingredients

Chemical Name & Common Name	Contents (%)
Acyl group resin	9.0-11.0
Inorganic pigments	4.5-5.5
Propylene glycol mono ethyl ether	21.0-23.0
Isopropyl alcohol	3.0-5.0
Toluene	8.0-10.0
Methyl ethyl Ketone	12.0-14.0
Ethyl acetate	34.0-36.0

RY-480은 스펀코팅, 딥 코팅, 스프레이 코팅 방법에 사용할 수 있으며, 스프레이 코팅을 위해서는 희석제(Reducer-1)를 사용하여 점도를 조정함으로써 코팅 두께를 조정할 수 있다. 또한 스프레이 코팅에서 나타나는 헤이즈 현상을 (즉, 용액(블랙 래커)의 용재가 휘발되는 비점(휘발속도)과 인쇄 롤의 표면결합 특성에 의해 나타나는 현

상) 최소화하기 위해 적절한 희석비율이 필요하다.⁷ Fig. 1은 블랙 래커와 희석제의 혼합 비율과 코팅속도에 따른 코팅두께의 변화를 나타낸 것으로 회전하면서 코팅하는 인쇄 롤의 특성과 스프레이 코팅의 특성을 고려하여 50%이상 희석이 된 코팅액을 사용하였다.

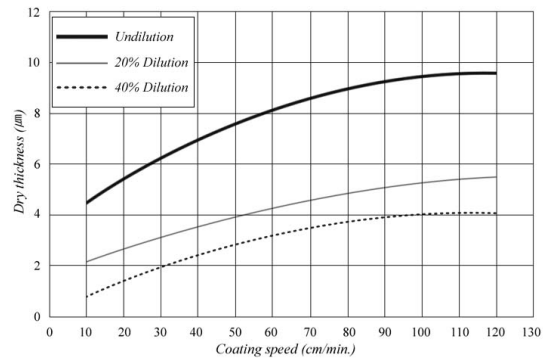


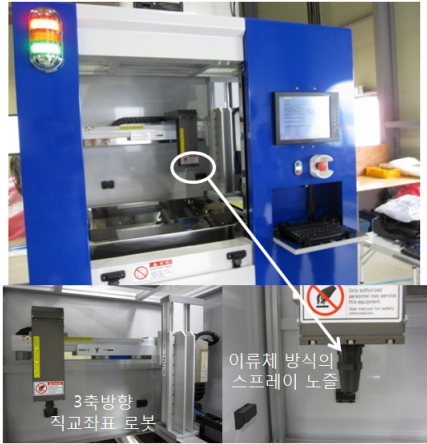
Fig. 1 Coating thickness variation according to dilution ratio and coating speed.

코팅에 사용된 스프레이 방식은 튜닝된 블랙 래커 용액과 캐리어 가스(질소 혹은 공기)를 혼합 분사하는 이류체 방식이다. 0.1-20ml/min 으로 유량설정이 가능하며, 최소 설정 유량은 0.1ml/min 이다. 최대 125mm × 300mm 크기의 인쇄 롤을 코팅할 수 있으며, 노즐의 Y축 이송과 함께 인쇄 롤을 회전하면서 코팅한다. Fig. 2는 스프레이 코팅 장비와 코팅된 인쇄 롤을 나타낸 것이다.

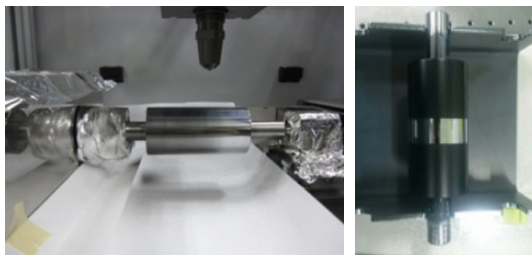
인쇄 롤의 블랙 래커 코팅층의 두께를 조정하기 위한 인자로는 코팅액의 점도, Y축 이송속도, 분사속도, 분사횟수(Y축 반복횟수), 인쇄 롤의 회전 수 등이 있다. 코팅 층의 다양한 두께를 구현하기 위해 앞의 인자들을 조합하여 두께를 측정하였다. Table 2는 4µm 두께의 코팅을 하기 위한 스프레이 코팅 인자이다. 코팅액의 농도를 더욱 묽게 한 것은 앞에서 설명한 헤이즈 현상을 최소화하기 위해서이다.

인쇄 롤의 코팅 두께 측정은 인쇄 롤의 크기 제한으로 인해 광학 현미경의 초점 거리 차이 방식으로 코팅 두께를 측정하였다. 코팅 두께를 측정하기 위해 Fig. 2의 (b)에 나타낸 것 같이 인쇄 롤의 두께 측정을 위해 중심부를 코팅하지 않았다. Fig. 3의 (a)에 나타낸 것처럼 코팅된 표면과 코팅되지 않은 표면의 초점을 맞춘 뒤 광학현미경에서 나타나는 초점 거리의 차이를 이용하는 방식이다. 코팅 두께는 레이저 패터닝의 선폭 및

깊이를 결정하는 중요한 요소로서 선풍에 따른 두께 조절은 반드시 필요하며, 코팅액 농도와 분사횟수는 매우 중요한 인자이다.



(a) Coating equipment using spray nozzle

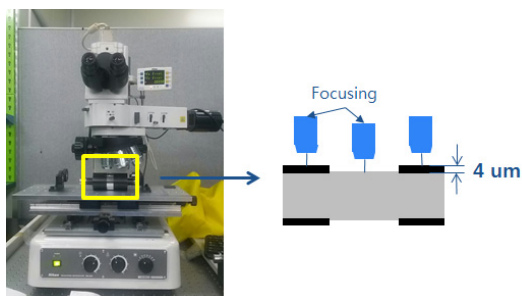


(b) Coated printing roll by spraying

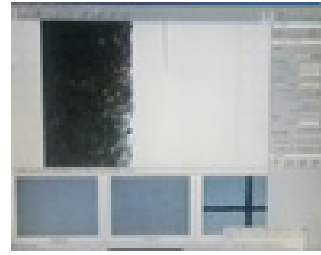
Fig. 2 Coating equipment and coated printing roll.

Table 2 A recipe for 4μm coating thickness

Concentration	RY-480 : Reducer = 4 : 6
Feed Rate(Y axis)	1.5mm/sec
Spray velocity	0.4cc/min
Spray Times	10 Times
Spray Height	40mm
RPM	120 rpm



(a) Measuring thickness using the focus difference of optical microscope



(b) Surface of printing roll observed by an optical microscope

Fig. 3 Measuring thickness using optical microscope

2.2 코팅 균질도 측정

스프레이 코팅의 특성 상 헤이즈 현상이 발생하는 것을 앞에서 설명하였다. 이는 전체적으로 두께는 유지하나 헤이즈 현상으로 인한 균질한 코팅이 이루어지지 않는 것을 의미한다. 인쇄 롤의 전 영역에 걸쳐 패터닝이 진행되므로 코팅의 두께와 함께 인쇄 롤의 코팅면을 고르게 하는 것도 중요하다. 본 논문에서는 평균코팅 두께 대비 20%의 편차를 가지는 균질도를 가질 수 있도록 인쇄 롤의 여러 위치에 균질도를 측정하였다. 4μm 코팅 두께에 균질도 20%는 3.2-4.8μm 두께 편차를 가지도록 코팅을 하는 것이다. 2.1에서 결정한 코팅인자를 바탕으로 하이트 게이지(height gage)를 이용하여 인쇄 롤 표면의 코팅 균질도를 측정하였다.

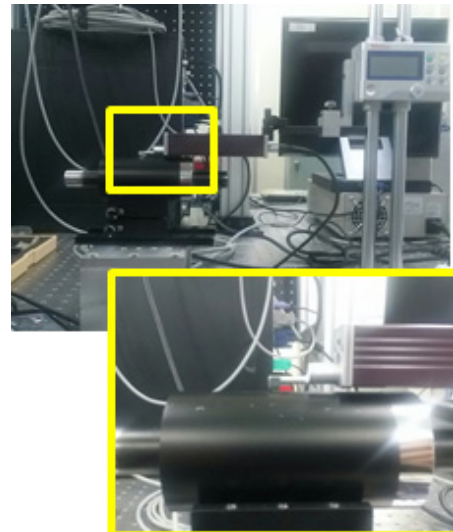


Fig. 4 Measuring homogeneity using height gage.

Fig. 4에 하이트 게이지를 이용한 균질도 측정을 나타내었다. 하이트 게이지를 이용한 이유는 인쇄 롤의 크기 제한으로 인해 적절한 측정기구 없기 때문이다. 하이트 게이지는 코팅된 인쇄 롤

의 표면에 접촉하여 표면의 거칠기를 측정하는 방법으로, 측정 위치 당 8 μm 길이로 표면을 움직여 균질도를 측정하였다. Fig. 5는 인쇄 롤에 대한 균질도 측정을 위한 방법을 나타내고 있다. 인쇄 롤의 전반에 걸친 균질도를 측정하기 위해 120° 간격으로 3 포인트씩 총 9 포인트를 측정하였다. 측정값의 신뢰도를 위해 한 포인트당 3회 측정 하여 평균값을 산출하였다.

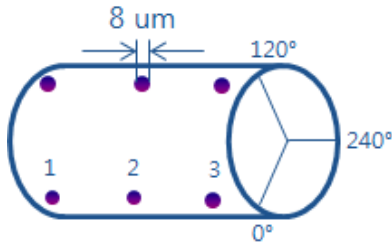


Fig. 5 Measuring point of printing roll for homogeneity.

인쇄 롤의 전반에 걸친 균질도를 측정하기 위해 120° 간격으로 3 포인트씩 총 9 포인트를 측정하였다. 측정값의 신뢰도를 위해 한 포인트당 3회 측정 하여 평균값을 산출하였다. Table 3은 각 포인트별 균질도 편차 평균값을 나타낸 것으로 20% 이내의 균질도를 달성 하였다. 측정 결과 두께 4 μm 코팅에서 3.35-3.55 μm 정도의 코팅 두께를 가지는 것으로 측정되었다.

Table 3 The average homogeneity by points

point	1	2	3
0°	0.49 μm	0.45 μm	0.65 μm
120°	0.62 μm	0.64 μm	0.64 μm
240°	0.63 μm	0.50 μm	0.62 μm

3. 인쇄 롤 선평 조절을 위한 에칭기술 구현

레이저 패터닝은 파이버 레이저(1064nm, 100W)를 이용하여 Fig. 6과 같은 패턴을 인쇄 롤에 가공하였다. 패턴 면적은 10mm × 10mm 면적으로 가공 조건은 레이저 출력 0.3W, 조사속도 1m/sec 이다.

레이저로 패터닝된 인쇄 롤의 표면에 가공된 패턴을 식각하기 위해서는 에칭공정이 필요하다. 에칭공정은 건식에칭과 습식에칭으로 구분할 수 있으며, 전자의 경우 패턴의 구현 해상도가 높아 미세 패턴을 구현할 수 있는 장점이 있으나 장치

의 구조가 복잡하고 대구경의 큰 인쇄 롤을 에칭하기에는 부적합한 부분이 많아 습식 에칭을 사용하였다. Fig. 7은 습식에칭 장비의 모습을 나타낸 것으로 인쇄 롤을 적당한 속도로 회전시키면서 에칭액을 노즐을 통해 분사시켜 블랙래커의 제거와 레이저로 가공된 패턴을 구현한다.



Fig. 6 Engraved patterns in the printing roll of 10mm × 10mm area.



Fig. 7 Etching equipment for printing roll.

레이저 가공 후 25 μm 선평의 가공을 위해 Table 4와 같은 에칭조건을 사용하여 에칭공정을 수행하였다. 에칭 공정에서 사용되는 에칭액은 독성을 가지고 있어 짧은 시간에 에칭이 완료되어야 하며, 사용한 에칭액은 염화구리이며, 에칭 설비의 노즐에서 2.5kgf/cm²의 압력으로 분사한다. 인쇄 롤의 특성상 곡면부 전체의 에칭을 위해 40rpm 정도의 속도로 약 40초간 에칭액을 분사하면 에칭이 완료된다. 에칭공정에서 레이저 빔에 의해 가공된 패턴의 선평을 결정하는 중요한 요소로는 에칭액의 분사압력과 에칭시간 및 회전속도로서 이들 인자에 따라 인쇄 롤의 선평 및 깊이가 결정된다.

에칭 후 인쇄 롤에 각인된 패턴을 측정하였다.

Fig. 6에 나타난 것 같이 레이저 가공에서는 평균 23 μm 선폭으로 가공되었으며, 에칭에서는 에칭작용에 의해 조금 더 선폭이 증가하였다. Fig. 8은 에칭 공정 후 측정된 선폭으로 패턴의 가장 모서리 부분을 측정된 것이다. 측정결과 수평 라인은 약 24.29 μm , 수직 라인은 약 21.45 μm 정도로 측정되었다. 측정된 값은 목표 선폭인 25 μm 를 만족하는 결과로서 레이저 빔 가공 전후의 블랙래커 코팅, 에칭공정 의 최적 조건의 영향 때문이다. 에칭된 인쇄 롤의 크롬도금 공정 후의 선폭 측정에서도 수평 라인 24.56 μm , 수직 라인 23.51 μm 로 측정되어 25 μm 이내의 선폭을 유지하는 것을 알 수 있었으며, 마이크로다이내믹스 측정결과 깊이는 9.55 μm 로 측정되었다.

Table 4 Etching condition for 25 μm line width

Parameters	Value
Etchant	CuCl ₂
Specific gravity	1.177
Concentration of hydrochloric acid	1.32mol/liter
ORP(Oxidation Resolution Potential)	645mV
Temperature	37.1 $^{\circ}\text{C}$
Injection Pressure	2.5kgf/cm ²
Time & RPM	40sec at 40rpm

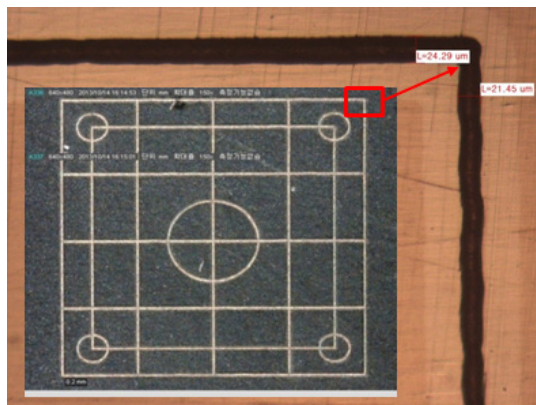


Fig. 8 Measuring line width after etching process.

4. 결론

인쇄전자에서 중요한 핵심기술 중의 하나인 인쇄 롤의 패턴 생성에 대해 많은 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 레이저 빔을 이용한 패턴생성 공정 중에서 인쇄 롤의 블랙래커 코팅방법과 에칭

공정을 통한 인쇄 롤의 패턴 생성에 대한 연구를 수행하였다. 인쇄 롤에 25 μm 의 선폭을 가지는 패턴을 생성하기 위해 4 μm 두께의 블랙래커 코팅을 수행하였다. 코팅 두께 조절을 위해 코팅액 농도, Y축 이송속도, 분사속도, 분사횟수, 분사높이 및 회전속도 등의 인자를 설정하였으며, 두께에 밀접한 인자로는 코팅액의 농도, 분사속도, 분사횟수 등이 관계가 있는 것으로 나타났다. 코팅의 균질도를 측정하기 위한 방법으로 하이트게이지를 이용한 코팅 균질도 방법을 제안하였고, 측정결과 4 μm 두께 대비 20% 이내의 편차를 가지는 균질도로 측정되었다. 레이저 빔 패터닝 후 에칭공정 조건을 산출하여 25 μm 이내의 수평/수직선폭이 가공되었다. 보다 미세한 패턴을 구현하기 위해서는 보다 얇은 막의 코팅 층 형성과 함께 균질도가 향상되어야 하며 이에 따른 에칭조건도 변경되어야 하므로 추후 연구에서 이에 대한 연구를 수행할 예정이다.

References

- 1) S.C. Yoon, J.S. Lim, C.J. Lee, High polymer and Technologies, Vol. 18, No. 3, 238-245, 2007.
- 2) B.Y. Ahn, Printing Engineering, Sejinosa, Korea, 1997.
- 3) Gravure Process and Technology, Gravure Association of America, 1991.
- 4) G. Witzgal, R. Vrijen and E. Yablonovitch, Optics Letter, Vol. 23, No. 22, 1745-1747, 1998.
- 5) S.W. Lee, J.O. Kim, and J. Seo, "Measuring coating thickness of cylindrical mold using measuring tip," Proceeding of KSPE Spring conference, pp. 217-218, 2011.
- 6) S.W. Lee, J.O. Kim, and J. Seo, "PR coating for electron beam lithography of cylindrical mold and Measuring coating thickness of it using measuring tip," Journal of KSPE, Vol. 29, No. 10, pp. 1144-1148, 2012.
- 7) J. Linden, C. Thanner, B. Schaaf, S. Wolff, B. Lagel, E. Oesterschulze, "Spray coating of PMMA for pattern transfer via electron beam lithography on surface with high topography," Microelectronics Engineering, Vol. 88, No. 8, pp. 2030-2032, 2011.