

인쇄전자를 위한 롤투롤 그라비아 오프셋 인쇄 장비

김충환[†] · 최병오^{*} · 류병순^{**} · 임규진^{**} · 이명훈^{**} · 김동수^{**}

Roll-to-Roll Gravure Offset Printing System for Printed Electronics

Chung Hwan Kim, Byung Oh Choi, Byung Soon Ryu,
Kyu Jin Lim, Myung Hoon Lee and Dong Soo Kim

Key Words : Printed Electronics(인쇄전자), Roll-to-Roll(롤투롤), Gravure offset(그라비아 오프셋), Printing(인쇄)

Abstract

There has been a great interest in printing technology as a low cost and mass production method for the application of printed electronics such as printed TFT, solar cell, RFID Tag, printed battery, and so on. In this study, apparatuses of gravure-offset printing are developed for fine line-width/gap printing and examining pattern distortion occurred in gravure-offset printing process. The fine line-width/gap pattern shows that it is possible to make around 20 micro-meter line-width/gap printing patterns. Pattern distortion is modeled, and the amount and shape of the distortion are calculated by using commercial FEM code. The roll-to-roll printing system under development consists of unwinder/rewinder, two printing units, one coating unit, drying units, guiding unit, vision system, and other auxiliary devices. For multi-layer printing, the system is designed to be capable of printing two different materials.

기호설명

F : 롤러에 작용하는 하중
 G_n : 닢 변형률
 R : 롤러 반경
 R_i : 고무 롤러의 내경
 S_n : 닢 폭의 반
 S_0 : S_n 에 해당하는 변형전 롤러 원주
 S_p : 닢 변형량 크기
 Δy : 변형 전 이미지 폭
 $\Delta \hat{y}$: 변형 후 이미지 폭
 μ : 롤러와 제판 사이의 마찰력
 ν : 포아송 비

1. 서론

21 세기에 들어서 선진 각국은 차세대 성장기술 개발에 국가적 역량을 기울이고 있다. 그 중 하나가 폴리머 칩에 의한 저가의 RFID 태그, 스마트 센서, 플라스틱 태양전지 등의 유비쿼터스 환경 구축에 충당될 새로운 제품의 생산 프로세스를 개발하는 기술이다. 이러한 인쇄전자소자 (Printed Electronics)를 대량으로 생산할 수 있는 방법으로 주목되고 있는 것이 롤투롤(Roll-to-Roll) 인쇄 방식을 이용한 생산 시스템이며 이 기술은 미세 선폭 패턴, 정밀 속도, 장력제어, 사행 제어의 구현을 필요로 한다. 장차 이와 같은 인쇄전자소자가 유비쿼터스 기반을 형성하는데 막대하게 소요될 RFID 태그와 무선센서 등에 응용되고 롤투롤 인쇄방식이 이들을 생산하는 기술로 사용될 전망에 따라 선진국에서는 연구개발에 이미 상당한 투자를

[†] 회원, 한국기계연구원 정보장비연구센터

E-mail : chkim@kimm.re.kr

TEL : (042)868-7948 FAX : (042)868-7176

^{*} 한국기계연구원 지능형정밀기계연구본부

^{**} 한국기계연구원 정보장비연구센터

지원하고 있다. 롤투를 인쇄 방식에 의한 전자소자 생산은 전통적으로 사용되던 인쇄 기법에 최근의 정밀 제어 기술과 가공 기술이 적용되어 매우 경제적으로 미세 선폭 프린팅을 구현할 수 있는 장비로 평가되고 있다. 그러나 부품의 정밀도 및 제어, 적용 환경 변수 등에 매우 민감하게 반응하기 때문에 설계 변수들에 대한 최적 값 선정 및 외란 대처 방안 등이 기본적으로 연구되어야 한다. 이 논문에서는 이러한 전자소자 인쇄에 사용될 미세 선폭 롤프린팅 기술과 롤투를 장비 연구에 대해 기술하고자 한다.

2. 롤 프린팅 공정 실험

미세 선폭 패터닝을 위한 기초 실험으로 간이 실험 장치를 구현하여 옙셋 인쇄와 그라비아 방식의 두 가지 인쇄 방식에 대해 선행 실험을 수행하였다.¹ Fig.1 은 그라비아 제판에 잉크가 전이된 형상이고 Fig.2 는 이 제판으로부터 그라비아 옙셋 방식을 사용하여 블랑켓에 2 차 전이된 잉크를 최종적으로 피인쇄체에 전이한 형상이다. 선행 실험¹에서는 그라비아 제판과 옙셋 제판의 전이 성능을 비교하였고, 그 결과로부터 ㅁ판 형식을 이용한 그라비아 제판은 일반잉크의 전이 형상이 평판 옙셋 제판과 동일한 크기 임에도 불구하고 뚜렷한 차이를 보였고 기능성 미세 선 패터닝에 적합한 제판은 그라비아 제판으로 판단하였다.

특히 Fig. 2 에서 보듯이 20 μ m 수준의 선폭 인쇄를 실험적으로 확인하여 그라비아 옙셋 인쇄 방식으로 20 μ m 수준의 선폭 인쇄가 가능함을 알 수 있었다.

또한 블랑켓의 표면 조도가 좋아 질수록 전이 성능이 향상되며, 따라서 조도가 높은 블랑켓을 사용하는 것이 효과적임을 알아내었다.

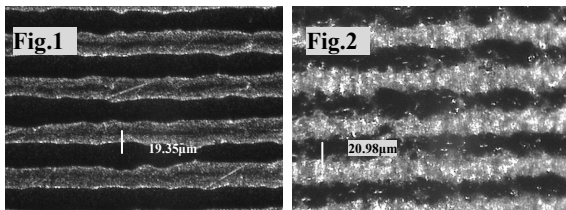


Fig. 1 Ink pattern transferred to gravure plate.

Fig. 2 Final printed pattern on substrate.

3. nip 폭/nip 변형률에 따른 인쇄 위치의 변화 시뮬레이션

3.1.1 상용 유한요소 프로그램을 이용한 해석

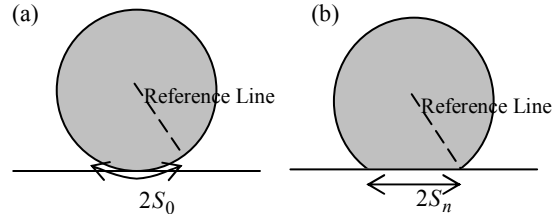


Fig. 3 Definition of S_n and S_0 . (a) before deformation (b) after deformation

Fig.2 에서와 같이 롤러의 변형 후 nip 폭의 반 S_n 과 S_n 을 형성한 롤러의 변형 전 원주 길이를 S_0 로 정의하였다. nip의 폭은 롤러의 재질, 하중, 마찰 등에 따라 달라지며 롤러의 폭 방향으로도 불균일한 nip 폭을 형성한다.

nip에서의 변형에 의한 속도 변화는 해석적으로 일부 연구가 있었고^{4,5}, Diehl⁶, Stack⁷ 등은 속도비를 $\lambda = S_n/S_0$ 로 정의하여 롤러의 압력, 재질 등에 따른 nip에서의 속도 변화에 대한 다양한 데이터를 제시하였다. 이러한 속도 변화는 롤러의 포아송 비와 축 방향 변형 조건인 평면 변형(plane strain), 평면 응력(plane stress) 등에 따라 차이를 보여 동일 재질의 동일 두께의 롤러에서도 폭 방향으로 서로 다른 속도 변화를 보인다. 한편, nip에서 잉크의 전이가 이루어질 경우 nip의 변형에 따른 이미지의 폭 변화는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta \hat{y} = \Delta y (S_0 / S_n) \quad (1)$$

따라서 위 식으로부터 전이된 패턴의 이득은 S_0/S_n 에 비례함을 알 수 있다. 따라서 롤러의 폭 방향 위치에서의 nip 변형률 S_p 의 차이에 따라 잉크의 전이 위치가 달라지며 S_n 과 S_0 의 비율인 S_0/S_n 에 따라 패턴의 이득이 달라진다. 이러한 이득의 변화를 결정하는 파라미터로 nip 속도 변화율의 역수를 nip 변형율 G_n 으로 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$G_n = S_0 / S_n \quad (2)$$

널 변형량 S_p 와 변형율 G_n 의 계산을 위하여 상용 유한요소 프로그램인 ANSYS 를 이용하였다. 인쇄 공정 중의 롤러 회전과 제판의 이송 등을 고려하기 위해서는 동역학과 변형을 같이 해석할 수 있는 해석 툴이 사용되어야 하지만 여기서는 동역학적인 측면은 고려하지 않고 정적 상태로 가정하고 해석하였다.

Fig. 7, 8, 9, 10 은 각각 $\nu=0.1, 0.3, 0.499$ 의 포아송 비에 대해 $F=1, 10, 25, 50, 100$ 의 경우에 대해 S_p 와 G_n 를 구한 그림이다. 여기서 볼 수 있듯이 포아송비가 0.1, 0.3 으로 작을 경우 하중이 커질수록 널 변형량은 양의 값을 가지며 커지지만, 포아송비가 0.499 로 클 경우 널 변형량은 음의 값을 가지며 더 작아진다. 널 변형량은 결국 전이 위치의 이동과 패턴의 왜곡을 나타내므로 포아송비에 따라 패턴의 전이 위치가 기준점보다 앞뒤로 이동하여 나타날 수 있음을 보여준다. 널 변형률은 포아송비가 0.1 일 경우 하중이 증가할수록 1 보다 점점 커지며 0.499 일 경우 1 보다 점점 작아지며 포아송비 0.3 의 경우 과도적인 모습을 보인다. Fig. 7 은 동일한 하중에 대해 서로 다른 포아송비를 갖는 경우의 S_p 와 G_n 를 구한 결과로 포아송비가 커질수록 왜곡 현상은 더 심해짐을 알 수 있다. Fig. 8 은 동일한 포아송비와 동일한 하중에 대해 고무 롤러의 내경, 즉 고무의 두께가 달라질 경우에 대한 결과로, 고무 롤러의 내경이 작아질수록, 즉 고무가 두꺼울수록 왜곡 현상은 심해짐을 알 수 있다.

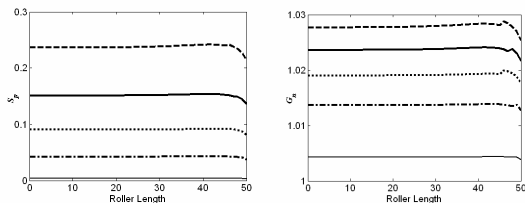


Fig. 4 S_p and G_n plots for different values of loading with $\nu=0.1, F=1: \text{---}, F=10: \text{---}, F=25: \text{---}, F=50: \text{---}, F=100: \text{---}$

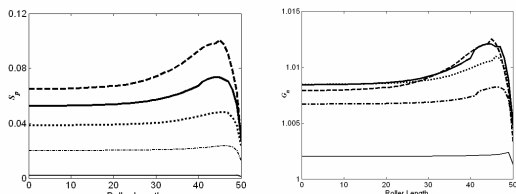


Fig. 5 S_p and G_n plots for different values of loading with $\nu=0.3, F=1: \text{---}, F=10: \text{---}, F=25: \text{---}, F=50: \text{---}, F=100: \text{---}$

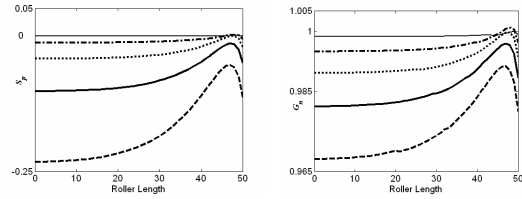


Fig. 6 S_p and G_n plots for different values of loading with $\nu=0.499, F=1: \text{---}, F=10: \text{---}, F=25: \text{---}, F=50: \text{---}, F=100: \text{---}$

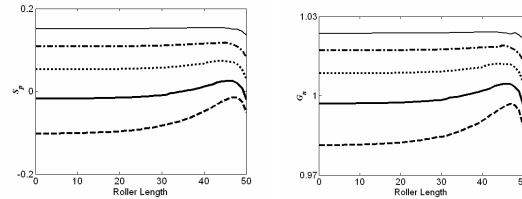


Fig. 7 S_p and G_n plots for different values of Poisson ratio with $F=50, \nu=0.1: \text{---}, \nu=0.2: \text{---}, \nu=0.3: \text{---}, \nu=0.4: \text{---}, \nu=0.499: \text{---}$

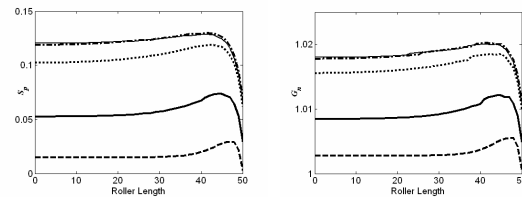


Fig. 8 S_p and G_n plots for different values of R_i with $F=50$ and $\nu=0.3, R_i=10: \text{---}, R_i=20: \text{---}, R_i=30: \text{---}, R_i=40: \text{---}, R_i=45: \text{---}$

3.1.2 실험장치를 이용한 인쇄패턴왜곡 검증 예

Fig.10 은 잉크 인쇄 패턴 왜곡을 실험적으로 검증하기 위한 실험 장치이다. 볼-스크류에 의해 직선으로 이송되는 평판 제판과 블랑켓 롤러, 가압 롤러로 구성되어 있으며 공기압 장치에 의해 각 롤러에 독립적으로 압력을 가할 수 있는 구조로 제작되었다. 제판의 패턴은 웹 진행 방향을 기준으로 할 경우 길이 0.5mm, 폭 120mm 로 롤러의 폭 100mm 보다 크게 하여 인쇄 시 잉크의 유무에 따른 마찰력의 영향을 줄이도록 하였다. 인쇄 속도는 0.025m/s 로 매우 낮은 속도로 인쇄를 수행하여 동역학적인 요소의 영향을 최소화 하도록 하였다. Fig.11 은 0.5mm 의 선폭의 직선 제판으로부터 인쇄 된 결과를 보여주며 Fig. 12 는 인쇄된 결과의 패턴 왜곡을 측정 한 결과와 시뮬레이션 결과를 최대 변형량으로 표준화하여 비교한 그림이다. 시뮬레이션에서는 실제 실험과 같이 $R_i=40, F=100$ 로 주었고 포아송 비는 $\nu=0.4$, 마찰계수 μ

= 0 으로 가정하였다. 시뮬레이션 결과와 실험 결과의 정성적 경향이 비교적 잘 일치함을 알 수 있다.

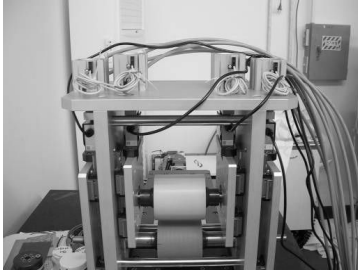


Fig. 9 Test apparatus for gravure offset printing



Fig. 10 Image distortion from experiment result

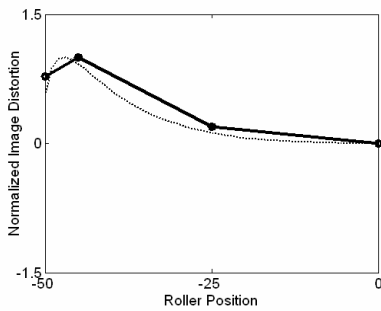


Fig. 11 Image distortion, simulation result ($\nu=0.4, \mu=0.0, R_i=40, F=100$): -----, experiment result: —

4. 롤투롤 프린팅 시스템의 개발

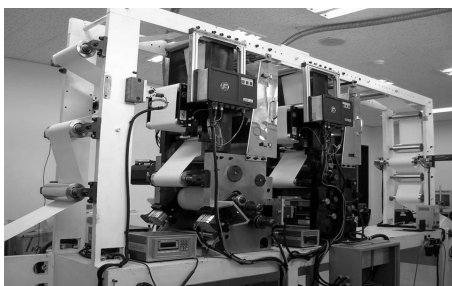


Fig. 12 Picture of the Roll-to-Roll printing system

Fig. 12 는 설계된 시스템의 사진을 보여준다. 먼저 피 인쇄체인 두루마리를 일정한 장력의 통제하에 인쇄부로 공급할 수 있는 언와인더와 피 인쇄체의 장력을 제어하는 장력 제어 장치와 연계하여 조정되는 파우더 브레이크가 설치된다. 피인쇄체의 사행을 제어하는 롤 가이드를 제 1 인쇄 유닛 진입 전에 설치하였다. 인쇄유닛의

설계는 그라비아 오프셋 방식의 인쇄를 수행하기 위하여 먼저 인쇄회로를 제판한 판통 표면이 잉크 저장통에 잠겨 있다가 나오면서 닥터 블레이드로 표면의 잉크는 제거되고 회로패턴의 인쇄잉크는 탄성체인 블랑켓 실린더 상에 전달되면 이를 피인쇄체에 인쇄 실린더로 가압하여 인쇄를 수행하는 시스템으로 구성하였다. 또한 2 개의 인쇄 유닛이 동일한 방식에 의하여 제 1, 제 2 인쇄가 이루어지는 인라인 구조이다. 각 인쇄 유닛의 정렬 마크를 정확하게 측정 평가하고 조정하는 장치로서 고해상의 CCD 카메라, 화상처리장치 및 서보제어가 구성되었다. 인쇄된 인쇄물의 건조를 위한 건조기는 열풍 및 UV 램프로 설계하였다. 피인쇄체에 인쇄된 회로선을 보호하기 위한 도포나 박막유전체 도포를 위한 코팅기는 그라비아 코팅 방식으로 설계하였다.

4.1.1 시스템 설계 개요

먼저 피 인쇄체인 인쇄용지나 플라스틱 필름의 두루마리(web roll)를 일정한 장력의 통제하에 인쇄부로 공급할 수 있는 적절한 언와인더(Unwinder)가 필요하다. 이들 피 인쇄체는 인쇄속도가 변화하더라도 신축에 영향을 주지 않는 범위 내의 장력으로 공급되도록 장력 제어(Tension control) 장치와 연계하여 조정되는 파우더 브레이크(Powder brake)의 언와인더를 우선 설치하고 두루마리 피인쇄체 필름을 진직으로 정확하게 이송시키기 위한 에지 위치(Edge position) 감지로 조정되는 롤 가이드(Roll guider)를 제 1 인쇄 유닛 진입 전에 설치하였다.

인쇄유닛의 설계는 그라비아(Gravure) 오프셋 방식의 인쇄를 수행하기 위하여 먼저 인쇄회로를 제판한 판통(Plate cylinder)표면이 잉크 저장통(Ink fountain)에 잠겨 있다가 돌아 나오면서 닥터 블레이드(Doctor blade)로 표면의 잉크는 제거되고 회로패턴의 인쇄잉크는 탄성체 수지층의 블랑켓 실린더(Blanket cylinder) 상에 전달되면 이를 피인쇄체에 인쇄 실린더(Impression cylinder)로 가압하여 인쇄를 수행하는 시스템으로 구성하였다. 2 개의 인쇄 유닛이 동일한 방식에 의하여 제 1, 제 2 인쇄가 이루어지는 인라인(In-line)구조다. 제 1, 제 2 로 이루어진 각각의 정렬 마크(Register mark)를 정확하게 측정 평가하고 조정하는 장치로서 고해상의 CCD 카메라, 화상처리장치

(Image processing system) 및 서보 제어 (Servo control)가 구성되었다.

인쇄가 이루어진 인쇄물에 대하여 건조를 실시하여야 한다. 이는 잉크가 묻은 면에 대하여 석영램프로 가열한 열풍으로 건조하는 공정으로 설계하였다. 전자기능성 잉크의 건조 또는 경화 속도에 의하여 전체 인-라인 구조의 생산성이 지배를 받는다. 또한 가열경화의 경우 온도한계에 의하여 피인쇄체의 선택이 영향을 받는다. 피인쇄체에 인쇄된 회로선을 보호하기 위한 도포나 박막유전체 도포를 위하여 코팅하는 방식은 그라비아 코팅 방식으로 설계하였다.

인쇄가 이루어진 후 마지막으로 리와인딩하는 장치는 일정한 장력 또는 점차 약화되는 장력으로 조정하여 감길 수 있게 장력 제어에 의하여 조정되는 서보모터를 운용한 리와인더를 설치하도록 하였다. 그리고 뒷문음 방지를 위하여 간지 공급장치를 병설하도록 설계하였다.

4.1.2 장치의 세부 설계

먼저 피인쇄체의 공급방식을 결정하고 이에 따라 언와인더 장치의 구조를 설계하였다. 언와인더는 프레임, 급지 축 롤러, 파우더 브레이크 및 동력전달 기어 등으로 구성하였고, 기초 프레임의 좌단에 설치할 수 있도록 구조를 설계하였다.

인쇄를 하기 위해서는 웹 원단을 급지 축에 거치하고 파우더 브레이크에 의한 수동적인 피인쇄체의 언와인딩은 급지 축 롤러 회전을 위하여 장력이 필요하고, 이 장력은 일반적으로 인피더(Infeeder)에 의하지만 실험 장치에서는 제 1 인쇄 유닛이 담당하도록 하였다. 종이와 플라스틱 호일과 같은 재질은 일정한 안정권의 장력범위 이상으로 장력이 발생하면 필름의 변형이 발생하고 급격한 감속시에는 구김(Wrinkling) 문제가 생기므로 적절한 인쇄 속도와 장력조절이 필요하다. 장력의 검출은 로드 셀 (Load cell) 방식으로 채택하여 정확한 장력값을 검출하도록 하였다. 언와인더에서 풀려나온 필름은 인쇄 유닛에 일정한 위치로 정확하게 진입되어야 한다. 이를 위해서는 필름의 이송 방향이 인쇄 실린더 축 방향 정위치에 수직으로 고정되도록 EPC (Edge Position controller)를 설치하였다 EPC는 필름 가장자리 끝부분을 일정하게 위치하도록 맞추는 장치이며, 광학적인 검출센서가 비접촉식으로

에지의 위치를 검출한다. 에지의 흐름이 위치를 벗어나 축 방향으로 이동하면 센서에 검지되어 가이드 롤 (Guider roll)의 구동부를 이동시켜 정위치로 이송을 조정하도록 한다.

4.1.3 프린팅 유닛 설계

인쇄 IC 칩 등 인쇄전자소자들을 경제적으로 생산 가능하도록 하게 하는 주요 기술은 고속 운전인쇄기에 걸어 인쇄할 수 있는 마이크로 미세선 패턴회로의 제판이 가능하여야 하고, 이러한 인쇄판 실린더에 의하여 목적하는 미세회로 패턴이 잉크층을 제판의 모양대로 피인쇄체에 안전하게 전이하는 전이방법을 확보할 수 있어야 하고 다음은 뒤이은 인쇄 유닛에서 인쇄잉크를 정확한 위치에 맞춤으로 적층하는 제어할 수 있도록 하는 것이다. 인쇄 유닛의 설계는 그 중에서 잉크층을 제판의 모양대로 패턴형상을 안전하게 전이하는 방법이 구현되게 하는 것이라고 볼 수 있다. 따라서 잉크층의 전이구조가 가장 안정한 그라비아 오프셋 방식을 발전시켜 새로이 설계하였다.

먼저 그라비아 선 제판방식으로 제판된 미세회로 패턴의 인쇄판 통을 확보할 수 있다고 가정하면 이렇게 마련된 패턴 요부에 인쇄판 실린더를 잉크통에 잠기도록 하여 잉크를 채운다. 이때 잉크통 속에서 요부에 잉크를 밀어 넣는 보조 롤러를 밀착시켜 미세요부에 충실한 잉크 채움이 이루어지게 할 수 있다. 이렇게 채워진 요부의 잉크만 남기고 실린더 표면의 비화선부에 묻은 잉크는 닥터 블레이드로 제거하고 다음 단계로 인쇄판 실린더 상에서 순간적인 건조열풍으로 패턴요부의 잉크표면을 어느 정도 굳게 건조시킨다. 다음에 밀착되는 실리곤 고무층이 도포된 브랑켓 실린더에 인쇄잉크가 전이되도록 적절한 전이압력을 조정한다. 브랑켓 표면에 전이된 잉크는 다시 한번 더 순간 열풍건조로 용제를 증발시켜 마지막으로 피인쇄체에 압통에 의하여 잉크층이 안전하게 전이되도록 한다. 이때도 인쇄압은 적정하게 인쇄압 조정장치로 조절한다.

4.1.4 미세 선폭 인쇄 실험 결과

제작된 시스템의 인쇄 성능 평가를 위해 일반 인쇄용 유성 잉크를 이용하여 인쇄 실험을 수행하였다. 피 인쇄체로는 일반 백상지와 PET

필름을 사용하였고 인쇄 속도는 1~60m/min 의 범위에서 실험을 수행하였다. Fig 13-(a), (b)는 선폭 60 μ m, 선간 20 μ m, (a)는 선 깊이 10 μ m, (b)는 선 깊이 20 μ m 의 제판으로부터 인쇄된 결과이다. 측정 결과 (a)는 선폭 59~61 μ m, 선간 19~22 μ m, (b)는 선폭 60~62 μ m, 선간 18~20 μ m 로 나타났다. 이는 선 깊이가 클수록 잉크의 양이 많아 전이 시 선폭이 증가하는 게인(Gain) 증가 현상이 있음을 알 수 있다.

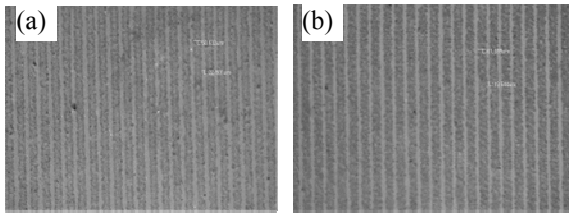


Fig. 13 Fine pattern printing result using developed system
 (a) plate: 60 μ m-width, 20 μ m-gap, 10 μ m-depth;
 result: 59~61 μ m-width, 19~22 μ m-gap
 (b) plate: 60 μ m-width, 20 μ m-gap, 20 μ m-depth;
 result: 60~62 μ m-width, 18~20 μ m-gap

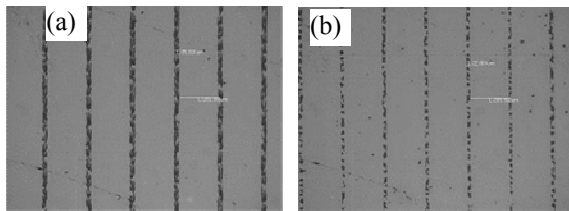


Fig. 14 Fine pattern printing result using developed system
 (a) plate: 30 μ m-width; result: 30~35 μ m-width
 (b) plate: 20 μ m-width; result: 20~22 μ m-width

Fig 14-(a), (b)는 각각 선폭 30 μ m, 20 μ m 의 제판으로부터 인쇄한 결과를 보여주며 인쇄 후 선폭은 각각 30~35 μ m, 20~22 μ m 로 나타났다. 선폭이 얇아질수록 게인의 증가 현상이 더 커지는데 이것은 30 μ m 이하의 제판의 경우 제판 정밀도가 크게 떨어져 제판 자체의 정밀도가 30 μ m 이하의 구현이 어렵기 때문이다. 또한 60 μ m 선폭의 경우 선의 끊김이 거의 없이 인쇄 품질이 우수하게 나타났으나 30 μ m 이하의 경우 선의 끊김 현상과 인쇄 불량 현상이 나타났다. 이것은 제판의 선폭이 얇아질수록 선의 깊이를 깊게 하는데 한계가 있어 최대 10 μ m 정도의 깊이로만 가공이 가능하고 또한 제판의 선 깊이도 일정하게 가공하는데 어려움이 있어 제판 자체에 잉크가 충분히 묻지 못해 일어난 현상으로 판단된다. 따라서 향후 제판 가공 정밀도를 높이고 선의

깊이를 깊게 해서 잉크가 충분히 묻도록 제판 성능을 개선할 필요가 있음을 알 수 있다.

5. 결론

이 논문에서는 그라비아 오프셋 프린팅을 이용하여 20 μ m 선 패턴 인쇄를 수행하였고 그라비아 오프셋 인쇄에서 발생하는 인쇄 패턴 왜곡 현상에 대한 원인은 고무 롤러의 변형에 따른 닢 변형량인 것을 밝혔으며 롤러의 재질, 고무의 두께, 하중 등에 따라 패턴의 왜곡 정도가 달라짐을 보였다. 그라비아 오프셋 인쇄기를 설계, 제작하였고 미세 패턴에 대한 인쇄 실험을 수행하여 약 20 μ m 수준의 미세 선폭 인쇄가 가능함을 보였다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하는 중기거점 ‘첨단기계류’ 사업의 과제에 수행 중이다.

참고문헌

- (1) 최병오, 김동수, 이택민, 김충환, 이명훈, 조정대, 임규진, “미세 선폭 롤 프린팅 공정에 대한 연구”, 대한기계학회 추계학술대회, 2005.11, 용평
- (2) Marko Pudas, Seppo Leppä vuori, et al. 2004, "Gravure offset printing of polymer inks for conductors" Progress in Organic Coatings, Vol. 49, pp. 324~335.
- (3) T. Mä kelä , R. Korhonen, et al., 2003, "Roll-to-roll method for producing polyaniline pattern on paper" Synthetic Metals, Vol. 135, pp. 41~42.
- (4) B. J. Ramsey, D. Harrison, et al., 1997, "A novel circuit fabrication technique using offset lithography" J. Electronic Manufacturing, Vol. 7, No.1, pp. 63~67.
- (5) P.M. Harry, D.J. Harrison, et al., 2000, "Integrated capacitors by offset lithography" J. Electronic Manufacturing, Vol.10, No.1, pp. 69~77.
- (6) www.ovonic.com
- (7) Brien W. Broller, 2003, "Print characterization for graphics vs. electronics" IMAPS 2nd Advanced Technology Workshop, March 16~19, 2003, Boston USA.
- (8) Eike Becker, et al., 2003, "A New Structuring Technique for Polymer Integrated Circuits" IEEE Polytronic 2001 Conference proceedings.