

◆ 특집 ◆ 인쇄전자 생산용 롤 프린팅 기술

복합 접촉 인쇄 방식의 롤투롤 프린팅 장비

Roll-to-Roll Contact Printer with Multiple Printing Methods

김충환^{1,✉}, 김명섭², 유하일², 최병오², 이승현², 김동수²

Chung Hwan Kim^{1,✉}, Myoung Sub Kim², Ha Il You², Byoung-Oh Choi², Seung-Hyun Lee² and Dong Soo Kim²

1 충남대학교 기계·금속공학교육과 (Department of Mechanical & Metallurgical Engineering Education, CNU)

2 한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부 (Nano-Mechanical Systems Research Division, KIMM)

✉ Corresponding author: tboo@korea.com, Tel: 042-821-7992

Manuscript received: 2010.7.16 / Accepted: 2010.8.16

Recently, roll-to-roll printers are being developed actively by various research teams such as research institutes, universities and companies for the application of printed electronics. The printing methods that are widely used in the roll-to-roll printing equipments are gravure, gravure and flexo, which depend on the inks used and electronic devices produced. In general, a single printing unit of roll-to-roll printing equipment adopts only one printing method and this method is not changeable, which limits the application fields of the developed printing equipments. In this paper, the roll-to-roll printer, in which the printing unit has the novel design concept, is described.

Key Words: Roll-to-Roll (롤투롤), Contact Printing (접촉식 인쇄), Printed Electronics (인쇄 전자), Multiple Printing Methods (복합 인쇄 방식)

1. 서론

인쇄전자 (Printed Electronics)는 인쇄 방식을 이용하여 무선인식 태그 (RFID tag), 태양전지 (Solar cell), 전자종이 (E-paper), 유연성 디스플레이 (Flexible display), 터치스크린 (Touch screen) 등을 대량, 저가로 생산하는 기술로, 새로운 시장을 창출하고, 기존의 생산 기술을 대체할 수 있는 것으로 최근 관련 산업계에서 큰 주목을 받고 있다. 인쇄전자 기술은 장비, 공정, 재료, 소자 등의 기술이 같이 개발되어야 성공할 수 있는 융복합 기술로, 기계, 전자, 재료, 화학 등의 다양한 학제를 배경으로 하는 산학연의 공동 연구 개발을 통한 연구가 이루어지고 있고, 이에 따라 최근 무선인식 태그, 터치스크린, 태양전지 등의 분야에 있어 실질적인 결과물이 가시화되고 있다. 인쇄전자는

비교적 대면적의 유연성 기판에 전자소자를 대량, 저가로 생산하는 것을 기본적인 목적으로 삼고 있으며, 이를 위한 방식으로 롤투롤(Roll-to-Roll) 방식에 의한 생산 방식이 주목 받고 있다. 따라서, 롤투롤 방식으로 이러한 인쇄전자 소자를 대량으로 생산하기 위한 장비 연구가 중급 규모 이상의 장비 업체와 학교, 연구소를 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 롤투롤 인쇄 장비 중에서 주로 사용되는 인쇄 방식은 그라비아 (Gravure), 그라비아 오프셋 (Gravure-offset) 또는 플렉소 (Flexo) 방식과 같은 접촉식 방식으로, 세 방식 모두 생산성이 높으나 각각의 장단점과 사용되는 잉크 재료의 특성이 상이하다. 그라비아 인쇄는 Fig. 1(a)와 같이 제판 롤러에서 피인쇄체로 직접 전이가 이루어지나, 그라비아 오프셋 인쇄는 Fig. 1(b)와 같이 이 사이에 블랭킷 (Blanket) 실린더를 둬으로써 잉크의 전이

성 향상을 돕는다.^{1,2} 플렉소 인쇄는 Fig. 1(c)와 같이 잉크를 도포한 애니록스 (Anilox) 실린더에서 수지 재질의 불록 재판에 잉크가 묻혀진 후 피인쇄체로 잉크가 전이된다.

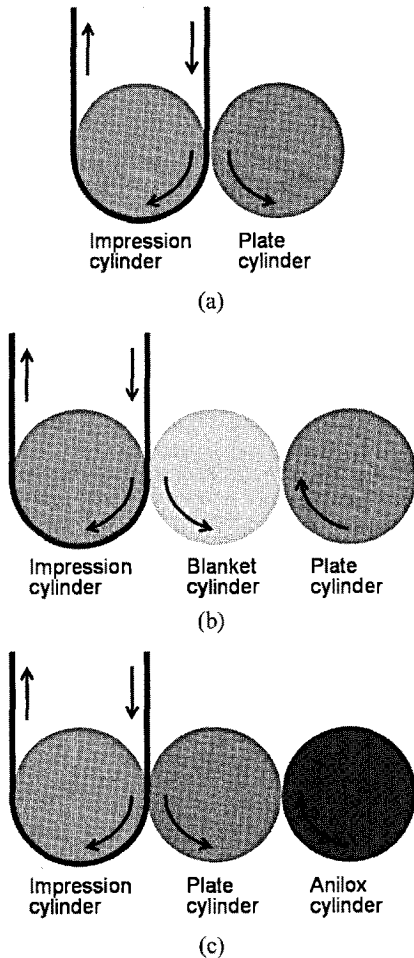


Fig. 1 Schematic pictures of (a) gravure and (b) gravure-offset and (c) flexo printing methods

Table 1 은 그라비어, 그라비어 오프셋, 플렉소 인쇄 방식을 비교한 것으로, 그라비어 오프셋의 경우 블랑켓 실린더로 인해 그라비어 인쇄에 비해 낮은 인쇄 압력이 요구되고, 잉크의 전이성이 높아질 수 있으나, 잉크와 블랑켓의 적성을 잘 맞추지 못할 경우 잉크 전이성은 그라비어 인쇄에 비해 오히려 더 나빠질 수 있다. 그라비어 오프셋용 잉크는 그라비어 잉크에 필요한 제판, 피인쇄체와의 적성 맞춤에 블랑켓과의 상호 적성 또한 반드시 맞추어

줘야 하는 문제 외에도 점도 또한 그라비어 잉크에 비해 수-수십배 더 높아 수천-수만 cps의 점도를 갖는다.^{1,3} 플렉소 인쇄는 매우 낮은 인압으로 높은 표면 조도를 갖는 패턴의 인쇄가 가능하다. 잉크는 그라비어와 비슷한 점도가 필요하지만, 수지 재질의 재판을 사용하기 때문에 수지를 녹일 수 있는 용제는 사용이 불가능하다. 이러한 몇 가지 기본적인 특성의 확연히 구분되는 차이로 동일한 잉크를 다른 인쇄 방식으로 혼용하거나, 동일한 인쇄 방식에서 서로 다른 잉크를 혼용하여 올바르게 전이된 패턴을 얻기는 거의 불가능하다. 일반적으로 잉크는 한가지 인쇄 방식에 맞도록 점도, 용제, 바인더 등 그 특성이 정해져 생산되며, 장비를 운용하여 소자를 제작하는 사용자는 장비에 맞는 잉크를 선택하게 되므로 그 범위가 제한적이다. 특히, 고가의 장비를 잉크에 맞게 새로 제작하거나 도입하는 것은 비용 지출에 있어 효율적이지 못하다. 이러한 측면으로 봤을 때, 하나의 장비에서 다양한 인쇄 방식으로 쉽게 변형해서 사용할 경우 다양한 잉크에 대응 가능하여 선택의 폭이 넓어지고, 특히, 소자의 시험 테스트를 위한 실험 장비에는 이러한 장비가 매우 효과적이다.¹

Table 1 Comparison of gravure, gravure-offset and flexo printing methods

Parameter	Gravure	Gravure-offset	Flexo
Printing pressure	Very high	Low	Very Low
Ink transfer	Moderate	Depending on blanket	Moderate
Ink viscosity	20-1000cps	200-50000cps	20-1000cps
Control parameters (materials)	Ink, substrate	Ink, blanket, substrate	Ink, substrate
Remark		Applicable to hard substrate	Resin plate (sensitive to solvent)

따라서, 본 논문에서는, 참고문헌 1 에 소개된 그라비어/그라비어 오프셋 두 가지 방식을 갖도록 설계된 장비에 플렉소 인쇄 방식을 추가로 갖도록 설계하여, 세 가지의 접촉식 인쇄 방식을 하나의 장비에서 제공하는 복합 인쇄 방식의 접촉식 롤투를 프린팅 장비의 설계와 그 성능에 대해 설명하고자 한다.

2. 접촉식 복합 인쇄 방식의 인쇄 유닛 설계¹

롤투롤 인쇄 전자에서 가장 많이 사용되는 그라비어 인쇄, 그라비어 오프셋 인쇄, 플렉소 인쇄를 혼용할 수 있는 설계 방식에 대해 언급한다. Fig. 2(a), (b), (c)는 각각 그라비어 오프셋, 그라비어, 플렉소 방식의 경우에 대해 인쇄 실린더의 배치 및 피인쇄체의 경로를 보여준다.¹

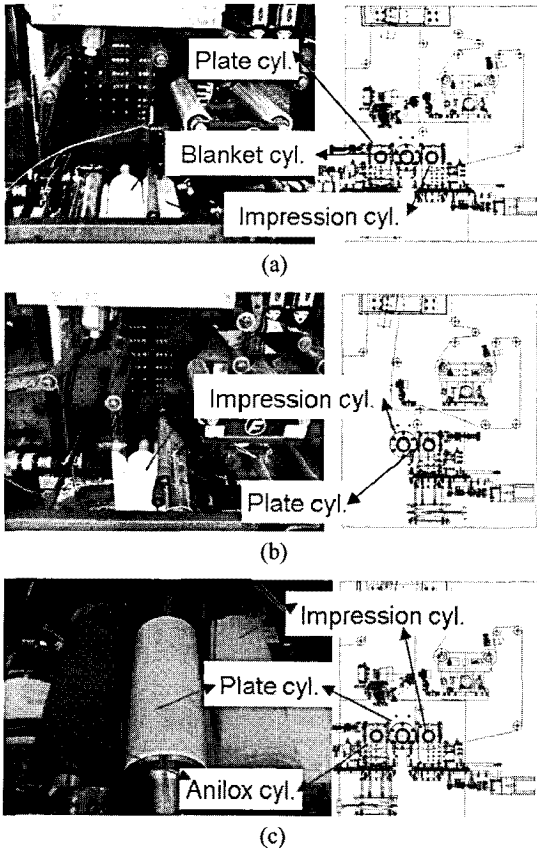


Fig. 2 Printing cylinder configurations and web paths for (a) gravure-offset (b) gravure and (c) flexo printing methods¹

그라비어 오프셋 인쇄의 경우 제판 실린더(Plate cylinder), 블랭킷 실린더(Blanket cylinder), 가압 실린더(Impression cylinder)가 차례로 배치되지만, 그라비어 인쇄의 경우 제판 실린더가 가압 실린더의 위치로 변경되고 가압 실린더는 블랭킷 실린더의 자리에 위치하게 된다. 이때, 그라비어 오프셋의 가압 실린더는 경도가 80 이상이지만, 그라비어의

가압 실린더는 경도가 60-70 정도인 것이 사용된다. 피인쇄체의 경로는 웹 가이드 이후에 인쇄 유닛으로 진입하는 경로가 아이들 롤러에 의해 바뀌고, 인쇄 실린더의 회전 방향이 따라서 바뀌게 된다. 플렉소 방식의 경우 그라비어 오프셋 인쇄 방식과 피인쇄체의 경로 및 실린더의 회전 방향은 동일하나, 제판 실린더 대신에 에니록스 실린더, 블랭킷 실린더 대신에 수지 제판 실린더가 위치한다. 따라서, 각 인쇄 방식에 따라 단순히 해당하는 실린더를 교체하고 피인쇄체의 경로를 바꾸어 줌으로써 세 가지의 인쇄 방식을 혼용하여 사용하는 것이 가능하게 설계 되었다.

3. 장비의 설계 및 제작



Fig. 3 Developed roll-to-roll printing system with multiple printing methods

Fig. 3 은 제작된 그라비어, 그라비어 오프셋, 플렉소의 복합 접촉식 인쇄 방식을 갖는 롤투롤 프린팅 시스템의 사진을 보여준다. 총 2 도의 인쇄가 가능하도록 제작되었으며, 각 인쇄부는 인쇄 유닛 중심의 블록 구조로 되어 있으며 도수의 증가에 따라 각 유닛 블록만 추가하면 쉽게 확장이 가능하다. 전체적인 구조는 피인쇄체를 공급하기 위한 언와인더 및 권취하기 위한 리와인더, 이 사이에는 피인쇄체의 공급을 원활하게 하기 위한 피더 유닛, 장력의 측정 및 제어를 위한 로드셀과 댄서 시스템, 사행 제어를 위한 웹 가이드 등으로 이루어진다. 피인쇄체는 A4 용지의 좁은 쪽에 해당하는 최대 210mm 의 폭이 사용 가능하게 설계되었고, 인쇄 속도는 최대 30m/min 이 가능하도록 모터가 선정되고, 제어 성능이 튜닝되었다. 건조기는

열풍 건조기로 제작되어 있으나, 파일럿 장비인 점을 감안하여 2m 정도의 건조 구간을 갖도록 작게 설계되었으나, UV 방식이나 IR 방식과 같은 형태의 건조기를 쉽게 탈부착 가능하도록 구성되어 있다.

4. 중첩 제어 성능

롤투롤 장비에서 가장 중요한 성능 중 하나는 두 개 이상의 인쇄층이 중첩 인쇄 될 때 그 위치를 맞추는 중첩 (레지스터) 제어이다.^{4,6} 레지스터 제어는 무선인식 태그, 유연성 디스플레이, OTFT 등의 인쇄 전자소자를 생산할 때 그 성능을 결정하는 중요한 요소 중 하나로, 제작하고자 하는 소자에 따라 요구되는 레지스터 정밀도가 달라진다.³ Table 2 는 그라비아, 그라비아 오프셋의 인쇄에 대하여 일정 시간 동안 레지스터 정밀도를 측정하여 10 μ m, 20 μ m, 50 μ m 이내의 레지스터 정밀도 내에 속하는 데이터의 % 분포를 보여준다. 그라비아의 경우 10 μ m, 20 μ m, 50 μ m 이내의 데이터는 각각 약 20%, 42%, 80%의 분포를 보이며, 그라비아의 오프셋의 경우 각각 약 24%, 47%, 85%의 분포를 보인다. 따라서, 만약 20 μ m 이내의 중첩 정밀도가 요구되는 소자 생산의 경우, 그라비아 오프셋 인쇄 시 약 47%의 수율을 기대할 수 있으며, 50 μ m 이내의 중첩 정밀도가 요구되는 소자를 그라비아로 생산할 경우, 약 80%의 수율을 기대할 수 있게 된다.

Table 2 Register control performance (accumulated data within register accuracy, %)

Printing method	Register accuracy, μ m		
	10	20	50
Gravure	20	42	80
Gravure-offset	24	47	85

5. 결론

이 논문에서는 인쇄전자 소자의 대량 저가 생산을 위한 롤투롤 장비에 있어서, 인쇄 실린더의 교체와 피인쇄체의 경로 변경만으로 하나의 인쇄 유닛에서 그라비아, 그라비아 오프셋, 플렉소의 세가지 접촉식 인쇄 방식을 제공하도록 설계된 새로운 설계 개념 및 이러한 설계를 토대로 제작된 장비에 관하여 언급하였다. 제작된 장비는 20 μ m 수준의 중첩 정밀도에서 40% 이상, 50 μ m 수준의 중첩

정밀도에서 80% 이상의 수율을 보여주어, 성능 면에 있어서도 인쇄전자소자의 생산에 충분히 응용 적용 가능하다. 고가임에도 사용 가능한 인쇄 방식의 한계로 다양한 인쇄전자소자의 응용에 한계를 갖던 기존 롤투롤 인쇄 장비의 한계를 극복한 이러한 복합 방식의 롤투롤 접촉식 장비는, 인쇄전자의 롤투롤 생산을 위한 테스트와 소자 제작에 다양한 잉크를 적용하게 됨으로써 인쇄전자 분야의 생산 기술 발전에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- Kim, C. H., Kim, M. S., You, H. I., Lee, T. M., Jo, J., Choi, B.-O. and Kim, D. S., "Roll-to-Roll Printing System with Multiple Printing Methods," Proc. of KSPE Spring Conference, pp. 589-590, 2010.
- Choi, B.-O., Kim, C. H. and Kim, D. S., "Manufacturing ultra-high-frequency radio frequency identification tag antennas by multilayer printings," Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, Vol. 224, No. 1, pp. 149-156, 2010.
- Shin, D.-S., Kim, C. H. and Lee, Y., "Performance characterization of screen printed radio frequency identification antennas with silver nanopaste," Thin Solid Films, Vol. 517, No. 21, pp. 6112-6118, 2009.
- Kipphan, H., "Handbook of Print Media," Springer, 2001.
- Komatsu, H., Yoshida, T., Takagi, S., Sheri, T. and Muto, T., "Improvement of printing accuracy via web handling control in multi-colors printing machines," International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 953-956, 2007.
- Kang, H.-K., Eom, Y.-S., Lee, J.-M. and Shin, K.-H., "Compensation of register errors due to tension disturbances in printing presses," 1st International Conference on R2R Printed Electronics, pp. 165-170, 2008.