

PEMS 생산용 롤투롤 프린팅 장비의 개발

Development of Roll-to-Roll Printing Equipment for PEMS Production

*김명섭¹, 김충환¹, 김동수¹, 이택민¹, 류병순¹, 최병오¹

**M. S. Kim(joseph@kimm.re.kr)¹, C. H. Kim¹, D. S. Kim¹, T. M. Lee¹, B. S. Ryu¹, B. O. Choi¹

¹ 한국기계연구원 나노기계연구본부 롤투롤인쇄전자공정장비팀

Key words : Printed electronics, Lower cost, Higher productivity, Roll-to-Roll, Design, Gravure-Offset

1. 서론

인쇄 기술을 사용하는 인쇄전자의 제조는 많은 부분에서 현재의 반도체 공정에 비해 비용을 절감할 수 있기 때문에 초미의 관심사가 되기 시작했다. 낮은 비용과 높은 생산성을 가진 이 기술은 TFT, Solar Cell, RFID Tag, Printed Battery 등을 생산할 수 있다. RFID Tag, 스마트 센터, 플라스틱 태양전지 등 유비쿼터스 환경구축에 해당될 새로운 제품의 생산 프로세스를 개발하는 기술은 차세대 성장기술로서 선진각국은 이에 대한 연구와 투자를 아끼지 않고 있다[1-4]. 이와 관련된 제품들은 비교적 대면적의 전자소자로 수십 마이크로 수준의 정밀도를 필요로 하고, 유연한 소재 위에 형성되어야 하며, 저가의 대량생산이 가능해야 한다. 이러한 인쇄전자소자를 대량으로 생산할 수 있는 방법으로 주목되고 있는 것이 롤투롤 인쇄 방식을 이용한 생산 시스템이다. 이러한 생산 방식이 상용화되기 위해서는 전도성 잉크, 전도성 폴리머 등의 전자 잉크와 인쇄 장비의 두 가지 기술이 확보되어야 한다.

2. 장비 개발의 필요성

PEMS 소자 제작용 프린팅 기술에는, 그라비아, 플렉소, 스크린, 패드, 잉크젯 등이 있다. 이러한 프린팅 패터닝 공정 별로 정밀도와 프린팅 두께 등을 살펴보면 표 1과 같다. 그라비아 프린팅 공정은 패터닝 정밀도가 10~20 μ m, 두께는 수 μ m 정도이다. 플렉소 프린팅 공정은 패터닝 정밀도가 40 μ m, 두께는 1 μ m 수준이며, 오프셋 프린팅 공정은 그라비아 수준의 패터닝 정밀도 구현이 가능하며 프린팅 두께는 1 μ m 내외이다. 잉크젯 프린팅 공정은 액적의 기본 크기 때문에 50 μ m 이하의 프린팅이 쉽지는 않으며, 표면 에너지의 관계에 따라, 서브 마이크론에서 수십 마이크론까지 다양한 프린팅을 할 수 있다. 여러 가지 프린팅 공정들이 대부분 접촉식 프린팅 공정인 것에 반해 잉크젯 프린팅 공정은 비접촉식 프린팅 공정으로서, 선택적 위치에 프린팅이 가능하고 재료 소모가 적다는 공정상의 장점이 있다. 이와 같이 프린팅 공정은 일반적으로 사용되는 실리콘 반도체 공정에 비해 정밀도가 낮고 패터닝의 두께가 두껍다. 또한 사용되는 잉크의 점도가 프린팅 공정별로 다양한 특징이 있다.

이러한 기존의 프린팅 장비들은 사람들의 눈에 보이는 신문, 잡지 등의 인쇄물들을 프린팅 해왔기 때문에 정밀도가 사람의 눈 해상도 이상으로 발전할 필요성이 없었으며, 약간의 프린팅 오차가 있어도 무관하였기 때문에, 정밀도 50 μ m 수준에서 그 기술의 발전이 멈추어져 왔었다. 하지만, 이러한 프린팅 공정을 PEMS 소자를 대량으로 제작하는 데에 이용하기 위해서는 정밀도가 수~십수 μ m 수준으로 더 좋아져야 하며, 프린팅의 오차는 소자의 성능에 큰 영향을 끼친다. 이처럼 시작적인 기능에서 전자적인 기능으로 바뀌었기 때문에 잉크 또한 염료성 잉크에서 전도성, 반도체성, 절연체성 잉크로 바뀌어서 프린팅 되어야 하며, 정밀도는 수 μ m 정도로 내려가야 하며, 두께의 컨트롤이 중요시된다. 프린팅 된 형상은 균일해야 하며, 잉크의 화학적 순도가 중요해진다. 여러 층이 인쇄될 것이므로 층간의 접착력이 큰 문제가 되며, 청정 환경에서 프린팅 되어야 한다[1].

장차 이와 같은 전자소자의 인쇄가 유비쿼터스 기반을 형성하는 데 막대하게 소요되는 RFID 태그와 무선센서 등을 생산하는 기술로 크게 사용될 전망에 따라 선진국의 관련 기업과 연구소, 정부들은 21세기에 들어오면서 연구개발에 이미 상당한 투자를

지원하고 있다.

인쇄를 통한 RFID 산업은 놀라운 과급 효과를 지닌다. 그 자체 기술로서의 소재, 공정 및 장비, 그리고 소자 설계, 테스트 평가장비 등에 대한 시장으로 과급될 뿐만 아니라, 기초기술들이 초저가 디스플레이 시장과 인쇄 전자회로 시장으로 과급되어 신규 고용창출을 이룩할 수 있으며 관련된 공정기술, 제어기술, 측정 및 평가기술을 확보할 수 있다.

그러므로 새로운 인쇄 장비 개발에 선행적으로 대처하여 세계 시장에서 관련 산업의 경쟁력을 확보하고 고유의 기술을 축적할 필요가 있다[2].

Table 1 Characteristics of Printing Processes

Process	Registration (μ m)	Thickness (μ m)	Viscosity (PaS)
Semiconductor	>0.1	0.05~2	-
Screen	>100	3~15	0.5~50
Gravure	>15	0.8~8	0.05~0.2
Flexography	>40	0.8~2.5	0.05~0.5
Offset	>15	0.5~2	30~100
Ink jet	>50	0.3~20	0.001~0.04

3. 롤투롤 프린팅 장비의 개발

그림 1은 기 제작된 PEMS 소자 생산용 롤투롤 프린팅 공정 장비를, 그림 2는 개발이 진행되고 있는 외팔보 구조의 롤투롤 프린팅 공정 장비를 보여준다. 롤투롤 프린팅 장비는 크게 세 부분으로 구성된다. 장비 본체, 모니터링부, 제어부가 서로 연계되어 작동하는 구조로 시스템을 구성한다.

인쇄부는 실리콘 반도체 공정과 달리 인쇄의 부가적인 방법을 이용하기 때문에 전자제품을 하나의 장치에서 인라인으로 연속 공정이 가능하도록 구성할 수 있다. 피 인쇄체의 피딩 유닛, 인쇄 유닛, 코팅 유닛과 권취부로 기본적인 플랫폼이 구성되어 추가적으로 다른 기능이 필요에 따라 쉽게 부가 장착될 수 있도록 설계가 가능하다. 따라서 공정 확장의 유연성이 있다. 각 유닛의 각 주요 구동부분은 정밀한 서보모터에 의해 정확히 구동하고 조정할 수 있게 구성하였다.

먼저 피 인쇄체의 공급방식을 결정하고 이에 따라 언와인더 장치의 구조를 설계하였다. 언와인더는 프레임, 급지 축 롤러, 서보 모터 등으로 구성하였고, 기초 프레임의 우단에 설치할 수 있도록 구조를 설계하였다. 인쇄를 하기 위해서는 웹 원단을 급지 축에 거치하고 수동적인 피 인쇄체의 언와인딩은 급지 축 롤러 회전을 위하여 장력이 필요하고, 이 장력은 일반적으로 인피더와 댄서에 의해 조절된다. 장력의 검출은 로드 셀(load cell) 방식으로 채택하여 정확한 장력 값을 검출하도록 하였다. 언와인더에서 풀려나온 필름은 인쇄 유닛에 일정한 위치로 정확하게 진입되어야 한다. 이를 위해서는 필름의 이송 방향이 인쇄 실린더 축 방향 정위치에 수직으로 고정되도록 EPC를 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.



Fig. 1 Printing Process Equipment for the Production of PEMS Devices.

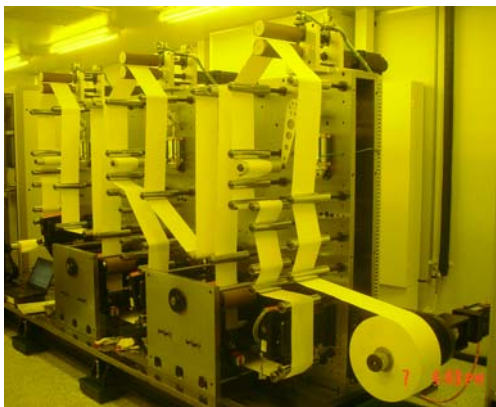


Fig. 2 Roll-to-Roll Printing Process Equipment in a Cantilever Structure.

3.1. 인쇄유닛

인쇄IC 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 피 인쇄체에 안전하게 전이하는 전이방법을 확보할 수 있어야 하고 다음은 뒤이은 인쇄 유닛에서 인쇄잉크를 정확한 위치에 맞추어 인쇄하는 정렬 제어 기술이 필요하다. 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.

경우에 따라서는 그라비아 방식이나 또다른 방식으로 인쇄 시험을 해야 하는 경우가 있으므로 필요에 따라 그라비아 오프셋 방식에서 그라비아 방식 또는 다른 방식으로 교체할 수 있는 구조로 설계하였으며, 하나의 유닛으로 두 가지 인쇄 방식을 테스트 할 수도 있도록 하였다. 컬러수도 필요에 따라 추가 및 제거 할 수 있다. 인쇄판 실린더를 회전시키는 모터는 정밀한 제어를 위해 정밀 서보 모터가 개별적으로 구동하도록 하였다. 전체 장비의 구조가 외팔보 형식으로 되어있으나 프린팅 유닛부는 양팔보 지지로 고압의 인압에도 안정성을 유지할 수 있게 하였으며 실린더의 배열은 수평으로 배치하여 인쇄 롤러로 인압 가압시 하중 개입 없이 정확한 측정이 가능하도록 하였다.

3.2. 모니터링부

일반적으로 반도체 공장에서 패턴구성의 결과로 회로가 끊어 지지 않고 제대로 연결되었는지, 끊기지 않고 연결되었다면 선의 굵기와 두께의 오차에 따라 전도 저항의 차이가 어느 정도인지를 검사하는 것은 오프라인으로 검사실에서 행해진다. 그러나 오프라인 검사의 비경제적인 방식으로 값싼 인쇄 전자제품을 검사할 수 없다. 따라서 인쇄프로세스의 컬러 측정과 제어 방식을 도입하여 비 접촉방식으로 인라인 측정을 실현하는 것이 중요하다.

전자기능성 잉크 재료에 필요한 만큼 색상을 주어 색상의 농도로 전도성 등 기능성 의 함량을 나타내게 함으로써 제어가 되도록 하는 것이다[3]. 이 연구에서는 일단 비전 컨트롤의 비접촉식을 이용하기로 하였다. 무엇보다 먼저 레지스터 컬러 마크의 대표적 표시방법을 활용하여 각 유닛에서의 인쇄결과가 정확한 위치에 중첩 인쇄 되는지를 디지털 카메라에 의하여 이미지를 확보하여 검사할 수 있게 하고 오차를 시정하게 하는 피드백 제어 시스템을 구축한다. 이를 위하여 미시적으로 인쇄마크를 정밀하게 측정하고 빠른 이미지 프로세싱의 기능으로 실시간 조정능력을 높여야 한다.

3.3. 제어부

모니터링부에서 보낸 이미지 데이터를 빠른 시간 내에 처리하여 조작함으로써 인쇄부의 서보 모터에 구동을 수정시키고 제어 하는 부분이다. 구체적으로는 모니터를 갖춘 컴퓨터 콘솔 부분으로서 장비 본체와 모니터링부와 전체 시스템을 회로와 연결하여 제어하고 외부와 워크플로를 통신제어 한다. 비전 컨트롤의 데이터양은 실시간으로 고속처리 할 수 있도록 한다. 고속의 인쇄일수록 측정량은 더 많아질 것이고 빠른 구동 제어가 필요할 것이다. 광파이버의 고속 통신체계에서는 고속의 프로세싱으로 지원할 수 있다. 설정한 파라미터 허용오차 내에서 피드백으로 표준작업을 빨리 확보하는 기능도 중요한 기능이지만 시스템을 환경변화와 이상 또는 노후로부터 보전할 수 있는 시스템 진단과 위험대처 기능 등의 자동관리 시스템이 되어야 한다.

본 롤투롤 웹 이송 제어 시스템은, 두 개의 프린팅 유닛에 의한 중첩인쇄로 유연한 전자소자 구현을 목표로 하고 있다. 웹의 정밀한 속도제어, 장력제어 및 두개의 프린팅 유닛에 의한 정밀도의 중첩인쇄를 실현하기 위해서는, 각 인쇄 롤 구동용 서보모터를 동기화 시키는 것이 중요하며, 고해상도의 비전 시스템에 의한 중첩오차 보상을 위한 고 응답 피드백 제어시스템을 구성하는 것이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 요구 성능에 맞추어서 고 정밀 서보 모터를 각 인쇄 롤에 장착하도록 하였으며, 제어기와의 통신에 의하여 노이즈영향을 최소화한 제어신호와 응답으로 피드백 되도록 설계하였다.

4. 결론

향후 전자소자 인쇄 산업을 대비할 수 있는 기초 기술 확보를 위해 고도화된 인쇄기 설계기술을 확보하고 실험을 통하여 마이크로 인쇄기술과 중첩인쇄기술을 개발할 수 있는 롤투롤 공정에 의한 프린팅 공정 및 장비의 개발을 수행하였다. 장비 기술은 곧 공정 기술 확보와도 밀접한 관련이 있으므로 제품 생산 시에도 독자적인 공정 확보와 기술 확보로 생산 효율성을 높이고 단가를 낮추는 효과를 얻을 수 있을 것이다. 인쇄전자소자 제품의 막대한 생산에 따라 이를 생산하는 장비 또한 막대한 시장을 형성할 것으로 기대된다.

후기

본 연구는 산업기술연구회 전문화연구사업(COE)의 연구비 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

1. Dong-Soo Kim, Taikmin Lee, "Printed Electro-Mechanical System 기술동향" Journal of the KSME, Vol.46, No.12, pp. 38~41, 2006.
2. Byung-Oh Choi, Chunghwan Kim, "Roll-to-Roll 프린팅 공정 및 장비 기술" Journal of the KSME, Vol.46, No.12, pp. 67~73, 2006.
3. Brien W. Broller, "Print characterization for graphics vs. electronics" IMAPS 2nd Advanced Technology Workshop, March 16~19, Boston USA, 2003.
4. P.M. Harry, D.J. Harrison, et al., "Integrated capacitors by offset lithography" J. Electronic Manufacturing, Vol.10, No.1, pp. 69~77, 2000.