



# 롤투롤 프린팅 공정 장비의 개발

김명섭, 김동수, 김충환, 최병오 | 한국기계연구원

## 1. 서론

고도의 정보화, 산업화를 달리고 있는 오늘날에도 세계는 여전히 앞 다투어 차세대 성장기술 개발을 위한 질주를 끊임없이 하고 있다. 그 선두에 RFID 태그, 스마트 센서, 플라스틱 태양전지 등 유비쿼터스 환경 구축에 충당될 새로운 제품의 생산 프로세스를 개발하는 기술이 있으며 선진 각국은 이에 대한 연구와 투자를 아끼지 않고 있다<sup>[1-10]</sup>. 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(그림 1 참조).

이러한 생산 방식이 상용화되기 위해서는 전도성 잉크, 전도성 폴리머 등의 전자 잉크와 인쇄 장비의 두 가지 기술이 확보되어야 한다. 유기 폴리머와 무기 나노 입자 물질은 상온에서 비교적 쉬운 방법으로 액체 용액의 잉크로 만들어 인쇄에 폭 넓게 적용할 수 있도록 인쇄에 필요한 점도와 레올로지 특성을 조정할 수 있다. 이처럼 쉽게 인쇄와 코팅에 활용할 수 있는 전자기능성 잉크가 확보된다면 IC 전자회로를 인쇄방식으로 값 싸게 생산할 수 있을 것으로 보는 것이다.

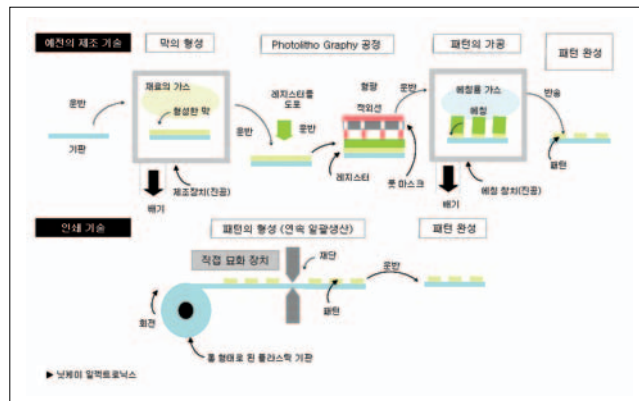


그림 1. 기존 실리콘 공정과 롤투롤 프린팅 공정의 비교<sup>[1]</sup>

## 2. PEMS 생산용 프린팅 공정 · 장비 기술

PEMS(Printed electro-mechanical system)란, 프린팅 공정기법으로 만들어진 기전 소자를 의미한다. 이러한 PEMS 제품으로는 2차원 3차원 형상의 프린팅 패턴과 구조체, 이를 기능성 잉크로 프린팅한, 도선, 저항, 캐패시터, 인덕터 등의 수동소자, TFT 등의 능동 소자가 있으며, RFID 태그, E-paper, Solar cell, Printed sensor 등은 이들의 집합체로 이루어진 제품이다. PEMS 소자 및 제품을 생산하는 공정장비를 PEMS 생산용 프린팅 시스템이라 하며, 롤투롤 웹 이송장치 또는 묶음 형 이송장치에 의해 유연성 기판이 공급되고, 스크린, 그라비아, 플렉소, 패드, 잉크젯 등의 각종 프린팅 장비를 이용하여, 전도성 물질, 반도체성 물질, 절연성 물질을 각각의 특성에 맞도록 중첩인쇄 하여 PEMS 소자 및 제품을 대량 생산하는 장비를 의미한다.

PEMS 소자 제작용 프린팅 기술에는, 그라비아, 플렉소, 스크린, 패드, 잉크젯 등이 있다. 이러한 프린팅 패턴링 공정 별로 정밀도와 프린팅 두께 등을 살펴보면 표 1과 같다. 그라비아 프린팅 공정은 패턴링 정밀도가 10~20 $\mu$ m, 두께는 수 $\mu$ m 정도이다. 플렉소 프린팅 공정은 패턴링 정밀도가 40 $\mu$ m, 두께는 1 $\mu$ m 수준이며, 오프셋 프린팅 공정은 그라비아 수준의 패턴링 정밀도 구현이 가능하며 프린팅 두께는 1 $\mu$ m 내외이다. 잉크젯 프린팅 공정은 액적의 기본 크기 때문에 50 $\mu$ 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 패턴의 두께가 두껍다. 또한 사용되는 잉크의 점도가 프린팅 공정별로 다양한 특징이 있다.

표 1. 프린팅 공정별 특성

	반도체 공정	스크린 인쇄	그라비아 인쇄	플렉소 인쇄	오프셋 인쇄	잉크젯 인쇄	레이저 인쇄
해상도( $\mu$ m)	>0.1	>100	>15	>40	>15	>50	>30
잉크평균 두께( $\mu$ m)	0.05 ~ 2	3 ~ 15	0.8 ~ 8	0.8 ~ 2.5	0.5 ~ 2	0.3 ~ 20	1 ~ 10
잉크정도 (PaS)	-	0.5 ~ 50	0.05 ~ 0.2	0.05 ~ 0.5	30 ~ 100	0.001 ~ 0.04	10 ~ 20

표 2. 기존의 프린팅 공정과 PEMS용 프린팅 공정의 차이점

요소 기술	전통인쇄기술	전자인쇄 기술
잉크층의 역할	컬러 - 시각	전도성, 반도체성, 유전성 등의 전자성능
잉크 주요성분	안료	전도성, 반도체성, 유전성 등의 기능소재
해상도	20 $\mu$ m 이상	1.5.. < 20 $\mu$ m
잉크층 두께	~ 1 $\mu$ m +	0.1 ~ 0.3 $\mu$ m
맞춤(레지스터)	$\pm$ 50 $\mu$ m	1 ~ 5 $\mu$ m
균일성	보통	매우 중요
잉크 조성	가격 대비	기능 대비
화학적 순도	보통	매우 중요
잉크층 부착성	작은 문제	중요 문제
클린룸	-	표준(1,000 클래스 이하)

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 $\mu$ m 수준에서 그 기술의 발전이 멈추어져 왔었다. 하지만, 이러한 프린팅 공정을 PEMS 소자를 대량으로 제작하는 데에 이용하기 위해서는 정밀도가 수~십수 $\mu$ m 수준으로 더 좋아져야 하며, 프린팅의 오차는 소자의 성능에 큰 영향을 끼친다. 표 2는 일반 잡지 등의 인쇄물의 프린팅 공정과 PEMS용 프린팅 공정 간의 차이점을 나타낸 것이다. 이처럼 시각적인 기능에서 전자적인 기능으로 바뀌었기 때문에 잉크 또한 염료성 잉크에서 전도성, 반도체성, 절연체성 잉크로 바뀌어서 프린팅 되어야 하며, 정밀도는 수 $\mu$ 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<sup>[2]</sup>.

### 3. 연구동향 및 장비 개발의 필요성

우리나라는 잉크 소재 개발도 중요하지만 이를 활용하여 생산할 수 있는 인쇄 공정기술과 장비(그림 2 참조)를 확보하는 문제가 다른 선진국과 달리 심각하게 고려되어야 한다. 전자소자의 인쇄는 기존 인쇄기와 달리 마이크로 선 패턴을 구현하는 새로운 인쇄기와 공정기술이 필요하기 때문이다. 이미 고급 인쇄 장비의 기반기술을 확보하고 있는 선진국에서는 잉크 개발과 거의 동시에 생산 장비도 개발할 수 있지만 우리나라는 여건이 그렇지 못하다. 국내 신문사에서 도입하는 고급 운전인쇄기들의 예까지 가지 않아도 4~6도 오프셋(offset) 인쇄기를 생산하는 기술도 우리는 확보하지 못하고 있어 독일, 일본, 미국 등 선진국과의 기술 격차가 매우 큰 실정이다. 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 연구·개발에 이미 상당한 투자를 지원하고 있다. 핀란드의 Oulu 대학팀의 Seppo Leppavuori 교수는 최근 미세한 전자회로 인쇄를 위한 사전실험 결과<sup>[3]</sup>를 발표하였는데 현재 나노 사이즈의 은가루로 만든 PTF잉크를 사용하여 물 인쇄의 가능성을 검토하였다. 같은 핀란드의 VTT 연구팀은 PANI-DBSA의 전도성폴리머로 잉크를 만들어 1.7m/sec의 고속 그라비아(Gravure) 인쇄를 하여 잉크, 인쇄 속도, 인쇄 압 그리고 전도도에 관한 기초실험을 수행하였다<sup>[4]</sup>. 영국 Brunel 대학의 D.J. Harrison 교수는 코일, 콘덴서, 자판의 멤브레인 스위치 등을 유연한 종이나 플라스틱 필름에 평판 오프셋 인쇄를 처음으로 시도한 국책연구를 수행하였다<sup>[5,6]</sup>. 미국의 GE와 태양전지로 유명한 ECD Ovonic의 기계개발 프로젝트는 미 상무성 국가표준기술 연구소(NIST)의 연구자금 지원으로 4년간에 걸쳐 그라비아 인쇄 프로세스와 스크린 인쇄 프로세스를 조합한 롤투롤 방식의 전자인쇄물 대량 인쇄기의 개발을 세계최초로 추진하고 있다<sup>[7]</sup>.

인쇄를 통한 RFID 산업은 놀라운 파급 효과를 지닌다. 그 자체 기술로서의 소재, 공정 및 장비, 그리고 소자 설계, 테스트 평가장비 등에 대한 시장으로 파급될 뿐만 아니라, 기초기술들이 초저가 디스플레이 시장과 인쇄 전자회로 시장으로 파급되어 신규 고용창출을 이룩할 수 있으며 관련된 공정기술, 제어기술, 측정 및 평가기술을 확보할 수 있다. 정밀 프린팅 장비는 유럽과 일본 등에서 기술을 독점하고 있어 우리나라는 원천 기술과 핵심 기술이 부족한 현실에서 RFID 태그 생산용 인쇄 공정 장비는 이러한 프린팅 장비의 원천 기술과 핵심 기술을 확보하여 국내의 독자 기술로 상품화된 제품을 개발하는 것은 큰 의의가 있다. 현재는 선진 외국에서도 장비의 상품화가 시작

단계이므로 본 장비를 상품화하고 상품화 과정에서 독자적인 특허와 노하우를 통해 기술 우위를 점할 필요가 있다. 더이상 기존 반도체나 디스플레이 부분에서 선진국에게 장비 시장을 내어준 것처럼 외국 제품의 선점이 이루어지지 않도록 해야 할 것이다. 인쇄전자소자의 생산 거점으로서 세계물류 시장을 지배하기 위해서는 소자 및 S/W, 시스템 부분에서의 기술 선점과 시장 확보 뿐만 아니라, 소자를 직접 생산하는 장비의 기술 및 시장 선점과 국산화가 매우 중요하다. 장비 기술은 곧 공정 기술 확보와도 밀접한 관련이 되므로 제품 생산 시에도 독자적인 공정 확보와 기술 확보로 생산 효율성을 높이고 단가를 낮추는 효과를 얻을 수 있게 된다. 우리가 이러한 롤투롤 방식에 의한 전자소자 생산 기술을 확보하지 못하면 고급 인쇄기에 이어 또다시 세습적으로 선진 외국의 기술독점에 희생될 우려가 크다. 그러므로 새로운 인쇄 장비 개발에 선행적으로 대처하여 세계시장에서 관련 산업의 경쟁력을 확보하고 고유의 기술을 축적할 필요가 있다<sup>[10]</sup>. 이러한 필요에 따라 한국기계연구원 롤투롤 인쇄전자 공정장비팀에서는 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 수행하고 있다.

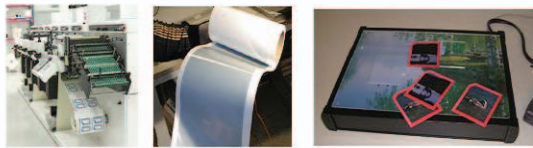


그림 2. ACREO의 롤투롤 프린팅 장비와 응용 인쇄전자 제품

## 4. 롤 프린팅 공정

### 4.1 평판 옴셋 공정

평판 옴셋 인쇄는 물과 기름의 반발성을 이용한다. 평판 형태의 인쇄판 위에 비화선부는 친수성 상태, 화선부는 친유성 상태를 유지하여 인쇄가 가능하도록 한다. 그림 3과 같이 평판 옴셋의 인쇄방법은 습수라고 하는 친수성 물질을 롤러를 통해 제판 표면에 고르게 바르고 그 위에 원하는 색의 잉크를 바르면 잉크는 친유성 물질이므로 친수성인 비화선부에는 묻지 않고 친유성인 화선부에만 묻게 된다. 인쇄방법에서 옴셋이라 표현되는 방법은 기본적으로 제판과 피 인쇄체 사이에 전달자 역할을 하는 블랭킷 실린더가 위치하고 있다. 제판과 피 인쇄체가 직접 접촉하는 방식보다 정밀한 인쇄가 가능하며 고급인쇄에 널리 사용되는 방법이다. 또한 제판형태가 실린더 형태인 관계로 고속회전하면서 다량의 인쇄물을 빠른 시간에 인쇄할 수 있어 그 생산성이 매우 높은 방법이다. 평판 옴셋의 제판방법은 현재 PS판을 주로 이용하며 PS판은 디아조 감광재를 사용하는 것으로서 중크롬산 감광재를 사용하는 평요(Ⅲ)난판이나 난백판에 비해 보존성이 대단히 크며, 온도 및 습도의 영향을 받지 않으므로 암반응 및 계속반응 같은 제판처리상 많은 불안정 요소가 없어 매우 안정된 판이다. 이러한 PS판에 원하는 인쇄패턴을 노광하고 현상하면 빛을 통과하지 않은 부분(비화선부)은 감광액이 팽윤되어 떨어져 버리고 빛을 통과한 부분(화선부)만 감광막이 경화되어 판면에 남는다. 이렇게 되면 표면 현상 잉크를 받아들이는 사물의 바탕이 되어 판의 화선부가 된다<sup>[10]</sup>.

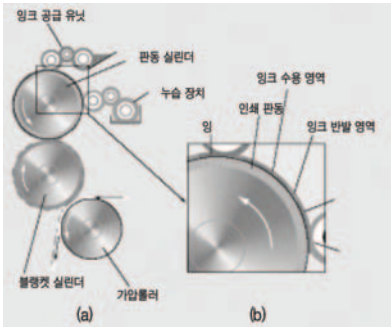


그림 3. 오프셋 프린팅 공정

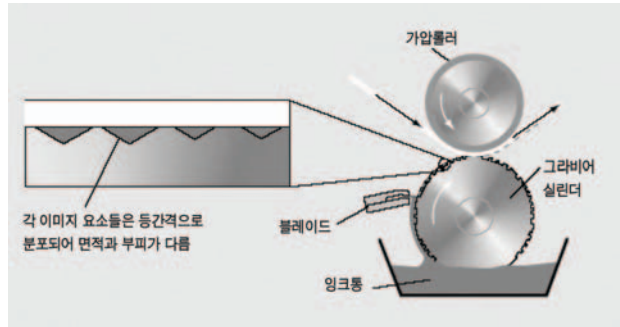


그림 4. 그라비아 프린팅 공정

## 4.2 그라비아 오프셋 공정

그라비아 인쇄도 요판이기 때문에 오목한 홈에 잉크를 채우고 그림 4에서와 같이 블레이드(blade)를 사용하여 남은 잉크를 긁어내고 피 인쇄체에 인쇄압을 가하여 인쇄하는 방식이다. 그라비아 오프셋 인쇄 방법은 그라비아 인쇄에서 제판과 피 인쇄체 사이에 블랑켓 실린더가 있어 보다 정밀하고 선명한 인쇄를 가능하게 하는 방법이다. 전형적인 이미지 인쇄에서는 그라비아의 잉크를 채우는 홈이 대단히 작은 정사각형의 피막같은 것으로 되어 있으며 제판 전체의 표면에 무수히 만들어져 망목과 같이 질서 정연하게 벌려져있다. 이와 같이 사방에 똑으로 둘러싸인 작은 홈을 셀(cell)이라고 부른다. 이러한 셀의 크기와 깊이에 따라 잉크의 농도가 달라진다. 그러나 기존의 그라비아 인쇄방법은 점 인쇄 방법으로서 이러한 셀의 크기와 깊이, 모양을 제판위에 만들었지만 그라비아 오프셋 인쇄 방법에 사용된 미세 선 패턴은 셀 모양이 아닌 직접 선 모양 패턴을 구리층 위에 부식시켜 사용한다. 현재 사용되고 있는 그라비아의 제판은 크게 두 가지 방법으로 나눌 수 있는데 다이아몬드 칩을 사용하여 구리표면에 기계적인 방법으로 직접 패턴을 만드는 방법과 레이저를 이용하여 구리표면 상에 코팅된 흑색 에폭시수지 페이스트 경화막을 현상하여 노출된 패턴형상을 부식시키는 방법이 있다. 본 연구에 사용되는 그라비아 제판 방식은 두번째 방법을 이용하여 제판을 제작하였으며 평판제판과 같이 국내에서 상용화된 제판 제작기술이 없어 자체적으로 초정밀 작업을 통해 만들었다. 미세선폭 인쇄 실험 오프셋 인쇄방식을 결정하는 중간 전달자 즉 제판과 피 인쇄체 사이의 잉크 전이 역할을 담당하는 블랑켓의 성질에 따라 인쇄물의 품질이 결정된다<sup>[10)]</sup>.

## 5. 롤투롤 프린팅 공정 장비 개발

그림 5는 기 제작된 PEMS 소자 생산용 롤투롤 프린팅 공정 장비를, 그림 6은 개발이 진행되고 있는 외팔보 구조의 롤투롤 프린팅 공정 장비의 레이아웃을 보여준다. 먼저 피 인쇄체인 두루마리를 일정한 장력의 통제 하에 인쇄부로 공급할 수 있는 언와인더와 피 인쇄체의 장력을 제어하는 장력 제어 장치가 설치된다. 피 인쇄체의 사행을 제어하는 롤 가이드를 제 1인쇄유닛 진입 전에 설치하였다. 인쇄 유닛의 설계는 그라비아 오프셋 방식의 인쇄를 수행하기 위하여 먼저 인쇄회로를 제판한 판동 표면이 잉크 저장통에 잠겨 있다가 나오면서 닥터 블레이드로 표면의 잉크는 제거되고 회로패턴의 인쇄잉크는 탄성체인 블랑켓 실린더 상에 전달되면 이를 피 인쇄체에 인쇄 실린더로 가압하여 인쇄를 수행하는 시스템으로 구성 하였다. 또한 2개의 인쇄 유닛이 동일한 방식에 의하여 제 1, 제 2인쇄

가 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. 피 인쇄체에 인쇄된 회로 선을 보호하기 위한 도포나 박막유전체 도포를 위한 코팅기는 그라비아 코팅방식으로 설계하였다.

롤투롤 프린팅 장비는 크게 세 부분으로 구성된다. 장비 본체, 모니터링부, 제어부가 서로 연계되어 작동하는 구조로 시스템이 구성된다. 개발 시스템은 웹(web) 제어를 기본으로 한 자동화 기능의 운전인쇄기를 모델로 하고 장비 본체는 라벨인쇄기가 가진 유연성과 다기능을 도입하여 메커니즘을 구성하였다. 그리고 인쇄 컬러 제어와 정렬(registration) 제어 기술을 발전시켜 실시간으로 인쇄 과정에서 품질측정과 자동제어가 이루어지도록 하였다. 인라인으로 광학측정 검사하여 목표로 하는 미세 패턴 사양을 제어하고 이를 위한 서보시스템을 구축하였다.



그림 5. PEMS 소자 생산용 롤투롤 프린팅 공정 장비

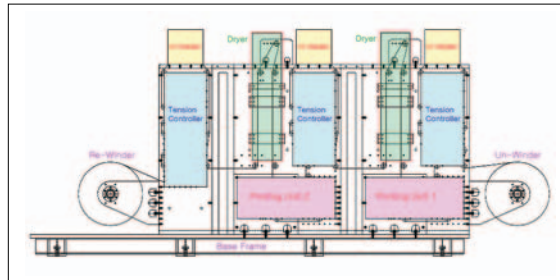


그림 6. 외팔보 구조의 롤투롤 프린팅 공정 장비 개념도

### 5.1 장비의 세부 설계

인쇄부는 실리콘 반도체 공정과 달리 인쇄의 부가적인 방법을 이용하기 때문에 전자제품을 하나의 장치에서 인라인으로 연속 공정이 가능하도록 구성할 수 있다. 피 인쇄체의 피딩 유닛, 인쇄유닛, 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 조절할 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 인피더(infeeder)와 댄서(dancer)에 의해 조절된다. 종이와 플라스틱 호일과 같

은 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 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 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.

## 5.2 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 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 읍셋 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 실리콘 고무층이 도포된 블랭킷 실린더에 인쇄잉크가 전이되도록 적절한 전이압력을 조정한다. 블랭킷 표면에 전이된 잉크는 다시 한 번 더 순간 열풍건조로 용제를 증발시켜 마지막으로 피 인쇄체에 압통에 의하여 잉크층이 안전하게 전이되도록 한다. 이때도 인쇄압은 적정하게 인쇄압 조정장치로 조절한다.

경우에 따라서는 그라비아 방식이나 또다른 방식으로 인쇄 시험을 해야 하는 경우가 있으므로 필요에 따라 그라비아 읍셋 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.

## 5.3 모니터링부

일반적으로 반도체 공장에서 패턴구성의 결과로 회로가 끊어지지 않고 제대로 연결되었는지, 끊기지 않고 연결되었다면 선의 굵기와 두께의 오차에 따라 전도 저항의 차이가 어느 정도인지를 검사하는 것은 오프라인으로 검사실에서 행해지며 전도도 측정기를 이용한 단자 접촉으로 검사하여 불량품을 골라낸다. 실리콘 반도체에 비하여 낮은 기능의 인 IC회로라고 하더라도 측정요소와 요구품질의 균일성을 확보하기 위해 동일한 검사수준이 요된다. 그

러나 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 기능성의 함량을 나타내게 함으로써 제어가 되도록 하는 것이다. 이 방법은 2003년 3월 IMAPS 컨퍼런스<sup>[8]</sup>에서도 제안된 바 있다. 그러나 색상 차이로 전도성을 측정하는 방법은 상당한 잉크 데이터의 개발이 필요하다. 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.

### 5.4 제어부

모니터링부에서 보낸 이미지 데이터를 빠른 시간 내에 처리하여 조작함으로써 인쇄부의 서보 모터에 구동을 수 정시키고 제어하는 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. 광 파이버의 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 위험대처기능 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 서버 모터를 각 인쇄 롤에 장착하도록 하였으며, 제어기와의 통신에 의하여 노이즈영향을 최소화한 제어신호를 고 응답으로 피드백 되도록 설계하였다. 그림 7은 롤투롤 웹 이송 제어 시스템의 구성을 보여주고 있다. 현재 제어시스템을 위한 알고리즘 설계는 거의 확립되었으며, 향후 실 시스템을 구축함으로써 본 제어기의 타당성을 검토하고자 한다.

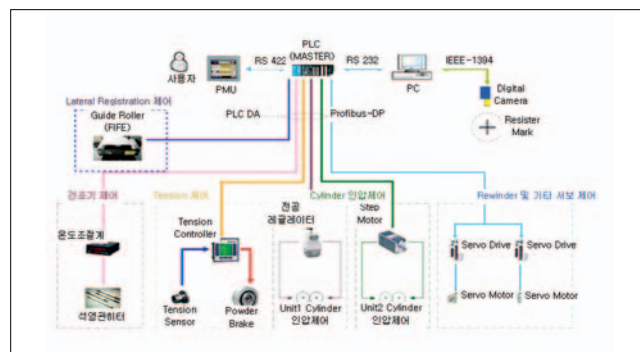


그림 7. 롤투롤 웹 이송 제어 시스템 구성도



## 6. 결 론

인쇄전자소자, 재료 및 이를 제작하기 위한 공정 및 장비 기술에 대한 우리나라의 기술 개발 현황을 살펴보면, 대부분 상당히 낙후되어 있는 실정이다. 정밀프린팅장비는 독일, 미국, 및 일본에서 들여온 장비이며, 프린팅을 가 르치는 대학이 손꼽을 정도로 국내의 인적 인프라도 매우 약한 실정이며, 관련 특허 기술도 유럽, 미국, 일본 등에 선점을 당하고 있다. PEMS 관련 시장은 아직 열려 있지 않지만, 2015년 이후에는 규모를 판단하기 어려울 정도로 커질 것이라고 예측하고 있다. 한국기계연구원 룰투롤 인쇄 공정 장비 팀에서는 새로운 인쇄 장비 개발에 선행 적으로 대처하여 세계시장에서 관련 산업의 경쟁력을 확보하고 고유의 기술을 축적하기 위해 노력하고 있으며, 향 후 전자소자 인쇄 산업을 대비할 수 있는 기초 기술 확보를 위해 고도화된 인쇄기 설계기술을 확보하고 실험을 통 하여 마이크로 인쇄기술과 중첩인쇄기술을 개발할 수 있는 룰투롤 공정에 의한 프린팅 공정 및 장비의 개발을 수 행하고 있다. 일류 제품 개발에 따른 독자 모델 설계의 실현으로 고가의 수입 장비를 국산화 개발을 통해 대체할 수 있고, 국내의 순수 설계 기술에 의해 개발된 기술이므로 국내 생산 환경에 경제적으로 적절한 응용설계를 할 수 있을 것이다. 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 생산 에 따라 이를 생산하는 장비 또한 막대한 시장을 형성할 것으로 기대되며 반도체나 디스플레이에서 나타났던 장비 의 선진국 종속화를 탈피하는 의미에서 큰 산업적 의의가 있다.

## ❖ 참고 문헌

- [1] Ubiquitous RFID, 2005.
- [2] Dong-Soo Kim, Taikmin Lee, "Printed Electro-Mechanical System 기술동향" Journal of the KSME, Vol.46, No.12, pp. 38~41, 2006.
- [3] Marko Pudas, Seppo Leppävuori, et al., "Gravure offset printing of polymer inks for conductors" Progress in Organic Coatings, Vol. 49, pp. 324~335, 2004.
- [4] T. Maikela, R. Korhonen, et al., "Roll-to-roll method for producing polyaniline pattern on paper" Synthetic Metals, Vol. 135, pp. 41~42, 2003.
- [5] B. J. Ramsey, D. Harrison, et al., "A novel circuit fabrication technique using offset lithography" J. Electronic Manufacturing, Vol.7, No.1, pp. 63~67, 1997.
- [6] P.M. Harry, D.J. Harrison, et al., "Integrated capacitors by offset lithography" J. Electronic Manufacturing, Vol.10, No.1, pp. 69~77, 2000.
- [7] www.ovonic.com
- [8] Brien W. Broller, "Print characterization for graphics vs. electronics" IMAPS 2nd Advanced Technology Workshop, March 16~19, Boston USA, 2003.
- [9] Eike Becker, et al., "A New Structuring Technique for Polymer Integrated Circuits" IEEE Polytronic 2001, Conference proceedings, 2003.

[10] 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.



김 명 섭

- 한국기계연구원 나노기계연구본부 롤투롤인쇄 전자공정장비팀 연구원
- 관심분야 : 전자인쇄장비, 구조해석 및 설계
- E-mail : joseph@kimm.re.kr



김 동 수

- 한국기계연구원 나노기계연구본부 롤투롤인쇄 전자공정장비팀장 책임연구원
- 관심분야 : 전자인쇄장비, 삼차원조형시스템, 공기압액츄에이터, 잉크젯 기술
- E-mail : kds671@kimm.re.kr



김 충 환

- 한국기계연구원 나노기계연구본부 롤투롤인쇄 전자공정장비팀 선임연구원
- 관심분야 : 전자인쇄장비, 구조진동, Web handling
- E-mail : chkim@kimm.re.kr



최 병 오

- 한국기계연구원 나노기계연구본부 롤투롤인쇄 전자공정장비팀 책임연구원
- 관심분야 : 기능성 프린팅 공정 및 장비, 동역학 및 로봇제어
- E-mail : bochoi@kimm.re.kr