

# 인쇄전자 기술(Printable Electronics Technology)

조정대, 유종수, 이택민, 김충환, 신동윤, 김동수, 김광영, 최병오 | 한국기계연구원

## 1. 서론

신문이나 잡지, 포스터 또는 기타 인쇄물을 제작하는데 사용해 온 인쇄 기술을 전자부품 및 회로를 만들기 위한 제조공정에 적용하기 위한 '인쇄전자 기술(printable electronics)'의 상용화 단계에 접어들었다.

뛰어난 개별 특성을 가진 인쇄전자 기술은 지난 수년 동안 광범위한 부품 개발 분야에서 혁신적인 잠재 기술로서 많은 관심을 받아왔다. 이 기술을 활용하여 다양한 전자 부품을 생산하면 부품의 제조비용과 무게를 90% 이상 줄이고 기계적 유연성도 높일 수 있을 것으로 기대되기 때문이다. 하지만 이 기술은 집적회로(integrated circuit, IC)와 디스플레이 등의 반도체 기술에 기반한 제품에 비해, 상대적으로 단순한 회로의 구성에만 사용할 수 있고 소자(device)의 전기적 특성도 약하다는 문제점이 제기되어 왔었다. 또한 소자 수명이 일반적으로 수천 시간에 불과하고, 일부 제품 중 비교적 수명이 긴 소자라고 해도 겨우 2년을 넘지 못하는 단점이 있었다. 따라서 대부분의 학계 및 산업계에서는 인쇄전자시장이 실제로 형성되는 데에는 5, 10년 이상이 걸릴 것으로 예상하고 있다. 그러나, 현재 시점에서 볼 때, 비록 성능은 조금 떨어지긴 하지만, 이 기술이 인쇄 컨덕터(printed conductor)와 절연체(printed isolator) 같은 비교적 단순 기능의 제품에 국한되었지만 특정 응용분야로 이미 상용화 단계에 접어들고 있으며, 향후에는 OTFT(organic thin-film transistor)와 OLED(organic light-emitted diode)를 포함하는 보다 복잡한 집적회로 및 디스플레이 등의 응용분야로 확대될 것으로 전망된다.

또한, 인쇄전자 기술은 편리성, 휴대성, 저가격 등의 장점을 융합한 차세대 제조기술로 평가되고, 이에 적합한 재료 및 공정에 대한 연구개발이 급격히 이루어지고 있으며, 대량생산(mass-production)을 위한 Roll-to-Roll 인쇄 공정 등에 대한 생산기술, 소재/부품, 장비 및 상품화 시스템기술을 바탕으로 한 인프라 구축도 가시화되고 있다. 이러한 장점과 기술적 발전 속도를 기반으로 하여 인쇄전자 기술은 차세대 먹거리-RFID, 전자종이(e-paper), 및 태양전지(solar cell)-시장을 주도할 것으로 판단되며, 위에서 언급한 문제점들이 해결될 경우, 전자부품 및 디스플레이시장에 미치는 영향력은 현재 예상 수준의 수십배 이상이 될 것으로 판단된다.

본 원고에서는 인쇄전자 기술의 인쇄기술, 인쇄전자소자와 개발동향과 향후 발전방향을 간략히 기술하고자 한다.

## 2. 인쇄전자 공정 및 소자

전자 및 디스플레이 산업 관련 부품의 소형화, 고정세화 및 박판화 추세에 따라 정밀한 미세패턴 제작 공정의 성능향상이 더욱 요구되고 있으며, 부품 제조장비에 있어서도 정밀성, 고생산성과 원가절감노력은 필수적 요소가 되었다. 또한, 제작 공정이 간단하고 비용이 저렴하며 충격에 의해 깨지지 않고 구부리거나 접을 수 있는 종이 또는 플라스틱 기반의 전자소자가 미래의 산업에 중요한 요소가 될 것으로 예상되고 있다.

소프트한 물질과 평평하지 않은 표면이나 넓은 면적에 소자를 제작할 필요가 있을 경우, 낮은 공정 온도를 필요로 하는 경우, 구부림이 가능해야 하는 경우, 특히 저가 공정이 필요한 경우 등에 있어서도 기존의 제조기술로는 쉽게 제작할 수 없다는 한계로 인하여 인쇄전자 기술의 출현은 아주 중요한 연구 분야로 대두되고 있으며, 이러한 요구를 충족시킬 수 있는 새로운 방법에 대한 모색을 세계 우수 기업체, 연구소와 대학 등에서 기술개발을 급속히 진척되고 있다.

RFID, 전자종이 및 태양전지 등이 미래에 새로운 시장 주력제품으로 예측되는 인쇄전자 제품(printed electro-mechanical system, PEMS)들은 대량생산을 위한 대면적 인쇄를 기반으로 하고 인쇄 정밀도는 수~수십  $\mu\text{m}$ 급 정도이며, 한번 사용하면 버릴 수도 있는 일회성 제품이 특징 일 것이다. 아직까지 동작 시간이 수천 시간 정도로 비교적 짧은 편이지만, 이런 특성도 동작 주파수, 집적도, 디바이스 수명 및 기타 요인을 수정하면 점차 향상될 것으로 기대되며, 이를 통하여 향후에는 그림 1과 같이 다양한 응용 분야에 사용할 수 있을 것이다.

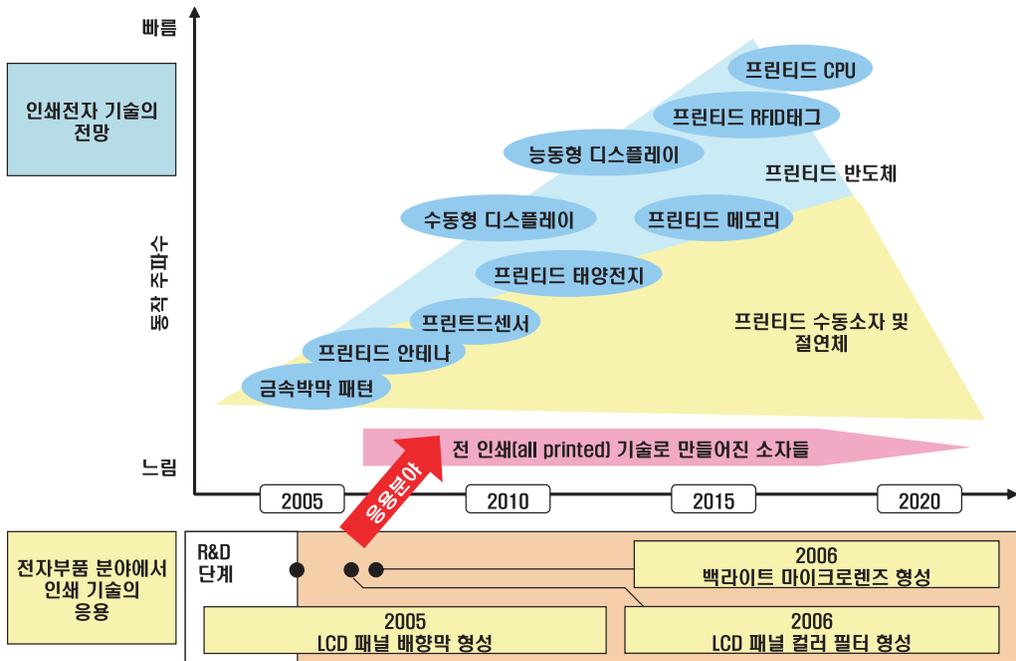


그림 1. 인쇄전자 기술의 새로운 응용분야 및 전망

대부분의 전자소자는 웨이퍼 기반의 반도체 공정으로 생산되고 있으며, 노광기술을 이용하는 반도체 공정은 고가의 장비와 수십단계의 공정기술을 필요로 하고 있다. 따라서 PEMS화를 위해서는 기존의 반도체 공정을 대신하여 전자소자를 저가로 대량생산할 수 있는 공정의 개발이 필수적이다.

인쇄전자 소자 제작용 인쇄 기술에는, 잉크-젯 인쇄(ink-jet printing), 스크린 인쇄(screen printing), 그라비어 인쇄(gravure printing), 플렉소 인쇄(flexo printing)와 오프셋 인쇄(offset printing) 등이 있으며, 인쇄 공정에 따라서 구현 가능한 해상도, 인쇄 두께와 적용 가능한 잉크 특성이 다르다.

표 1. 인쇄기술 특성비교

Printing technique	Layer Thickness ( $\mu\text{m}$ )	Feature size ( $\mu\text{m}$ )	Viscosity (mPas)	Throughput ( $\text{m}^2\text{s}^{-1}$ )	Registration ( $\mu\text{m}$ )	Features /issues	Examples of graphic art application
Letterpress	0.5–1.5	>50	50000–150000	1	<200		Book
Flexography	0.8–2.5	80	50–500	10	<200	Wide range of substrates, medium quality	Packaging: newspaper, labels
Gravure	0.8–8	75	50–200	60	>10	Large run length: high quality	Magazines: plastic film and metal foils: bank notes
Pad	1–2	20	>50	0.1	>10	Nonplanar objects	Toys: CDs: Pens
Offset	0.5–1.5	10–50	40000–100000	5–30	>10	High quality: need for ink additives	Newspapers: magazines: books
Screen	30–100	20–100	500–50000	2–3	>25	Wide range of inks: medium quality	Textiles: PCBs: CDs: large posters
Ink-jet	<0.5	20–50	1–30	0.01–0.5	5–20	Digital date: local registration	Desktop: variable data

일반적으로 사용되는 실리콘 반도체 공정에 비해, 정밀도가 낮고 프린팅 두께가 두껍고, 사용되는 잉크나 염료의 점도가 다양한 특징이 있다. 하지만, 인쇄 공정을 이용하여 인쇄전자 소자를 대량으로 제작하는 데에 사용되기 위해서는 정밀도가 보다 더 향상되어야 하며, 다층인쇄시 발생하는 정렬 오차도 수  $\mu\text{m}$  크기 이하로 제어되어야 한다. 또한, 시각적 응용분야(graphic art application)에서 전자적인 기능으로 바뀌었기 때문에 잉크 특성도 염료성 잉크에서 전도성, 반도체성 및 절연체성 잉크로 바뀌어서 적용 되어야하며, 인쇄 두께도 박막 및 높은 표면조도(roughness)를 가질 수 있도록 제어되어야 한다.

표 2. 인쇄전자 기술에서 재료의 기능적 차이 비교

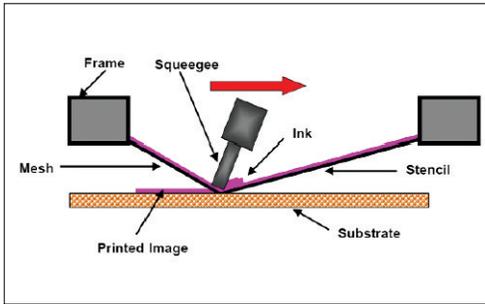
요소 기술	전통인쇄기술	인쇄전자 기술
잉크층의 역할	칼라-시각	전도성, 반도체성, 절연성 등의 전자성능
잉크 주요성분	안료	전도성, 반도체성, 절연성의 기능소재
해상도	100 $\mu\text{m}$ 이상	< 20 $\mu\text{m}$
잉크층 두께	~1 $\mu\text{m}$ 이상	1 ~ 0.3 $\mu\text{m}$
정밀도(실현)	$\pm 5\mu\text{m}$	1~5 $\mu\text{m}$
균일성	보통	매우 중요
잉크 조성	가격대비	기능대비
화학적 순도	보통	매우 중요
잉크층 부착성	작은 문제	중요 문제

인쇄전자 소자 제작 공정 중 스크린 인쇄 공정은 스크린 마스크 사이로 잉크를 밀어내어 프린팅하는 것으로서, 정밀도가 100 $\mu\text{m}$  정도이며, 최소 패터닝 두께도 5 $\mu\text{m}$ 이하가 어렵다고 알려져 있다. 또한 스쿠지로 밀어내어야 하므로, 연속공정에는 불리하다는 단점이 있으나 비교적 다양한 전도성 잉크를 사용할 수 있다는 장점이 있다. 그라비아 인쇄 공정은 음각의 패턴이 형성되어 있는 실린더에 잉크가 배어들어 롤(roll)에 말려있는 기층에 잉크가 전이되는 방법으로 패터닝 정밀도가 10~20 $\mu\text{m}$  정도이며, 두께는 수  $\mu\text{m}$  정도이다. 플렉소 인쇄 공정은 양각의 패턴에 잉크를 묻혀서 도장을 찍듯이 패터닝하는 방법으로, 패터닝 정밀도가 40 $\mu\text{m}$  정도이며, 두께는 1 $\mu\text{m}$ 에 가까운 정도이며, 오프셋 인쇄 공정은 잉크를 블랭킷 실린더(blanket cylinder)에 전이하고, 이를 다시 기층에 인쇄하는 방법으로, 인쇄 공정 중에 sub- $\mu\text{m}$  급의 박막을 인쇄하는 것이 가능하다. 잉크젯 인쇄 공정은 일반적으로 피에조 타입의 젯팅 방식 인쇄방법으로, 잉크를 방울방울 원하는 위치에 원하는 양만큼 떨어뜨려주는 기술이다. 현재 인쇄전자 소자 제작 기술 중에는 가장 각광을 받고 있으며, 기존의 노광 반도체 공정에 비해 공정수를 획기적으로 줄일 수 있고, 원하는 위치에만 잉크를 떨어뜨리므로, 재료를 절감할 수 있다는 장점이 있지만, 생산속도가 다른 프린팅 공정에 비해 느리다는 점과 Roll to Roll 시스템에의 적용성이 어렵다는 것이 단점이다.

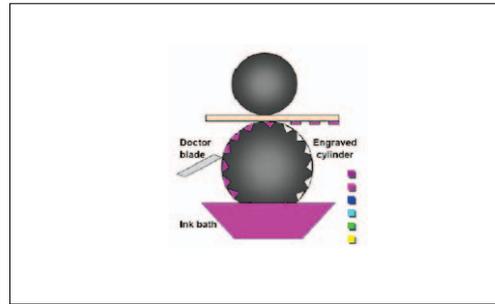
인쇄전자 소자를 제작하기 위한 인쇄공정 기술은 점, 선과 면 같은 기본적인 형상을 균일하게 인쇄하는 것이 가능하여야 하며, 이러한 기본 형상들의 조합으로, 안테나(printed antenna), 인쇄저항기(printed resistor), 인쇄 인덕터(printed inductor), 인쇄 축전기(Printed capacitor) 및 인쇄 절연기(printed isolator) 등의 수동(passive) 전자소자와 박막구조소자(thin-film transistor) 등의 능동(active) 전자소자 등의 제작이 가능할 것이다(그림 3).

일반적으로 반도체에서는 전극을 형성할 때, 금(Au), 동(Cu), 알루미늄(Al) 및 크롬(Cr) 등의 금속을 증착한 후 식각하여 회로를 구성한다. 이러한 경우 고온 증착공정, 현상 및 식각 공정 등에 의한 열, 화학 및 기계적 안정성 크게 요구된다. 반면에 인쇄 공정과 저온공정으로 금속박막전극을 제작하게 되면, 플라스틱 기판에도 쉽게 박막을 형성할 수 있으며, 진공 장비의 사용을 최소화함으로써 공정 단가를 낮출 수 있고, 대면적 공정이 가능하며, 유기반도체 물질의 낭비를 최소화 할 수 있다는 장점이 있다. 이러한 이유로 인쇄공정을 이용한 회로배선의 구성은 많은 각광을 받고 있고, 낮은 경화온도, 높은 전도도와 다양한 점도를 갖는 나노 실버잉크가 상업적으로 시판되고 있으며, 인쇄공정으로 20 m이하의 선폭의 전극을 형성하는 것이 가능 하였다.

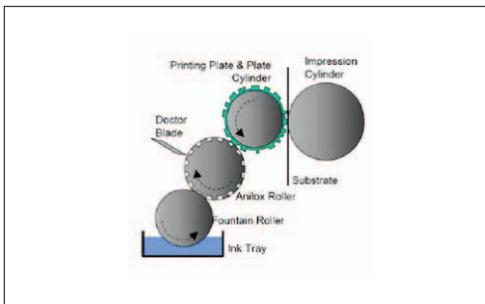
인쇄 기술을 전자부품 제조공정에 적용한 또 다른 예로는 LCD 패널 상에 배향막과 컬러 필터를 형성한 것이나



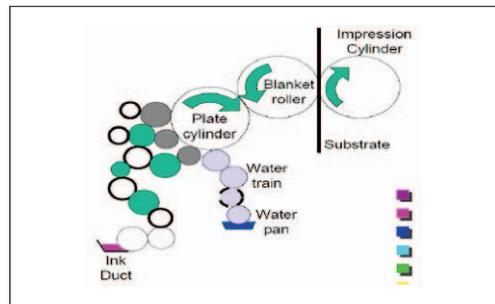
(a) 스크린 인쇄



(b) 그라비어 인쇄



(c) 플렉소 인쇄



(d) 오프셋 인쇄

그림 2. 다양한 인쇄전자 제작기술

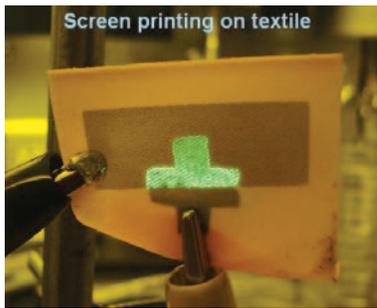
백라이트용 마이크로렌즈 등에 응용한 사례를 들 수 있다. LCD 배향막의 경우, 기존의 방법에 비해 박막의 균일성을 5%대에서 2%대로 향상시킬 수 있었으며, 막 형성 시 결함을 최소화하였고 제조공정의 간소화로 공간을 절약할 수 있다는 장점이 있다. 컬러필터는 현재, 잉크젯 인쇄, 롤 인쇄, 스크린 인쇄 등에 대한 연구가 활발히 진행 중인데, 생산 고정비의 간소화와 고가의 컬러필터 재료를 절약하는 면에서 상업적으로 그 가치가 매우 크다고 하겠다. 또한, 대형 패널의 경우 회전도포(spin coating)가 불가능하므로 궁극적으로는 인쇄법을 이용해야만 할 것으로 보인다. 이러한 인쇄공정에 의한 배향막이나 컬러필터 등을 제조함으로써 인쇄공정에 의한 공정 상의 문제점들을 파악할 수 있고 다른 소자의 인쇄공정 개발에 좋은 참고가 될 것으로 판단된다.

유기박막 트랜지스터는 능동형 유기 EL의 구동소자, 스마트카드(smart card)와 목록태그(inventory tag)용 플라스틱 칩에 활용도가 높을 것으로 예상된다. 유기박막 트랜지스터는 유기반도체의 특성상 전하이동도가 낮아 빠른 속도를 필요로 하는 소자에는 쓸 수 없지만 넓은 면적 위에 소자를 제작할 필요가 있을 때나 낮은 공정 온도를 필요로 하는 경우, 또한 구부림이 가능해야 하는 경우, 특히 저가 공정이 필요한 경우 유용하게 쓸 수 있다. 유기박막 트랜지스터를 제작하는 방법에 있어서도 잉크-젯 인쇄, 스크린 인쇄, 롤투롤 인쇄와 소프트래스그래피(softlithography) 등 새로운 방법들이 활용되고 있다. 인쇄 공정으로 유기박막 트랜지스터를 제작하게 될 경우, 미세 선폭 패턴제작은 물론, 전구 패턴에서 현상, 식각 및 PR제거(strip) 공정이 필요하지 않으므로 포토리소그래피 공정보다 20단계이상의 공정을 줄일 수 있어 공정의 최적화할 수 있다. 또한 상온 공정에서 유기박막 트랜지스터의 전도성 전구층, 절연체층과 유기반도체층을 제작할 수 있으므로, 온도에 의한 수축(shrink)과 팽창(extend)에

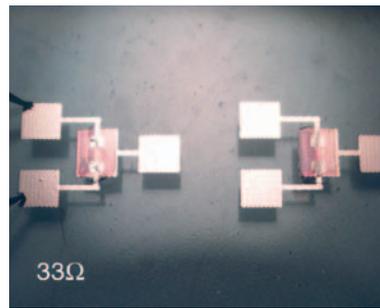
이 없으므로 소자의 변형(deform)을 최소화할 수 있어서 광학적 특성(optical property) 저하를 방지할 수 있어, 제작 공정에서 보다 좋은 정렬(alignment)이 가능하다.

궁극적으로는 이러한 전자 소자들은 반도체의 메모리와 같이 정밀도와 집적도가 높은 분야 보다는 정밀도는 낮아도 대량생산성이 중요한 분야인 RFID태그, 전자종이, PEMS 센서 및 플렉시블 디스플레이(flexible display) 등의 제품에 적용될 것이다. 인쇄소자의 가장 큰 시장으로 예측되는 RFID는 전술한 유기박막 트랜지스터 기술을 사용한다. 이와 함께 안테나 역시 금속배선으로 인쇄공정이 가능하다. 따라서, 제조원가를 낮추어 RFID의 시장 요구에 가장 적절히 대응할 수 있는 기술로 인정받고 있다.

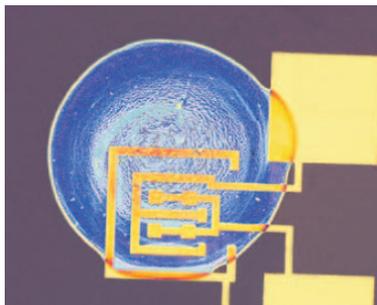
효율은 높지 않지만 제조원가가 낮아 에너지 생산원가 측면에서 장점이 있는 유기태양전지는 실리콘 태양전지를 대체할 수 있는 충분한 역량을 가지고 있다. 5% 내외의 최고 효율이 보고되고 있는 유기태양전지를 상업화하기 위해서는 인쇄공정을 통한 제조원가 절감이 필수적이다.



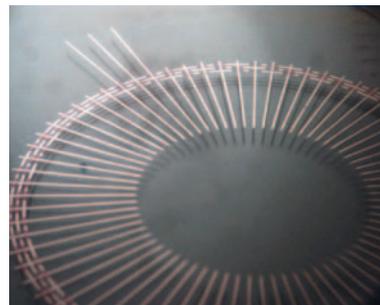
Printed LED(ASU)



Printed resistor(Plastic Logic)

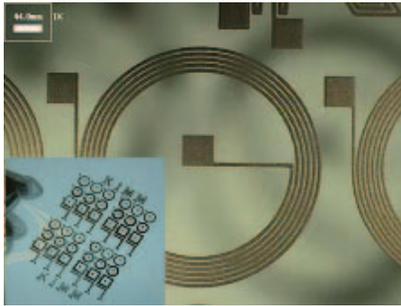


Printed Circuit(MIT)

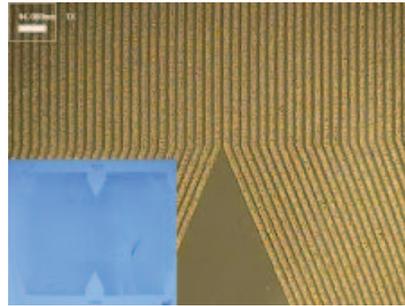


Printed motor(UC Berkeley)

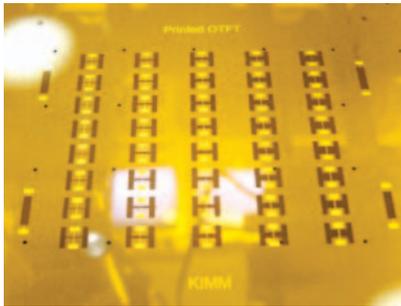
그림 3. 국외 인쇄전자 소자 예



Printed inductor &amp; isolators(PEN)



Printed PDP barrier ribs(PEN)



All printed OTFT(PEN)



Roll-to-roll printed electronic devices

그림 4. 인쇄전자 소자 예 (한국기계연구원, PEMS팀)

### 3. 국내외 기술동향

2010년의 기술 예측으로는 롤투롤 인쇄의 경우가 22%를 차지하며, 잉크젯 인쇄의 경우 10%, 그 밖의 인쇄 방법과 여러 조합의 경우가 전체의 68%를 차지할 것으로 예측하고 있다. 이러한 기술을 이용한 시장 규모는 2004년 인쇄전자 소자 시장의 크기는 2000억원 정도였으며, 관련 회사는 255개, 새로 시작한 회사가 70%를 차지하였고, 2005년 기술 투자액은 4000억원 정도였다. 하지만, 2010년의 시장 크기는 1조 3000억원 정도로 예상하며, 기술 투자액은 2조원 정도로 예측되므로, 2010년에도 시장의 크기보다 투자액이 많을 것으로 I. T. Strategies는 보수적으로 예측하고 있다.

하지만, 모토로라(Motorola)의 경우, Printed electronics 시장의 크기가 중국에는 전체 실리콘 반도체 산업의 2배가 넘을 것으로 예측하여, 미래에는 300조원/년(Printed Electronics Europe 2005) 이상이 될 것으로 예측하고 있으며, IDTechEx(Dr. Peter Harrop)의 경우 Printed RFID Tag 부분만 20조원/년(2015년 기준)으로 시장 규모를 예측하고 있다. 또한 Plastic Logic의 경우, Printed Electronics 2004에서 예측한 2조원/년(2010년 기준), 10조원/년(2015년 기준)이라 예상하고 있다.

표 3. 인쇄 기술 및 적용분야별 예상시장 규모

ITEM	2004 시장규모	2010 시장규모	2005 기술투자액	2010 기술투자액	롤 프린팅	잉크젯 프린팅	복합 프린팅
Display	\$ 80M	\$ 450M	\$ 75M	\$ 225M	5%	75%	20%
Lighting	\$ 40M	\$ 300M	\$ 140M	\$ 850M	15%	5%	80%
Solar Cell	\$ 20M	\$ 100M	\$ 40M	\$ 250M	10%	5%	85%
Sensor	\$ 10M	\$ 80M	\$ 30M	\$ 100M	0%	5%	95%
Packaging	\$ 15M	\$ 250M	\$ 50M	\$ 250M	20%	10%	70%
전체 시장	\$ 170M	\$ 1,205M	\$ 380M	\$ 1,840M	22%	10%	68%

인쇄전자 부품 생산을 위한 공정과 시스템은 정밀 인쇄기계 제조 기술을 가진 독일과 일본, 제지 제조 기술 분야에 뛰어난 미국의 기술이 선두적인 역할을 하고 있으며, 현재 많은 회사와 연구소에서 연구개발 진행 단계에 있어 In-line으로 구성된 인쇄 시스템이 상품화 되어 출시될 것으로 예상된다.

유럽의 경우는 전통적으로 인쇄기기 기술이 발달하였으며, 인쇄 산업을 이끌며 연구하던 팀(케임브리지대학, 맨체스터공대 등)과 반도체공정 기업(Motorola, Xerox, Dupont, HP, Philips, Nokia, Plastic Logic, CABOT corp, Micro Fab, Graphic solution)이 인쇄 시스템에 관한 연구를 활발히 진행하고 있다.

미국은 정부과제지원의 큰축을 맡고 있는 DARPA와 NIST의 ATP 프로그램을 통하여 인쇄전자 제품과 생산 장비에 관한 연구를 수행하고 있다.

아시아는 디스플레이 산업에 잉크젯(Epson)과 인쇄기술(Toppan Printing, Sony, Pioneer, Rohm 등)을 적용하는 것을 제외하면, 소수의 연구소(AIST, 동경대, 교토대 등)만이 실험실 수준으로 연구를 진행하고 있다.

또한, 선진국은 장비, 공정, 재료 업체가 컨소시엄을 구성하여 기업이나 정부의 재정적 지원하에 연구를 진행하고 있어 시너지 효과를 극대화 하고 있다. 그 대표적인 연구개발로서, PolyApply는 유럽연합(EU) 내의 우수한 기업, 연구소, 대학 등 20개가 결성한 공동연구 컨소시엄 조직으로서, 네덜란드의 필립스, 독일의 모토롤라, 영국의 Plastic Logic, 독일의 Fraunhofer 연구소, Chemnitz 공대, Merck, 덴마크의 Lego, 이태리의 STM 등이 참여하고 있으며, 총 2천4백만 유로의 연구비용 중에서 일천2백만 유로의 EC 자금을 지원받아 2004년부터 폴리머에 의한 ultra-low cost의 RFID시스템으로 실질적인 유비쿼터스 컴퓨팅을 실현하기 위한 인-라인 생산공정과 프로토클 개발을 하고 있다.

2003년 미국 국가표준기술연구소(NIST)의 연구자금 지원으로 GE의 중앙연구소에 태양전지로 유명한 ECD Ovonic사와 일천3백만 달러 규모의 연구비용으로 폴리머 인쇄기를 4개년에 걸쳐 개발 설치하기로 하였다. 그라비아 인쇄공정과 스크린 인쇄공정을 조합한 세계 최초로 Roll-to-Roll 방식의 전자인쇄물 대량 인쇄기의 개발이라고 홍보하고 있다.

스웨덴의 Link ping 대학, Acreo 연구소, Mono Paper와 Tetrapak, SCA 등의 공동연구팀은 2000년부터 시작한 Smart Paper 프로젝트를 통하여 유기물과 폴리머 잉크로 디스플레이를 오프셋 인쇄방식으로 종이 위에 실험 개발하였고 트랜지스터와 인쇄전지도 함께 전도성 폴리머에 의한 인쇄로 성공하여 스마트포장과 같은 인쇄센서(printed sensors), 광고 디스플레이, 인쇄안테나와 인쇄전지 등을 다량 생산할 수 있는 것을 목표로 한 것이다.

국가 기술청(TEKES)의 마이크로전자 개발 프로그램(ELMO) 중의 광학 및 전자인쇄물 인쇄공정개발 과제

표 4. 인쇄전자 기술 관련업체 현황

Device Manufacturers		Material Suppliers	Equipment Suppliers
Philips (네덜란드)	eMagin (미국)	Bayer (독일)	Aixtron (독일)
Infineon (미국)	IBM (미국)	CDT (영국)	H.W.Sands (미국)
RiTEK (대만)	Nippon Seiki (일본)	Covion (독일)	Kurt Lesker (미국)
Luxell (캐나다)	Kodak (미국)	Dow Chemical (미국)	Tokki (일본)
Acer (대만)	Lite Array (미국)	DuPont (미국)	ULVAC (미국)
Chi Mei (대만)	Rohm (미국)	Kodak (미국)	Shimadzu (일본)
Hitachi (일본)	TECO (대만)	Opsys (영국)	EDC (미국)
Hyundai (한국)	Sanyo (일본)	PPG (미국)	Enercon (미국)
LG (한국)	Sharp (일본)	Dow Material (미국)	Dalux (미국)
Matsushita (일본)	TDK (일본)	Toyo Ink (일본)	Darkfield (미국)
Picvue (대만)	Tohoku Pioneer(일본)	Daejoo(한국)	V Tech (미국)
Stanley Electric (일본)	Lighttronik (대만)	Ink-Tec(한국)	Integral Vision (미국)
Sony (일본)	CDT (영국)	Paru(한국)	CHA Industries (미국)
Samsung/NEC (한국)	Seiko Epson (일본)	NPK(한국)	Ulvac (미국)
Fujitsu (일본)	Delta Opto (대만)		Preco (미국)
Toshiba (일본)	Dow Material (미국)		Applied Film (미국)
Optotech (대만)	Philips (네덜란드)		Northfield (미국)
DuPont (미국)	UDC (미국)		Ushio (일본)
NOKIA (핀란드)	Rochester (미국)		Toray (일본)
Elumin8 (영국)	DRAPA (미국)		Schmid (독일)
CYPAK (스웨덴)	NIST (미국)		Systronic (독일)
Pinpinol (핀란드)	M Real (핀란드)		Von Ardenne (독일)
Cintelliq (영국)	HP (미국)		
Plastic Logic (영국)	ACREO (스웨덴)		
kodak (미국)	MAN Roland (독일)		
Xennia Technology (영국)	Fraunhofer IZM (독일)		

(PRINTO)는 핀란드 기술연구센터(VTT), Oulu 대학, Lapland 대학, Joensuu 대학, Jyvaeskylae 대학과 Metso, M-real, Hansaprint, 미국의 아리조나대학, 아일랜드의 물리 과학대학 등 국제 공동연구로 2002부터 수행되고 있다. 그라비아 인쇄, 엠보싱, 잉크젯 인쇄, 오프셋인쇄 공정들을 폭넓게 적용하여 Roll-to-Roll의 대량인쇄 기술을 개발하는 것이 목표이며, 폴리머, 무기물, 하이브리드 물질 등을 고속인쇄 및 코팅에 맞는 잉크 재료도 개발하고 있다.

Poly IC는 2003년 11월에 독일의 반도체 회사인 Siemens와 인쇄회사 Kurz가 각각 49%와 51%씩 출자하여 설립한 인쇄전자 생산기술 목표로 설립한 벤처회사로서 Roll-to-Roll 인쇄방법으로 다량 생산할 수 있는 생산공정, 소재 및 칩 디자인 개발 등을 수행하고 있으며, 2004년에 세계 최초의 인쇄 IC를 개발하였다고 발표한 바 있다.

OrganicID는 미국 기술투자회사인 ITU Ventures와 텍사스 대학이 공동으로 설립한 회사로서, 2004년에는 세계적인 제지회사인 International Paper와 인쇄기술을 제휴하여 13.56MHz 급의 RFID태그를 개발하고 2007년부

터는 상용화 생산을 달성하려고 열심히 연구를 추진하고 있다.

OE-A(Organic Electronics-Association)는 다양한 인쇄전자 제품이 2008~2009년에 출시를 준비 중에 있으며, 게임카드, 간단한 습도계, 1~8bit ROM이 있는 RFID 태그 및 전자가격 태그 제품 등의 소량 생산은 2008년에, 다기능 라벨, 16~64bit ROM이 있는 RFID 태그 및 전자책은 2008~2009년에 소량 생산을 할 예정이다. 초기 단계에는 이 제품들도 리소그래피, 진공 또는 기타 기술을 사용하겠지만 OE-A는 롤투롤 및 인쇄 기술로 제조 비용을 최대 절반 수준으로 대폭 줄일 수 있을 것으로 전망하고 있다.

국내의 경우는 전자통신연구원(ETRI), 한국화학연구원(KIRCT) 등에서 기초 및 소자응용연구를 수행하고 있으며, 홍익대학교, 동아대학교, 경희대학교 등에서 소자에 관한 다년간 기초연구를 수행하고 있으며, 건국대학교에서 롤투롤 장비 및 공정에 대한 연구를 진행하여 오고 있다.

현재, 인쇄 기술이 주로 디스플레이 분야에 제한적으로 도입되어 사용되고 있으며, 삼성에서 LCD 7세대 라인과, OLED 4세대라인에서 잉크젯 프린팅 공정을 이용하여 공정을 획기적으로 줄이는 방안을 연구 중에 있다. 삼성에서는 메탈라인을 전자회로에 인쇄 방식을 이용하여 직접 2차원 혹은 3차원으로 배선하는 인쇄공정 및 장비에 대한 연구를 2004년 말부터 진행하고 있지만, 주로 잉크젯 헤드는 해외 선진업체의 헤드를 사서 조립 장비를 만들고 공정에 대한 연구를 수행하고 있으며, 2005년에는 LCD Color filter를 잉크젯과 그라비아 인쇄 기술로 구현하는 사업을 시작하고 있다.

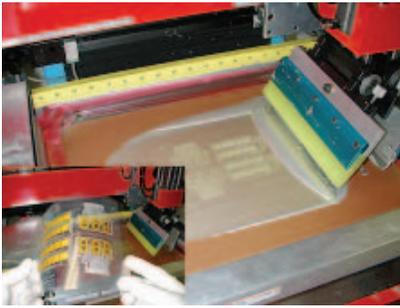
LG에서는 잉크젯을 이용한 14인치 크기의 LCD용 Color filter를 구현하여 발표하였으며, 전도성 메탈라인의 잉크젯 공정을 이용한 프린팅에 대한 연구를 진행하고 있으며, 이에 사용되는 잉크를 개발하는 연구 또한 진행되고 있다.

잉크테크에서는 2005년 나노실버잉크를 개발하여 선진국 못지않은 연구 성과를 발표하였으며, 2005년 하반기에는 전도성 그라비아 잉크를 개발하여 RFID 안테나 인쇄 결과를 발표 전시하였다.

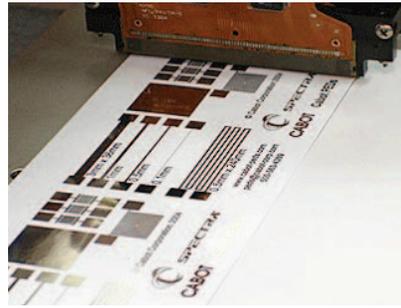
순천대의 경우 RFID 안테나뿐만 아니라 반도체 칩까지 인쇄 기술을 사용해서 구현한 전인쇄 RFID를 발표하였다.

한국기계연구원의 롤투롤 인쇄전자공정장비팀(PEMS team)은 전통적인 종이, 섬유 인쇄 기계 및 공정에 대한 연구를 십여년간 해왔으며, 2000년 이후로는, 메탈젯 시스템, 잉크젯 시스템 응용RP 시스템 개발, 잉크젯 헤드 개발 등의 연구와 플렉소, 그라비아와 옵셋 인쇄기술을 전자 산업에 적용하기 위한 연구, 인쇄 관련 산학연 컨소시엄을 통한 다양한 인쇄전자 기술관련 연구 사업 수행하고 있으며, 전자 소자용 롤투롤 프린팅 요소기술과 원천특허를 확보하고 있다.

인쇄전자 기술개발에 있어, 공기, 빛 및 수분에 노출되면 화학적 성질 변형에 따른 소자성능 및 안정성에 대한 특성을 고려한 제작방법이 필요하며, 재료 물성의 측정 및 분석 등의 기초적인 평가기술의 확립도 매우 중요하다. 또한, 유연한 기층(flexible substrate) 상에 인쇄전자 소자를 제작할 경우, 기층의 휘어짐(warping), 표면의 거칠기 그리고 적층구현(layer-to-layer registration) 방법이 고려되어야할 중요한 사항이며, 최대공정 온도 초과에 따른 광학적 특성 저하, 수축 및 변형에 의한 패턴 정렬의 부정합과 유기물과 무기물간의 접착력이 떨어지는 현상 등의 계면특성 제어는 성능 향상을 위해 개선되어야 할 중요한 요소이다. 그리고 성능 향상을 위한 새로운 재료의 합성 및 공정개발에 대한 연구뿐만 아니라 새로운 제품에의 적용을 위한 연구도 병행되어야 한다.



Screen printed polymer-OLED(ADD-Vision)



Ink-jet printed electrodes(Cabot)



Roll to roll printed RFID(ACREO)



Roll to roll printer(VTT)

그림 5. 국외 인쇄전자소자 생산기술 예



Hybrid printed paper display



Screen printed OTFT



Roll printed OTFT



Roll-to-roll printed RFID

그림 6. 국내 인쇄전자 소자 생산기술 예(한국기계연구원, PEMS팀)

## 4. 결 론

향후 2010년 이후의 시대는 유비쿼터스와 고에너지가격의 시대라는 관점으로 본다면, “상상할 수 없이 전혀 새로운 산업과 제품들을 창조할 파괴기술 또는 신 전자제품의 혁명”이라고 불리는 RFID 태그, 종이 디스플레이, 태양전지와 스마트 패키징 등의 인쇄전자 소자 제품군들이 새로운 시장의 주역으로 부상하는 시대는 그리 먼 미래가 아니다. 현재, 인쇄전자 기술의 개발은 본격화되었고 급속도로 기술이 발전되고 있는 상태이며, 향후 몇 년 이내에 인쇄전자 기술의 구체적인 시장이 형성될 것으로 예상된다. 주요 디스플레이 및 전자부품 업체는 인쇄전자 기술과 관련된 원천기술과 지적재산권 확보에 노력할 뿐만 아니라 소재, 부품장비 업체와 공동으로 상품화를 위한 개발 및 생산기술 확보에 적극적으로 나서고 있다. 최근 10여 년간 다양한 인쇄 가능한 재료의 개발과 이를 이용한 응용 연구 또한 어느 때보다 활발히 진행되어 오고 있으며, 인쇄센서와 인쇄 메모리 소자 등 인쇄기술을 이용한 응용연구의 영역은 계속해서 확장하고 있다.

본 기술이 상용화되는 시점을, 빠르면 5년, 늦으면 10년 이후로 전문가들은 내다보고 있다. 이러한 기술의 잠재력과 빠른 성장적 특징의 장점은 있으나, 이제 막 태동한 새로운 분야에 당장 기업이 뛰어들기에는 표준적인 제조 공정, 물질의 수명, 소자의 신뢰성, 대면적 제조 공정, 원천특허와 장비 및 재료의 국산화 등의 미비로 인한 기술적, 경제·사회적 측면에서 야기될 문제를 해결하는데 한계가 있어 새로운 시장의 창출 및 개척에 어려움을 겪을 것으로 예상됨으로 기술 융합(모듈, 장비, 부품, 소재)을 위한 국내 산·학·연의 적극적인 연구 협력이 요망된다.

## ❁ 참고 문헌

- [1] D. R. Gamota, P. Brazis, K. Kalyanasundaram, and J. Zhang, Printed organic and molecular electronics, Kluwer Academic Publishers, Boston, 2004.
- [2] Satoshi Ookubo, Nikkei Electronics Asia, 2007 (<http://www.neakorea.co.kr/>).
- [3] Hagen Klauk, Organic electronics—Materials, manufacturing and applications, Wiley-VCH, Weinheim, 2006.
- [4] C. R. Kagan and P. Andry, Thin Film Transistors, Marcel Dekker, New York, 2003.
- [5] Charles A Harper, Electronic materials and processes handbook, McGrawHill, New York, 2003.
- [6] USDC flexible display report, US Display Consortium, November, 2004.
- [7] Printed Electronics Europe06, April, Cambridge, UK, 2006.
- [8] Printed Electronics Europe 2007, April 17–18, Cambridge, UK, 2007.
- [9] Flexible Display & Electronics2006, May, CA, USA, 2006.
- [10] IMI Printed Electronics05, Oct., Las Vegas, USA, 2005.
- [11] Printed Electronics Conference, Mach, SF, USA, 2007.
- [12] 김동수, 이택민, 조정대, 최병오, 김충환, 신동윤, 김광영, PEMS 제작용 롤투롤 프린팅 시스템 기술, 2006
- [13] I. T. Strategies: [www. it-strategies.com](http://www.it-strategies.com)
- [14] AIST: [www.aist.go.jp](http://www.aist.go.jp)

- [15] Dai Nippon Printing: [www.dnp.co.jp](http://www.dnp.co.jp)
- [16] OE-A: [www.oe-a.com](http://www.oe-a.com)
- [17] Peccell Technologies: [www.peccell.com](http://www.peccell.com)
- [18] PolyIC: [www.polyic.com](http://www.polyic.com)
- [19] Printed Systems: [www.printed-systems.de](http://www.printed-systems.de)
- [20] Rohm: [www.rohm.com](http://www.rohm.com)
- [21] Seiko Epson: [www.epson.co.jp/e](http://www.epson.co.jp/e)
- [22] Toppan Printing: [www.topan.co.jp/english](http://www.topan.co.jp/english)



조 정 대

- 한국기계연구원 나노기계연구본부 롤투롤인쇄전자공정장비팀 선임연구원
- 관심분야 : PEMS, softlithography, micro & flexible display
- E-mail : micro@kimm.re.kr



유 중 수

- 한국기계연구원 나노기계연구본부 롤투롤인쇄전자공정장비팀 위촉연구원
- 관심분야 : flexible display, electronic material & device
- E-mail : zava@kimm.re.kr



이 택 민

- 한국기계연구원 나노기계연구본부 롤투롤인쇄전자공정장비팀 선임연구원
- 관심분야 : PEMS, printed electronics, printing 공정/장비
- E-mail : taikmin@kimm.re.kr



김 충 환

- 한국기계연구원 나노기계연구본부 롤투롤인쇄전자공정장비팀 선임연구원
- 관심분야 : 전자인쇄장비, 구조진동, web handling
- E-mail : chkim@kimm.re.kr



신 동 윤

- 한국기계연구원 나노기계연구본부 롤투롤인쇄전자공정장비팀 선임연구원
- 관심분야 : Ink-Jet, printed display and electronics, maskless lithography
- E-mail : dyshin@kimm.re.kr



김 동 수

- 한국기계연구원 나노기계연구본부 롤투롤인쇄전자공정장비팀장 책임연구원
- 관심분야 : PEMS, ESD, 삼차원조형시스템, 공기압 액추에이터
- E-mail : kds671@kimm.re.kr



김 광 영

- 한국기계연구원 나노기계연구본부 프린팅공정장비팀 책임연구원
- 관심분야 : 전자디스플레이용 기능성 프린팅, PEMS, softlithography
- E-mail : kykim@kimm.re.kr



최 병 오

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