

인쇄전자 기술 및 동향

Technology Trend of Printed Electronics

| | |
|------------------|-----------------------|
| 양용석 (Y. S. Yang) | 3D 플렉서블소자패키지연구실 책임연구원 |
| 유인규 (I. K. You) | 3D 플렉서블소자패키지연구실 책임연구원 |
| 윤호경 (H. K. Yun) | 3D 플렉서블소자패키지연구실 책임연구원 |
| 홍성훈 (S. H. Hong) | 3D 플렉서블소자패키지연구실 선임연구원 |
| 박주현 (J. H. Park) | 3D 플렉서블소자패키지연구실 연구원 |
| 장문규 (M. K. Jang) | 3D 플렉서블소자패키지연구실 실장 |
| 이진호 (J. H. Lee) | IT 부품산업기술연구부 부장 |

인쇄전자(printed electronics) 기술은 인쇄가 가능한 기능성 전자 잉크 소재를 이용하여 초저가격의 프린팅 공정을 통해서 다양한 전자소자를 제작하는 기술로써, 차세대 ICT 기기의 제작에 적합한 전자제품을 생산하는데 적합한 공정기술로 잘 알려져 있다. 현재 인쇄전자의 기술수준은 일부 요소 부품들을 제작하고 간단한 전자회로를 구현하는 수준에 머무르고 있으나, 도체, 반도체, 절연체의 여러 잉크 소재 및 다양한 초미세 인쇄공정 기술의 개발이 진행됨에 따라 향후 폭넓은 분야에 적용될 것으로 기대된다. 이러한 인쇄전자의 관련 기술 중에서 최근 삼차원(3D) 프린팅 기술이 부상하고 있는데, 지난해 Economist에서는 3D 프린팅을 제 3차 산업혁명을 가져올 기술 중 하나로 소개했으며, 세계경제포럼(WEF: World Economic Forum)에서는 2013년 10대 유망 기술 중 하나로 선정했다. 올해 초, 미국의 오바마 대통령은 국정연설에서 거의 모든 제품의 생산 방식을 바꿀 수 있는 잠재력을 가진 기술로 3D 프린팅을 언급했고, Optomec에서는 전자소자용 3D 프린팅 기술을 선보였다.

본 논문에서는 최근에 많이 연구되는 모바일용 무선통신소자나 차세대 디스플레이 백플레인용의 인쇄전자 기술과 상품의 모형인 목업(Mock-up)을 제작할때뿐만 아니라 전자소자 제작에도 적용이 가능한 3D 프린팅 기술에 대하여 논하고자 한다.

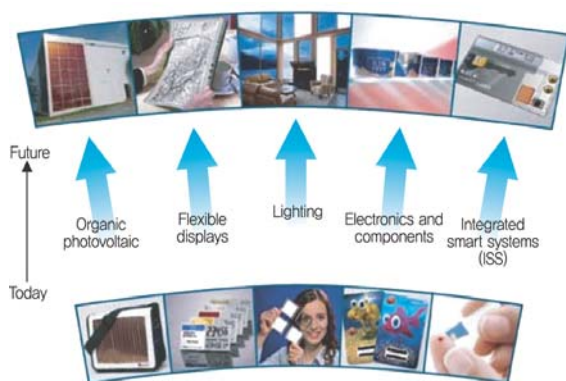
미래 부품소재기술 특집

- I. 기술 개요 및 활용 분야
- II. 국내외 연구 동향
- III. 시장동향 및 전망
- IV. 시사점 및 제언

I. 기술 개요 및 활용 분야

인쇄전자 기술은 용액 공정이 가능한 다양한 기능성 잉크 소재(functional ink materials)를 직접 인쇄공정을 이용하여 스마트폰, 디지털 카메라, DVD(Digital Versatile Disc), PDP(Plasma Display Panel), LCD(Liquid Crystal Display) 등 디지털 가전과 같이 다양한 전자소자를 제작하는 기술이다[1]. 인쇄기술은 인류가 잉크를 통해 방대한 양의 정보를 종이 위에 인쇄하면서부터 약 천 년 동안 사용되어 왔고, 최근에 ICT 기술의 발달과 함께 매우 빠른 속도로 발전하여 현재 누구나 쉽게 전문적인 인쇄물을 회사나 가정에서 만드는 시대가 도래하게 되었다. 이러한 인쇄기술은 종이에 인쇄하는 수준을 넘어서 용액상으로 공정이 가능한 기능성 잉크들이 개발되면서 OE-A에서 밝히듯이 여러 전자산업에 응용된다(그림 1 참조).

인쇄전자 기술은 인쇄기술을 이용하여 다양한 전자소자를 제작하는 분야로, 인쇄공정을 통해서 전자소자를 제작하면 기존 공정에 비해서 여러 가지 장점을 가질 수 있다[2]. 우선 값비싼 제작과정 없이 다양한 공정이 가능하여 공정 비용을 획기적으로 낮출 수 있으며, 연속공정을 통해서 공정 속도 또한 증대시킬 수 있다. 또한 공정을 유지하는데 사용되는 전기 등 각종 에너지의 소



〈자료〉: OE-A, 2012.

(그림 1) OE-A의 인쇄전자 로드맵

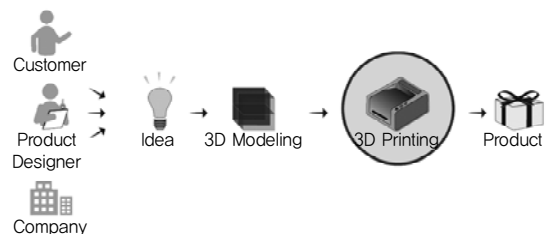
비를 줄여서 환경 친화적인 공정이 가능하며, 원하는 부분에만 선택적으로 전자소자의 제작이 가능하므로 불필요한 화학적인 폐기물의 배출을 최소화 할 수 있다.

그리고, 인쇄전자 기술은 많은 잉크 소재들이 저온에서 공정이 가능하여 유연한 플라스틱 기판 위에 전자소자를 구현하는 플렉시블 전자소자 기술과 매우 높은 공정 적합성을 지니고 있어서 향후 플렉시블 디스플레이나 플렉시블 전자소자 공정 기술로 사용될 수 있는 높은 가능성을 지니고 있다.

이와 같이 평면으로 된 이차원(2D) 개체를 스캔, 복사, 출력하는 형식으로 전자소자를 제작하는 연구 이외에 삼차원(3D) 프린터를 이용하여 3D로 디자인 된 정보를 입력 받아 입체적인 형태로 출력하는 연구가 진행되고 있는데, 3D 프린터는 디지털로 된 도면을 이용해 비교적 간편하게 입체적인 물건을 만들어 낸다.

3D 인쇄를 위한 3D 도면을 작성할 수 있는 3D 캐드(CAD)와 같은 프로그램을 통해 3D 도면을 그린다. 처음부터 모형을 창작하기도 하지만 템플릿을 이용해 기본 형태를 수정하여 만들기도 한다. 일부 3D 프린팅 서비스 기업에서는 일반인들도 쉽게 3D 도면을 만들 수 있는 도구를 온라인 상에서 제공한다. 또한 도면을 그리지 않고, 3D 스캐너만을 이용하거나 사진을 찍어서 기계적인 방법으로 3D 도면을 만들어내기도 한다.

이미 산업계에서는 3D 프린터를 제조 과정에서 일부 활용하고 있으며, (그림 2)에 나타난 것처럼 최근에는 3D 프린팅의 맞춤형 다품종 소량 생산 과정을 적용하여



〈자료〉: METATREND Institute, 2011.

(그림 2) 3D 프린팅의 맞춤형 다품종 소량 생산 과정

액세서리 등의 목업 상품의 새로운 시장에 대한 기대 및 요구가 커지는 중이다.

3D프린팅은 인쇄 소재에 따라서 제작 방식도 달라지는데, 분말 형태의 소재를 레이저로 가열하여 응고시키는 방식은 정밀성이 높고, 고체 소재를 녹여서 적층하는 방식은 비용이 적게 들어서 가장 많이 사용된다. 그 외에도 다양한 방식의 3D 프린터가 있다.

3D 프린팅의 소재는 고무, 나일론, 플라스틱과 같은 절연체에서 스테인레스 스틸, 티타늄과 같은 금속에 이르기까지 매우 다양하다. 또 몇 가지 재료를 혼합해서 3D 프린팅 할 수도 있다. 3D 프린팅하는 것은 일반적인 상품만 가능한 것이 아니다. 신체 장기를 인쇄할 때는 세포를 3D 프린팅 재료로 사용하기도 하며, 식재료를 이용하여 음식을 프린팅하기도 한다. 금속과 절연층이 입체적으로 구성된 전자소자의 경우 별도로 접합할 필요 없이 보호층의 패키징까지 완성된 채로 3D 프린팅한 제품으로 출력할 수 있다.

이러한 2D와 3D의 인쇄기술들은 과거 인쇄회로기판의 회로, 반도체의 포토마스크, 디스플레이의 컬러필터

등 일부 영역에 제한적으로 적용되어 왔던 인쇄전자의 분야를 각종 잉크 및 기판 재료와 미세 인쇄기술이 발전·융합하면서 새로운 영역으로 성장시키는 기폭제 역할을 하고 있다. 이는 나노 기술(NT), 바이오 기술(BT) 등 관련 기술이 지속적으로 발전하고 있는 가운데, 기존 전자소자 및 부품의 제조에서 새로운 활로를 찾고 수요가 증가하는 측면과 맞물려서 나타나는 결과이다. 이에 많은 전문가들은 비단 전자산업뿐 아니라 보안서비스, 포장 및 유통, 환경/에너지, 헬스케어 산업에까지 광범위한 응용이 가능하다고 내다보고 있다. 과거 가능성으로만 머물렀던 분야가 이제는 새로운 인쇄기술로 탈바꿈하고 있으며, 이러한 기술들이 미래 ICT 분야에 중요하게 자리매김을 할 것으로 판단된다.

II. 국내외 연구 동향

1. 국내 연구 동향

국내의 인쇄전자 연구는 막대한 잠재력을 주시하는

〈표 1〉 전자산업 분야 및 인쇄공정의 적용 가능 영역

| 분야 | 세부분야 | 적용가능 영역 및 인쇄공정 |
|--------|-------------|--|
| 디스플레이 | LCD | 칼라필터, 배향막, 스페이서: 잉크젯, 롤프린팅 TFT Backplane: 반도체층, Gate 전극, S/D 전극, 절연체층 프린팅 |
| | PDP | 배선: 잉크젯 프린팅 전자파 쉴드: Ag 도전막 필터 스크린 프린팅 |
| | OLED | 유기발광층: 고분자 방식의 OLED 제조시 잉크젯, 노즐젯 투명전극층: 전도성 고분자의 잉크젯, 슬롯다이코팅 |
| | 전자종이 | Frontplane: Wetting 등 격벽, 용액 주입에 잉크젯, 롤프린팅 TFT Backplane: 반도체층, Gate 전극, S/D 전극, 절연체층 프린팅 |
| 조명 | OLED | 유기발광층: 고분자 방식의 OLED 제조시 잉크젯, 노즐젯 |
| 스마트 제품 | RFID | 안테나: 롤프린팅 기타: 캐패시터 및 집 등에 롤투를 |
| | Packaging | Sensor: 센서층을 잉크젯, 롤, 스크린프린팅 |
| 에너지 | 태양전지 | CIGS, CdTe, DSSC 흡수층: 스프레이, 스크린 OPV 활성층: 잉크젯, 슬롯다이, 롤방식 Si 전극층: 스크린 프린팅, 잉크젯, AD 방식 |
| | Battery | 전극층: 전극층에 슬롯다이 |
| 기타 | Touch Panel | 배선: 전극배선에 스크린 및 롤프린팅 투명전극층: 패터닝 ITO 대체에 젯팅 및 롤프린팅 |
| | FPCB | 배선: 고밀도배선 형성시 롤프린팅 |

〈자료〉: Displaybank, '인쇄전자 기술 동향 및 시장전망(2011~2020)' 리포트

글로벌의 기업들이 연구개발과 상업화의 움직임과 관련이 있다. 3M, DuPont Teijin, Epson, GE, Kovio, Merck, Mitsubishi, Philips, VTT 등을 위시하여 내로라하는 전자, 화학, 인쇄 기업, 나노 재료에 특화된 기업, 심지어는 IT 기업들까지 가세하여, 각 산업의 요소 기술들의 전방위적 통합이 경쟁력의 중요한 원천임을 인식한 기업들이 서로 협력하고 있다. 이러한 움직임은 인쇄전자를 통하여 ICT 기술의 융합·발전이 잘 나타남을 보여준다.

국내에서도 디스플레이 기업 중심으로 인쇄전자에 대한 행보가 관측되고 있다. 일부 LCD 내 칼라 필터 공정에 인쇄기술을 도입한다든지, E-paper 시제품을 선보이기도 한 것들이 그 예이다. 현재까지는 유럽 기업을 필두로 미국과 일본의 기업들이 인쇄전자 영역에서 가장 활발한 모습을 보이고 있다. 재료와 공정은 물론 디자인 등 측면에서 인쇄전자가 기존 전기전자산업에 미칠 파괴력은 상당할 것이다. <표 1>은 국내 기업들이 연구 중이거나 관심을 갖고 있는 인쇄전자의 적용가능 영역을 분류해 놓은 것이다.

3D 프린터 기술은 ICT 시장에 3차 산업혁명이라 불리며 전세계적으로 시장이 커져가는 추세이다. 이에 맞춰 국내에서는 3D 프린터 기술로 보청기와 같은 소형 시제품 생산을 시작으로 최근에는 자동차와 같은 대형 제품 제조로 활용이 확대되면서 제작하려는 물체를 원형에 가깝게 만들고, 공유와 수정이 쉬워 어디서나 원하는 형태의 제품을 빠른 시간 안에 생산할 수 있는 방향으로 기술을 개발하고 있다. 그리고, 최근에 세계 최대의 3D 프린터 제조업체인 스트라타시스(stratasys)는 서울에서 기자간담회를 열고 자사 3D 프린터 한국 공략을 본격 실시한다고 밝히는 등 국외의 프린터 제조기업의 국내 진출이 활성화 되면서 3D 프린터 시장은 더욱 확대될 전망이다.

국내의 3D 프린터 시장은 보청기, 타일, 치아 임플란트 같은 소형 시제품 생산을 시작으로 최근에는 자동차,

<표 2> 산업별 3D 프린터 활용 사례

| 산업 | 제품 |
|--------|------------------------------------|
| 자동차 | 대시보드, 바디패널 등의 시제품 |
| 의료 | 인공치아, 인공 뼈, 인공관절 등 보형물 |
| 패션 | 구두 등의 시제품 견본 |
| 항공/우주 | 알루미늄 동체 등 주요 부품 |
| 건축 | 건축 모형 |
| 엔터테인먼트 | 영화용 캐릭터(ex)리얼스틸 로봇 |
| 소비자가전 | 휴대폰 케이스, GPS 디바이스 등 각종 소비자 가전의 시제품 |

<자료>: 정보통신산업진흥원, 2012.

항공과 같은 대형 제품 제조로 활용이 확대되고 있다. 달라이트 보청기는 2011년부터 3D 프린팅 제조법을 도입해 보청기를 직접 제조하고 있고, 삼현, 삼영 산업과 같은 타일업계에서도 3D프린터로 찍어내는 기술을 상용화하고 있다. 이외에 여러 BT 관련업체에서 3D 프린터를 통해 인공 턱뼈를 제작하기도 하고 인공 치아 모형을 만드는 등 의료용으로도 국내에서 활발하게 연구 및 적용하고 있다. 대기업의 경우 삼성전자를 비롯해 현대자동차, 두산 인프라코어, 3M 코리아 등 다양한 기업들이 신제품 개발을 위해 여러 가지 방식의 3D 인쇄공정을 도입하는 추세이다(<표 2> 참조).

2. 국외 연구 동향

인쇄전자의 높은 성장 잠재력과 파괴력을 고려하여 전세계적으로 약 3,000여 기업과 기관들이 참여하여 기술개발 및 상품개발에 참여하고 있다. 아직은 기술 개발 단계가 실험실 수준이거나 시제품들이 대부분이지만 다양한 잉크 및 기관 재료, 인쇄기술이 융합되어 인쇄전자 제품으로 만들어진다. 이에 따라 실제 단독으로 사업을 전개하기 보다는 대부분 기업들이 서로 협력하고 있다. 실제 노르웨이의 Thin Film은 PARC, 한국의 InkTek, RFID(Radio Frequency Identification) 기업인 PolyIC, 프린터 및 센서에 강점을 지닌 Soligie, 화학기업이면서 인쇄전자로 빠르게 손을 뻗치고 있는 Solvay 등과 제휴

하여 인쇄전자 소자를 개발하고 있다.

또한, 전자, 화학, 인쇄 등 분야에서 내로라 하는 일본 기업들과 기관들이 차세대 인쇄전자 기술연구조합(JAPER)을 결성하여 첫 모임을 가졌으며, 산업기술종합연구소를 중심으로 스미토모 화학, DNP, 토탄인쇄, 파나소닉, 소니, 도시바 등 총 27개 관련 기업 및 기관이 참여하고 있다. 플라스틱 기판 위에 트랜지스터 어레이를 고속으로 연속 생산하는 기술이나 관련 재료의 고도화 등이 주요 목표이다. 경제산업성의 지원 하에 JAPER는 인쇄전자 기반 기기나 제조 설비, 관련 혁신 재료 등의 조기 실용화를 추구하면서, 도시 계획에 디지털 사인(signage)을 적용하는 등 다양한 어플리케이션을 실증하는 작업도 동시에 추진할 계획이다. JAPER에 참여한 기업들은 서로 협력하고 또한 경쟁하면서 차세대 주요 성장 영역 중의 하나인 인쇄전자에서의 글로벌 주도권에 도전하고 있다.

최근에 미국의 코비오(Kovio) 회사에서는 실리콘 잉크로 인쇄하는 저가 무선주파수인식(RFID)칩 태그를 양산하게 될 것이라고 발표하였다. 이 기술을 이용하면 기존 반도체 생산공정에서의 복잡한 과정을 단순화해 시간을 절약할 수 있고, 많은 화학물질을 사용하지 않아도 된다. 또 종이, 섬유 같은 다양한 물체의 표면에 인쇄할 수도 있다. 이러한 순수 RFID칩 시장규모는 현재 연간

1,000만 달러 규모지만 2015년에는 1억달러로 성장할 것으로 예상되고, 코비오는 개당 5센트 미만으로 제품을 생산할 수 있을 것으로 기대하고 있다.

일본의 토탄 인쇄는 ISO/IEC15693 표준 RFID 태그에 기록된 텍스트 및 이미지 정보를 전자잉크형 디스플레이에 표시하는 장치를 개발하였다. (그림 3)에서 나타난 이 장치는 자체 개발한 저전력 소비회로를 적용한 2.7인치 도트매트릭스 전자잉크 디스플레이가 장착되어 배터리 없이 RFID리더 및 라이터에서 전송되는 전력만으로 전면에 표시되고, RFID 태그에 수록된 정보를 텍스트나 QR코드 같은 이미지 형태로 표시할 수 있기 때문에 제조공장에서 샘플을 출시하거나, 병원 의약품 상태관리 등 태그 정보 식별이 필요한 경우에 적용이 가능하다. 이 장치가 갖는 상품성은 미래 인쇄전자 제품의 개발 방향을 제시해주는 중요한 척도가 될 수 있다.

3D 프린팅 산업의 경우 미국, 중국 등 각국 정부의 지원을 바탕으로 하는데, 특히 미국에서는 차세대 생산 기술 중 하나로 3D 프린팅을 주목하고 있다. 저임금 국가에서 자국으로 회귀하고 있는 제조업들이 R&D 역량과 기술력을 바탕으로 3D 프린팅에서 새로운 경쟁 우위를 확보할 수 있기 때문이다. 미국 제조업 부흥을 위해 발족했던 Advanced Manufacturing Partnership에서는 차세대 유망 생산 기술 11가지 중 하나로 Additive manufacturing을 언급했으며, 오하이오 주의 Youngstown에 3D 프린팅 연구기관인 NAMII(National Additive Manufacturing Innovation Institute)를 설립했다. 최근에 오바마 대통령이 국정연설에서 3D 프린팅을 언급하면서 거의 모든 것의 생산 방식을 바꿀 잠재력을 가진 기술로 평가 했다.

EU 역시 제조업 혁신의 기회 중 하나로 3D 프린팅을 주목하고 있다. Reuters에 따르면 지난해 10월 EU는 첨단 기술 육성을 통해 2020년까지 GDP의 제조업 비중을 16%에서 20%로 늘릴 계획을 세웠으며, 대안으로 3D 프린팅을 언급했다. 또한 영국 정부는 3D 프린팅이



〈자료〉: Toppan printing, 2012.

(그림 3) 토탄 인쇄에서 개발한 전자 잉크형 디스플레이 장치

항공에서 주얼리에 이르기까지 다양한 산업에 영향을 미칠 수 있는 잠재력을 가진 기술로 평가하면서 기술전략위원회(Technology Strategy Board)를 통해 700만 파운드를 투자하기로 했다. 또한 중국은 에너지 절약, 자원 절감, 생산성 향상을 위한 대안 중 하나로 3D 프린팅을 주목하고 있다. 기존 방식은 소재를 자르거나 깎는 방식이지만 3D 프린팅은 디자인대로 소재를 인쇄하는 방식이기 때문에 버려지는 양을 줄일 수 있기 때문이다.

이러한 3D 프린팅 기술은 자동화된 설비로 표준화된 제품을 대량 생산함으로써 비용을 낮추는 규모의 경제가 적용되기에 불확실한 요소가 많다. 하지만, 가트너(Gartner)의 "Hype Cycle" 리포터에서 나타낸 바와 같이 오늘날 기존 생산 기술로는 적합하지 않았던 부분을 보완할 뿐만 아니라, 제조 분야를 포함해 건축, 엔지니어링, 토목, 의료 등 새로운 영역에서 가능성을 보이

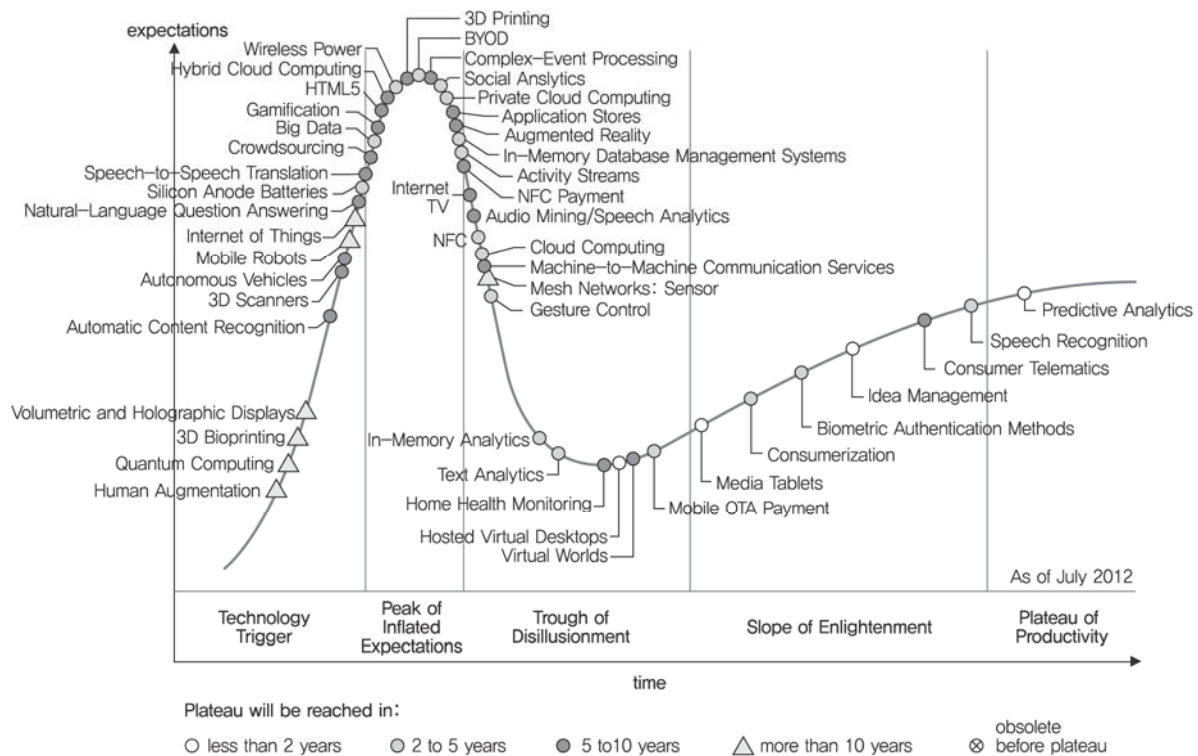
기 때문에 많은 업체에서 활발히 연구개발을 하고 있다(그림 4) 참조).

III. 시장동향 및 전망

1. 제안 분야에서의 핵심요소 기술 분석

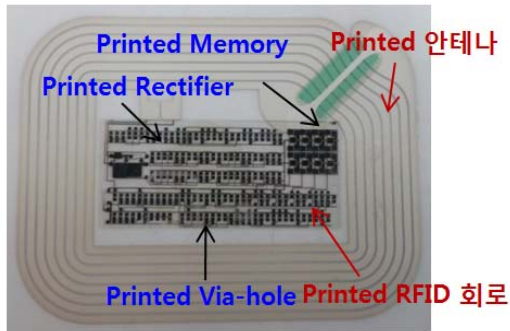
인쇄전자소자는 RFID 태그, 센서, 조명, 디스플레이, 태양전지, 전지 등 반도체나 전자소자, 회로 등이 쓰이는 거의 모든 산업분야에 적용이 가능하고, 미래에는 고성능 집적회로(IC)까지도 기존의 실리콘 기반 제품을 충분히 대체할 수 있으리라는 예측도 나오고 있다. 이러한 인쇄전자소자의 주요 핵심요소 기술과 그 파급 효과 등에 대하여 간략히 살펴본다.

인쇄전자소자의 대표적인 적용분야로 RFID 태그가



〈자료〉: Gartner report, 2012.

(그림 4) 3D 프린팅 산업에 대한 가트너의 "Hype Cycle" 리포터

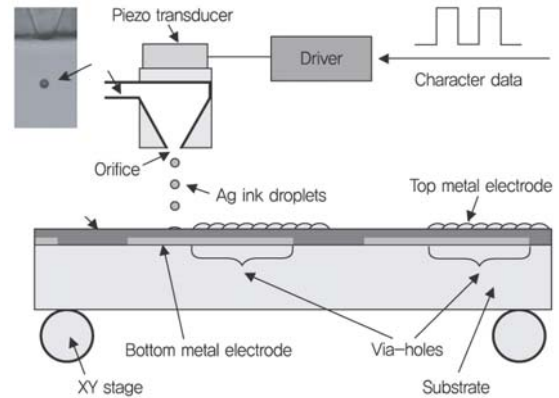


(그림 5) 인쇄기술로 제작된 메모리소자, 정류기소자, 논리소자, 안테나 등이 장착된 13.56 MHz RFID 태그

있는데, (그림 5)에 나타난 것처럼 인쇄방식으로 제작된 트랜지스터, 축전지, 저항으로 RFID를 구성하는 링오실레이터(ring oscillator)와 같은 논리소자(logic circuits), 메모리소자(memory devices) 등을 제작하면 RFID 태그의 가격을 현재의 약 1/10 수준 이하로 낮출 수 있다. 그렇게 되면 RFID 태그가 훨씬 더 많은 정보를 전달할 수 있는데다 원거리 인식도 가능하기 때문에 바코드를 대체할 수도 있다는 분석이다.

인쇄 RFID 태그를 제작하는데 중요한 요소로 작용하는 것이 인쇄소재이다. 그 중에서 반도체 잉크 재료는 인쇄기술을 통해서 제작되는 각종 전자소자의 활성층으로 주로 사용되는 핵심재료로서 RFID 소자의 성능에 가장 중요한 영향을 미치기 때문에 현재 가장 활발히 연구되고 있다. 반도체 잉크 재료는 재료의 화학적인 성분상 유기물 반도체 잉크 재료와 Si나 산화물 반도체와 같은 무기물 반도체 잉크 재료로 나뉜다.

전도성 잉크 재료는 각종 RFID 소자의 전극, 배선 등에 주로 사용되며 이때 형성되는 전도성 라인에 필요한 가장 중요한 물성은 바로 전도도이다. 가령 예를 들면, 전도성 잉크 재료의 인쇄공정을 통해서 논리소자와 메모리소자의 배선을 형성한다고 하였을 때 형성된 배선 라인의 전도도가 높을 시에는 보다 저항에 의한 에너지 감소(loss)를 최소화 할 수 있어서 낮은 동작 전력 구현

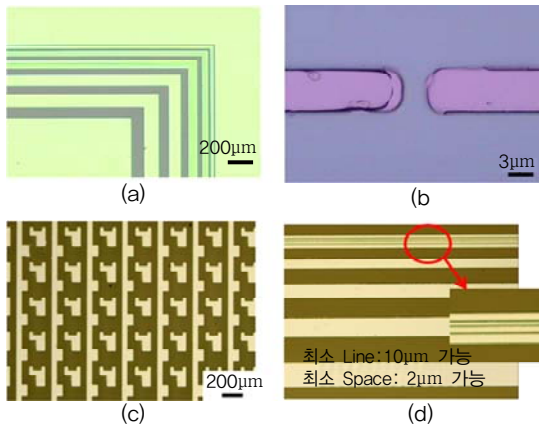


(그림 6) 잉크젯 프린팅을 이용한 비아홀(via hole) 제작 공정

이 가능하다. 그 다음으로 중요한 요구사항은 낮은 공정 온도, 낮은 제조단가 및 잉크의 안정성 등을 들 수 있다. 현재 주로 사용되고 있거나 활발히 연구되고 있는 전도성 잉크 재료는 전도성 고분자 용액, 금속 나노입자, 탄소나노튜브(CNT: Carbon nanotube), 그래핀 분산 용액 및 이에 대한 복합체 재료를 들 수 있다.

(그림 6)은 인쇄기술을 이용한 전자소자의 제작과정에 중에 기존의 공정과정과 차별성을 나타내는 인쇄공정기술의 예인 비아홀의 제작용 잉크젯 프린팅 공정 과정을 나타낸 것이다[3]. 일반적으로, 비아홀을 형성하고 패터닝하는 방법으로 주로 사진 식각(photolithography) 공정이 사용되는데 건식공정 특성상 스크래치(scratch), 잔존물(residue)과 같은 많은 화학적, 기계적 결함(chemical mechanical defect)을 발생시키는 문제가 있다. 이는 제품의 품질을 저하시키는 원인이 되고, 화학 반응을 위해 고가의 화학물질을 사용하게 되는데, 이는 제조원가 상승을 초래하게 된다.

본 공정은 전도성 잉크 속의 솔벤트 성분이 층간 절연막을 부분적으로 스웰링(swelling)시키고, 그 사이로 침투한 잉크가 열처리 과정 중에 전도성 미세 통로(conducting filament path)를 형성하면서 만들어지는 비아홀의 제조공정이다. 이때, 잉크젯 공정 특성은 잉크의 상태와 기판의 표면 상태, 증착 프로세스와 dry 프로



(그림 7) ROP 방법을 이용하여 인쇄한 배선과 전극용 미세 금속 패턴들

세스에 따라 특성이 바뀌므로, 증착 과정에 많은 변수가 발생하고, 비아홀 공정의 경우도 솔벤트의 종류와 점도(cPs)에 따라 비아홀 소자의 전후 공정의 적합성이 바뀌게 되고, 노즐의 크기, 전압 펄스의 모양을 결정하는데 중요한 요소가 된다. 인쇄공정을 이용한 비아홀 제작의

다른 연구로 영국, 캠브리지 대학의 Sirringhaus 교수에 의해 유기물 층간 절연막의 솔벤트인 이소프로판올(isopropanol)을 이용하여 층간 절연막을 제거하는 비아홀을 제작하는 방법이 있다.

인쇄 조명 및 디스플레이 분야에 대한 연구도 중요한 분야이다. OLED(Organic Light Emitting Diode) 조명과 디스플레이는 높은 성능과 에너지 소비가 적은 친환경적인 특성이 부각되면서 요즘 각광받는 분야인데 리버스 오프셋 프린팅(ROP: Reverse Offset Printing) 등의 인쇄공정을 적용하여 대면적에 생산단가를 줄이는 것이 가능하다[4]~[6]. (그림 7)은 OLED 조명과 디스플레이용 백플레인에 적용하기 위하여 ROP 방법을 이용하여 인쇄한 금속 배선 및 전극을 나타낸 것이다. ROP 방법을 이용하면 약 2 µm까지의 최소 선폭의 인쇄전소자의 제작이 가능하다. 특히, 이러한 기술들은 조명분야뿐만 아니라 상대적으로 높은 기술수준을 필요로 하는 디스플레이 분야까지 인쇄기술을 적용하기가 쉽도록

〈표 3〉 3D 프린팅 주요 기술 방식 및 특징

| 분류 | 기술명 | 원리 | 특징 |
|--------|---------------------------------|--|--|
| 액체 기반 | SLA (Stereolithography) | <ul style="list-style-type: none"> - 저전력, 고밀도의 UV 레이저를 이용 - 빛을 받으면 고체로 변하는 폴리머 액체에 물체의 모양대로 레이저를 쏘아 얇은 막(Layer)을 생성함 - 막이 만들어지면 표면을 매끄럽게 만들기 위해 칼날이 표면을 다듬게 됨 - 받침대는 막이 하나씩 완성될 때마다 모형을 아래로 조금씩 내리며 수평을 유지함 - 층을 모두 쌓아올려 형체가 완성되면 완전한 고체로 굳히는 과정을 거침 | <ul style="list-style-type: none"> - 찰스 헐에 의해 고안되어 1988년 3D Systems사에 의해 도입된 가장 널리 쓰이는 기술임 - 정확하고 세부적인 모형을 제작 가능 - 액체 형태의 포토폴리머 플라스틱을 원료로 사용함 - 중간정도의 조형속도 |
| 파우더 기반 | SLS (Selective Laser Sintering) | <ul style="list-style-type: none"> - SLA 방식과 거의 유사한 과정을 거치는데, 파우더 형태의 폴리머나 메탈 원료에 레이저를 쬐서 고형화 시킴으로써 막(Layer)을 생성함 - 막이 형성되면 그 위에 파우더를 얇게 뿌리고 다시 레이저를 쬐서 새로운 막을 형성 - 플라스틱 폴리머 원료의 막을 층층이 쌓아올리면 그대로 모양이 완성 - 메탈 원료는 레이저를 쬐서 플라스틱 막이 형성되고 모형이 완성된 후에는 900도의 온도에서 플라스틱 막을 분해시키고 금속을 침윤, 결합시킴 | <ul style="list-style-type: none"> - University of Texas System 연구진에 의해 개발됨 - 나일론, 유리섬유, SOMOS, 트루폼과 같은 다양한 원료와 함께 금속성 원료를 사용할 수 있다는 장점이 있음 - 조형속도 빠름 |
| 고체 기반 | FDM (Fused Deposition Modeling) | <ul style="list-style-type: none"> - 고체 필라멘트(실) 형태의 플라스틱이나 왁스 원료가 노즐을 통해 분사 되어 얇은 막을 형성 - 노즐은 플라스틱을 녹일 수 있을 정도의 고열을 발산하며, 노즐을 통과한 원료는 신속하게 경화되어 아래 막 부분에 층층이 쌓이게 됨 | <ul style="list-style-type: none"> - 고체 필라멘트(실) 형태의 플라스틱이나 왁스 원료가 분사되어 얇은 막을 형성 - 노즐은 고열을 발산하고 신속하게 경화되어 층층이 쌓이게 됨 |

〈자료〉: Custompartnet, 2008.

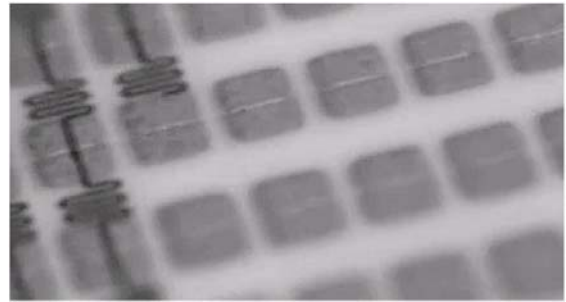
만든다.

이외에 인쇄전자의 중요한 응용 영역 중에는 태양 전지와 배터리가 있다. 인쇄기술 접목이 용이한 플라스틱 기반의 태양전지(PV: Photovoltaic)는 쉽게 구부러지는 특성으로 인해 휴대하거나 다른 데 붙여 전원으로 사용하기에 편리하기 때문에 인쇄기술을 통해 태양전지의 생산 비용을 낮추려는 시도가 활발하게 이루어지고 있다[7]. 한편, 또 다른 전원으로서는 인쇄 이차전지나 슈퍼커패시터도 시도되고 있는데, 기판에 리튬 화합물 잉크 또는 활성탄소 잉크를 직접 인쇄하여 부품에 일체화하거나 고밀도의 자동차, 휴대용 전자제품용 배터리에도 확장하려는 움직임이 관측되고 있다.

매우 정밀한 프로토타입 시제품 제작용부터 개인의 취향에 맞춘 개인화, 맞춤형된 장난감과 액세서리, 맞춤형 보청기나 의족, 의수, 인공 장기 제작에까지 사용될 수도 있을 것으로 기대된다. 3D 프린팅 기술 방식에는 매우 다양한 종류가 있지만 크게 사용되는 원료의 특징에 따라 액체, 파우더, 고체 기반으로 분류할 수 있다 [8](〈표 3〉 참조).

각각의 방식은 저마다 고유한 장점과 단점을 지니고 있는데, 조형 속도와 조형의 정확도, 세부적인 디테일에 차이가 있으며 최근에는 색깔과 표면 질감을 자유롭게 표현할 수 있는 방식도 개발되고 있다.

액체 기반의 제작 방식들은 주로 액체 상태의 폴리머 합성수지와 그 외의 합성수지를 이용, 물체의 모양에 따라 한 층씩 쌓은 후 광경화(photocure)시키는 과정을 거치는데, 액체 기반의 대표적인 방식은 스테레오리소그래피법(SLA: Stereolithography)으로 상업적으로 가장 먼저 도입되었다. 파우더 기반 방식은 파우더 형태로 만들어진 합성수지, 금속 원료를 녹이거나 소결(sintering)하는 과정을 거치는데, 파우더 기반의 방식으로는 선택적 레이저 소결법(SLS: Selective Laser Sintering), 직접적 금속 레이저 소결법(DMLS: Direct Metal Laser Sintering)이 있다. 이 방식들은 액체 원료의 광경화 과



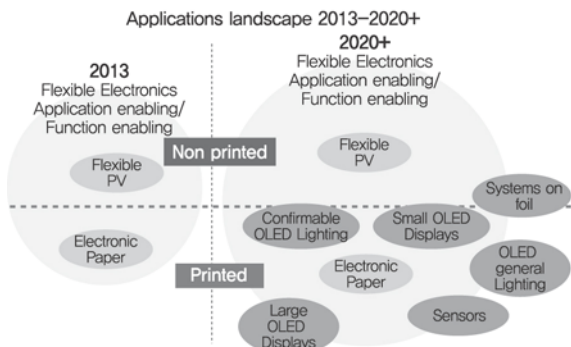
〈출처〉: www.optomec.com

(그림 8) Optomec에서 군수용으로 제작한 3D 인쇄형 레지스터 전자소자 패턴

정을 거친 결과물보다 견고하다는 장점이 있다. 이외에 융합된 제작 모델링법(FDM: Fused Deposition Modeling)은 실 형태의 원료를 녹여서 한 층씩 쌓게 되는데, 액체, 파우더 기반 방식과 유사한 특징을 보인다. 최근에 Optomec에서는 군수용의 항공기 부품과 자동차, 탱크에 장착할 수 있는 센서 및 안테나, 전력 분배 회로 등에 적용을 목적으로 에어로졸 기술과 3D 프린팅의 융합된 기술을 사용하여 전자소자용 3D 프린팅 소자를 제작하였다[9](그림8 참조).

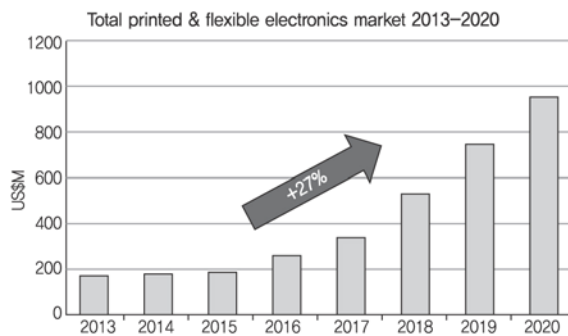
2. 예상 시장

Yole Développement에서 2013년 보고한 인쇄전자 소자의 기술 개발 방향을 (그림 9)에 나타내었다. 반도체, 유전체, 금속 잉크 소재의 특성이 크게 향상되는 2020년 이후에는 OLED 조명 및 디스플레이를 비롯하여 Systems on foil, 유연한 태양전지, 센서 등의 제품군이 개발될 것으로 예측하고 있다. (그림 10)은 Yole Développement에서 2013년 보고한 인쇄 및 유연(flexible) 전자소자 제품의 시장 예측 그래프이다. 인쇄 소재, 공정, 장비를 포함한 인쇄 및 유연 전자 산업 분야는 2015년까지 2억 달러로 큰 변동이 없지만 2020년에는 10억 달러로 약 27%의 급격한 시장 성장이 예상되고 있다.



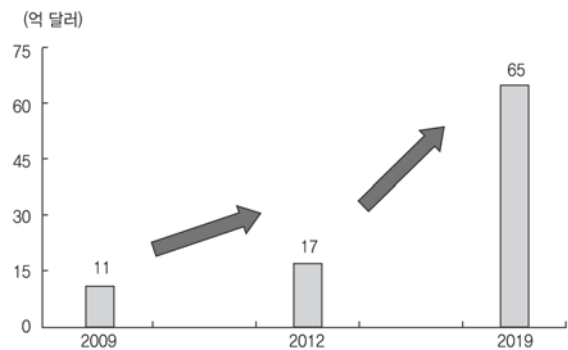
〈자료〉: Yole Développement, 2013.

(그림 9) 인쇄전자 소자의 기술 개발 방향



〈자료〉: Yole Développement, 2013.

(그림 10) 인쇄 및 유연 전자소자 제품의 시장 예측



〈자료〉: Wohlers Report, 2012.

(그림 11) 3D 프린팅 제품의 시장 예측

3D 프린팅 산업의 시장 규모는 일반 프린터에 비해 미미한 수준이나 두 자리수의 높은 성장세가 기대된다. 컨설팅 기업 Wohlers Associate에 따르면 3D 프린터 시장 규모는 (그림 11)에서 나타난 바와 같이 2009년 11억 달러에서 2012년 17억 달러로 증가하였으며 2019년

65억 달러 수준까지 증가할 것으로 전망하였다[10]. 이것은 일반 프린팅 산업 시장 규모가 2010년 기준으로 1,500억 달러 수준임을 감안할 때 3D 프린터 시장 규모는 일반 프린터 시장의 약 1/100 규모로 미미하지만, 일반 프린터 시장이 정체되어 있는 반면 3D 프린터 시장은 연 평균 20% 수준의 높은 성장률을 기록할 것으로 전망된다. 게다가 최근 저가 보급형 모델이 개발되면서 저변이 확대될 것으로 예상된다[11].

IV. 시사점 및 제언

앞서 살펴보았듯이 인쇄전자와 3D 프린팅의 막대한 잠재력을 주시하는 글로벌의 기업들이 연구개발과 새로운 시장창출을 비롯한 상업화에 활발한 움직임을 보이고 있다. 인쇄전자의 경우 차별화되는 재료와 공정은 물론 디자인 등 측면에서 기존 전기전자산업에 미칠 파괴력은 상당하다. 하지만, 원하는 성능을 유지하면서 고속 대용량으로 저렴하게 생산할 수 있는 이점을 그대로 살리기 위해서는 나노, 바이오, 에너지, ICT 분야에서 접근 가능한 최적의 소재, 소자, 공정 기술들을 선택, 융합해야 하는 과제를 안고 있다.

3D 프린팅 기술 역시 앞서 언급한 소비 혁명을 일으키기까지 여러 난관이 존재한다. 기술적으로는 자연스러운 색상, 다양한 질감구현, 전자소자에서 요구되는 신뢰도 등의 문제점이 존재하며 출력하는 속도 역시 개선책이 필요하다. 이러한 기술적인 문제 이외에 무기나 총의 부품을 3D 프린터로 출력한다든지 시제품이나 목업의 저작권과 같은 사회문화적 문제도 해결되어야 할 것이다. 이러한 노력을 통하여 새로운 황금시장 개척이 가능해 질 것으로 생각된다.

약어정리

| | |
|------|------------------------------|
| CNT | Carbon nanotube |
| DMLS | Direct Metal Laser Sintering |

| | |
|-------|--|
| FDM | Fused Deposition Modeling |
| FPCB | Flexible Printed Circuit Board |
| LCD | Liquid Crystal Display |
| NAMII | National Additive Manufacturing Innovation Institute |
| OLED | Organic Light Emitting Diode |
| PDP | Plasma Display Panel |
| PV | Photovoltaic |
| RFID | Radio Frequency Identification |
| ROP | Reverse Offset Printing |
| SLA | Stereolithography |
| SLS | Selective Laser Sintering |

참고문헌

- [1] J. Hast, VTT Technical Research Centre of Finland, <http://www.ee.oulu.fi/research/opintotoimisto/WikinLiitetiedostot/Liitetiedostot/PrintEl2012.pdf>, 2012.
- [2] M.A.M. Leenen, V. Arning, H. Thiem, J. Steiger, and R. Anselmann, "Printable Electronics: Flexibility for the Future," *Phys. Status Solidi A*, 2009.
- [3] Y.S. Yang, I. You, H. Han, J.B. Koo, S. C. Lim, S. Jung, B.S. Na, H. Kim, M. Kim, and S. Moon, "Preliminary Works of Contact via Formation of LCD Backplanes Using Silver Printing," *ETRI Journal*, 35, 2013.
- [4] 백강준 외 4인, "인쇄전자회로 기술 및 동향," *전자통신 동향분석*, 제25권 제5호, 2010, 10, pp.33-46.
- [5] 김성한, "인쇄 전자의 최신 기술 및 시장 동향," *KOSEN Reports*, 2009. 4.
- [6] 신기현 외, "롤투롤 인쇄기술을 이용한 전자소자 개발," *기계저널*, 2009. 4.
- [7] The engineer, "£7m funding for UK additive manufacturing projects," 2012.
- [8] Gizmag, New animation tech could make motion capture suits obsolete. <http://www.gizmag.com/mark-erless-motion-capture-tech/26458/>, 2013
- [9] Optomec, New technology for 3D printed electronics. <http://www.optomec.com/Additive-Manufacturing-Applcations/Printed-Electronics-for-3D-Printing, 2013>.
- [10] BBC, "Transplant jaw made by 3D printer claimed as first," 2012.
- [11] D. Dimitrov, K. Schreve, N. de Beer, "Advances in Three Dimensional Printing-State of the Art and Future Perspectives." *Rapid Prototyping Journal*. 12, 2006, pp.136-147.