

노진수 | 순천대학교 인쇄전자공학과 연구교수 | e-mail : njinsoo@hanmail.net

이 글에서는 그라비아 인쇄형 스마트 패키지 센서태그 제조에 필요한 인쇄 공정, 소재 및 구현된 인쇄 스마트 패키지 센서태그에 대해 소개하고자 한다.

인쇄전자(printed electronics) 기술은 용액 공정이 가능한 다양한 기능성 잉크 소재와 인쇄 장비/공정을 통해서 다양한 전자소자를 대면적, 고속, 친환경적으로 제작하는 기술로서, 사물인터넷(IoT), 웨어러블 디바이스 등 차세대 ICT 기기의 제작에 적합한 전자제품 생산 공정기술로 알려지고 있다. 현재 인쇄전자의 기술수준은 일부 요소 부품들을 제작하고 간단한 전자회로를 구현하는 수준에 머무르고 있으나, 전자잉크의 성능 향상 및 초미세, 고속 인쇄공정 기술의 개발이 진행됨에 따라 향후 폭넓은 분야에 적용될 것으로 기대된다. 또한, 이러한 인쇄전자 기술과 최근 인텔, HP, 퀄컴 등 IT 기업들의 Trillion(1조) 센서 시대 전망에 따라 인쇄형 무선 센서태그의 기술개발 및 응용제품 개발에 많은 관심

이 쏠리고 있다.

종이나, 플라스틱 필름 등 유연한 기판 위에 인쇄되는 롤투롤 그라비아 인쇄형 무선센서태그는 사이니지(signage), 센서(sensor), 아날로그/디지털 변환기(ADC), 마이크로컨트롤유닛(MCU), 근거리 통신 시스템(NFC) 등이 집적되어 무선 리더기, 스마트폰 등을 통해 데이터를 주고받을 수 있다. 기존 실리콘 반도체 칩기반의 스마트 패키지는 NFC 안테나 위에 NFC 모듈, 센서, ADC, MCU 등이 기판 위에 본딩으로 실장된 후 라벨링 및 태깅 공정을 통해 제작된다. 그러므로 근본적으로 기존 공정을 이용한 스마트 패키징 센서태그의 경우 칩 본딩, 라벨링, 태깅 등의 공정이 적용되므로 가격을 낮추는 데 명확한 한계가 존재한다. 인쇄전자의 경우 칩 본딩 공정 없이 모든 공정이 롤투롤 그라비아 인쇄 공정 내부에서 잉크 적층형태로 진행되므로 초저가로 스마트 패키징 태그를 제작할 수 있다.

그림 2는 연속 생산 공정을 적용하여 광 센서를 제조하는 공정을 보여주고 있다. 에칭, 스크린 프린팅, 슬롯다이 코팅, 패시베이션, 레이저 커팅, 비전/성능검사장비 등의 하이브리드 공정을 사용하여 광 센서를 제작하고 있으나, 에칭 및 인쇄 공정을 롤투롤 그라비아 연속 공정으로 대체하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 연속 공정이 아닌 각각의 공정은 100% 배치타입 인쇄로 데모 샘플을 제작하였다. 이러한 연구를 통해 최종적으로 100% 롤투롤 그라비아 인쇄방식이 적용된

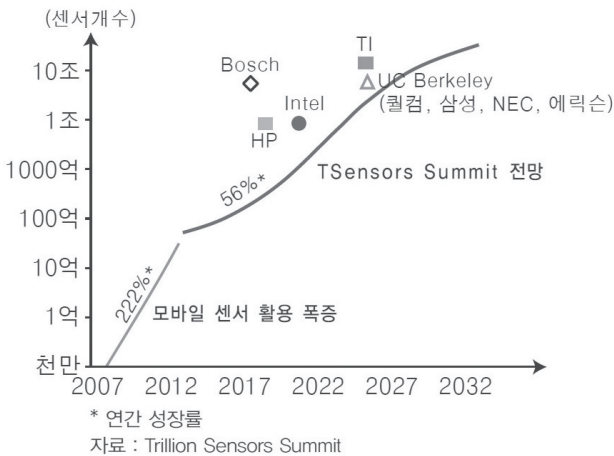


그림 1 IT 기업들의 Trillion 센서 시대 전망

초저가의 스마트 패키징 센서태그 제조가 가능할 것으로 전망된다.

전자잉크

전자잉크 구현을 위한 핵심 요소 기술은 크게 잉크합성, 분산, 최적화, 특성제어 기술로 나뉜다.

▷ 잉크 합성/분산 기술

잉크의 소재(유기, 무기)에 따라 다양한 소재를 용액형태로 합성하는 기술은 인쇄전자에서 가장 핵심적인 기술이다. 무기물 기반의 잉크의 경우 무기물 나노 입자 또는 구조체를 제조하여 용액형태로 제조하는 기술이 요구되며, 유기물 기반의 잉크의 경우 고분자 또는 단분자 형태로 합성하는 기술이 요구된다.

▷ 인쇄최적화 및 matching 기술

합성된 잉크는 궁극적으로 높은 인쇄성을 가지고 있어야 한다. 특히 잉크 소재는 매우 다양한 기판에 여러 가지 인쇄공법을 이용하여 구현될 수 있을 때 가장 유용하나, 실제의 경우 각 경우마다 공정 최적화 기술 개발이 필요하다. 즉 기판에 따라 다른 표면 에너지를 가지며, 인쇄공법에 따라 요구되는 잉크의 기본 특성이 달라진다. 이러한 부분은 기존의 진공 공정과는 크게 대별되는 부분으로, 각 경우마다 소재/공정/장비를 최적화하고 matching하는 기술이 필요하다.

▷ 기능특성 제어 기술

합성된 잉크는 최종적으로 요구되는 전기적, 광, 또는 그 외의 여러가지 특성을 구현해야 한다. 많은 경우 잉크로 형성된 박막 또는 구조체는 진공공정을 통해 얻은 재료에 비해 기능이 크게 떨어지므로 소자 측면에서

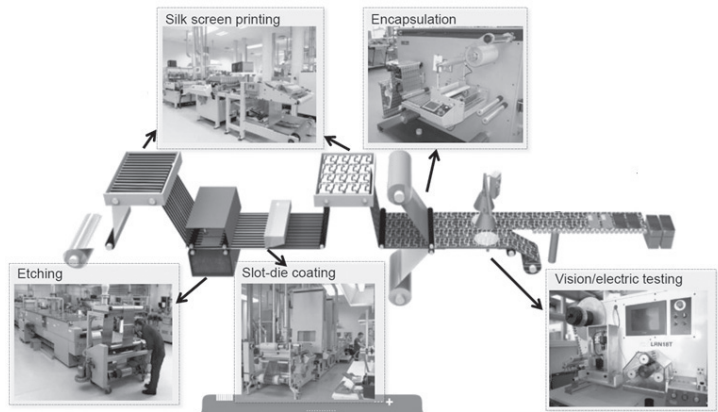


그림 2 하이브리드 연속 생산 공정 기반으로 제작되는 광 센서

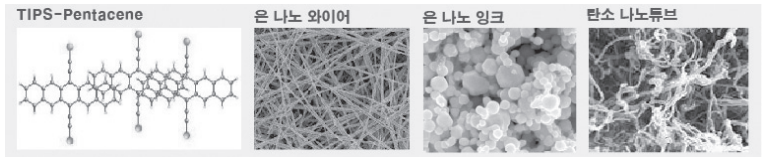


그림 3 전자잉크용 나노 소재

특성 제어 기술이 매우 중요하다. 일반적으로 인쇄된 잉크는 여러 형태의 유기물(분산재, 용매, 등)을 포함하고 있으므로 이를 효과적으로 제거함으로써 기능의 향상을 얻을 수 있다.

인쇄전자에 사용되는 인쇄장비

인쇄전자에 적용되어 컨셉트 제품 및 시제품 제작에 사용되고 있는 인쇄장비(그림 4)는 스크린, 잉크젯, 그라비아 등 여러 가지 종류의 기계가 사용되고 있으나 스마트 패키징과 같이 연속 공정에 적용하기에는 롤투롤 그라비아 인쇄방법이 가장 적합한 인쇄방법이다.

롤투롤 인쇄장비의 미세선폭 구현 및 초정밀 중첩 인쇄 기술 개발이 인쇄전자 소자 산업화에 핵심 요소기술로 부상하고 있다. 미세선폭의 경우 롤투롤 그라비아로 수 μm 패턴까지 인쇄한 샘플이 보고되고 있으나, 적층 인쇄 및 양산 수율을 고려했을 때 현재로서는 수십 μm 패턴이 한계로 여겨지고 있다. 롤투롤 그라비아 장비의



그림 4 컨셉트 제품 및 시제품 제작을 위해 사용되고 있는 국내 인쇄장비

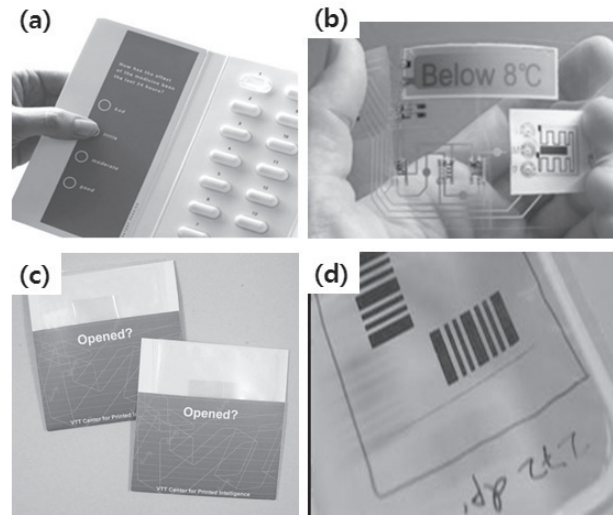


그림 5 인쇄 스마트 패키지 센서태그 데모 제품: (a) iMPak, 의약품 패키징; (b) Thin Film, 제품 온도상태 패키징; (c) VTT, 봉합상태 감지 패키징; (d) VTT, 식품 부패 감지 패키징

중첩정밀도 제어에는 대부분 서보메커니즘(Servo mechanism)이 사용되고 있으며 CCD 카메라와 제판과 웹에 있는 레지스터 마크를 이용해서 이뤄지고 있다.

스마트 패키지 센서태그

제품 시장의 진화에 따라 제품 포장 및 라벨이 점점 지능화 되어가고 있으며, 이에 따라 유통 환경의 인지 또는 제품의 신선도 등을 소비자가 직접 확인할 수 있는 스마트 패키지 센서태그의 요구가 점점 증대되고 있다. 스마트 패키지 센서태그는 유연인쇄회로, 센서, 디스플레이/지시계 등으로 구성되어 있으며, 유럽 물류의 중심인 네델란드의 NVC(Netherlands Packaging Centre), 스웨덴의 Acreo, 영국의 CPI 등을 중심으로 공급망 관리(SCM: Supply Chain Management)에 적용할 수 있는 인쇄형 스마트 패키지 무선 센서태그의 연구가 수년째 활발하게 진행되고 있다. 현재 전 세계적으로 인쇄 스마트 패키지 센서태그에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 그 중심에는 스마트 패키징에 적용할 수 있는 저가의 응용 제품을 생산하고자 하는 열의가 담겨있다. 시제품 형태로 많은 스마트 패키지 센서태그가 제작되고 있으며 이를 통해 인쇄전자 기술 기반의 스마트 패키지 센서태그가 초저가에 제작될 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 그림 5에 대표적인 예를 몇 가지 소개하고자 한다.

Trillion(1조) 센서 시대 전망에 따라 센서를 이용한 많은 응용 분야들이 연구 개발되고 있다. 그 중 현재의 반도체 공정으로는 가격 및 제조 공정(유연성, 대면적)의 한계 때문에 도달하기 어려운 분야들이 존재하고 있으며, 대표적인 하나의 예가 물류·유통 패키징에 적용될 수 있는 스마트 센서태그 분야이다. 기존의 패키징 프로세서 기반의 인쇄 기술에 전자소자를 집적할 수 있는 인쇄전자 공정기술은 “스마트 패키징”이라는 새로운 산업 분야를 만들어 가고 있다.