

마이크로 / 나노 구조물의 비전통적인 물성

이 글에서는 글이나 그림이 아닌 전자 부품/디스플레이 부품 등을 프린팅 방식을 이용하여 생산할 수 있는 그라비어 오프셋 인쇄 기술에 대해 소개하고자 한다.

이택민 한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부, 선임연구원

e-mail : taikmin@kimm.re.kr

노재호 한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부, 선임연구원

e-mail : mical33@kimm.re.kr

김동수 한국기계연구원 나노융합생산시스템연구본부, 책임연구원

e-mail : kds671@kimm.re.kr

오늘날 세계적으로 시장이 크게 열려 있으며 한국이 강점을 가지고 있는 전자 제품을 들면, 메모리, CPU와 같은 반도체 칩 시장과, 디스플레이 시장을 꼽을 수 있다. 반도체 칩의 경우, 회로 선폭 수십 나노의 정도로 집적도가 매우 높으며, 그 성능도 매우 높은 제품군에 속한다고 볼 수 있다. 반면 디스플레이 시장은 눈으로 보이는 디스플레이 장치를 구현하는 것이므로, 픽셀 사이즈가 100미크론 이상의 경우가 대부분인 정도로 집적도가 매우 낮다. 또한, RFID 태그, E paper, Solar-Cell 등의 미래에 새로운 시장 제품으로 떠오르리라 예측되는 PEMS 제품들은, 대면적 패터닝이 필요하고, 정밀도는 그리 높을 필요가 없는, 정밀도 수 - 수십 미크론 급의 패터닝 제품이며, 시장에서 가격은 더욱 낮출 것을 요구하고 있으며, 유연한 기판인 필름 등에 패터닝 되는 것이 요구된다. 그런데, 기존의 반도체나 디스플레이 제품의 생산 방법인 노광공정은 이러한 조건들을 만족하기가 어려우므로, 이를 위한 대안으로 프린팅 생산 방법이 제안되고 있다. Roll to Roll web 이송장치 또는 batch type의 이송장치에 의해 유연성 기판이 공급되고, 스크린, 그라비어, 플렉소, 패드, 잉크젯 등의 각종 프린팅 장비를 이용하여, 전도성물질, 반도체성물질, 절연성 물질을 각각의 특성에 맞도록 중첩

인쇄를 통해 소자를 패터닝한다. 각각의 프린팅 공정은 사용되는 잉크의 특성들이 다르며, 해상도나 두께 또한 다르게 된다.

이 중 이 글에서 다룰 내용은 그림 1과 같은 그라비어 오프셋 인쇄 기법을 이용한 마이크로 패터닝 기술에 대한 것이다.

그라비어 오프셋 인쇄 공정은 잉크의 닥터링 공정과 오프(off) 공정, 셋(set) 공정과 같이 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있다. 그림 1에서 1~3공정이 닥터링 공정으로서, 이 공정의 목표는 그라비어 셀 안에 가능한 가득 채우고 셀 이외의 영역에는 잉크가 남지 않는 것이다. 그림 1에서 4~5는 오프공정으로서, 가능한 많은 잉크를 오프해오는 것이 목표이다. 하지만, 일반적으로 잉크의 일부분만 오프해 오는 것이 일반적이다. 그림 1에서 6~8은 셋공정으로서, 모든 잉크를 기판에 전달하는 것이 목표이다. 오프셋 블랑켓(Blanket)에 잉크가 남아 있다면 다음번 프린팅에 영향을 주게 되어 불량이 된다.

그라비어 오프셋 프린팅은 블랑켓이 잉크를 제판에서 픽업(pick up)하여 기판(substrate)에 전이시켜 주는 공정이다. 이때 블랑켓은, 인쇄가 반복됨에 따라서, 잉크에 함유되어 있는 솔벤트를 흡수 및 발산하기를 반복한다. 일반적으로 흡수되는 양이 발산하는 양보

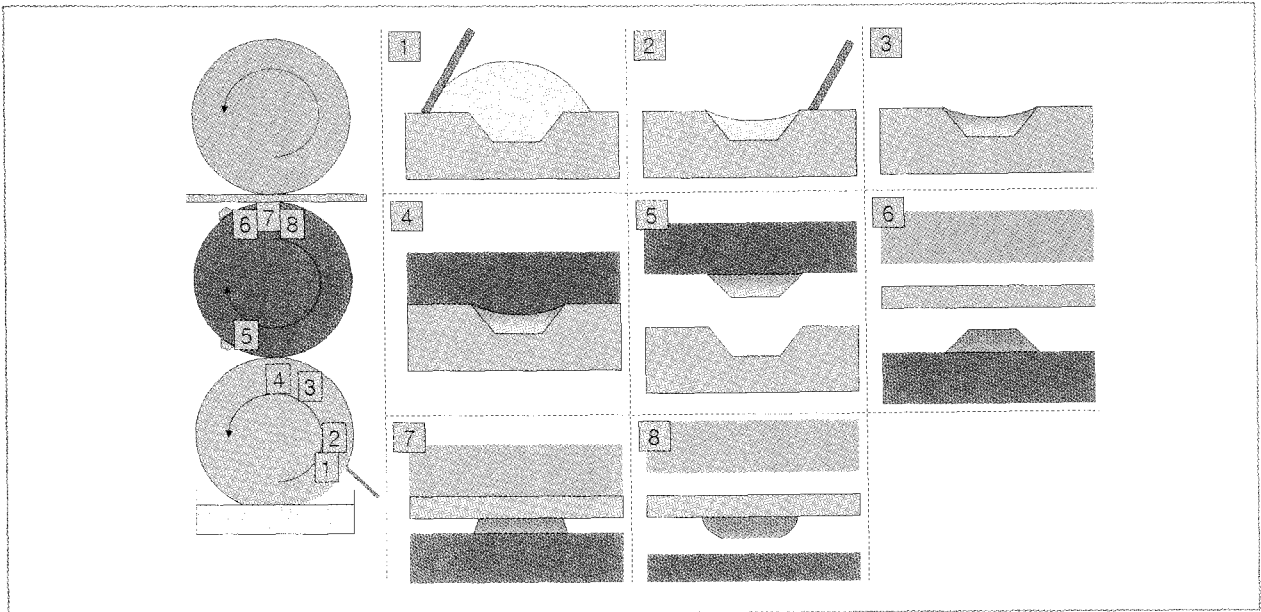


그림 1 그라비아 오프셋 인쇄 공정

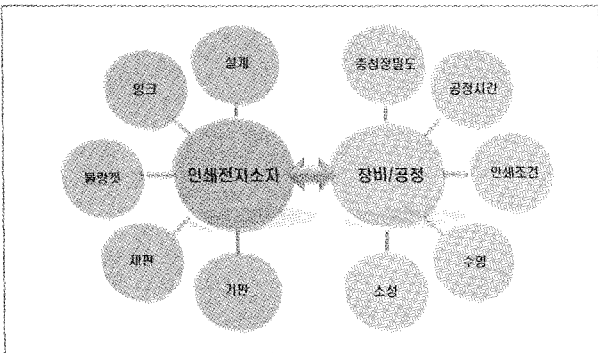


그림 2 그라비아 오프셋 인쇄전자 기술 Tree

다 많으므로, 블랑켓의 성질이 계속해서 변하게 되고, 블랑켓에 솔벤트 함유량은 점점 높아지게 되어, 최종적으로 블랑켓의 수명이 다하게 된다. 블랑켓에 솔벤트의 함유량이 늘어나게 되면, 최종 인쇄된 형상에서 인쇄 선 폭이 늘어나는 것을 관찰할 수 있게 된다. 따라서, 인쇄 회수 대비 선폭 증가량이 그라비아 오프셋 프린팅의 신뢰성 요인 중에 하나가 된다.

그라비아 오프셋 인쇄 공정을 이용하여 인쇄전자 소자를 생산하는 기업들의 경우 일반적으로 필요로 되는 기술들은 그림 2와 같다. 그런데 이를 생산하기 위해 겪는 과정 중에는 소자의 설계 안이 계속해서 바뀌게 되고, 잉크 또한 수십 종 이상의 잉크 및 블랑켓을 실험하게 되고, 기판 처리 역시도 여러 번 바뀌게 된다. 이러한 재료들의 바뀜은 공정 조건을 변하게 할 수도 있

고, 이로 인한 택타임(tack time)과 수명 문제, 신뢰성 및 균질성 문제는 생산자의 입장에서는 매우 중요하게 된다. 이렇게 수 많은 재료들의 변경과 설계의 변경 다양한 공정 조건 변수, 지켜야 할 생산 조건들을 모두 실험하면서, 생산성을 높여나가기 위해서는, 효율적인 실험 방안의 강구가 필수적이다.

그라비아 오프셋 인쇄 공정 오차

그라비아 오프셋 공정 장비를 개발함에 있어서 가장 중요한 문제 중의 하나는 중첩정밀도를 얼마나 정밀하게 할 수 있는가일 것이다. 중첩정밀도는 두 번의 인쇄를 할 때 처음 인쇄된 패턴 위에 얼마나 정밀하게 원하는 위치에 두 번째 인쇄를 얼라인 할 수 있는가이다. 이렇게 두 번의 인쇄를 할 때 발생할 수 있는 오차의 원인 및 크기는 다음과 같다고 볼 수 있다.

첫 번째 레이어를 인쇄할 때, 재판자체도 기계에서 만들어지기 때문에 적어도 수 마이크론의 오차를 가지고 있으며, 이를 이용하여 인쇄를 할 때, 인쇄에 있어서 기계적인 오차 및 계인의 증가, 패턴의 부정확도 등의 이유로 적어도 수 마이크로 이상의 오차가 더 발생한다. 만약 롤투를 연속공정으로 인쇄가 된다면, 장력의 변동으로 인한 오차가 있으며, 그라비아 오프셋의 경우는 오프셋 러버의 재질에 따라서 수에서 수십마이크로

표 1 중첩정밀도의 오차 발생 원인

분류	중첩 정밀도 오차 요인	오차 (μm)	비고
첫번째 마커인쇄	Engraving error of the marker	2 - 4	Axial and radial
	Printing error of the marker	2 - 3	Machine vibration
	Tension fluctuation of the flexible substrate	0.1 - 1	Tensile modulus(2-4GPa)
	Dimensional substrate change caused by curing	50 - 200	$20-80 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
	Printed pattern distortion caused by an offset blanket	5 - 20	
두번째 마커인쇄	Engraving error of the marker	2 - 4	Axial and radial
	Patterning error of the marker	2 - 3	Machine vibration
	Tension fluctuation of the flexible substrate	0.1 - 1	Tensile modulus(2-4GPa)
	Dimensional substrate change caused by curing	50 - 200	$20-80 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
	Printed pattern distortion caused by an offset blanket	5 - 20	
환경	Room temperature and humidity control	$2 - 8 \mu\text{m K}^{-1}$	(100mm) $20-80 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$
측정	Limit of the vision measurement	Around 10	
	Measurement algorithm error	Around 5	
제어	Lagged measurement location	???	
	Combination of speed/tension/register controls	???	

의 오차가 발생할 수 있다. 가장 큰 문제는 큐어링에 의해서 플라스틱 필름 소재가 변형하는 것이며, 이로 인한 잔류 응력과 변형이 상당히 크게 발생할 수 있다. 두 번째 레이어는 이와 같이 인쇄된 첫 번째 레이어 위에 인쇄되는 것이며, 같은 종류의 오차의 원인을 갖게 된다. 그 외에 주변 온도의 변화는 기판의 변형을 가져오며, 주변 습도의 변화는 인쇄 조건의 변화를 가져오게 되어 오차를 발생한다. 정밀 위치 제어를 위한 CCD 카메라의 픽셀 사이즈가 수 미크론일 경우 제어를 통해서 10 μm 정도의 정밀도를 갖게 되지만, 이 또한 측정 위치가 인쇄 위치와 다른 곳에 놓이게 되어, lagged control을 해야 하는 어려움이 있고, 속도제어와 장력제어, 위치제어가 한꺼번에 복합되어 서로 영향을 주기 때문에 이 문제로 인해 야기되는 오차는 가늠하기도 어렵다.

이러한 중첩정밀도를 높이기 위한 연구의 방향을 하나하나씩 살펴보면, 먼저 제판의 정밀도를 향상하고 다양한 제판을 사용하기 위해서는 제판의 용이성과 품질 관리가 가능하여야 한다. 따라서, 롤제판의 사용보다는 평판제판의 사용이 유리하다. 인쇄 오차를 줄이기

위해서는 인쇄공정 조건이 항상 일정하게 유지되어야 하는데, 기계적인 조건의 유지가 필요하고, 잉크의 상태를 일정하게 유지하는 것이 반드시 필요하다. 보통 인쇄의 품질이 많이 변하는 것은 잉크의 상태가 변하는 것에 기인하는 경우가 많다. 장력의 경우는 줄이거나 없애는 방안을 강구하는 것이 유리하며, 열변형에 의한 오차는 어쩔 수 없는 한계이므로, 이를 줄이는 방법을 강구하는 것과 열변형이 발생하더라도 항상 일정하게 발생하도록 하는 것이 중요한 방향이다. 제어에 의한 오차를 줄이기 위해서는 측정이 중요하므로, 비전의 해상도를 좋게 해야 한다. 하지만, 이렇게 할 경우 볼 수 있는 영역이 줄어들기 때문에 듀얼 카메라를 사용하여 볼 수 있는 영역을 넓게 함과 동시에 해상도를 높이는 방법을 사용한다. 제어 알고리즘으로는 연속공급방식이 아닌, step and repeat 방식을 사용함으로써 인해서, 바로 얼라인 마크의 위치 오차를 측정하여 이를 스테이지를 이용하여 보상하는 direct 측정 및 제어가 가능하여지고, 속도제어와 장력제어로부터 해방되고, 정밀 중첩이 가능하여진다.

표 2 연구방향과 설계변수

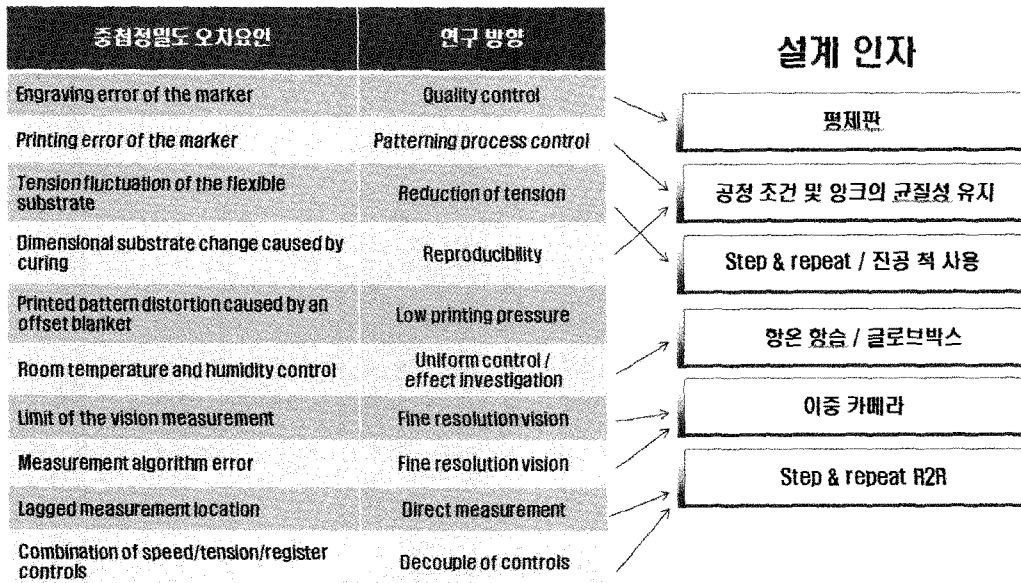


표 3 그라비아 오프셋 프린팅 공정조건

Cycle time	39s	Off speed	20mm/s
Doctoring time	10s	Set speed	20mm/s
Off time	5s	Off pressure	10kgf
Delay time	8s	Set pressure	10kgf
Set time	5s	Humidity	40%

그라비아 오프셋 인쇄공정 실험 결과

위의 실험 장비를 이용하여 그라비아 오프셋 공정 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 공정조건들은 다음의 표의 조건을 기본 값으로 약간씩 변화된 값을 사용하였다.

이렇게 인쇄된 결과들은 다음 그림 3과 같이 최소 20 μ m 급 패턴부터 다양한 결과를 얻었다.

그라비아 오프셋을 이용한 인쇄전자 디바이스의 패턴닝할 때, 일반적으로 고려하는 사항은 미세 패턴의 인쇄가 깨끗하게 원하는 사양대로 인쇄가 되는가를 먼저 보게 된다. 그리고 이것이 확인이 되고 나면, 양산을 고려해야만, 상품으로서의 가치를 가지게 된다. 양산성을 고려한다면, 그중에 반복되는 인쇄 시에 어떠한 변화가 생기는데 대한 것을 보는 것이 가장 필요한 요소

중의 하나이다. 반복 인쇄 시에 패턴의 선폭이 어떻게 변화하는 지를 관찰한 결과가 그림 4와 같다. 여기서, 패턴의 선폭이 처음에는 70 μ m 급이었다가 점점 인쇄회수가 증가함에 따라서, 패턴의 선폭이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그리고 점점 인쇄가 불안정해져서, 선폭의 편차가 점점 심해지는 것을 볼 수 있다. 따라서, 이러한 가울기, 일정값 이상의 패턴 선폭, 편차의 흔들림 등을 현 잉크, 블라켓, 공정조건의 특성이라고 볼 수 있으며, 이러한 요소를 신뢰성 요소로 추출할 수 있다.

후 기

오늘날 전자부품/디스플레이부품 등을 프린팅 방식을 이용하여 생산하는 인쇄전자기술이 각광을 받고 있다. 이는 프린팅공정이 기존의 노광기술과 식각기술

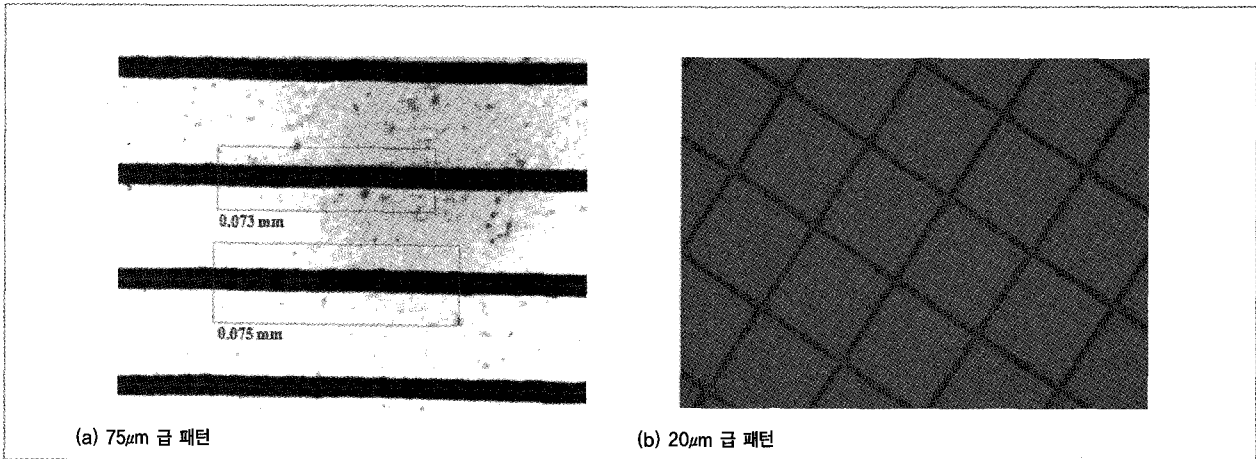


그림 3 실버나노 잉크의 그라비아 오프셋 인쇄 결과

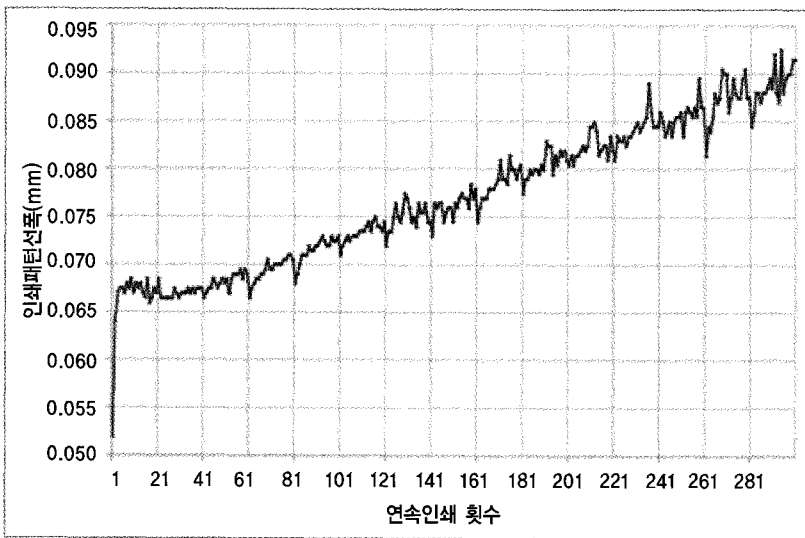


그림 4 그라비아 오프셋 인쇄 횟수에 따른 패턴 선포 증가

에 의존하는 반도체 공정에 비해 가격경쟁력이 월등히 우수하기 때문이다. 하지만, 실제로 생산라인에서 사용되기 위해서는 아직도 새로운 재료의 개발, 혁신적인 공정 기술, 저가격화가 가능한 생산기술의 발전에 새로운 돌파구가 필수 불가결한 상태이다.

기계용어해설

주사형 전자현미경(Scanning Electron Microscope; 走査形電子顯微鏡)

약 30kV로 가속된 전자선을 여러 개의 전자 렌즈에 의하여 100A 정도의 가는 전자선으로 집속시키고 주사 코일을 써서 시료 표면 위를 주사시키는 전자현미경.

스크레이퍼 컨베이어(Scraper Conveyor)

흡통 속을 순환하는 1개 또는 2개의 무단 체인에 스크레이퍼판을 부착하고 앞의 흡통 안에 곡류, 석탄 등 비포장 하역화물을 반송하는 형식의 컨테이너.

R값(R Value)

강재를 굽히면 영구변형이 남게 되고, 강판은 완만한 곡선을 그리므로 이 곡선의 정도를 측정하여 강판의 스트레처 스트레인에 대한 감수성을 R값으로 지시하는 것.