

전자인쇄에서 건조조건이 인쇄물에 미치는 영향 Effect on Drying Conditions the Printing Process of a Printed Electronics

*#이명훈¹, 최병오², 임규진³, 류병순⁴

** M. H. LEE¹(mhlee95@kimm.re.kr), B. O. Choi², K. J. Lim³, B. S. Ryu⁴

^{1, 2, 3, 4} 한국기계연구원 나노기계연구본부

Key words : Printed Electronics, Roll-to-Roll, Printing, Gravure-offset, Dryer

1. 서론

정보화 산업이 성숙기를 맞고 있는 현 산업현장에서 새로운 바람을 일으킬 수 있는 신 성장동력 산업으로 유비쿼터스 관련산업이 주목을 받고 있다. 유비쿼터스란 기존의 정보화 산업에서 사람과 기기의 정보교환에서 벗어나 기기와 기기사이에서도 정보를 교환할 수 있는 세계를 말한다. 따라서 기기간의 정보교환을 위해서는 센서네트워크 구축이 필연적인 사항이므로 이러한 센서들과 무선 네트워크 부품들이 저렴한 가격으로 생산되어 모든 상품과 기기에 부착되어야 한다. 그러나 이런 저가의 전자제품을 생산하기 위해서는 현재의 실리콘 반도체공정은 제조공정에 한계를 가지고 있다. 실리콘 반도체공정은 낮은 단가를 맞추기 위해 계속적으로 고집적 고성능화해야 하는 모순에 부딪치고만 것이다. 따라서 유비쿼터스 산업을 일으키기 위해서는 값싸고 생산성이 높은 다른 생산공정이 필요하다. 이러한 높은 생산성을 가지고 있는 공정으로 각광받는 것이 인쇄기술을 이용한 Roll-to-Roll 생산 방식이다.

현재 기계연구원에서는 향후 전자소자 인쇄 산업을 대비할 수 있는 R2R 공정에 의한 프린팅 공정 및 장비에 대한 연구를 진행 중이며 이러한 연구를 통해 2도 인쇄가 가능한 그라비아 오프셋 인라인 인쇄기를 제작하였다. 이 인쇄실험장비는 여러 가지 인쇄방식 중 접촉인쇄방식의 한 종류인 그라비아와 오프셋 인쇄방식을 융합시켜 적용하고 있다.

전자소자의 인쇄에서는 일반적인 인쇄와 달리 3차원적인 인쇄를 다루어야 한다. 일반인쇄에서는 시각적인 정보만 표현하므로 평면이미지를 인쇄하는 수준이지만 전자소자 인쇄에서는 입체적인 소자들의 배치가 필요하므로 3차원적인 인쇄가 가능해야 한다. 따라서 단순히 피인쇄체 표면에 전자잉크를 전이 하는 수준이 아닌 쌓아서 일정한 두께를 집적해야 한다. 이러한 이유로 증첩인쇄가 필요하다. 뿐만 아니라 현재의 MEMS처럼 적층구조를 갖추어야 하므로 증첩인쇄는 전자소자 인쇄에서 반드시 필요한 것이다.

일반적인 인쇄나 전자소자의 인쇄에서나 피인쇄체에 인쇄패턴을 인쇄한 후에는 건조공정을 거치게 되어 있다. 건조공정은 인쇄하는 잉크소재와 피인쇄체의 종류에 따라 정해지며 일반인쇄에서는 잉크에 포함되어 있는 용매를 증발시켜 건조공정을 완료하게 되어 있다. 그러나 전자인쇄에서는 단순히 용매를 증발시키는 수준이 아닌 잉크 내의 전자소자용 입자들이 서로 연결되어 네트워크를 구성하는 수준까지 진행되어야 한다. 따라서 기존의 인쇄 건조방법보다 많은 양의 열량이 필요하기 때문에 높은 건조온도와 긴 건조시간이 요구되고 있다. 고속 인쇄방식에서 건조시간을 단축해야 하므로 인쇄 잉크두께를 얇게 하는 것이 필요하다.

일반적인 인쇄에서는 인쇄두께가 얇게 되어도 시각적인 표현에는 큰 지장을 받지 않으나 전자소자를 구성하기 위한 인쇄에서는 그 전자소자가 성능을 발휘하기 위해 일정수준 이상의 두께가 확보되어야 한다. 서로 반대되는 인쇄두께와 건조시간과의 관계를 극복하기 위해 본 연구에서는 얇게 여러번 인쇄하는 증첩인쇄방식을 실험하였다. 전자소자 인쇄에서는 증첩인쇄에 중요한 맞춤형도가 일반인쇄에 비해 한 단계 높은 정밀도임으로 이에 따른 여러 문제를 내포하고 있다.

따라서 기계연구원에서는 증첩정밀도 향상을 위한 연구를 진행하고 있으며 이러한 연구의 연장선 상에서 건조조건에 따른 인쇄상태를 확인하기 위해 R2R 프린팅 장비를 이용하여 인쇄실험을 실시하였고 그 변화를 관찰하였다.

2. R2R 프린팅 실험장치

2.1 실험장비 구성

현재 기계연구원에 설치되어 있는 R2R 프린팅 장비는 2도 인쇄가 가능한 실험장비이며 fig. 1과 같이 구성되어 있다.



Fig. 1 R2R Printing System

fig. 1의 장비는 인쇄방식이 그라비아 오프셋으로 설정되어 있으며 그 외의 기본적인 장치는 일반적인 인쇄장치와 같은 인라인으로 구성되어 있다. web을 공급하는 un-winder와 장력을 일정하게 유지시켜주는 in-feeder, out-feeder 그리고 최종인쇄물을 권취하는 re-winder 등으로 구성되어 있다. 그 밖에 인쇄 중 발생되어지는 물리적인 힘들을 측정해주는 센서들과 계측장비 등이 다수 배치되어 있다. 그리고 현재 사용하고 있는 피인쇄체는 폭 210mm의 두루마리 그라비아 인쇄지(super calendered 70g/m²)이다.



Fig. 2 R2R Printing System Dryer

fig. 2의 장치는 R2R 프린팅 장비의 건조기 부분이다. 인라인 구조의 인쇄장치에서는 피인쇄체가 한번의 인쇄공정을 거치고 나면 다음 인쇄공정에 의해 인쇄되기 전에 일정수준 건조되는 것이 요구된다. 이러한 이유로 이런 인쇄기에는 여러 방식의 건조기가 사용되고 있으며 현재 실험장비에 설치되어 있는 건조기의 건조방식은 IR건조방식이다. IR건조는 인쇄물 표면에 IR 복사열을 가하여 인쇄물을 건조하는 것으로서 그림에서와 같이 석영관램프를 열원으로 사용하고 있다. 또한 배풍기를 통해 건조기 내부의 증기들을 배출시켜 인쇄실험 동안 일정한 건조효과를 유지할 수 있도록 설계되어 있다.

2.2 실험방법

R2R 프린팅 장비를 이용하여 2도 인쇄를 진행하면서 건조기의 온도를 40℃에서 80℃까지 변화시키면서 인쇄물의 변화를 관찰하였다. 인쇄기의 진행속도는 4.7m/min 설정하였고 건조장치의 길이가 0.6m 이므로 인쇄물이 건조장치를 거쳐 지나가는데 걸리는 시간은 약 7.6초이다. 이때 전체 web에 걸리는 장력은 0.5kgf/cm로 일정하게 유지시키며 실험을 진행하였다.

3. 인쇄실험 결과

3.1 건조온도에 따른 인쇄물 결과

현재 R2R 프린팅 실험장비에 부착되어 있는 그라비아 제판은

RFID 안테나 형상과 기본적인 선들 그리고 회로패턴 등으로 다양하게 구성되어 있다.

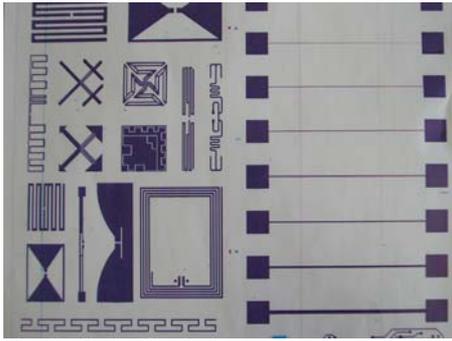


Fig. 3 Printed Test Patterns

fig. 3의 인쇄패턴에서 가장 오른쪽 부분을 현미경 40배로 촬영하여 중첩인쇄의 편차를 확인하였다. R2R 프린팅 실험장비에 1, 2도 인쇄유닛 전에 web-guide 시스템이 부착되어 있고 이 가이드 시스템은 적외선으로 작동하는 edge 센서가 있어 인쇄물의 왼쪽을 일정하게 유지시키도록 되어 있다. 이 때문에 건조에 의한 피인쇄체의 변형이 오른쪽 부분에서 정확하게 측정할 수 있다.

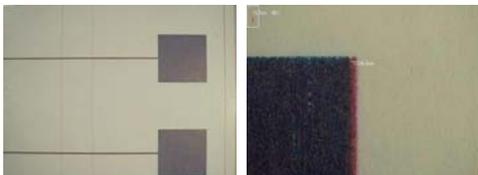


Fig. 4 Superposed Patterns by 40°C drying

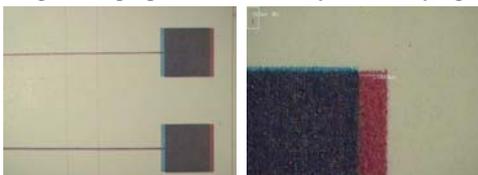


Fig. 5 Superposed Patterns by 60°C drying

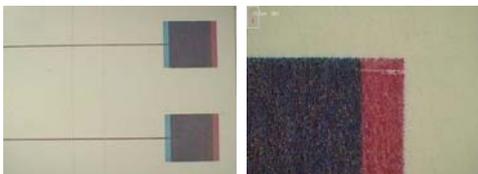


Fig. 6 Superposed Patterns by 80°C drying

fig. 4, 5, 6은 각각의 온도 40°C, 60°C, 80°C의 인쇄결과를 나타낸 것이다. 사진에서와 같이 온도가 올라갈수록 인쇄물의 변형이 커짐을 확인할 수 있다. 측정결과를 정리하면 건조온도 40°C일 때 변형길이는 0.25mm이며 60°C에서 1.05mm, 80°C에서는 1.6mm를 나타내었다. 이것을 그래프로 표현하면 다음과 같다.

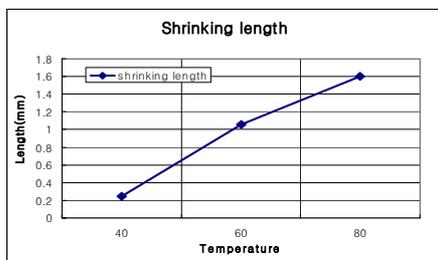


Fig. 7 Shrinking Lengths in web width 210mm

인-라인에 의한 롤 인쇄는 피인쇄체의 인장강도 범위내에서 장력을 MD 방향으로 가하므로 인쇄물의 변형은 MD방향으로는 일어나지 않는다. 그러므로 CD방향으로 나타난 열수축만 관찰된 것이다.

3.2 인쇄실험 결과 분석

인쇄실험 결과에서 나타났듯이 건조온도가 40°C 정도의 저온에서도 종이의 변형이 일어나기 시작했으며 온도를 80°C까지 올리자 눈으로도 확인이 가능한 정도인 CD방향으로 1.6mm의 종이 수축현상이 일어났다.

Table 1 Vicat point of Substrate

피인쇄체	연화온도 °C
인쇄용 종이	120 ~ 150
염화비닐수지경질	54 ~ 80
폴리에틸렌고밀도	43 ~ 49
폴리프로필렌	57 ~ 64

Table 1에서와 같이 인쇄용 종이는 플라스틱 계열의 인쇄필름에 비해 연화온도(열변형온도)가 가장 높다. 그럼에도 불구하고 CD 방향의 수축이 큰 것은 인쇄용지 제지형성의 특수성에 기인함을 확인할 수 있었다. 따라서 일정한 장력이 유지되어야 하는 인쇄기에서 건조온도가 너무 높으면 피인쇄체가 변형이 발생하고 이는 중첩정밀도에 영향을 줄 수 있는 것이다.

일반 인쇄기에서도 인쇄 후에 건조장치를 거치므로 이러한 현상이 일어난다. 인쇄물에서 이러한 오차를 제판의 크기를 조절하여 어느 정도 보상한다. 다시 말해서 피인쇄체의 수축률을 토대로 1도의 제판보다 2도의 제판을 줄여서 인쇄할 수 있다. 일반인쇄는 사람의 시각인식을 대상으로 인쇄하는 것이기 때문에 시각인식 범위내에서 어느 정도의 중첩오차도 허용된다. 그러나 전자소자보다 엄밀한 중첩정밀도가 요구되므로 될 수 있는 한 수축이 일어나지 않는 공정조건을 찾아야 할 것이다.

실험결과를 일반인쇄(1~2mm in web width 1000mm)에 비해서 과도한 수축이 일어났다. 여기서 실험이 다른 인쇄기에 조건과 어떻게 다른지 검토하였다. 첫째는 전도성 잉크와 같이 긴 건조시간이 필요한 인쇄를 위해 일반인쇄와 비교해서 건조기를 통과하는 시간이 길었다. 일반 그라비아 인쇄는 최소 100m/min으로 구동되고 있다. 둘째는 가열효과를 증대시키기 위해서 IR 램프를 이용한 점이다. IR 램프에 의한 복사열은 종이의 내부까지 침범하여 종이 내부에 있는 수분을 증발시키므로 특히 CD방향으로 종이 크게 수축하였다.

피인쇄체의 열수축은 가열 시스템을 채용한 건조방식에서 최소화 시켜야 할 과제이다. 따라서 일반 인쇄용 잉크와 달리 전자소자용 잉크들은 높은 건조온도와 긴 건조시간이 필요하므로 이러한 현상을 피할 수 없을 것이다.

4. 결론

본 논문에서 극히 제한된 인쇄 실험을 실시하였지만 피인쇄체 인 종이는 다른 플라스틱 계열 피인쇄체에 비해 연화온도가 높은 데도 불구하고 열에 의해 수축이 CD방향으로 특이하고 크게 나타남을 확인하였다. 전자소자들을 인쇄를 통해 고속으로 생산하기 위해서는 중첩인쇄가 필요하며 중첩인쇄를 위해서는 높은 수준의 중첩정밀도 요구된다. 그러나 건조조건에 따른 피인쇄체의 변형이 발생하게 되면 중첩정밀도를 일정수준이내로 유지하는 것이 어려우므로 전자소자용 잉크와 피인쇄체 소재에 따라 알맞은 건조방법을 선택해야 할 것이다.

현재 대부분의 인쇄 전자소자의 잉크 소재들이 건조 시에 많은 양의 열량을 요구하고 있으므로 앞으로 이러한 문제를 해결하기 위해서는 높은 온도에서도 변형이 일어나지 않는 피인쇄체를 확보하던가 아니면 낮은 온도에서도 건조가 가능한 건조방법을 제시하는 것이 필요하다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하는 중기거점 '첨단기계류' 사업의 과제로 수행 중이다.

참고문헌

1. 최병오, 김동수, 이택민, 김충환, 이명훈, 조정대, 임규진, "미세 선 폭 롤 프린팅 공정에 대한 연구", 대한기계학회 추계학술대회, 2005.11, 용평
2. Mako Pudus, Seppo Leppävuori, et al. 2004, "Gravure offset printing of polymer inks for conductors" Progress in Organic Coatings, Vol. 49, pp. 324~335.
3. T. Mäkelä, R. Korhonen, et al., 2003, "Roll-to-roll method for producing polyaniline pattern on paper" Synthetic Metals, Vol. 135, pp. 41~42.