

전도성 잉크를 이용한 그라비아 인쇄의 잉크 전이에 관한 실험적 연구

Experimental study of ink transfer in gravure printing using conductive ink

*한경준¹, 안병준¹, #고성립²

*K. J. Han¹, B.J.Ahn¹, #S. L. Ko(slko@konkuk.ac.kr)²

¹ 건국대학교 대학원, ² 건국대학교 기계설계학과

Key words : Conductive ink, Gravure printing, Ink transfer, Cell geometry

1. 서론

전자소자를 제작하는데 있어서 신문이나 서적, 포스터 등을 제작하는데 사용해 온 인쇄기술을 이용하는 인쇄전자기술은 지난 수 년 동안 여러 전자 제품 개발 분야에서 혁신적인 기술로서 많은 관심을 받아왔다. 이 기술을 이용하면 전자 제품의 생산비용과 제품의 무게를 획기적으로 줄일 수 있으며 기계적 유연성도 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 인쇄기술을 이용한 전자소자 제작에 있어서 생산성은 가장 중요한 요인 중의 하나이다. 생산성을 높이기 위하여 롤투롤(Roll-to-Roll) 생산 및 인쇄기술의 사용은 불가피한 것으로 보인다. 현재 사용되는 여러 가지 인쇄기술 중 롤투롤 방식을 적용할 수 있고 인쇄물의 두께나 운전 조건 등을 고려할 때 그라비아 인쇄가 전자 인쇄에 가장 적합한 기술로 생각된다.

그라비아 인쇄에 영향을 주는 요인은 여러 가지가 있는데 그 중에 최종 인쇄물에 잉크를 전달하는 역할을 하는 인쇄물의 중요성은 아무리 강조해도 지나치지 않을 것이다. 인쇄물에 영향을 미치는 다른 요인들 예를 들면 잉크의 점도, 인쇄용지의 표면 거칠기 또는 인쇄 압력, 인쇄 속도 등의 운전 조건들의 영향에 대해서는 이미 많은 연구가 이루어져 왔고 여러 가지 잉크 전이에 관한 모델링까지 수행되어져 왔다[1]. 하지만 이러한 연구는 대부분 기존의 그라픽용 잉크를 이용하여 이루어져 왔는데 이는 전자소자를 인쇄하는데 사용되는 전도성 잉크와는 구성성분의 물리적 특성에 있어 차이가 있고 또한 잉크의 전이량 뿐 아니라 기존의 그라픽 인쇄에서 중요성이 크게 인식되지 않았던 인쇄물의 표면거칠기 등이 전자소자의 성능에 크게 영향을 미치는 요인들로 작용하기 때문에 기존의 연구를 그대로 적용하기에는 다소 무리가 있다.

인쇄물에 가공된 패턴의 형상은 인쇄물의 표면조도, 두께와 같은 인쇄물의 표면 형상에 직접적으로 영향을 미치는데 이러한 패턴들은 그 폭과 깊이가 수십 마이크로미터에 불과해 그 형상을 정확하게 측정하기가 쉽지 않아 그 동안 많은 연구가 진행되어 오지는 않았다. 하지만 여러 가지 전자소자의 제작에 요구되어지는 인쇄물의 표면 형상을 만족시키기 위해서는 이러한 인쇄물 상의 가공된 패턴의 영향에 대한 연구가 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 망점의 크기가 인쇄물에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다.

2. 인쇄용 롤 제작 및 인쇄실험

인쇄용 롤에 각인된 패턴의 영향을 살펴보기 위하여 망점의 폭을 변화시켜가면서 롤을 가공하였다. 롤의 가공은 레이저 조각 부식의 방법으로 가공하였는데 다양한 전자소자의 제작에 인쇄기술을 응용하기 위해서는 미세 선폭부터 대면적의 인쇄를 동시에 수행하는 것이 필수적이기 때문에 40 μm의 미세망점부터

Table 1 Printing conditions

Printing velocity	Driving tension	Ink viscosity	Dilution Ratio	Nip Roll pressure	Substrate
3.5 mpm	2 kgf	0.189 Poise	10% (wt)	0.35 Mpa	SH34(SKC)

Table 2 Printing pattern variables

Pattern No.	1	2	3	4	5	6
Width (μm)	57	67	86	114	135	157
Depth (μm)	15.5	23.1	24.4	24.5	23.7	23.5

가공하려 했으나 부식공정의 특성상 심도방향으로만 부식이 되는 것이 아니라 폭 방향으로의 부식이 동시에 진행되고, 최종 표면처리과정에서 크롬이 약 5μm정도 도금이 되기 때문에 심도를 낮추지 않고는 40μm 크기의 망점을 가공하기가 사실상 어렵기 때문에 심도를 유지하기 위해 최소 망점 크기를 60μm로 설정하였다. 160μm 까지 20μm 씩 망점의 크기를 증가시키면서 가공하였다. 잉크를 희석시키기 위해 N-Propyl Acetate 계열의 용제를 사용하는데 이와 같은 유기 용제의 경우 인쇄용 필름과 화학적 반응을 일으킬 수 있다.[2] 이런 경우를 방지하고 또한 150℃의 고온과 2kgf 이상의 운전 장력에서도 변형이 적은 인쇄용 필름의 선정을 위한 사전 실험을 수행하였고 이를 토대로 100μm 두께의 소재를 선정, 인쇄에 사용하였다.(Table 1)

인쇄속도는 건조 시간을 고려하여 3.5mpm으로 설정하였고, 운전장력은 2kgf인데 소재의 폭이 300mm이므로 실제 소재에는 약 65 N/m의 장력이 걸리게 된다. 인쇄물의 건조는 열풍을 이용하여 약 150℃에서 3분간 건조하였다.

3. 실험 결과 및 분석

인쇄용 롤에 각인된 패턴과 인쇄물의 형상은 광학 간섭계와 디지털 현미경을 이용하여 측정하였다. 먼저 인쇄물을 측정하기 전에 인쇄물에 각인되어 있는 패턴을 측정하였다.(Fig 1)

망점의 크기를 60μm ~ 160μm로 가공했으나 100μm이하의 망점에서는 상대적으로 오차가 크게 발생하였다. 실제 가공된 망점의 크기는 Table 2에서 보여준다.

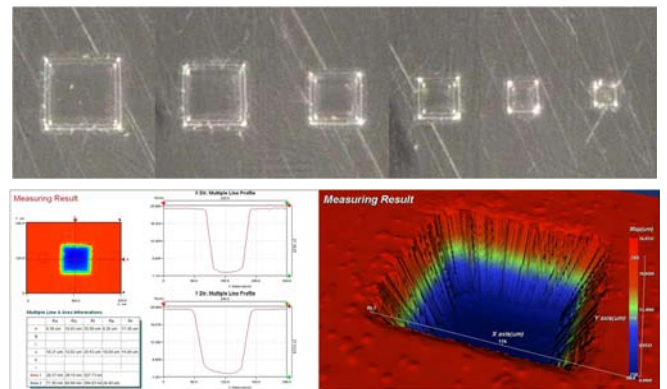


Fig. 1 Patterns on the printing roll

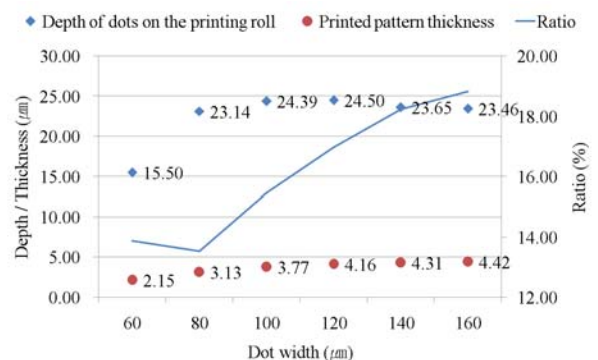


Fig. 2 Comparison of the printed pattern thickness with the depth of dots on the printing roll

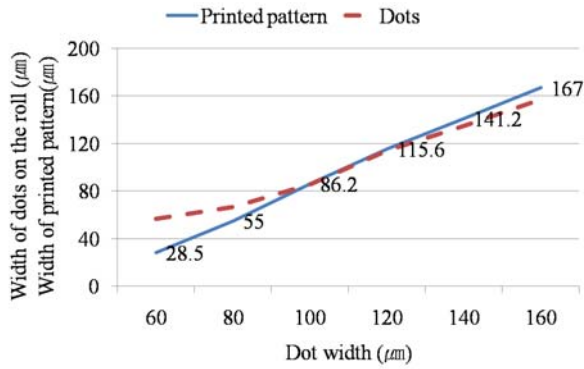


Fig. 3 Comparison of the printed pattern width with the width of dots on the printing roll

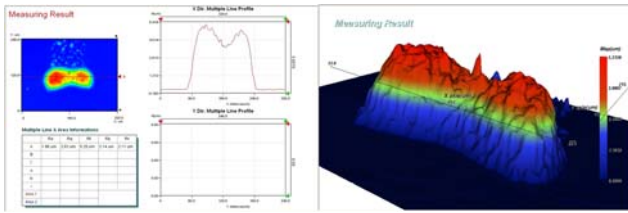


Fig. 4 Printed pattern from 160μm dot on printing roll

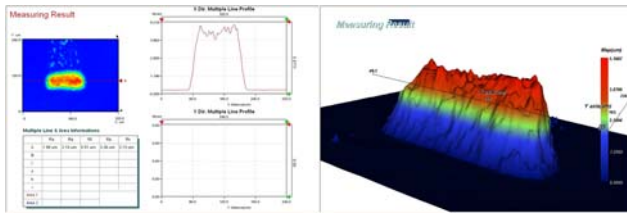


Fig. 5 Printed pattern from 140μm dot on printing roll

인쇄된 패턴의 크기를 롤에 가공된 망점의 크기와 비교하여 도시하였다. 그림 2의 그래프에서 망점의 크기가 증가할수록 망점으로부터 전이되는 잉크 두께의 비율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 곧 망점의 크기가 커질수록 잉크 전이율이 증가하는 것으로 볼 수 있다.

일반적으로 잉크가 전이될 때 실제 망점의 크기보다 폭 방향으로 더 넓게 퍼지는 경향이 있는데 그림 3의 그래프에서 보이는 결과로는 폭 100μm 이하의 패턴의 경우 오히려 롤에 가공된 망점의 크기보다 폭이 더 줄어든 것을 볼 수 있다. 이러한 망점으로 면을 구성 할 경우 인쇄된 점들이 서로 연결되지 않아 전기적 성능을 기대할 수 없다. 잉크의 점도를 낮추게 되면 잉크가 더 많이 퍼지게 되고 작은 망점에서 전기적 성능을 기대할 수 있으나 인쇄물의 높이가 낮아지고 인쇄 속도가 더 빨라져야 하는 등의 인쇄 조건의 제약이 생길 수 있다.

인쇄물에 각인되어있는 망점의 형상은 정방형인데 그림 4와, 그림 5에서 보면 인쇄된 패턴의 형상은 세로보다 가로로 더 긴 모양인 것을 볼 수 있다. 아래에서 위쪽 즉, 세로방향으로 인쇄가 진행되었는데 인쇄방향에 있어서 앞쪽 즉 망점에 채워진 잉크에서 소재에 먼저 닿는 방향의 잉크가 제대로 전이가 되지 않은 것으로 생각된다. 잉크가 망점에 담겨있을 때 표면장력으로 인하여 벽 쪽으로 몰려 가운데가 약간 오목하게 들어간 형상으로 채워지게 된다. 인쇄시에는 압동 롤의 압력으로 인해 소재가 망점 안으로 미세하게 휘어져 들어가면서 잉크표면에 접촉하고 잉크를 끌어 올리게 된다. 하지만 망점의 앞 부분은 롤 표면에 의해 막혀있기 때문에 소재가 쉽게 망점 안으로 휘어 들어가지 못하게 된다. 이로 인해 잉크가 제대로 소재에 전이되지 못한 것으로 생각된다.

망점의 크기가 커질수록 잉크의 전이율이 증가함을 볼 수 있지만 그림 4에서 보듯이 160μm의 폭을 갖는 점에서 전이된 패턴의 경우 가운데 부분이 약간 오목하게 들어가는 것을 볼

수 있다. 위에 설명했듯이 잉크의 표면장력으로 인해 잉크가 패턴 롤의 망점 안에서 벽 쪽으로 몰려있는데, 망점의 크기가 증가하면 망점의 가운데 부분의 오목함의 정도가 더 심해지게 된다. 또한 망점의 폭에 비해 심도가 낮은 경우에도 이러한 현상이 크게 나타나게 된다. 따라서 인쇄 롤 표면에 가공되어 있는 망점의 폭이 커질수록 이런 현상이 크게 나타날 것으로 보이고, 이러한 점들로 면을 구성할 경우에 표면 거칠기가 좋지 않을 것으로 예상된다.

4. 결론

이 전의 연구결과를 볼 때 미세선을 인쇄하는데 망점보다는 패턴형상 그대로 홈을 만드는 것이 더 효과적인 것을 알 수 있었다. 하지만 선 폭이 70μm를 넘어서면서부터 망점으로 이루어진 패턴이 더욱 우수한 표면형상을 가지고 보다 좋은 전기적 성능을 나타내는 것을 보았다.

하지만 다양한 전자소자를 인쇄방법을 통해 제작하기 위해서는 미세 선폭의 구현도 중요하지만 상대적으로 대 면적을 균일하게 인쇄하는 것 또한 매우 중요하고, 이러한 대 면적을 인쇄하기 위해서는 인쇄될 면을 망점으로 구성하는 것이 필수적이다. 따라서 각 인쇄조건과 최종 인쇄물의 요구되는 형상에 맞는 패턴의 형상을 결정하는 것이 매우 중요하다.

이번 실험의 결과로부터 망점의 크기가 커질 경우에 잉크의 전이율이 높아지는 것을 보았다. 하지만 160μm의 폭을 갖는 망점에서 전이된 패턴에서 보듯이 망점의 폭이 일정 크기를 넘어서게 되면 잉크 전이량은 많지만 표면 거칠기가 나빠지게 되고 이는 전자 소자의 성능의 저하로 나타날 수 있다. 따라서 위 인쇄조건으로 3~4μm의 두께를 갖는 패턴을 인쇄하기 위해서는 잉크의 전이율과 표면 거칠기를 고려할 경우 그림 5와 같은 약 140μm의 크기를 갖는 망점, 즉 170LPI의 해상도를 갖는 패턴이 가장 효과적일 것으로 예상된다. 이렇듯 각각의 인쇄 조건과 최종 인쇄물의 형상에 알맞는 망점의 크기를 결정하는 것이 전자소자의 성능을 결정하는데 매우 중요한 영향을 미친다.

후기

이 논문은 서울시 산학연 협력사업(10848) 및 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. K20701040597-07A0404-05110).

참고문헌

1. 강상훈, "인쇄 잉크의 최대 전이율에 관한 연구," 한국 인쇄학회지, 제13권 1호, 1-12, 1995.
2. Marko Pudas, Juha Hagberg, and Seppo Leppävuori, "The Absorption Ink Transfer Mechanism of Gravure Offset Printing for Electronic Circuitry," IEEE Transactions on electronics packaging manufacturing, Vol. 25, No. 4, 335-343, 2002.