

패드 인쇄 기법을 이용하여 곡면상에 구현된 PEMS 디바이스

이택민[†]* · 최현철* · 노재호* · 김동수*

Pad Printed PEMS Device Printed on a Curved Surface

Taik-Min Lee, Hyun-Cheol Choi, Jae-Ho Noh, Dong-Soo Kim

Key Words : Pad printing(패드 인쇄), PEMS(인쇄기 전소자), EL Display (EL 디스플레이), Printed electronics(인쇄전자)

Abstract

This paper presents the electro-luminescence (EL) display lamp which is patterned on a curved surface by the pad printing method. The printing methods, including the gravure, screen, flexo, inkjet, and pad printing, have an advantage of one-step direct patterning. However, in general, the printing and semi-conductor process, except pad printing method, cannot be applied for patterning on a curved surface. Thus, in this paper, we used pad printing method for patterning an EL display lamp on a curved surface. The EL display lamp consists of 5 layers: Bottom electrode; Dielectric layer; Phosphor; Transparent electrode; Bus electrode. Finally, we printed EL display lamp on a dish, which has a radius of curvature 80mm. The EL display lamp was driven at AC 200V of 1kHz.

1. 서론

최근, 전자 종이와 같은 신개념의 디스플레이 장치 및 RFID 와 같은 일회용 정보 장치 등의 정보장치를 제작함에 있어 프린팅 기법을 도입하려는 연구가 활발히 진행되고 있다⁽¹⁻⁴⁾. 이는 프린팅 공정이 기존의 노광기술과 식각기술에 의존하는 반도체 공정에 비해 가격경쟁력이 월등히 우수하기 때문이다. 즉, 반도체 공정의 경우는 높은 정밀도의 장치를 제작할 수 있는 장점이 있으나, 이를 위해 고가의 장비 및 극한의 공정 기술을 필요로 하는 단점을 가지고 있다. 반면, 앞서와 같은 정보장치들을 제작함에 있어서, 전도성, 반전도성 및 부전도성 등의 전기적 성질을 가지는 전자 재료들을 프린팅

기법을 사용하여 기관위에 직접 프린팅하는 공정을 사용하는 경우 반도체 공정과 같은 고정밀도를 가질 수 없는 단점을 가지고 있으나, 기존의 반도체 공정에 비해 제작 시간이 빠르며, 장비의 가격이 저렴하여 그 생산성이 월등한 것으로 평가된다.

이러한 프린팅 기법 중에는 그라비아, 그라비아옵셋⁽¹⁾, 옵셋, 플렉소, 잉크젯^(2,3), 스크린 프린팅⁽⁴⁾, 패드 프린팅, 외에 레이저 및 여러가지 패터닝 기법을 응용한 하이브리드 프린팅 등의 다양한 프린팅 기법이 있다. 하지만, 이러한 프린팅 기법들의 경우 대부분이 평면상의 프린팅이 용이하며, 곡면상의 프린팅은 쉽지 않다. 패드 프린팅은, 액상 실리콘 고무를 일정한 모양으로 몰딩(성형)하여 경화시킨 후 그 탄성을 이용하여 음각으로 새겨진 image plate(steel & photopol plate)의 image 를 인쇄 대상 물체에 그대로 옮겨 찍음으로서(즉 피인쇄체에 전사하는 방법) 패터닝하는 방법으로써, 곡면상에 인쇄가 가능한 인쇄 방법이다.

[†] 회원, 논문발표자의 소속

E-mail :

TEL : (02)123-1234 FAX : (02)123-1234

* 저자 1 의 소속

** 저자 2 의 소속

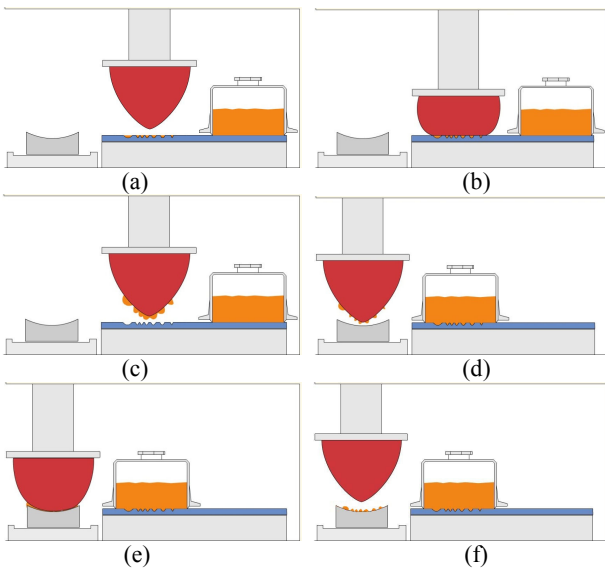


Fig.1 Schematic diagram of pad printing process: (a) Doctor blading; (b) Pad approaching to the engraved pattern; (c) Ink transferring onto the pad; (d) Moving toward the substrate; (e) Pad approaching to the substrate; (f) Ink transferring onto the substrate.

Fig.1 은 패드 프린팅의 공정 도식도이다. 음각으로 새겨진 제판을 잉크컵이 지나감으로써 음각의 제판에 잉크가 채워지고(a), 음각에 채워진 잉크를 들어올리기 위해 실리콘 패드가 내려온다(b). 실리콘 패드가 올라감에 따라 제판에 채워졌던 잉크가 패드에 붙어서 올라오고(c), 피인쇄체가 있는 위치로 패드가 이동을 하게 된다(d). 패드가 다시 피인쇄체로 눌러지고(e), 최종적으로 패드가 들어올리면 패드에 있던 잉크들이 피인쇄체로 전이가 된다(f).

이와 같은 인쇄공정에서 매우 중요한 변수는 잉크의 제어이다. 왜냐하면, 제판의 음각 패턴안에 있던 잉크가 실리콘 패드로 가능한 많이 옮겨와야 하고, 그 다음은 실리콘 패드가 피인쇄체로 잉크를 가능하면 전부 전이시켜야 하기 때문이다.

본 연구에서는 곡면상에 PEMS(printed Electro-Mechanical System) 디바이스를 인쇄하기 위해, 패드 인쇄 기법을 사용하였다. 전자잉크의 개질이 필수적이었으며, 가능한 공정조건을 찾아낸 결과로, EL 디스플레이 램프를 구현하였다.

2. 패드 프린팅 미세 선폭 인쇄

패드 프린팅을 이용하여 인쇄전자소자를 패턴닝하기 위해서는 패드 프린팅 기법으로 구현가능

한 패턴의 최소선폭과 패턴의 높이를 알아야 하며, 패드 프린팅의 특성상 실리콘 패드의 변형으로 인한 패턴의 왜곡이 어느 정도인지를 알아야 한다. 이에 30 μ m, 40 μ m, 50 μ m 등의 다양한 선폭의 음각 제판을 만들고, 이를 패드 프린팅 하였으며, 30 μ m 선폭의 제판에서 35 μ m 선폭과 2.4 μ m의 높이를 가지는 패턴을 프린팅 할 수 있었다. 이를 공초점현미경으로 측정한 결과가 Fig.2에 나타나 있다. 이때 사용한 잉크는 나노실버입자가 포함되어 있는 전도성 잉크였으며, 패드 프린팅 후에 가열로에서 경화를 시킨 후에 측정된 결과로써, 인쇄되었을 때보다는 인쇄 높이가 낮아져 있는 결과이다.

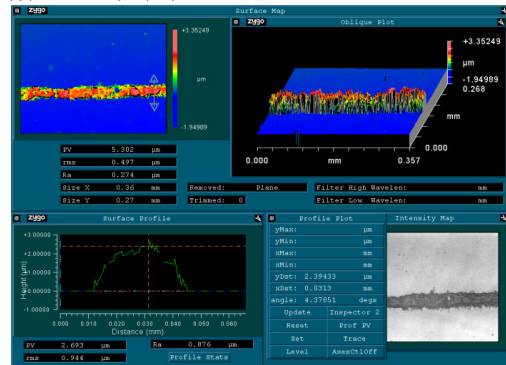


Fig.2 Pad printed line pattern of 35 μ m width and 2.4 μ m depth.

패드 프린팅에서 실리콘 패드의 변형에 의한 패턴왜곡을 살펴보기 위해서 2mm 간격의 동심원을 제판에 음각으로 새기고 이를 평면상에 패드 프린팅하였다. 그리고, 동심원간의 간격이 얼마나 변형이 생겼는지를 측정한 결과 패턴의 왜곡이 5 μ m 이내로써, 측정 방식은 광학현미경을 이용하여 수행하였으며, 패턴의 변형이 측정의 오차 범위 내에 있다는 것을 확인할 수 있었다. 이에 반해 곡면상에 프린팅할 경우는 곡면의 형상에 따라서 패턴의 왜곡 정도가 결정된다.

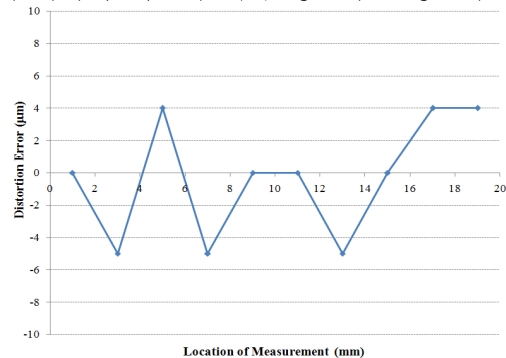


Fig.3 Pattern distortion error caused by the deformation of silicon pad (measured at every 2mm distances from the center of pad).

3. EL 디스플레이 램프

EL 디스플레이 램프는 총 5 개의 레이어로 구성된다. 기판위에 하부 전극을 프린팅하고, 그 위에 다이일렉트릭 층을 인쇄하고, 포스포(phosphor)층을 인쇄한 후, 투명전극과 버스전극을 차례로 인쇄하는 구성으로 되어있다⁽⁵⁾(Fig.4 참조).

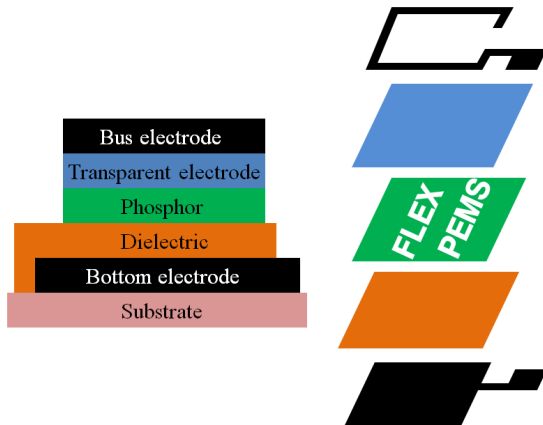


Fig.4 Design and fabrication process of the EL display lamp printed on a curved surface.

각각의 층들을 인쇄할 때에 고려할 사항으로는, 하부전극, 투명전극, 버스전극과 같은 전극들은 전도도가 좋을수록 저항이 낮아서 더 밝은 램프를 구현할 수 있다. 또한 각 레이어 간의 접착성이 좋아서 잘 붙어 있어야 한다. 특히 처음 인쇄되는 하부전극의 경우 유리와 같은 매끄러운 세라믹 재질에 인쇄되어야 하기 때문에 접착성이 매우 중요하다. 이번 실험에서 실버잉크와 카본잉크 중에 결국 카본잉크를 선택하게 된 이유도, 전도도는 떨어지지만 접착성이 더 좋은 카본잉크를 선택한 것이다. 다이일렉트릭 잉크의 경우는 고르고 상대적으로 두껍게 프린팅되는 것이 구동에 바람직하다. 핀홀과 같은 불량이 있거나, 고르지 못한 부분이 있으면, 고전압에서 단락을 유발시키므로 성능이 떨어지는 이유가 된다.

이러한 점들을 고려하여, 곡면에 프린팅하기 전에 PEN 필름 위에 패드 프린팅 함으로써, 패드 프린팅 공정조건을 잡았다. 기본적으로 패드 프린팅을 하기 위해 잉크의 솔벤트를 개질하였다. 잉크 개질의 방법으로는, 잉크의 점도를 높이기 위해서는 점증제를 사용하거나, 잉크의 기존 솔벤트를 휘발시켜버리고, 원하는 솔벤트를 추가함에 의해서 점도를 조절하는 방식을

사용하였다. 이렇게 조절된 잉크로 프린팅 하여도 패턴의 높이는 1 번에 1 μm 정도를 프린팅하기가 어려웠다. 따라서 인쇄 높이를 높이하고자 할 때는 여러 번 중첩프린팅하는 방법을 통해서 극복하였다. 각층마다 사용된 프린팅 횟수와 건조조건 공정조건 및 패턴의 건조 후 측정된 높이 각각의 전도도에 대한 정보가 **Table 1** 에 있다.

Table 1 Pad printing process condition for each layer.

Layer	Printing Condition	Pattern Height	Remark
Bottom electrode	1 time printing 4 minutes curing at 120 °C	1.4 μm	1.1 Ω/cm
Dielectric	5 times printing 2 minutes drying at 120 °C	4.6 μm	
Phosphor	5 times printing 2 minutes drying at 120 °C	2.2 μm	
Transparent electrode	5 times printing 3 minutes drying at 120 °C	3.5 μm	8~20 $\text{k}\Omega/\text{cm}$
Bus electrode	5 times printing 4 minutes curing at 120 °C	5.77 μm	2~6 $\text{k}\Omega/\text{cm}$

위의 프린팅 공정조건들을 사용하여 프린팅한 인쇄 결과에 전압을 가하여 실험한 결과의 사진이 **Fig.5** 에 있다. 본 실험에서는 하부전극은 실버잉크를 사용하였으며, 1 번의 인쇄만으로도 충분한 전도도를 얻을 수 있었다.



Fig. 5 EL display lamp pad-printed on a PEN film.

후 기

이렇게 확정된 패드 프린팅 공정조건을 이용하여 80mm 정도의 곡률반경을 가진 그릇에 프린팅을 수행하였다. Fig.6 에서 보면, (a)는 램프를 켜지 않은 상태이며, (b)는 램프를 켜 장면을 보여준다. 이때 사용한 전압은 교류전압 200 V 이며, 주파수는 1kHz를 사용하였다.

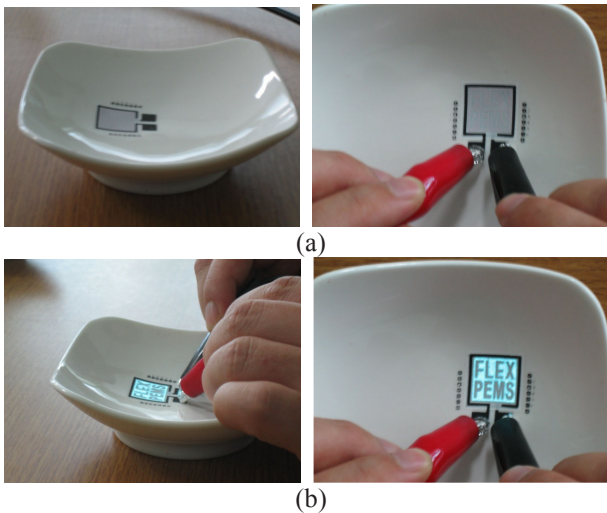


Fig.6 EL display lamp pad-printed on a dish having radius of curvature 80mm: (a) Off state; (b) On state (AC 200V, 1kHz).

4. 결 론

본 연구에서는 곡면에 인쇄가 가능한 패드 프린팅 공정을 이용하여, 곡면 상에 PEMS 디바이스를 구현하였다. 첫째, 패드 프린팅 공정조건에 대한 연구를 통해 35 μ m 급의 인쇄 선폭을 인쇄하였으며, 패턴의 왜곡현상에 대한 연구를 통해 평면상에 패턴왜곡이 5 μ m 이내로써, 측정의 오차 범위 내에 있다는 것을 확인할 수 있었다. 둘째, EL 디스플레이 램프의 구현을 위하여, 패드 프린팅 공정조건을 연구하였다. 각 잉크 레이어의 인쇄 공정과 잉크의 개질에 대한 연구를 수행하였으며, 이의 검증을 위해 PEN 필름 위에 EL 디스플레이 램프를 구현하였다. 셋째, 곡면상에 구현하기 위해 80mm 정도의 곡률반경을 가진 그릇에 패드 프린팅 기법을 사용하여 EL 디스플레이 램프를 구현하였다.

패드 프린팅 공정을 이용하여 곡면상에 인쇄하는 기술은 향후 인쇄전자기술의 발전과 더불어 여러가지 다양한 인쇄전자제품의 생산기술로써 성장세를 이룰 수 있을 것으로 기대한다.

이 논문은 2008 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 국제과학기술협력재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. M60602000002-06E0200-00210).

참고문헌

- (1) W.-X. Huang, S.-H. Lee, H. W. Kang, H. J. Sung, Taik-Min Lee, Dong-Soo Kim, 2008, "Simulation of liquid transfer between separating walls for modeling micro-gravure-offset printing," *International Journal of Heat and Fluid Flow*, Vol.29, pp.1436-1446.
- (2) Taik-Min Lee, Tae Goo Kang, Jeong Soon Yang, Jeongdai Jo, Kwang-Young Kim, Byung-Oh Choi, Dong-Soo Kim, 2008, "Gap Adjustable Molten Metal DoD Inkjet System with Cone-Shaped Piston Head," *Journal of Manufacturing Science and Engineering - Transactions of the ASME*, Vol.130, No.3, 031113.
- (3) Taik-Min Lee, Tae Goo Kang, Jeong Soon Yang, Jeongdai Jo, Kwang-Young Kim, Byung-Oh Choi, Dong-Soo Kim, 2008, "Drop-on-demand Solder Droplet Jetting System for Fabricating Micro Structure," *IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing*, Vol.31, No.3, pp.202-210.
- (4) Taik-Min Lee, Yong-Jung Choi, Su-Yong Nam, Choon-Woo You, Dae-Yup Na, Hyeon-Cheol Choi, Dong-Youn Shin, Kwang-Young Kim, Kwang-Il Jung, 2008, "Color Filter Patterned by Screen Printing," *Thin Solid Films*, Vol.516, Iss.21, pp.7875-7880.
- (5) Taik-Min Lee, Dong-Youn Shin, Yong-Sung Kim, Choong-Hwan Kim, Jeongdai Jo, Byung-Oh Choi, Dong-Soo Kim, "Flexible EL Display Printed on a Paper," *IMID*, Daegoo, Korea, 2007 Aug.