

# 잉크젯 프린팅 기술을 이용한 나노 금속잉크의 인쇄회로기판용 미세배선 형성

서상훈<sup>#</sup>, 박성준<sup>\*</sup>, 정재우<sup>\*</sup>

## Micro Patterning of Nano Metal Ink for Printed Circuit Board Using Inkjet Printing Technology

Shanghoon Seo<sup>#</sup>, Sung-Jun Park<sup>\*</sup> and Jaewoo Joung<sup>\*</sup>

### ABSTRACT

Inkjet printing has become one of the most attractive manufacturing techniques in industry. Especially inkjet printing technology will soon be part of the PCB (Printed Circuit Board) fabrication processes. Traditional printing on PCB includes screen printing and photolithography. These technologies involve high costs, time-consuming procedures and several process steps. However, by inkjet technology manufacturing time and production costs can be reduced, and procedures can be more efficient. PCB manufacturers therefore willingly accept this inkjet technology to the PCB industry, and are quickly shifting from conventional to inkjet printing. To produce the printed circuit board by the inkjet technology, it must be harmonized with conductive nano ink, printing process, system, and inkjet printhead. In this study, micro patterning of conductive line has been investigated using the piezoelectric printhead driven by a bipolar voltage signal is used to dispense 20-40  $\mu\text{m}$  diameter droplets and silver nano ink which consists of 1 to 50 nm silver particles that are homogeneously suspended in an organic carrier. To fabricate a conductive line used in PCB with high precision, a printed line width was calculated and compared with printing results.

**Key Words:** Inkjet printing (잉크젯 인쇄), Micro patterning (마이크로 패터닝), Printed circuit board (인쇄회로기판), Conductive nano ink (전도성 나노잉크), Conductive line (전도성 배선)

### 1. 서론

최근 들어 많은 연구가 진행되고 있는 잉크젯 인쇄기술은 전통적인 제조기술보다 비용과 유지비 측면에 있어 많은 효율성을 가져올 것으로 기대되고 있다.<sup>1</sup> 인쇄회로 기판제조에서 제작단가를 낮춰 수익을 얻기 위해서는 마스크 제작 및 포토리소그

래피 등 기존의 인쇄회로기판 제조방법의 극적인 변화를 필요로 한다. 포토 마스크 제작이 필요없는 잉크젯 인쇄기술은 기판용 적층판에 동박을 에칭하여 전자회로를 형성하는 기존의 기판 제조기술을 대체할 수 있다.<sup>2,3</sup> 동박을 에칭하여 제조하는 공정은 이미 잘 알려진 바와 같이 동박적층판 (CCL: Copper Clad Laminate), 포토리소그래피(photo

☞ 접수일: 2006년 7월 18일; 게재승인일: 2007년 2월 28일

# 교신저자: 삼성전기 중앙연구소 eMD Lab

E-mail: tankbaby.seo@samsung.com Tel. (031) 210-6583

\* 삼성전기 중앙연구소 eMD Lab

lithography), 에칭(etching), 탈기(stripping), 수세(rinsing), 건조(drying) 공정을 포함한다. 종래의 인쇄회로기판의 제조공법은 에칭공정을 이용하여 절연 기판상에 선택적으로 금속배선을 형성하였다. 이러한 기판 제조공정들은 많은 원자재를 소모할 뿐만 아니라 상당량의 화학 오염 물질들 발생시킨다. 또한, 인쇄회로기판을 제조하는 방법은 마스크의 사용과 복잡한 제조공정 단계 때문에 급속히 변화하는 최신기술변화에 대응하기 힘들다.<sup>4,5</sup> 금속배선형성에 있어서 잉크젯 인쇄기술을 이용하여 얻을 수 있는 최대의 장점은 원하는 위치에 정확히 나노 금속잉크를 탄착 시킬 수 있다는 점이며, 이러한 이유로 제조공정 시 화학물질의 사용량을 줄일 수 있고, 유리기판이나 폴리이미드(polyimide)와 같은 기재 위에 간단히 미세배선을 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다. 더욱이, 잉크젯 인쇄기술은 비접촉 방식으로 컴퓨터 기반시스템과 연계되어 그래픽 소프트웨어를 이용하여 아주 간단한 방법으로 직접인쇄를 수행할 수 있으며, 대면적 인쇄회로배선 구현도 가능하다.<sup>6</sup>

## 2. 잉크젯 프린팅 원리

### 2.1 압전구동 잉크젯 헤드

압전 소자(piezoelectric)는 압전 현상을 나타내는 소자이다. 압전 현상이란 특정한 소재의 결정판에 일정 방향에서 압력을 가하면 외력에 비례하는 전기적 신호가 발생하는 현상이며, 반대로 전기적 신호를 입력하면 변형이 발생하는 가역적 과정이다.

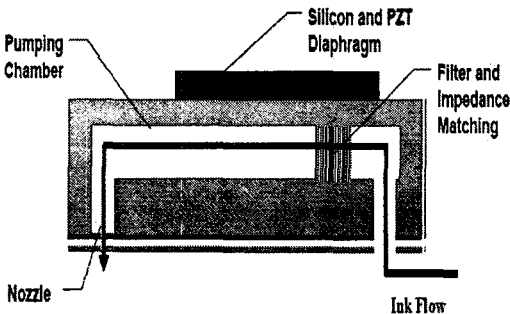


Fig. 1 Cross section of inkjet printing head<sup>7</sup>

이러한 압전 소자를 이용한 잉크젯 헤드에 관

한 모식도를 Fig. 1에 나타내었다. 잉크젯 헤드는 압전 소자, 멤브레인(membrane), 잉크를 저장하는 챔버(chamber), 잉크를 토출하는 오리피스(orifice) 혹은 노즐(nozzle)로 구성되어 있다. 전압 인가에 따라 압전 소자가 수축 혹은 팽창되며, 이때 챔버 내의 잉크가 오리피스 혹은 노즐을 통하여 토출된다.

잉크젯 헤드에서 액적이 토출되는 순서는 전기장을 인가함에 따라 압전 소자가 확장되어 챔버 내 잉크가 충전되는 단계와 압전 소자가 유지되는 초기 토출 단계, 노즐에서 미세 액적이 토출되는 단계로 이루어진다.

제어 인자로는 전압, 전압 인가 시간, 구동 파형, 토출 주파수, 매니스커스(meniscus)압력 등이 있다. 토출되는 액적의 주파수는 이송 스테이지의 이송속도와 연관되어 결정되며, 이송속도는 0.1-1m/sec의 범위로 작동한다.

### 2.2 액적토출

전기적인 신호에 의해 압전 소자가 구동하여 액적이 토출되는 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 압전 소자의 구동력에 의하여 노즐로부터 토출된 잉크는 Fig. 2의 상단부와 같이 막대형으로 신장되었다가 구 형태로 액적을 형성한다. 신장된 액적은 경우에 따라 하나의 구를 형성하기도 하고 한 개의 주 액적(main drop)과 이어지는 위성 액적(satellite)을 형성하기도 한다. 액적의 형태나 크기는 잉크의 점도와 표면장력에 크게 영향을 받으며 일반적으로 토출 가능한 점도 범위는 1-20 cPs 이고, 표면장력은 10-50 dyne/cm 정도이다.

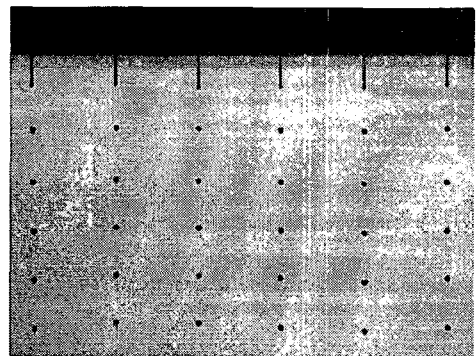


Fig. 2 Stroboscopic image of ejected droplet

토출 후 액적 관찰을 통해 액적 크기, 부피, 속도, 직진성, 위성 액적의 끊어지는 시간(break-off time) 등 여러 가지 정보를 얻을 수 있다. 헤드 구동 파형은 헤드 구동부에서 생성되며, LED 스트로보(strobe)와 트리거(trigger) 신호로 연동시킨다. CCD (Charge-Coupled Device) 카메라를 통해 촬영된 액적 이미지를 자체 개발한 비전 측정 소프트웨어를 이용하여 다양한 항목을 측정하였다.

### 2.3 토출 직진성

헤드의 노즐을 통해 토출된 액적의 직진성은 인쇄 품질에 중요한 영향을 미친다. 액적 속도가 높을수록 직진성이 좋아지는 경향을 보이지만, 기판에 따라서 기판에 탄착 시 액적이 형성되지 못하고, 튀는 문제가 발생할 수도 있다. 100 pl.의 액적에서는 20 m/sec 이상의 조건에서 튀는 현상이 발견되었다. 이를 방지하기 위하여 실제 인쇄 시에는 구동파형 조절을 통해 5 - 10 m/s 이내에서 위성 액적(satellite)이 발생하지 않는 조건에서 토출이 가능하도록 시험을 진행하였다.

그리고 Fig. 3 에서 확인할 수 있는 바와 같이 노즐 끝에서의 잉크의 젖음성(wettability)에 의해 잘못된 방향으로 토출되는 경우도 많이 발견된다. 노즐에서 기판까지 거리가 짧으면 짧을수록 직진성은 상대적으로 높아진다. 적용되는 기판에 따라 다르지만, 잉크젯 시스템에서 노즐과 기판 간 거리는 일반적으로 1 mm 이하로 권장되며, 보다 정밀한 탄착을 형성하기 위해서는 액적의 토출 직진 방향 대비 기올기성분 또한 액적의  $\pm 0.7\%$  이내로 유지되어야 한다. 노즐에서의 속도 균일성도 인쇄품질에 큰 영향을 주는 인자이다. 예를 들면, 속도가  $10 \pm 1$  m/sec 이고, 기판 이송속도가 20 ips(inch per second), 노즐과 기판거리가 1.0 mm 일 때, 탄착오차는 0-10  $\mu$ m 가량 발생한다.

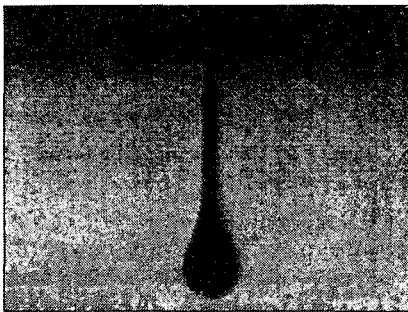
## 3. 실험

### 3.1 잉크

전도성 잉크에 포함된 은(Ag) 나노 입자의 크기는 약 30-50 nm 이며, 미국 Cabot사 AG-IJ-G-100-S1 잉크를 사용하였다. 잉크의 용제는 입자를 분산시키는 Capping molecule의 종류에 의해 결정된다. 용제를 물이나 알코올 등을 사용한 잉크를 수계잉크, 오일류 등을 사용한 잉크를 비수계잉크라고 한다. AG-IJ-G-100-S1 는 수계잉크이며 전도성 잉크의 금속함유량은 2.56 vol%로 조성되어 있으며, 점도와 표면장력은 각각 14.4 cPs (25℃기준), 31 dyne/cm (25℃기준) 이다. 첨가물로는 에틸렌글리콜(ethylene glycol)이 미량 함유되어 있다. 액적이 탄착되는 기판은 듀폰의 폴리이미드 필름(trade name of Kapton HN grade)을 사용하였으며, 인쇄 전 미리 표면세정제(95% ethanol and 5% methanol mixture)를 사용하여 세정을 한 후 인쇄를 진행하였다.

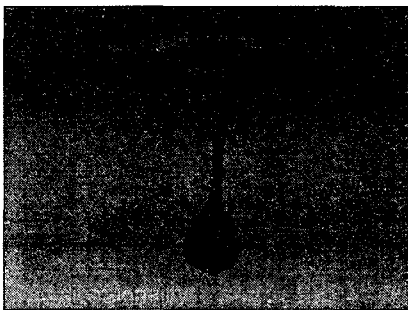
### 3.2 프린팅 시스템

인쇄 시 사용한 잉크젯 프린팅 시스템은 Fig. 4 에 나타내었고, 주요사양을 Table1 에 정리하였다. 인쇄 및 헤드 구동부로 구성된 iTi 사의 프린팅 시스템, 이송기능의 XY 스테이지와 액적측정을 위한 부가장치로 구성되어 있다. 헤드 토출시스템은 DoD(Drop on Demand)방식으로 인쇄 가능한 이미지 파일을 제공하며, 헤드의 토출 주파수와 동기하여 XY 방향으로 이동하면서 인쇄를 실시한다. 사용



Good directionality

(a) ink spreads on the head surface



Bad directionality

(b) ink spreads on the wet surface

Fig. 3 Directionality of drops

된 이송스테이지의 반복정밀도는  $\pm 1 \mu\text{m}$  이며,  $0.5 \mu\text{m}$  해상도의 리니어스케일(linear scale)을 장착하고 있다. XY 스테이지 시스템은 모션컨트롤러를 이용하여 프린터 헤드의 정확한 위치를 제어할 수 있는 성능을 제공한다.

Table 1 iTi printing system specification

Jetting Parameters	Set points
Pulse voltage	80 - 100 V
Pulse frequency	2 - 4 KHz
Drop volume	10 - 30 pl
Nozzle diameter	35 $\mu\text{m}$
Printing area	250 X 250 mm
Printing speed	300 mm/s



Fig. 4 Printing system

또한 토출되는 액적을 기상에서 관찰할 수 있는 액적관찰 시스템, 매니스커스 제어를 위한 공압 시스템, 노즐 별로 구동신호를 인가하는 개별노즐 제어 시스템 등의 부가장치들로 구성되어 있다.

### 3.3 샘플 제작

실험에 사용된 잉크젯헤드는 128 개 노즐로 구성되어 있으며, 노즐 간 간격은  $508 \mu\text{m}$ , 노즐직경은  $35 \mu\text{m}$  이다. 토출액적 크기는 약 30 pl. 이며, 헤드의 토출가능한 점도범위는 8-20 cPs 이다. 헤드는 XY 방향의 이송부에 장착되며, 헤드에서 토출된 후 기재 위에 탄착된 금속잉크는  $250 \text{ }^\circ\text{C}$  에서 30 분간 열처리를 통하여 소성하였다. 소성이 완료된 샘플은 사양에 적합한 배선 폭, 두께를 형성하며 일정한 전도도를 지닌 배선으로 완성된다.

### 3.4 측정

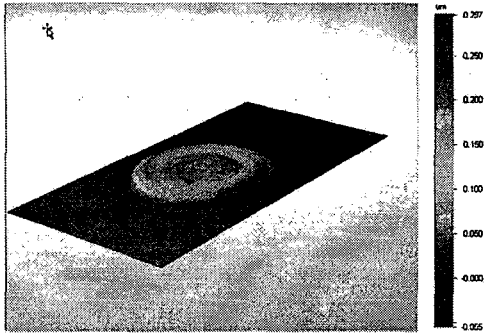
인쇄된 배선의 치수는 공구현미경(Optiphot 150 by Nikon Co.)을 이용하여 측정하였고, 배선의 형상은 3D 광학분석기(Wyko NT1100 by Veeco Co.)를 이용하여 분석하였다. 제작된 배선의 전도도 측정은 디지털 멀티미터(34401A by Agilent Co.)를 사용하였으며, 비저항은 측정된 저항과 배선의 단면적으로부터 계산하였다.

## 4. 결과 및 고찰

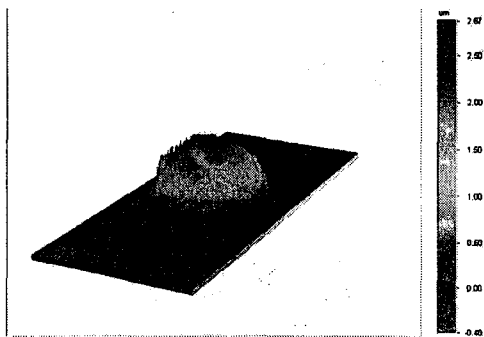
### 4.1 전도성 인쇄배선 제작

압전 구동방식의 헤드를 사용하여 나노 금속 잉크를 토출하는데, 노즐에서 토출된 액적은 기판에 도달하여 일정크기로 퍼져서 점을 형성한다. 이러한 퍼짐성은 기판과 잉크의 표면에너지 차이에 의해서 발생한다. 실제로 노즐을 통해 노출된 30 pl. 의 액적이 공기 중에서  $39 \mu\text{m}$ 의 크기이지만, 기판에 탄착 시에는 표면상태에 따라 70-120  $\mu\text{m}$ 까지 퍼지게 된다. 잉크와 기판의 표면에너지를 매칭시키는 것이 중요하며 잉크의 조성변화, 기판표면처리 등에 의해 가능하다. 기판 표면처리에 의한 젖음성 및 접착성 제어가 매우 중요하다. 잉크와 기판의 표면 에너지에 따라 잉크의 젖음성이 결정되는데 적절한 표면처리는 미세배선 및 인쇄배선과 기판 사이의 계면 접착력에 큰 영향을 미친다. Fig. 5(a)에서 폴리이미드 위에 비수계 잉크 토출 시  $39 \mu\text{m}$ 의 액적이 직경  $130 \mu\text{m}$ 의 점으로 퍼지는 것을 관찰하였다. Fig. 5(b)에서는 폴리이미드 위에 수계 잉크 토출 시  $39 \mu\text{m}$ 의 액적이 직경  $100 \mu\text{m}$ 의 점이 되어 Fig. 5(a)의 비수계 잉크에 비하여 퍼짐성이 작아 미세배선 형성에 유리하다.

비수계 잉크도 불소계 계면활성제나 플라즈마 처리(plasma treatment)를 통하여 표면 개질을 할 경우 인쇄된 액적의 반경이  $100 \mu\text{m}$ 로 줄어드는 것을 확인 할 수 있었다. 인쇄된 점의 폭은  $100 \mu\text{m}$ 이었으며, 높이는 평균  $0.3 \mu\text{m}$ 이었다. PCB배선 등에는 전기 전도도를 위하여  $10 \mu\text{m}$  이상의 배선 높이가 필요하다. 이를 위하여는 잉크 내 금속함량을 높이거나 반복인쇄방법이 있는데, 현재 사용하는 잉크는 금속함량은 2.56 vol%로 직경  $100 \mu\text{m}$ 의 인쇄 점에서 평균 높이  $0.3 \mu\text{m}$ 이었으나, 금속함량을 11.4 vol%인 잉크를 사용할 때는 동일 직경에서 평균 높이가  $3 \mu\text{m}$ 로 증가함을 확인하였다.



(a) Oil-base ink printing on polyimide



(b) Alcohol-base ink printing on polyimide

Fig. 5 Three dimensional surface profiles of printed single drop

조건에 따라서 탄착된 점의 폭, 높이, 형상이 틀려짐을 알 수 있다. 이와 같이 기판 표면처리에 의한 젖음성 및 접착성 제어가 매우 중요하다. 잉크와 기판의 표면 에너지에 따라 잉크의 젖음성이 결정되는데 적절한 표면처리는 미세배선 및 인쇄배선과 기판 사이의 계면 접착력에 큰 영향을 미친다. 기판표면을 처리하는 방법에는 코로나 방전(corona discharge), 플라즈마 처리, 화학코팅(chemical coating) 등 물리적, 화학적 표면개질법이 있다.

단면방향으로 해상도에 따른 배선의 결과를 확인하기 위해 배선을 제작한 결과는 Fig. 6에 나타내었다. 액적의 중첩은 기판에서 액적 퍼짐성과 인쇄해상도에 의해 결정된다.

인쇄해상도는 dots per inch (DPI)로 표현되는데, Fig. 6에서 인쇄방향으로 100 DPI, 단면방향으로 500 DPI 인쇄된 결과를 보여주고 있다. 액적의 평균크

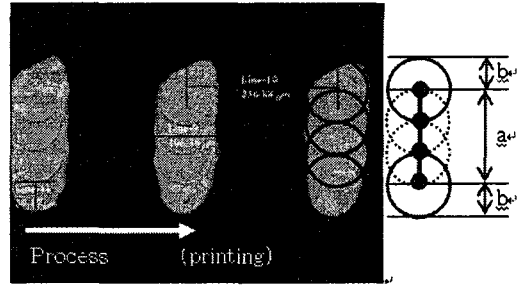


Fig. 6 Printed dots designed 100 DPI in x direction and 500 DPI in y direction

기는 약 100  $\mu\text{m}$  이고, 액적 간의 거리는 DPI에 의해 결정된다. 100 DPI는 액적 간의 거리가 254  $\mu\text{m}$  이고, 500 DPI는 액적 간의 거리가 50  $\mu\text{m}$  이다. 따라서, 만약 액적의 크기를 알고 있다면, 인쇄된 배선의 크기는 DPI와 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$\text{width or length} = (n - 1) \times DP + \text{Diameter}$$

Where n is the number of pixels, DP is the dot pitch which is defined by 25400  $\mu\text{m}/\text{DPI}$ , and diameter is the diameter

인쇄방향으로 탄착 액적의 크기가 100  $\mu\text{m}$  인데 비하여 100 DPI에서의 점과 점 거리는 250  $\mu\text{m}$ 로 중첩이 되지 않아 선을 형성하지 못한다. 반면 단면방향으로 500 DPI로 점과 점 사이는 50  $\mu\text{m}$ 로 단일 점들간의 충분한 중첩이 발생하는 것을 확인하였다. 인쇄방향으로 100 DPI를 단면방향으로 500 DPI로 배선을 형성하여 인쇄된 결과를 보여주고 있다. 액적 크기가 100  $\mu\text{m}$ , 500 DPI의 액적간 거리가 50  $\mu\text{m}$ , 단면방향으로 총 4개의 액적을 형성하였으므로 250  $\mu\text{m}$  폭을 가지는 배선이 됨을 확인하였다. 실험결과는 인쇄방향으로 배선형성을 하는 동시에 단면방향으로 해상도를 제어 하면 자유롭게 원하는 크기의 배선을 형성할 수 있음을 알 수 있다.

다음으로 Fig. 7에서는 인쇄방향의 해상도에 따른 인쇄결과를 보여주고 있다. (a)에서 (f)까지는 순서대로 200-450 DPI의 해상도 변화에 따른 인쇄배선의 형상을 나타낸다. (a)에서 (d)까지 탄착액적의 크기가 55-70  $\mu\text{m}$ 일 때 200-350 DPI 해상도에서

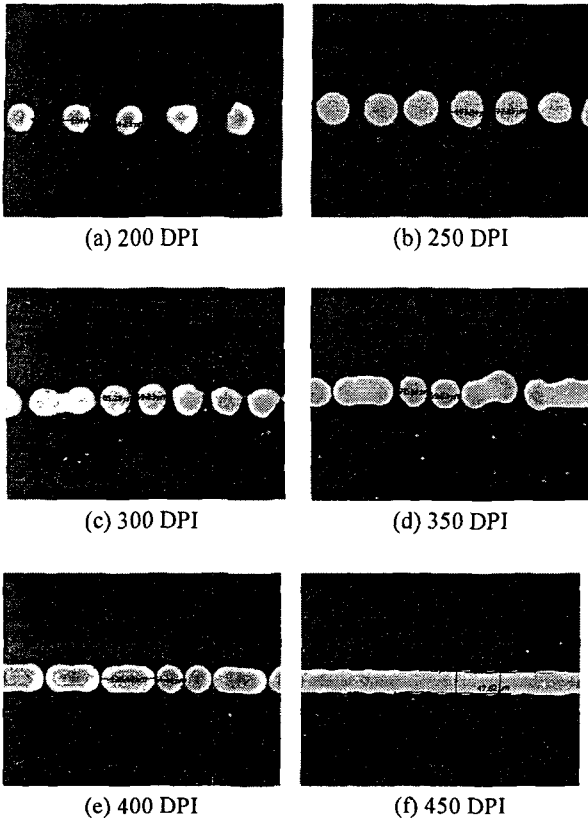


Fig. 7 Line pattern with resolution

는 배선을 형성하지 못한다. 이는 점과 점 사이의 거리가 72-127  $\mu\text{m}$ 로 점과 점이 중첩이 되지 않아서 배선을 형성 하지 못하고 있다. (e)에서는 DPI가 400으로 증가함에 따라 점과 점 사이가 63  $\mu\text{m}$ 로 가까워 지지만 완전히 중첩이 되지 않아 배선을 형성하지 못하는 형태이다. (f)에서는 DPI가 450일 때 점과 점 사이가 56  $\mu\text{m}$ 이기 때문에 중첩되어 매끈한 선을 형성함을 알 수 있다. 따라서, 인쇄배선으로 사용하기 위한 최적해상도는 450 DPI 이상이 되어야 됨을 확인할 수 있다. 그러나, 중첩이 과다할 경우 선폭이 증가하고 금속입자의 과대 적층에 의한 배선 높이 및 기능성의 문제가 있을 수 있으므로 여러 상황들을 종합적으로 고려하여 인쇄 해상도를 결정해야 한다. 이처럼 인쇄배선을 형성할 때는 액적의 크기, 기관의 퍼짐성을 고려한 단일 점의 크기와 인쇄해상도에 따른 점과 점 사이의 거리를 고려하여 점들간에 충분한 중첩이 있

도록 설계해야 매끈한 선을 형성 할 수 있다.

단일 점의 중첩에 의하여 선이 형성되듯이 선들의 중첩에 의하여 면이 형성된다. 인쇄방향의 DPI가 선의 형성에 영향을 미치고, 단면방향의 DPI가 면의 폭에 영향을 미친다. Fig. 8에서는 인쇄방향으로 500 DPI, 단면방향으로 500 DPI의 인쇄이미지를 나타낸다. Fig. 8(a)에서는 2개의 선의 중첩으로 정의된 면은 폭이 150  $\mu\text{m}$ 로 예상(단일선 폭 100  $\mu\text{m}$ 과 선간 거리 50  $\mu\text{m}$ )되며, 실제 측정치는 155  $\mu\text{m}$ 로서 거의 유사하다. 그리고, Fig. 8(b)에서는 4개선의 중첩으로 정의된 면은 폭이 250  $\mu\text{m}$ 로 예상(단일선 폭 100  $\mu\text{m}$ 과 3개의 선간 거리 50  $\mu\text{m}$ )되며, 실제 측정된 폭은 260  $\mu\text{m}$ 로서 거의 유사하다. 이상의 결과로부터 단일 점(선)의 폭과 DPI로부터 구해지는 점(선)간 거리로부터 인쇄이미지의 치수를 예측할 수 있으며, 나아가 배선이미지를 설계할 수 있음을 확인할 수 있다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 산업용 잉크젯의 경우 기능성 입자를 인쇄하고, 기능성 입자의 양에 따라 인쇄된 이미지의 기능성이 결정되기 때문에 인쇄 이미지의 정확한 설계 및 구현이 매우 중요하다.

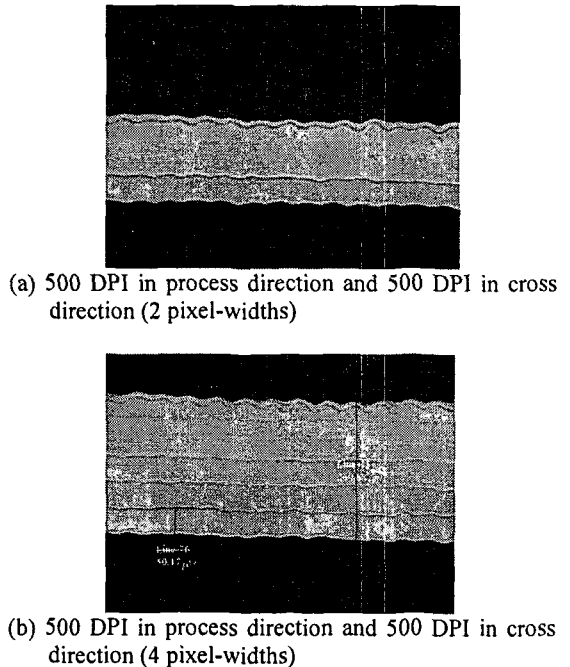
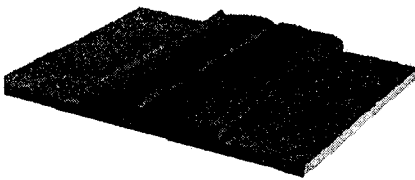
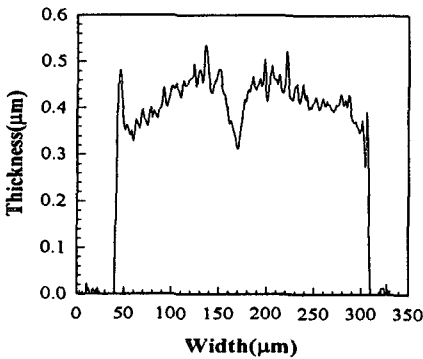


Fig. 8 Large area patterns

은 나노 잉크를 잉크젯으로 인쇄하여 제작한 배선의 형상은 Fig. 9 에 나타내었다. 300  $\mu\text{m}$ 의 폭을 500 DPI의 해상도로 1 회 인쇄한 후 250  $^{\circ}\text{C}$ , 30 분간 소성하였다. Fig. 9(a)는 3D 광학분석기로 측정 한 배선의 3 차원 형상이다. 선들의 증착에 의해 배선 폭의 크기가 증가하였으며, 가운데의 띠는 움푹 패인 형상임을 확인할 수 있었다. 이는 인쇄된 액체의 잉크 중 solvent 가 고온에서 증발을 할 때 증발속도가 인쇄배선의 위치에 따라 달라 내부의 유동이 생기기 때문에 생기는 현상이다.



(a) Topographical image of fabricated metal line



(b) Surface profile of Cross section

Fig. 9 2D and 3D surface profiles of printed patterns

Table 2 Ink Property

Ink Property	Estimated
Viscosity	14.4 cPs
Surface tension	31 dynes/cm
Solid loading	2.56 vol%
Density	1.24 g/cc
Vehicle	Solvent based

Fig. 9(b)는 Fig. 9(a)에서 얻은 데이터로부터 추

출한 단면의 profile 을 나타낸다. 500 DPI 로 1 회 인쇄하였을 때 대략 인쇄배선의 두께는 0.4  $\mu\text{m}$  정도로 매우 얇은 것을 알 수 있었다. 실험에 사용 된 전도성 은(Ag) 잉크의 물성치는 Table 2 에 나타내었다.

#### 4.2 전기전도도 측정

잉크젯 배선용 잉크로는 은 잉크를 가장 많이 사용한다. 은 잉크는 비저항이 1.6  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 로 금속 중에서 저항이 가장 낮다. 그리고 실온에서 산화된 은이 200  $^{\circ}\text{C}$ 이상으로 가열하면 자연 환원되어 금속 광택을 다시 찾는 특징이 있다. 소성 거동 실험은 실제 기판에의 적용성을 고려하여 온도를 150  $^{\circ}\text{C}$ , 200  $^{\circ}\text{C}$ , 250  $^{\circ}\text{C}$ 까지 실시하였다. 은 잉크의 경우 154  $^{\circ}\text{C}$ 에서 Capping 하는 유기물의 탈착 공정이 시작되어 전기 전도도를 띄기 시작하였다. 250  $^{\circ}\text{C}$ 에서 소성한 경우 시작부터 5 분까지 급격하게 비저항이 떨어져서, 20 분 후 4.2  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ 정도를 얻었다. 이는 순수 은 비저항(1.6  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )에 비해 약 2.6 배 수준이다. 잉크의 소성시간과 온도에 따른 잉크젯 인쇄 배선의 비저항을 측정한 결과는 Fig. 10 에 나타내었다.

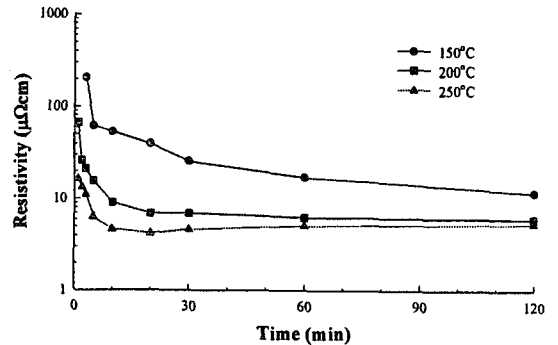


Fig. 10 Resistivity of printed samples with sintering temperature and time

#### 4.3 실기판 인쇄

인쇄회로에 있어서 잉크젯 기술의 대면적 인쇄 적용가능성을 실험하기 위해 폴리이미드 상에 금속 나노잉크를 토출하여 실 기판회로를 형성하여 보았다. Fig. 11 은 휴대폰에 실제 사용되는 기판 회로를 잉크젯 인쇄기술을 이용하여 금속인쇄 배선을 형성한 결과이다.

제작공정은 실기판 회로정보(gerber file)를 인쇄가 가능한 이미지 파일로 변환하고, 변환된 이미지 파일은 컴퓨터 기반시스템과 연계하여 간단한 방법으로 폴리이미드 위에 금속 나노잉크를 직접 인쇄하였다. 인쇄가 완료된 배선을 열처리하여 전기전도도를 갖는 실 기판회로를 완성하였다. 이러한 대면적 인쇄회로배선을 실제로 구현함으로써 잉크젯 기술을 이용한 인쇄배선이 산업용 전자기기에 적용 가능함을 확인 할 수 있었다.

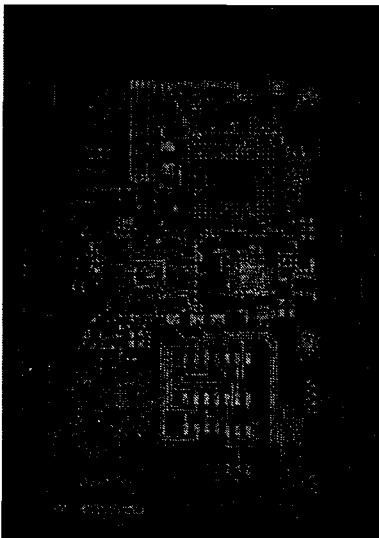


Fig. 11 Actual printed circuit board for mobile phone by inkjet printing

## 5. 결론

본 연구에서는 압전 구동방식의 잉크젯 헤드로 나노 금속잉크를 수·수십 pl. 의 미세 액적 형태로 토출하여 미세 전도성 배선을 구현하였다. 인쇄결과 노즐에서 토출된 액적은 기판에 도달하여 일정 크기로 퍼져 점을 형성하고, 액적의 크기, 잉크의 특성, 인쇄 해상도에 의하여 선폭이 크게 영향을 받는다는 사실을 확인하였다. 인쇄된 금속인쇄 배선의 전도도는 온도에 따라 측정하였으며, 250 ℃, 20 분 소성 후 측정된 배선의 전기전도도는 4.2  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$  이다. 이 수치는 순수 은의 비저항(1.6  $\mu\Omega\cdot\text{cm}$ )에 비해 약 2.6 배 수준으로 실제 기판에서 신호전송용 배선으로 적용 가능하다. 인쇄회로 기판 제작에서 잉크젯 기술의 대면적 인쇄 적용가능성

을 실험하기 위해 폴리이미드 상에 금속 나노잉크를 토출하여 실 기판회로를 형성하였다.

## 참고문헌

1. Sirringhaus, H. and Shimoda, T., "Inkjet Printing of Functional Materials," MRS Bulletin, Vol. 28, No. 11, pp. 802-506, 2003.
2. Shimoda, T., Morii, K., Seki, S. and Kiguchi, H., "Inkjet Printing of Light-Emitting Polymer Displays," MRS Bulletin, Vol. 28, No. 11, pp. 821-827, 2003.
3. Murata, K., "Super fine wiring by inkjet printing" Microprocesses and Nanotechnology Conference, Digest of Papers, pp. 24-25, 2004.
4. Lee, S. W., Kim, H. C., Kuk, K. and Oh, Y. S., "A Monolithic Inkjet Print Head: Domjet," Sensors and Actuators, Vol. 95, Issues 2-3, pp. 114-119, 2002.
5. Sirringhaus, H., Kawase, T., Friend, R. H., Shimoda, T., Inbasekaran, M., Wu, W. and Woo, E. P., "High-resolution inkjet printing of all-polymer transistor circuits," Science, Vol. 290, No. 5499, pp. 2123-2126, 2000.
6. Cho, B. H., Jeong, H. D. and Jeong, H. W., "Development of Build-up Printed Circuit Board Manufacturing Process Using Rapid Prototyping Technology and Screen Printing Technology," Journal of the KSPE, Vol. 4, No. 4, pp. 130-136, 2003.
7. Creagh, L., "Novel 3-D MEMS Approach to Printing on Flexible Substrates," USDC's 4th Annual Flexible Displays & Microelectronics Conference, 2005.