

## 차세대 평판디스플레이용 잉크젯 프린팅 기술

최근 디스플레이의 새로운 시장 개척과 세계시장에서 우리의 기술 경쟁력을 더욱 강화하기 위해서는 가격 경쟁력이 있는 평판디스플레이의 새로운 제조공법이 필요하다. 이 글에서는 평판디스플레이의 가격 경쟁력 확보차원에서 디스플레이 및 새로운 프린팅 기술의 경향에 대하여 검토하고, 디스플레이 분야에서 잉크젯 프린팅 기술의 응용 가능 예와 함께 잉크젯 프린팅 기술의 고려 사항에 대하여 소개하고자 한다.

디스플레이는 정보화시대 및 멀티미디어시대에 필수적이다. 최근 평판디스플레이(FPD : Flat Panel Display)의 비약적인 발전에 힘입어 디스플레이산업의 시장 규모는 반도체산업의 시장 규모를 추월하는 성장을 보이고 있다. 디스플레이산업의 특징은 응용제품의 다양성으로 신규시장 창출이 광범위한 산업이고, 대규모 투자가 요구되는 반면, 산업 전후방산업에 미치는 영향력이 매우 큰 산업으로서 우리나라 경제를 견인할 10대 성장동력 사업으로 꼽히고 있다. TFT-LCD와 PDP를 필두로 OLED와 FED 등도 차세대 디스

스플레이로서 기대를 모으고 있다. 디스플레이 발전 동향을 보면, 경량화, 슬림화, 대형화를 추구하던 1세대에서는 CRT와 FPD가 함께 주축을 이루면서 TV, 데스크 탑 모니터, 노트북, PC 모니터 등의 제품이 주축을 이루었다. 2세대에서는 계속 포터블화, 초경량화, 3세대에서는 가상현실화 등의 방향으로 발전하고 있다. 한편 평판 디스플레이는 대화면의 물결이 강하게 일어나고 있으며, 최종 목표인 벽걸이 HDTV를 실현하기 위해 LCD, PDP, OLED 등의 패널 방식이 서로 경합을 벌이고 있다. 이 글에서는 평판디스플레이의 가격 경쟁력 확보차원에서

디스플레이 및 새로운 프린팅 기술의 경향에 대하여 검토하고, 디스플레이 분야에서 잉크젯 프린팅 기술의 응용 가능 예와 함께 잉크젯 프린팅 기술의 고려 사항에 대하여 소개하고 평판디스플레이산업에서 잉크젯 프린팅 기술의 위치를 파악하고자 한다.

### 디스플레이와 프린팅 기술

프린팅기술의 정의를 다소 인위적이지만 필요한 구성 기술을 고려하여 살펴보면, 프린팅기술이란 필요한 소재를 특정 인쇄법으로 일정 기판 위의 특정 위치에

류 병 환 : 한국화학연구원 화학소재팀, 책임연구원  
최 영 민 : 한국화학연구원 화학소재팀, 책임연구원

E-mail : bnyu@kric.re.kr

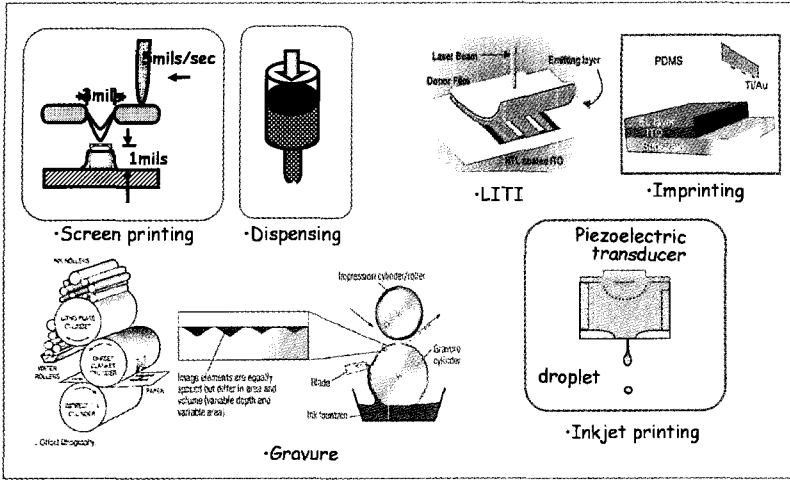


그림 1 프린팅 기술의 종류

원하는 형태로 옮겨 놓는 일종의 패터닝 기술이라고 정의할 수 있다. 프린팅기술의 사용 가능한 여부는 패터닝의 해상도 및 모양, 패널 크기 등에 의존한다. 또한 소재 기능은 프린팅기술의 가능 여부 및 소자 기능을 결정짓는 중요한 요소이고, 특정 위치에 원하는 형태와 해상도를 갖는 패터닝 구현기술은 인쇄 장비의 메카트로닉스적인 요소와 깊은 관계가 있다. 하지만, 제품의 기능 구현과 가격경쟁력은 프린팅 기술의 각 구성요소 단독으로 결정되지 않고, 오히려 소재/공정/장비 입장에서 밀접한 협력관계로 시너지효과를 이끌어내어야 할 것이다.

디스플레이 산업에서 가장 많이 사용하고 있는 포토리소그래피법은 높은 해상도를 구현하는 장점을 가지고 있지만, 제조공정이 복잡하고 여러 단계이어서 제조단가가 높은 단점을 가지고 있다.

따라서 최근 디스플레이 산업은 제품의 신기화뿐만 아니라, 제품의 대형화 및 공정단순화에 의한 저가격화를 추구하고 있는 시점에서 새로운 인쇄법에 의한 디스플레이 제조공정을 기대하고 있다. 그림 1에서와 같이 프린팅 공정은 포토리소그래피를 비롯하여 포토마스크를 사용하지 않는 방법으로서 레이저를 이용한 LITI(Laser Induced Thermal Imaging) 방법이 있고, 이들은 LCD의 C/F나 OLED의 color 부품의 고정밀, 고정세의 패터닝을 하는데 사용 가능하고 부분적으로 포토리소그래피를 대체하려는 경향을 보이고 있으나 재료의 사용이 많다는 단점을 안고 있다. 기존의 포토리소그래피를 완전히 탈피한 프린팅 방법으로는 잉크젯 프린팅, 임프린팅, 그라비아 프린팅 등을 들 수 있으며, 이들은 LCD의 C/F나 전극, PLED 등의 고정세 패터닝을 하는 새로

운 방법으로 기대되고 있다. 그 외 고전적인 방법이지만 스크린 프린팅이나 디스펜싱 등은 PDP의 격벽 제조, 형광체 도포, 각종 평판디스플레이의 실링 등에 사용되고 있다.

## 잉크젯 프린팅 기술

잉크젯 프린팅 기술은 기존의 복잡한 포토리소그래피 공정을 거치지 않고, 저렴하고, 신속한 방식으로 원하는 패턴을 만들 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 디스플레이 분야는 반도체 분야와는 달리 수십 마이크로 크기의 비교적 큰 패턴을 형성하는 경우가 많이 있어 잉크젯 프린팅 기술을 이용한 인쇄 공정을 사용할 가능성이 높아졌다. 잉크젯 프린팅 기술은 그림 2와 같이 미세노즐을 통해 용액이나 현탁액을 수~수십p(picometer)의 방울로 분사하는 매우 유용한 비접촉식 패터닝 기술이다. 잉크젯 프린팅 기술은 포토리소그래피 방법과 스크린 프린팅 방법에 비하여 다음과 같은 이점이 있다.<sup>(1~4)</sup>

- (1) 미세라인 형성을 위한 마스크가 필요 없다.
- (2) 인쇄할 기판의 크기에 영향을 받지 않는다.
- (3) 인쇄 시간이 짧으며 공정이 간단하다.
- (4) 재료의 소모가 적어 폐기물 발생이 거의 없는 친환경 공정이다.

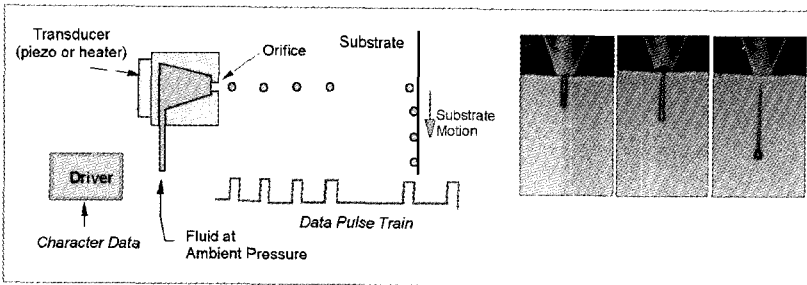


그림 2 Drop on demand형 잉크젯 프린팅 기술 개요

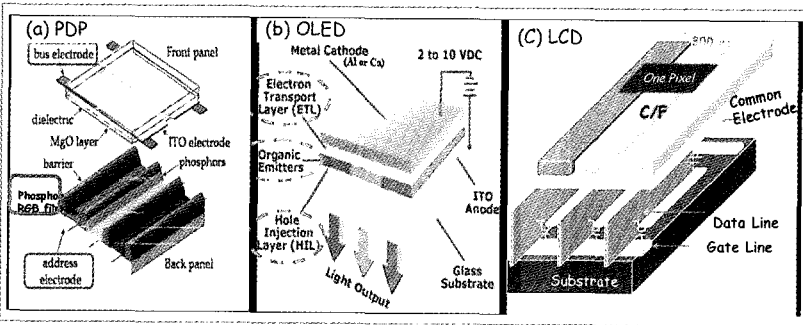


그림 3 각종 디스플레이의 기본 구조

수십  $\mu\text{m}$  선폭의 라인을 형성하는 기술로 이용되었던 스크린 프린팅 방법과 수십 nm 선폭을 가능하게 하는 포토리소그래피 방법과 비교할 때, 잉크젯 프린팅 기술의 현 위치는 제조 단가와 해상도 측면에서 이들의 사이에 들며, 나노와 마이크로 분야의 교량 역할을 할 것으로 크게 기대됨과 동시에 부분적으로 이들 기

술을 대체할 수 있을 것으로 예상된다.

각종 디스플레이 즉, PDP, LCD, OLED의 기본구조를 그림 3에 나타내었고, 디스플레이 분야에서는 잉크젯 프린팅 기술을 이용하여 컬러필터 및 전극 등의 제조를 비롯하여 기타의 소재부품 제조에 이용하려는 움직임이 활발히 진행되고 있다. 평판디스

플레이에서 잉크젯 프린팅 기술에 의해 기존의 포토리소그래피 공정의 대체가 가능한 대상 분야를 표 1에 나타내었으며, 이들을 중심으로 디스플레이 분야에서의 잉크젯 프린팅 기술의 적용 예를 간략히 살펴보고자 한다.

이 글에서는 잉크젯 프린팅 기술의 응용이 기대되는 소재부품 예를 디스플레이 종류와 잉크의 타입으로 구분하여 예시하였다. 현재까지 잉크젯 프린팅 기술의 사용 예는 주로 고분자 용액 타입의 잉크를 사용한 소재부품 제조공정과 입자 분산형의 잉크를 사용한 제조공정이 적용 대상이다.<sup>(4)</sup>

이들 고분자 유기 EL의 효율을 증진시키기 위하여 투명층과 발광층 사이에 정공 주입층, 또는 정공 수송층 등으로 PEDOT, PANI 등을 형성해주는 것이 일반적이고, 이때 저가격화 및 대형화 형태로 이들 막을 형성하는 방법으로는 잉크젯 프린팅 기술이 가장 안정적이고 적합한 공정

표 1 잉크젯 프린팅 기술이 적용 가능한 디스플레이 소재 부품의 예

디스플레이 종류 및 잉크 유형	LCD	PDP	OLED	FED
고분자 용액형	1) 액정배향	-	1) RGB 층 도포 2) 전하/정공 수송층 도포	-
입자 분산형	1) 컬러필터 2) non suttering 전극 배선 3) 배향막 4) 셀 내의 코팅형 광학 필름	1) 전극형성 2) 나노형광체막형성	1) 전극형성 2) 컬러필터(C/F)	1) 전극형성 (emitter 제조)

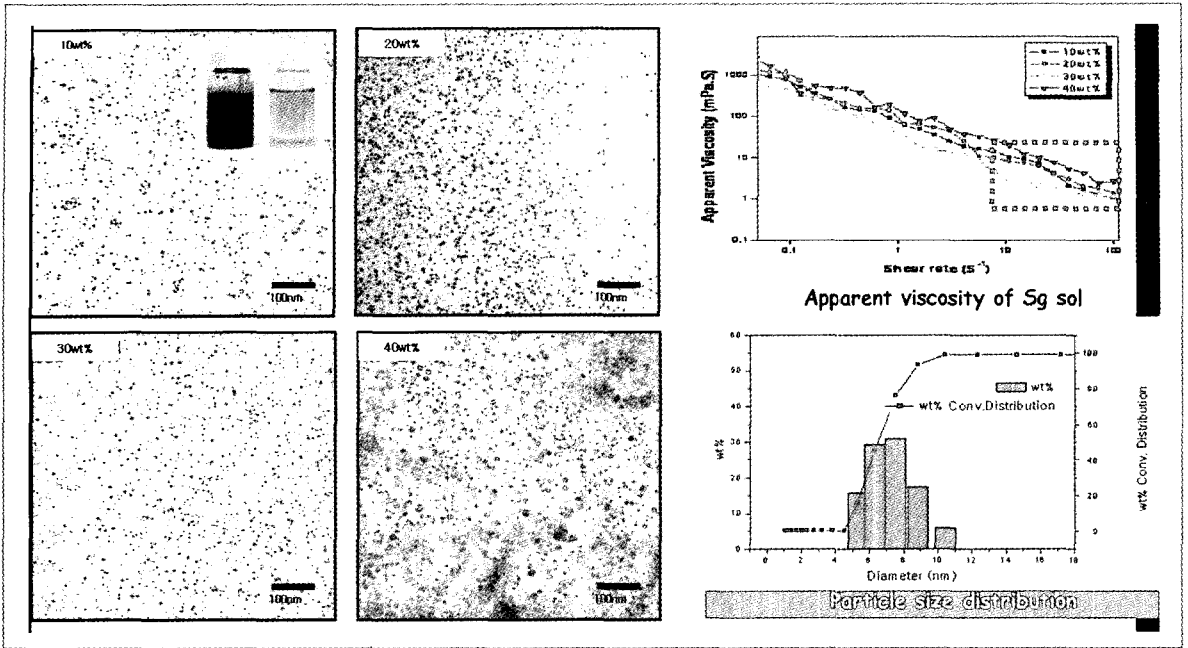


그림 4 고농도 은 나노줄의 제조 예

기술로서 자리를 잡아가고 있다. (2)

TFT-LCD의 경우, 디지털 HDTV용 TFT-LCD 30"~40"급을 기준으로 제조원가를 인치당 10\$ 이하로 설정하기 위한 해결책으로 잉크젯 프린팅 관련 핵심 재료/장비 및 공정기술이 개발되고 있으며, 이와 관련하여 최우선적으로 컬러필터를 잉크젯 프린팅 기술을 이용하여 제조하고자 하는 움직임이 활발하다. LCD업계에서는 기존의 포토리소그래피 방식에 의한 컬러필터의 제조공정을 잉크젯 프린팅 방식으로 제조하는 것을 공식적으로 발표하기에 이르렀으며, 이는 디스플레이 산업에서 잉크젯 프린팅 기술을 이용한 제조공정의 저가격화 및 대형화의 출발점을 알리는 계

기를 마련하였다고 판단된다. TFT-LCD에서 포토리소그래피 공정을 잉크젯 프린팅 공정으로 대체하려는 부품은 잉크젯 프린팅 방식에 의한 컬러필터 공정기술 개발을 시작으로 하여 non sputtering 배선 기술 개발, 비접촉식 배향막 주입 및 배향 공정기술 개발 등이 있다.

전극은 디스플레이 산업에서 공통적으로 필요로 하는 제조공정 중의 하나이다. 현재 양산화되고 있는 PDP 패널의 구조(그림 3 참조)를 보면 PDP의 내부 상판에 버스전극이 있다. 버스전극은 PDP 내부의 형광체에서 생성된 가시광선을 효과적으로 투과시키기 위한 투명전극에 신호를 전달하는 저저항의 전극이다. 현재 실용화된 버스전극 성형방법

에는 스크린 인쇄법, 포토리소그래피법, 혹은 Cr/Cu/Cr 전극의 포토에칭법 등이 있다.

감광성 페이스트를 이용한 포토리소그래피 방법은 전극 선포의 해상도는 우수하나 인쇄, 노광, 건조 및 현상공정으로 인하여 공정시간이 긴 단점을 가지고 있다. 따라서 최근 포토리소그래피 방법에 비하여 제작공정 및 비용 등의 측면을 고려하여 새로운 기술의 미세 패턴 기술이 요구되면서 잉크젯 프린팅 기술이 주목받고 있다.

### 잉크젯 프린팅 기술의 적용 예

즉, PDP 분야에서는 PDP의 성능 및 수율 향상을 위해 각 재

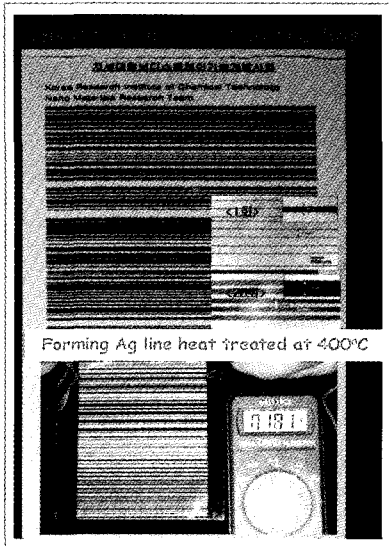


그림 5 잉크젯 프린팅 기술에 의한 마이크로 라인 형성

로 업체들과 공동으로 각종 재료의 성능 향상, 신뢰성 확보 및 신공정 기술개발, 그 중에서도 그림 4와 그림 5와 같이, 잉크젯 프린팅 기술에 의한 미세전극 형성과 도전성 잉크 개발에 많은 노력을 기울이고 있다.<sup>(1~10)</sup>

전극의 경우 대부분 디스플레이에 적용이 가능할 것으로 예상되고, 이는 큰 규모의 시장을 형성할 것으로 기대하면서 경쟁적으로 전극제조 공정의 확립을 위한 치열한 연구개발이 전개되고 있다. 그러나 현 상황을 보면, 고해상도 PDP의 경우 버스전극의 선폭이 30 $\mu\text{m}$  이하를 요구하고 있어, 잉크젯 프린팅 방식으로는 아직 요구를 충족시키지 못하고, 포토리소그래피 방법을 적용하고 있는 실정이다. 그러나 초대형으로 전개될 경우에는 잉크젯 프린팅 방식으로 50 $\mu\text{m}$  선폭을

만족할 수 있을 것으로 예상하여, 이 경우에는 잉크젯 방식에 의한 전극제조 공정의 적용이 활발하게 전개될 전망이다. 또한 입자 분산형 잉크 이외에 유기금속의 전구체를 사용하여 전극을 형성하는 연구도 활발히 진행될 전망이다. 최근 디스플레이산업에서 고분자 용액을 잉크로 이용한 잉크젯 공정을 벗어나 현탁액 타입의 잉크, 즉 입자 분산형의 잉크를 사용한 잉크젯 프린팅 기술의 응용분야가 점차 영역을 확장해가는 경향을 나타내고 있다. 그러나 현재까지 입자 분산형 잉크를 이용한 소재부품의 제조 예는 그다지 보고되지 않고 있는 실정이다.

### 잉크젯 프린팅 기술의 고려 사항

잉크젯 프린팅 기술의 한계를 극복하기 위해서는 잉크의 분사성, 잉크젯 프린팅 장비의 한계성, 잉크와 기판과의 계면특성 등을 고려하여야 한다.<sup>(1~10)</sup> 잉크젯 프린팅 기술은 수 마이크로미터의 미세한 패턴을 형성하기에는 적합하지 않다. 현재 OA용 프린터로는 20 $\mu\text{m}$  이하의 선폭으로 프린팅이 가능하지만, 양산을 위한 산업용 프린터로는 50 $\mu\text{m}$  이하의 패턴을 형성하기에 몇 가지 어려운 문제들이 있다.

첫째, 잉크젯에 의해 원활히 분사될 수 있는 잉크의 분사성을 확보하는 것이 무엇보다 중요하

다. 잉크젯 패턴형성의 어려움은 대부분 잉크 물질의 한계에 기인한다. 즉 도포물질의 입자크기, 용제, 분산제 등의 첨가물 및 잉크의 점도, 표면장력 등 제반 물리화학적 물성에 따라 기판 위의 패턴형성의 양상이 크게 변하기 때문이다. 실례로 잉크의 분사성 확보를 위한 레올로지 제어가 선행되어야 한다. 그리고 용매증발에 의한 노즐 막힘, 분사성의 불균일에 의한 탄도변화 등은 상당한 패턴링 오차를 유발할 수 있다. 잉크의 분산매, 헤드의 직경과 분사속도(frequency) 등에 따라 달라지는 액적의 크기도 패턴링 특성에 매우 깊은 관계를 가지고 있다. 예를 들면, 잉크액적의 크기가 10 $\mu\text{m}$  이하이면 표면에너지가 커져, 잉크 액적이 비산되어 적절한 탄착균을 형성하기 어려우며, 반대로 100 $\mu\text{m}$  이상이면 운동에너지가 커져 기판상에 충돌하면 비산성이 커져 크기분포가 크고 위치제어가 되지 않은 액적이 생기므로, 패턴링 특성은 매우 나빠진다고 보고하고 있다. 더욱, 잉크의 분사특성과 잉크의 유변특성과의 관계를 검토하고자 한다. 잉크의 분사특성에 영향을 주는 큰 인자는 유변 특성 중 동점도(dynamic viscosity)이다. 잉크의 유변특성은 잉크의 분산안정성이 크게 좌우하며, 잉크의 고형분 농도, 잉크의 구성 성분인 바인더의 분자량은 분사 후 생기는 꼬리와 같은

ligament의 길이, 혹은 drop speed(frequency)에 깊이 관여한다. 예를 들면, 잉크의 점도가 같은 경우, 사용되는 바인더의 분자량이 큰 경우에는 ligament가 감소하고, 이로 인하여 satellite의 양이 줄어들어 깨끗한 이미지를 얻을 수 있으나, 잉크의 분사속도는 감소한다. 이는 분자량이 큰 고분자의 경우 entangle, 또는 recoil 현상이 강해져, 원래 방울로 돌아오려는 점탄성의 성질이 강해지기 때문이다. 따라서 잉크의 분사특성은 잉크의 유변학적 특성과 잉크의 조성에 매우 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 즉, 잉크의 유변학적 특성은 입자 분산안정성에 영향을 주는 잉크의 조성 즉, 잉크의 농도와 바인더의 분자량, 잉크 고형분의 크기 및 농도 등에 의하여 결정된다. 또한, 고형분의 농도는 인쇄 이미지 및 분사된 입자의 패킹에 영향을 주므로 매우 중요한 인자이다.

둘째, 잉크젯 프린팅 기술의 한계는 패턴의 위치정밀도를 결정짓는 장비 관련 사항이다. 이는 잉크 액적의 도포안정성과 더불어 스테이지 정밀도 등에 의해 변하게 된다. 그림 6과 같이 실용 수준에서 잉크젯 프린팅 장비의 스테이지 이동 오차는 약 10 $\mu$ m, 탄도가 변하는 오차는 약 5 $\mu$ m 전후, 기타 얼라인 공차, blank 형성 오차, 노즐 크기 오차 요인 등을 감안하면 통상 10~15 $\mu$ m의 패터닝 오차를 가지고 있다고 볼 수 있다. 따라서 20 $\mu$ m 이하의 패터닝은 실용적으로 어려우며, 30~60 $\mu$ m 패터닝도 상당히 고도의 잉크젯 프린팅 공정, 잉크 재료, 장비관리 등을 요구한다.<sup>(2,3)</sup>

셋째, 인쇄하고자 하는 기판과 잉크의 계면 특성의 변화에 의해 인쇄패턴의 양상이나 균일성이 크게 바뀌게 된다. 예를 들어, 수계 잉크를 이용할 경우 잉크의 젖음성 특성을 보면 소수성 표면

에는 라인을 형성할 수 없고 dot형상만을 형성할 수 있다. 이 때 라인을 형성하고자 하면 잉크와 기판 표면의 젖음성을 개선해 주어야 한다. 결국 이상의 잉크젯 프린팅 기술의 한계점을 검토한 결과, 이를 극복하기 위해서는 잉크의 레올로지 제어 및 기판의 젖음성 제어와 함께 잉크젯 헤드 관련 장비의 연구개발이 병행되면, 잉크젯 프린팅 기술의 한계를 극복하는 데 시너지효과를 거둘 수 있을 것이다.

## 맺음말

평판디스플레이 시장의 새로운 시장을 개척하고 기술 경쟁력을 강화하기 위해서는 가격 경쟁력이 있는 새로운 제조공법이 필요하다. 잉크젯 프린팅 기술은 OA용 잉크젯 프린팅 기술을 발판으로 평판디스플레이 산업계에 응용 범위를 넓혀갈 것으로 기대하고 있다. 아울러 지속적으로 진정된 디스플레이 강국을 유지할 수 있는 기술 원동력을 구축하기 위해서는, 지금부터는 산업적 파급효과가 큰 미래의 디스플레이 제조 기술개발을 목표로 소재/공정/장비가 서로 협력하여 장기적인 계획 아래 투자와 연구를 집중할 시기라고 피력하고 싶다.

## 감사의 글

이 연구의 내용은 산업자원부 21세기 프론티어연구개발사업인

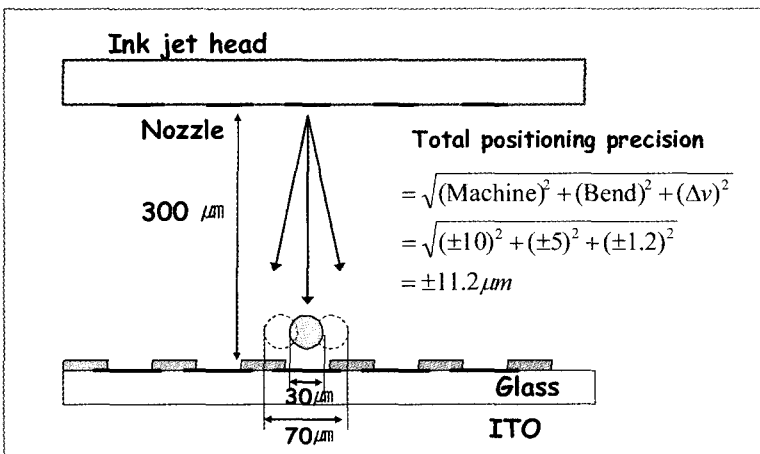


그림 6 잉크젯 drop의 오차 범위

차세대정보디스플레이 기술개발 사업단의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- (1) M. Furusawa, T. Hashimoto, M. Ishida, T. Shimoda, H. Hasei, T. Hirai, H. Kiguchi, H. Aruga, M. Oda, N. Saito, H. Iwashige, N. Abe, S. Fukura, K. Betsui, "Inkjet-Printed Bus and Address Electrodes for Plasma Display", Tech. Digest of SID '02, pp. 753~755(2002)
- (2) Tatsuya Shimoda, Katsuyuki Mori, Shunichi Seki, and Hiroshi Kikuchi, "Inkjet Printing of LED Polymer Displays", MRS Bull.821-827(2003)
- (3) Brian Derby and Nuno Reis, "Inkjet Printing of Highly Loaded Particulate Suspensions" MRS Bull.815-818(2003)
- (4) 류병환 최영민, 재료부품특집 디스플레이산업에서 잉크젯 기술의 응용과 현황, - 입자 분산형 잉크를 사용하는 잉크젯기술, Information Display, vol.6(3), p.17~25, (2005)
- (5) Beyong-Hwan Ryu, Youngmin Choi, Han-Sung Park, Jong-Hoon Byun, Kijeong Kong, Jeong-O Lee, and Hyunju Chang, " Synthesis of Highly Concentrated Silver Nano Sol and its Application to Ink jet Printing", Colloid and Surfaces A:Engineering Aspects, vol. 270-271, 345-351(2005)
- (6) B.H. Ryu, J.D. Lee, O.S. Lee, Y.C.Kang and H.S. Park, "Synthesis of Highly Concentrated Silver Nanoparticles Assisted Polymeric Dispersant", Key Eng. Materials, vol.264-268, p.141~142 (2004)
- (7) 박한성, 서동수, 최영민, 장현주, 이정오, 공기정, 류병환, " 잉크젯용 고농도 은 나노 졸 합성", J. Korean Ceramic Soc.,vol.41, (9) 670~676 (2004)
- (8) 변종훈, 서동수, 최영민, 장현주, 이정오, 공기정, 류병환, "잉크젯 방식을 이용한 Silver 미세라인 형성", J.Korean Ceramic Soc.,vol.41, (10) 788~791(2004)
- (9) Beyong-Hwan Ryu and Youngmin Choi, "Invited talk: Application of Inkjet Technology in Flat Panel Display" IMID '05 DIGEST, 913~918(2005)
- (10) Beyong-Hwan Ryu, Youngmin Choi, Kijeong Kong, Jeong-O Lee, and Hyunju Chang, "Inkjet patterning of Aqueous Silver Nano Sol on Interface-controlled ITO Glass", IMID '05 DIGEST, 1552~1555(2005)

## 기계용어해설

### 전자분광법(Electron Spectroscopy)

시료에 전자선, 자외선, X선 등을 쬐어 방출되는 광전자나 산란전자의 에너지를 분석하는 방법.

### 기전력(EMF)

Electromotive Force의 약기. 두 물체 사이에 전위차를 발생시키는 작용, 또는 전기회로를 연결할 때 전류를 흐르게 하는 원동력.