인포메이션 디스플레이(한국 정보 디스플레이학회 간) 제4권 제1호(Feb.2003)

잉크젯 기술의 디스플레이 응용

안 동 훈 (포톤데이즈(주) 대표이사)

1. 서론

IT산업의 발달에 따라 디스플레이,반도체시장은 확대 일로에 있으며 국가경쟁력 제고를 위한 전략 상품으로 많은 투자가 이루어지고 있다.

이들 제품을 위한 제조공정에는 많은 미세 패턴 형성기술이 사용되고 있다. 잉크젯 기술은 이제까지의 OA용 컬러 프린터가 주요한 응용 분야였지만 최근에는 IT 및 BT 분야의 마이크로 패터닝공정에의 응용이 활발히 검토되고 있다. 잉크젯 기술의 적용이 가능한 대표적인 응용분야는 CSP, BGA, MCM 등으로 고집적화, 다기능화 되는 반도체 팩키징 분야가 있으며 또한 LCD, 유기EL, PDP등의 평판디스플레이 분야가 있다. 한편, BT분야에는 DNA chip제조 등에 잉크젯 기술이 이미 실용화 되고 있는 실정이며 금후에는 MEMS의 중요한 한 공정기술로서의 역할을 기대하고 있다. 본 고에서는 잉크젯 기술의 원리와 요소 기술 및 응용기술에 대한 소개를 하고자 한다.

2. 잉크젯기술의 원리와 요소기술

잉크젯 기술의 역사는 1800년 후반에 영국의 Raileigh가 비점성체의 입자화 과정을 수리해석하고 현재의 continuous 잉크기술의 기초가 되는 액적이론을 발표한 것으로 거슬러 올라간다. 그러나 현재 사용되는 잉크젯기술이 본격적으로 개발된 시기는 1960 년대에 Tel type사의 Winston의 전계제어방식과 Stanford Instrument사의 하전제어 방식의 발명에 기인되며 1970년대에는 Kyser, Zaltan 등에 의한 on-demand방식이 개발되었다.

그러나 현재와 같은 OA용 잉크젯프린터의 역사는 1970년 말부터 1980년대 까지 HP와 Canon이 거의 같은 시기에 유사한 Thermal 방식에 의한 잉크젯헤드를 개발함으로서 시작되었다고 볼 수 있다. HP와 Canon 공히 오랜 연구 끝에 박막기술을 이용하여 미세한 히터를 개발하게 되었고 값싸고 안정적인 잉크젯 헤드를 생산할 수 있었던 것이 오늘날 큰 사업기회를 제공하게 되었다. 또한 Epson은 piezo소자를 이용한 압전식 잉크젯 헤드를 개발하여 고화질 잉크젯 프린터를 범용화 시키게 되었다.

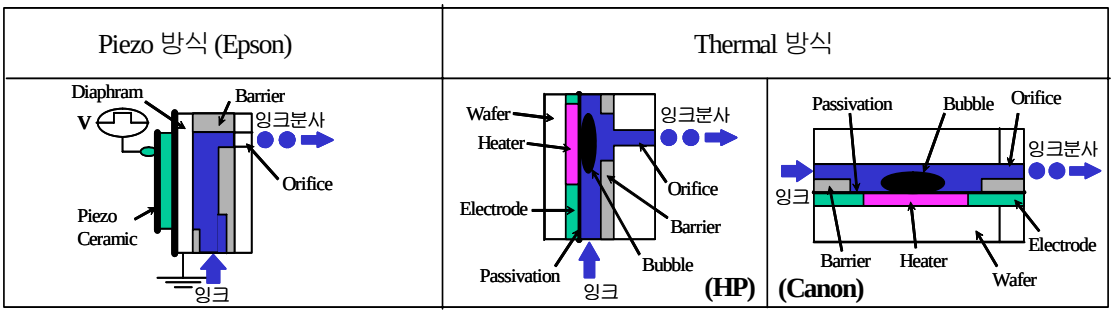
잉크젯기술은 그 분사형태에 따라 연속식(continuous)잉크젯 방식과 Drop on demand방식으로 분류할 수 있다 (그림1 참조). continuous방식은 항상 잉크를 토출시켜 필요한 시간에 잉크의 방향을 편향시켜 기록하는 방식으로, 속도는 빠르지만 잉크 회수를 위한 기구가 복잡하게 되는 단점이 있다. 주로 싱글노즐을 사용하며 포장지의 인쇄 등 주로 산업용으로 사용되고 있다. 최근에는 아주 소형이면서 미세한 글자까지 인쇄가 가능한 제품이 판매되고 있다. 그러나 이 방식은 100㎛이하의 미세한 dot를 찍을 수 있는 제품도 있지만 dot의 크기가 수백㎛ 정도가 일반적이다. 한편 필요한 시간에만 잉크를 토출시키는 drop on demand 방식은 주로 OA용 프린터에 사용되고 있으며 최근에는 20㎛ 이하의 미세한 dot까지 표현이 가능하게 되었다.

Drop on demand방식은 잉크토출의 구동원이 열에 의한 히터의 가열인 경우는 Thermal 방식이라 하며 piezo소자에 의한 압력으로 잉크를 밀어 내면 압전방식이라고

분류 할 수 있다. Thermal방식은 개발한 회사에 따라 약간씩 구조가 다르나 원리적으로는 동일한 기술이다.즉 HP의 경우는 히터와 잉크 토출방향이 직각으로 배열되어있고 각 cell을 기준으로 보면 마치 cell의 천장에서 잉크가 토출 되는 것 같다고 하여 roof shooter 라고도 부른다. 한편 canon의 경우는 히터와 잉크토출 방향이 평행하게 되어있고 각 cell을 기준으로 보면 옆에서 잉크가 분사되기 때문에 side shooter라고도 부른다.

잉크젯 기술은 핵심부품인 잉크젯프린트헤드, 잉크 및 system/firmware의 3가지 요소기술과 이들 기술을 종합할 수 있는 integration기술이 갖추어져야 한다(그림 2 참조).

(분사방식에 의한 분류)



(구동방식에 의한 분류)

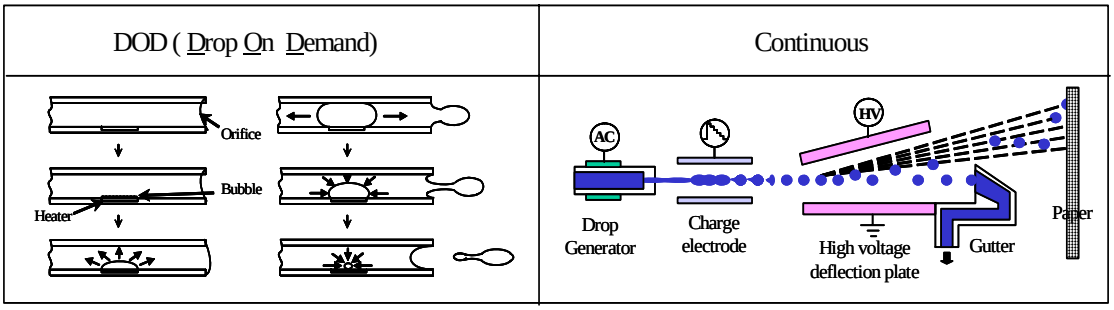


그림 1. 잉크젯기술의 분류

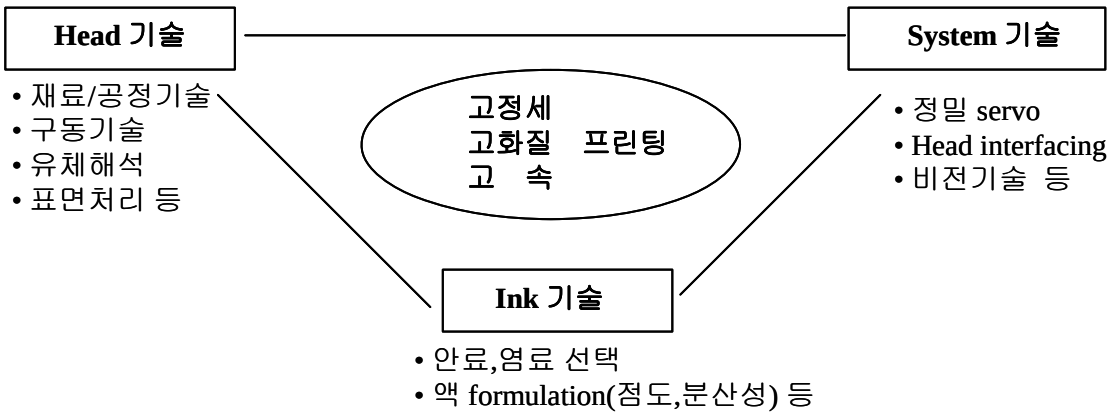


그림 2. 잉크젯프린팅의 요소기술

잉크젯 프린트헤드 기술은 Thermal방식의 경우 반도체 및 박막공정기술을 이용한 대량생산체제에 들어가 있으며, piezo방식은 정밀한 기계가공 및 조립기술이 사용되고 있다. 따라서 일반적으로 Thermal방식의 잉크젯프린트헤드는 1회 사용 후 교체하는 소모품으로 사용되나 piezo방식은 프린터 자체의 수명이 다할 때까지 쓰는 영구헤드로 알려져 있다. 최근에는 잉크젯헤드를 제어하는 드라이브 IC가 잉크젯헤드에 embedded된 기술이 널리 사용되기 시작하였다. 그림3에는 HP사의 잉크젯프린트헤드 구조의 개념도이다. 실리콘 웨이퍼로 이루어진 베이스 기판상에 히터, 보호층, 잉크채널, 노즐등이 차례로 형성된 구조로 되어있다. 히터는 TaAl, HfB등의 재료를 스퍼터링으로 제조한다. 보호층은 버블이 소멸될 때 생기는 높은 진공파손압력과 잉크로부터의 화학적인 열화로부터 히터를 보호하고자, 주로 실리콘나이트라이드, 실리콘카바이드 및 탄탈 등으로 이루어지는 다층박막으로 구성된다.잉크를 각 채널(cell)별로 분리하여 잉크버블이 생기는 공간을 만들어 주는 barrier층은 polyimide를 라미네이팅 및 patterning하여 형성한다. 잉크가 최종적으로 분사되는 노즐(orifice)은 주로 MEMS기술을 활용한 Ni 전주법으로 만들어지나 최근에는 엑시머레이저 또는 UV 레이저를 이용하여 polyimide에 미세한 구멍을 뚫어 잉크분사 노즐을 제조하는 방법이 널리 사용되고 있다.이 노즐의 크기와 형상 또는 제반 물리.화학적 특성에 의해 분사되는 잉크방울의 크기나 분사특성이 변하게 된다.가장 고려해야할 사항은 잉크가 노즐을 막아 분사가 되지 않거나,노즐 입구에 잉크의 잔사(殘渣)가 붙어 잉크방울의 크기가 변하거나 분사방향이 변하는 등 불안정한 프린팅 특성을 나타나게 되는 것이다.노즐에 잉크와의 젖음성을 개선시키는 재료를 코팅하거나 노즐의 형상을 변경하는 등 많은 개선이 이루어지고 있으나 아직도 잉크분사 불량의 한 원인으로 작용하고 있으며 이를 방지하기 위해 특별히 설계된 노즐 cleaning기구가 병행하여 사용되고 있다. 잉크젯헤드의 수명에 영향을 미치는 또 하나의 중요한 부분은 히터의 신뢰성이다. 잉크방울이 소멸될 때 히터가 받는 수 만 기압 이상의 진공파손 압력(cavitation errosion)을 견디어야 하고 반복되는 펄스 형태의 가열에 견딜 수 있는 신뢰성이 보장되어야 한다. 기존의 히터 재료의 특성을 더욱 개선하는 연구결과[1] 들이 있어,보다 신뢰성 있는 히터 개발의 가능성도 있다.또한 잉크의 찌꺼기가 히터의 표면에 눌어 붙는 현상(코게이션 현상)에 의해 토출불량을 일으키기도 한다.이 문제는 잉크특성의 향상과 히터위에 Ta등 적절한 보호층을 형성함으로서 개선을 할 수 있다.

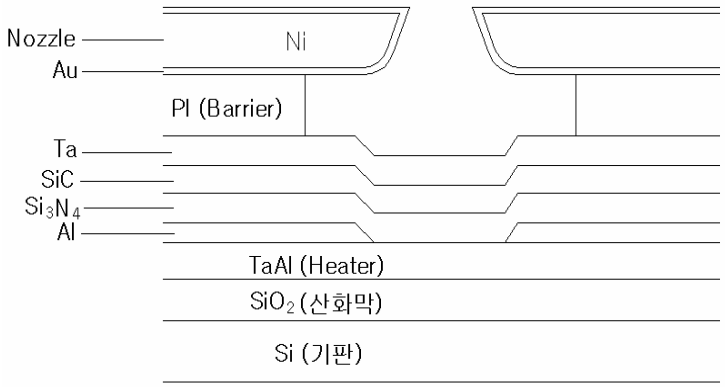


그림 3. HP사의 잉크젯헤드의 구조

3. 잉크젯기술의 응용

OA용의 컬러프린터에 주로 사용되던 잉크젯기술이 반도체,디스플레이,광소자 등의 기술에 본격적인 응용이 검토된 시점은 1990년도에 이르러서이다. 수십마이크로미터 크기의 패턴을 포토 리소그라피로 하던 공정을 잉크젯으로 대체할 경우는 다음과 같은 장점을 기대할 수가 있다.

1)공정수가 대폭 줄어든다

기존의 포토공정은 적어도 10단계 이상의 공정이 필요하지만 잉크젯의 경우, 원하는 곳에 필요한 물질의 형성이 가능한 소위 "Pattern on demand" 공정이 가능하므로 한 두단계의 공정으로 패터닝이 완성될 수 있다.

2) 재료의 소모가 없으며 폐기물 발생이 적다

원하는 곳에만 패턴을 만들 수 있기 때문에 90%이상의 재료를 버리는 포토공정과 비교할 때 재료의 소모와 폐기물 발생을 대폭 줄일 수 있다.

3)친 환경적인 공정

폐기물발생이 거의 없으므로 분리,재처리,폐기에 따른 비용이 절감된다.

4)크린룸의 면적이 줄어든다

기존 포토공정에 필요한 많은 장비가 소요되지 않으므로 크린룸의 소요면적이 감소된다.

5)공정시간과 코스트의 대폭적인 절감이 가능하다

재료비,장비투자,크린룸투자,인건비가 대폭 줄어듬에 따라 제품가격이 낮아질 수 있다.

3-1. 잉크젯 기술의 응용 가능성

반도체와 같이 서브마이크로의 패턴 공정이 필요한 분야도 있지만, 디스플레이, MEMS소자 등과 같이 수십㎛의 패턴공정이 필요한 분야에는 잉크젯기술이 효과적으로 적용될 수 있다. 현재까지 일부 제안이 되고 있는 분야는 IT 및 BT분야에서 다음과 같은 응용분야가 있다.(그림4 참조)

* 미세pattern형성기술(display용)
  - LCD color filter제조
  - FED emitter제조
  - PDP 재료도포
  - 유기EL용 유기물질도포
* 반도체 Bumping
* DNA chip제조 및 medical응용(미세투약시스템)
* 초소형 반도체package(CSP/BGA)용 bump형성
* 광소자용 polymer pattern형성 / optical switch / micro lens array
* building 향기제어 system
* on line 향기 system / virtual perfume system
* 생물/세포배양 등
* CPU냉각장치 등

표1 에는 잉크젯기술의 응용 예 및 연구동향을 나타내었다. IT,BT분야 외에도 온,오프라인을 이용한 사이버 향기시스템, 버츄얼 향기기술 등이 게임,영화 등의 엔터테인먼트 분야와 의료용 향기치료 시스템에의 적용이 활발히 검토되고 있다.

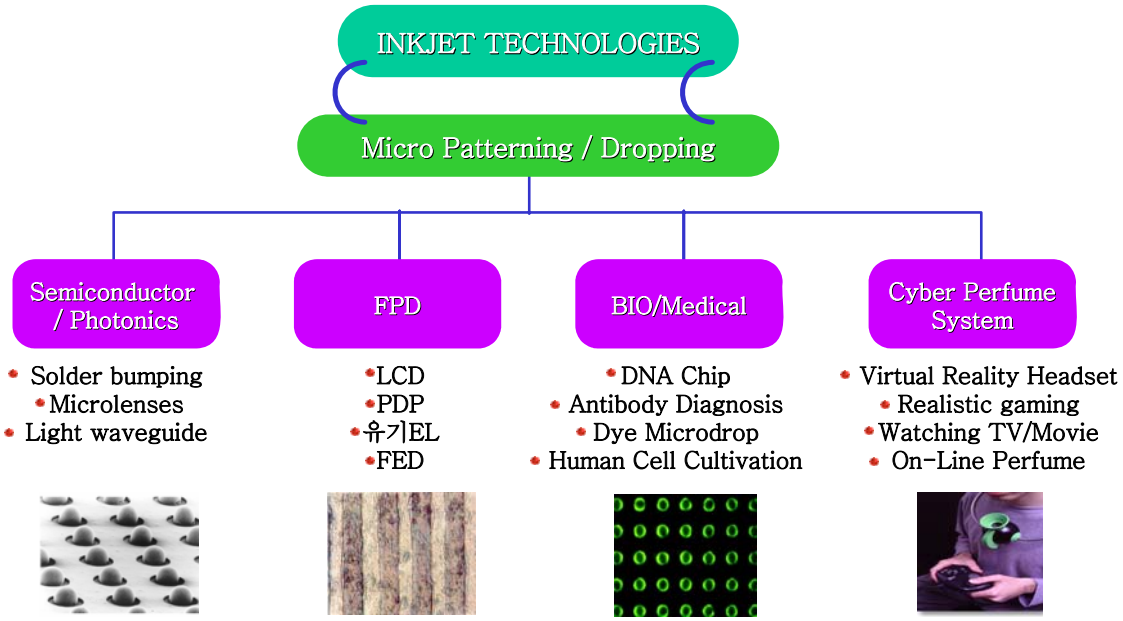
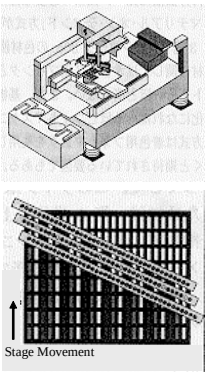
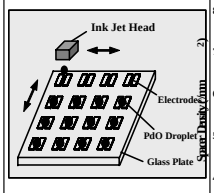
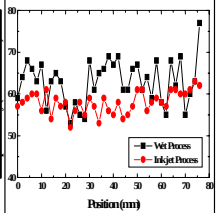
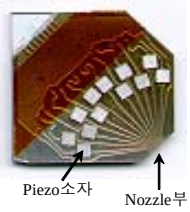
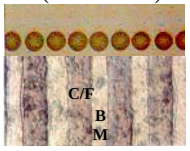
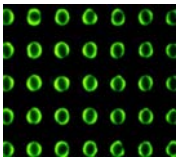


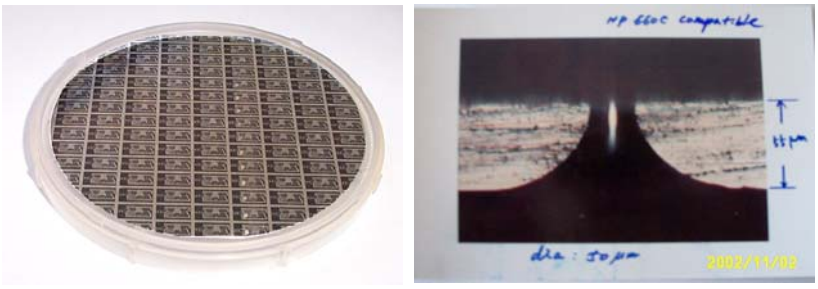
그림 4 잉크젯 기술의 응용분야

표1 잉크젯기술의 응용예 및 연구동향

분 야	LCD용 Color Filter도포	FED용 Emitter도포	LCD용 Spacer도포	FPD 공정응용	Medical/Bio
회 사	Canon, Asahi glass	Canon	Asahi glass	포톤데이즈㈜	Microfab
내 용	R,G,B color filter를 잉크젯으로 원판유리에 직접 도포	PdO를 잉크젯방법으로 전극위에 도포하여 emitter를 형성	액정spacer를 압전방식잉크젯으로 도포하여 균일한 Panel gap을 형성	Clor filter,PDP,FED 등의 공정적용	DNA chip을 제조하기 위한 micro spot
비 고	 (장치개념도)	 (잉크젯에 의한 평면형 emitter형성)	 (도포공정에 따른 spacer density비교)	 (도포용 Head)  (도포형상)	 (DNA Micro Spot) (Cholesterol micro-spheres)

3-2. 잉크젯기술의 디스플레이 응용

디스플레이 분야는 반도체분야와는 달리 수십마이크로 크기의 비교적 큰 패턴을 형성하는 경우가 많이 있어 다른 어느 분야보다도 잉크젯공정을 적용 할 수 있는 가능성이 많다.최근에는 CDT,엡슨등을 중심으로 유기EL의 유기물질 도포 공정에 잉크젯기술의 적용 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 최근에는 PDP의 전극재료로서 나노크기의 실버잉크를 잉크젯으로 형성한 연구결과[2]와 아몰퍼스 실리콘 TFT의 소스/드레인의 Contact pad를 Metal-organic Cu Precursor로 잉크젯팅하여 형성한 연구[3]가 발표되어 금후 다양한 분야로의 공정응용이 시도될 것으로 기대된다.또한 표면발광형 반도체 레이저(VCSEL)의 집광렌즈를 잉크젯공정으로 칩표면에 형성시킨 제품이 캐논에서 출시가 되고 있으며 바이오분야의 DNA chip제조에는 이미 잉크젯 공정이 적용되고 있는 등 잉크젯기술의 본격적인 적용이 확대되고 있다. 이러한 다양한 응용중 가장 기대를 모으고 있는 분야는 유기EL, 특히 고분자계의 유기물질(PLED)을 잉크젯으로 형성하는 공정이라 할 수 있다. CDT사를 중심으로 몇 회사에서는 유기물질의 잉크젯도포에 필요한 양산공정,장비개발에 총력을 기울이고 있어 조만간 잉크젯공정의 적용 가능성을 예측해 볼 수 있는 결과가 나올 것으로 기대하고 있다. 그림5 와 6에는 본 분야의 벤처기업인 포톤데이즈(주)의 기술진이 개발하였던 잉크젯헤드를 나타내었다. 그림5는 HP사의 Thermal type 잉크젯헤드와 호환이 가능하도록 한 4인치 웨이퍼상의 잉크젯헤드를 나타내고 있다. 이것은 금후 HP사 프린터의 after market business로의 전개가 가능한 기술로 평가되고 있다. 그림6은 평판 디스플레이등의 산업용 미세 패터닝 공정을 목표로 개발되었던 Piezo방식의 잉크젯헤드이다. Kyzer type의 헤드로서 잉크채널 은 실리콘웨이퍼를 이방성 에칭하여 형성하였으며 다이아프램은 유리기판을 사용하였으며 실리콘웨이퍼에 정전접합으로 packaging하였다. 전극물질을 패터닝한 후 압전소자를 접합하였다. 잉크채널의 끝단에 폴리이미드등으로 만든 노즐을 붙이거나 또는 채널의 끝단이 그대로 노즐로 사용될 수도 있다.도포물질과의 적합성을 개선하기 위하여 소수성재료를 노즐부에 코팅을 하는 경우도 있다.그림7은 12개의 노즐을 갖는 멀티채널의 잉크젯헤드를 장착한 잉크젯 패터닝시스템의 사진이다. 잉크젯헤드 및 잉크공급부,마이크로급의 정밀 스테이지와 불규칙한 패턴에 대응하기 위한 비전시스템, 제어부분 및 헤드크리닝부로 구성되어 있다.그림8에는 본 장비로 형성한 컬러필터 패턴의 사진이다. 약 70~80 마이크로의 dot와 패턴이 형성된 것을 알 수 있다. 그림9에는 컬러필터의 R,G,B 각각을 인라인으로 도포할 수 있는 잉크젯시스템의 레이아웃을 나타내었다.최종 공정에서 패턴검사 및 리페어링이 가능한 기능이 옵션사항으로 추가될 수 있다.



(4inch wafer) (Cross section of Ni nozzle)

그림 5. Thermal type 잉크젯 프린트헤드 (HP 잉크젯헤드 호환)

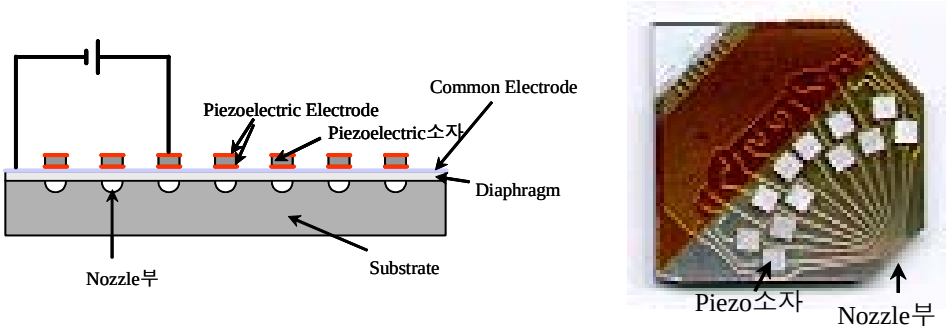


그림 6. 피에조방식 잉크젯프린트 헤드

그림 7. 잉크젯 패터닝 시스템

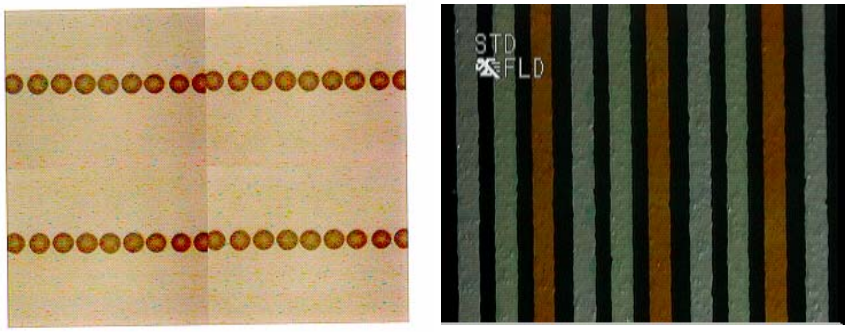


그림 8. 잉크젯공정에 의한 패턴형성 예

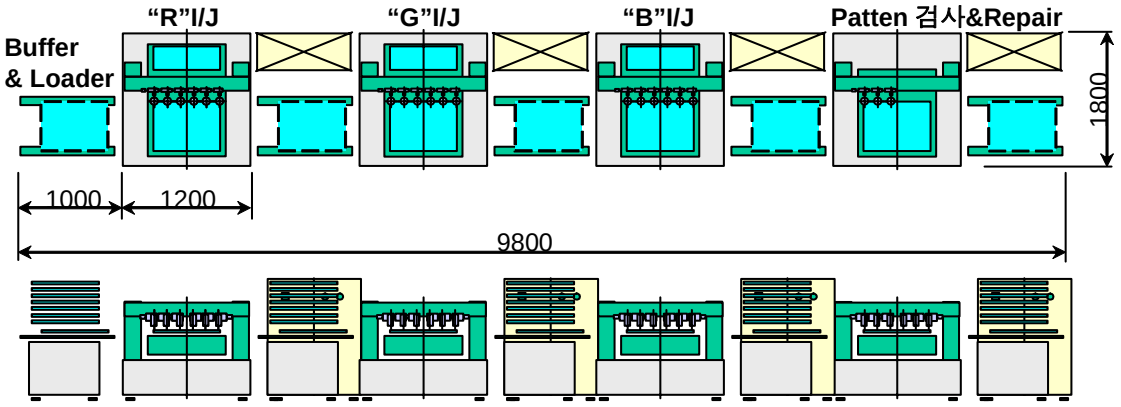


그림 9. 양산용 잉크젯 패터닝 시스템의 레이아웃(컬러필터용)

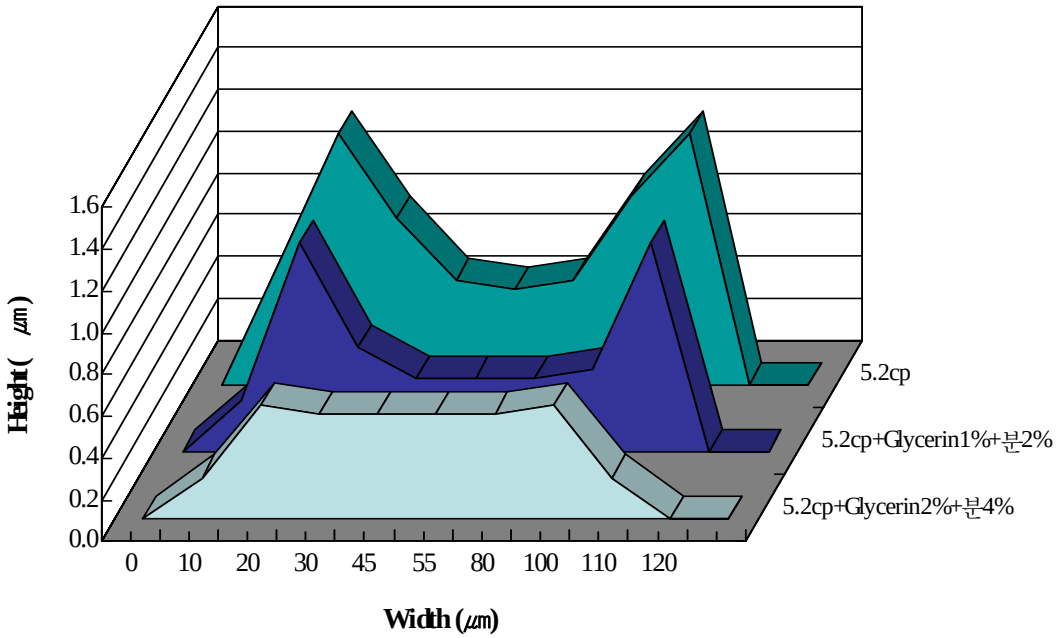


그림 10. 잉크조성에 따른 패턴 균일성

3-3. 잉크젯 패터닝기술의 한계

잉크젯 기술은 수마이크로미터의 미세한 패턴을 형성하기에는 적합한 공정은 아니다. 현재OA용 프린터용으로서는 20마이크로미터 이하의 미세한 도트크기로 프린팅이 가능하고 이러한 헤드를 원용하여 20마이크로미터 전후의 패턴을 형성한 연구결과가 발표되고 있으나 양산을 고려한 산업용 패터닝 공정용으로서는,50마이크로미터 이하의 패턴을 형성하기에는 몇 가지 극복해야 할 어려운 문제들이 있다. 이 어려움은 대부분 잉크물질의 한계에 기인한다. 즉 도포물질의 입자 크기, 용제,분산제 등의 첨가물 및 잉크의 점도,표면장력 등 제반 물리화학적 물성에 따라 도포양상이 크게 변화하게 되며 이러한 잉크와의 적합성이 검증된 헤드 개발이 병행되어야 한다. 그림10에는 포톤데이즈(주) 기술진이 개발한 Kyser 타입헤드를 사용한 도포시스템에서 잉크의 조성에 따른 도트의 균일성을 나타내고 있다.즉 같

은 점도의 잉크에서도 여러 가지 첨가물에 의해 패턴의 균일성이 크게 바뀌는 것을 알 수 있다.또 한가지의 잉크젯패터닝 기술의 한계는 패턴의 위치 정밀도이다. 이것은 잉크방울의 도포 안정성(랜딩에러),스테이지의 정밀도 등의 의해 변하게 된다.즉 실용적인 수준에서의 랜딩에러는 5마이크로미터 전후가 되는 것이 현실이다. 따라서 잉크젯공정을 적용할 시에는 이러한 공정상의 한계를 잘 고려해볼 필요가 있다.

4. 결어

금후 잉크젯프린팅 기술을 활용한 마이크로 패터닝 기술은 많은 분야에서 경쟁력 있는 공정으로 그 확고한 위치를 구축할 것으로 기대하고 있다.특히 평판디스플레이 분야는 금 후 사업의 경쟁력을 좌우할 수 있는 기술이라 해도 결코 과언이 아니라고 생각된다.국내에서도 대기업을 중심으로 산발적인 연구가 진행되고 있으나 디바이스,헤드,잉크 및 시스템 업체가 혼연 일체가 되어 개발을 하고 있는 선진국과의 경쟁에는 많은 어려움이 예상되고 있다. 종합적인 기술이 필요한 본 분야에서 단기간 내에 실용화 수준의 잉크젯기술의 확보를 위해서는 디스플레이를 생산하는 대기업 및 기술력 있는 벤처기업들과의 협력체제가 필요한 상황이라 할 수 있다. (e-mail: dhahn@photondays.com)

(참고문헌)

〔1〕 안동훈 외, 한국재료학회지 제7권 제10호 P877 (1997)
〔2〕 M.Furusawa *et al.*, SID DIGEST p753 (2002)
〔3〕 C.M.Hong *et al.*, IEEE Elecron Device Letter, VOL21, NO8 p384 (2000)