

◆특집◆ NBiT 응용 잉크젯 프린팅 기술

잉크젯 공정의 이슈들

신동윤\*, 이원희\*, 강태구\*, 김동수\*

Challenging issues of Piezo Drop-On-Demand Inkjet Printing Technology

Dong-Youn Shin\*, Won-Hee Lee\*, Tae-Goo Kang\* and Dong-Soo Kim\*

Key Words : Inkjet (잉크젯), Flat Pannel Display (평판 디스플레이), Printed Circuit Board (전자회로기판)

기호설명

- w = pattern width
- L = pattern length
- N = the number of drops over L
- $\theta$  = contact angle
- d = drop diameter
- p = pitch (L/N)
- r = curviture of cylindrical pattern at equilibrium state

1. 서론

데스크탑에서 폭넓게 사용되고 있는 잉크젯 프린팅을 메소스케일의 직접 패턴에 사용하고자 하는 산업적 시도가 이루어지고 있다. 잉크젯 프린팅을 그래픽 아트 시장이 아닌 전자제품에 적용하기 위한 시도는 1980 년대로 거슬러 올라간다. Vest *et al.*은 전자회로 패턴과 솔라셀 상에 전도성 패턴을 행하는 것을 시도하였다.<sup>1,2</sup> 패속조형법의 적용은 1990 년대에 이뤄져서 Z-corp, Sanders Design International, ObJet 등에서 상용제품이 출시되고 있으며, 세라믹이나 피에조 잉크를 이용한 패속조형

법에 대한 연구도 활발히 이뤄졌다.<sup>3,4</sup>

1990 년대 후반에서 2000 년대에 이르러서 잉크젯 프린팅을 디스플레이와 전자회로의 생산에 적용하려는 시도가 활발히 이뤄지고 있다.<sup>5,6</sup>

한국의 지속성장 동력으로서의 TFT-LCD 와 PDP 사업이 대규모 투자를 통해 생산능력 확충과 비용절감을 이루던 당시, 영국, 일본 등의 선진각국은 현재 큰 주목을 끌고 있는 잉크젯 프린팅을 디스플레이와 전자회로 제품의 생산에 적용하기 위한 원천기술을 개발하기 시작하였다.

90 년대 후반에 Seiko-Epson 은 PLED 디스플레이의 제작에 잉크젯 프린팅을 적용하기 위한 연구를 시작하였으며, 2002 년 TMD 의 17" PLED, 2004 년 Seiko-Epson 의 40" PLED, 2005 년 CDT 의 14" PLED 디스플레이의 데모작이 시연되었다. 또한, 공정중에 발생하는 현상들에 대해서도 활발한 연구개발이 이루어지고 있다.<sup>8</sup> 고해상도 패턴기술개발에 있어서 영국의 Plastic Logic 사는 2004 년에 10  $\mu$ m 급의 전구패턴을 수행하기 위해 영국정부로부터 120 만 파운드의 지원<sup>9</sup>을 받은바 있는 등, 선진 각국에서는 프린팅 기법을 응용한 고해상도 패턴기술개발에 많은 투자를 하고 있다.

이에반해, 한국에서의 잉크젯 프린팅을 이용한 디스플레이나 전자회로 제품생산에 대한 연구는 영국, 일본 등의 프린팅 선진국들에 비해서 늦은 출발을 보였다.

TFT-LCD 컬러필터의 경우 Fig. 1 에 보인 바와 같이 Seiko-Epson 이 2000 년도에 이미 시제품을 제작하였으나, 국내는 2005 년 8 월 LG 화학에서

\* 한국기계연구원 정보장비 연구센터

Tel. (042) 868-7378

E-mail dyshin@kimm.re.kr

잉크젯 프린팅을 응용한 디스플레이와 전자회로 제품의 생산공정과 장비개발에 관심을 두고 연구개발을 행하고 있다.

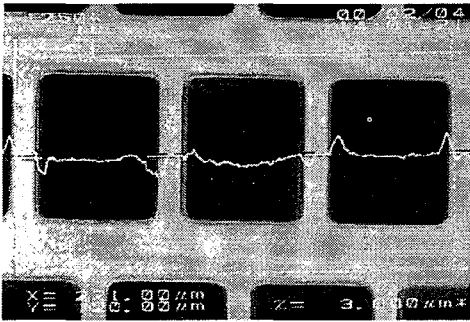


Fig. 1 Inkjet printed color filter for TFT-LCD<sup>7</sup>

처음으로 시제품을 제작하였다. 잉크젯 프린팅을 이용하여 제작된 TFT-LCD 컬러필터의 공개시점을 기준으로 일본과 최소 5년 이상의 격차가 나있는 것으로 판단된다. 그러나, 특허와 기초연구력은 영국과 일본에 비해 더욱더 뒤쳐져있으며, 일본과 영국에서 잉크젯 등을 이용하여 고해상도 패턴을 수행하는 방법론에 대한 원천특허들이 90년대 후반부터 출원/공개되기 시작하는 것에 비해 국내의 경우 상당히 뒤쳐진 것으로 판단된다.

잉크젯 프린팅이 기존의 스프인코팅이나 슬릿코팅과 같은 무지향성 코팅법에 비해 큰 차별성을 보이는 점은 디지털화된 데이터를 기반으로 원하는 부위에 잉크를 젯팅하여 직접 패턴을 행하는 지향성 패턴을 한다는 점이다. 일견 단순해 보이는 이러한 특징은 실은 기존의 코팅법과 기술적 연속성을 가지지 않으며 technological step-change 를 요구한다. 이러한 급격한 기술적 진보는 관련 기술 지식뿐 아니라 관련 연구개발자들의 step-change in mind 를 요구한다.

그러나, 양산을 전제로 한 잉크젯 프린팅 기술은 데스크탑 잉크젯 프린팅에서 요구되는 기술적 완성도 이상의 기술적 요구<sup>10</sup>가 있음에도 불구하고, 잉크젯 프린팅에 대한 현실인식은 데스크탑 잉크젯 프린팅에 대한 이해정도에 머물러 있을뿐만 아니라, 현재 국내의 잉크젯 인프라와 관련인력은 영국이나 일본에 비해 상당히 부족하다.

본 원고에서는 다양한 잉크젯 관련 이슈들 중에서 하드웨어와 공정에 관련한 이슈 몇가지를 소개하고자 하며, 앞으로의 연구개발 방향을 간략히 논해보도록 하겠다

## 2. 잉크젯 프린팅 적용시 고려사항

### 2.1 잉크젯 프린트 헤드 제조업체

잉크 제조업체와 잉크젯 프린트 헤드 사용업체가 피에조 타입의 DOD 잉크젯 프린트 헤드를 선정함에 있어, 특수한 요구사항을 만족시키는 경우, 특별한 장점이 있는 경우, 향후 시장점유율의 현저한 확장이 예상되는 경우로 인해 특정 잉크젯 프린트 헤드 혹은 잉크젯 프린트 헤드 제조업체를 선정해야하는 경우가 아니라면, Table 1 에 보인 바와 같이 가장 높은 시장점유율을 가지는 메이저 잉크젯 프린트 헤드 제조업체를 선택하는 것이 바람직하다.

잉크와 잉크젯 프린트 헤드를 구매하여 제품 생산에 적용할 사용업체의 경우, 잉크젯 기술이 적용되어 생산될 1년~5년뒤의 제품의 사양을 고려하여 잉크젯 프린트 헤드를 선정하여야 한다.

잉크젯 기술의 적용 가능성이 있는 응용분야는 크게 TFT-LCD 컬러필터, PLED 디스플레이와 같이 규칙적으로 배열된 마이크로 스케일의 구조물 안에 잉크를 채우는 경우와, 전자회로 기판과 같이 구조물이 형성되어있지 않은 기판 상에 잉크로 패턴을 행하는 경우로 양분할 수 있으며, 한번의 잉크젯팅으로 원하는 패턴을 행하는 싱글패스 방식이 선호된다. Fig. 2 에 보인 바와 같이, 대형 TFT-LCD 컬러필터와 같이 동일 색상의 서브 픽셀 간의 피치가 수백  $\mu\text{m}$  인 경우, 노즐 피치가 큰 잉크젯 프린트 헤드의 선택이 유리하며, 싱글패스로 전자회로 기판을 생산해야하는 경우는 노즐 피치가 적은 것이 유리하다. 예를 들어, 낮은 노즐밀도를 가지는 Dimatix 의 SE-128 잉크젯 프린트 헤드(노즐피치: 508  $\mu\text{m}$ )는 대면적 디스플레이용으로, 높은 노즐밀도를 가지는 Xaar 의 OmniDot 760 잉크젯 프린트 헤드(노즐피치: 70.6  $\mu\text{m}$ )는 전자회로 기판 생산용으로 고려될만하다.

Table 1 Estimated OEM revenues (2005-2006)<sup>11</sup>

매출	제조업체
\$70-100M	Dimatix, Xaar
>\$20M	Ricoh
\$10-20M	Epson, Trident
~\$10M	Konika, SII, Toshiba Brother, OTT Xerox-Tektronix, HP Scitex, PicoJet

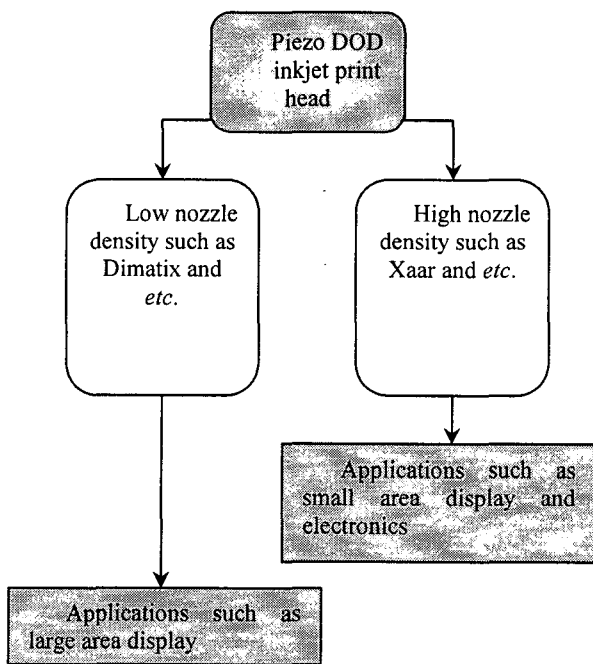


Fig. 2 Selection of piezo DOD inkjet print head, depending nozzle density and application

잉크 제조업체의 경우, 잉크를 개발함에 있어 투입되는 인적 자원과 비용을 고려해볼때, 개발된 잉크가 중소규모 잉크젯 프린트 헤드 제조업체에 인증되는 것보다는 Table 1에 보인 바와 같이 지배적인 시장 점유율을 가진 대형 잉크젯 프린트 헤드 제조업체에 인증되는 것이 비즈니스 측면에서 유리하다.

또한, 잉크젯 프린트 헤드 제조업체로부터의 기술적 대응, 잉크젯 프린트 헤드 제조업체의 기술 로드맵, 잉크젯 프린트 헤드와의 재료 호환성, 노즐 플레이트에서의 젖음성, 공정적용성과 응용제품과의 재료 호환성 등과 같은 물리/화학적 적합성 등이 고려되어야 한다.

잉크 제조업체가 잉크를 테스트할 간에 잉크젯 프린트 헤드를 선정해야할 경우에도 최종적으로 잉크가 적용될 잉크젯 프린트 헤드와의 테스트 상사성이 검증되어야 하며, 만약 이러한 검증이 신중히 이뤄지지 않는 경우, 테스트용 잉크젯 프린트 헤드에서 개발된 잉크가 양산용 잉크젯 프린트 헤드에서 문제점이 발생할 위험성이 있다.

잉크 제조업체와 잉크/잉크젯 프린트 헤드 사용 업체는 잉크젯 프린트 헤드를 선정시, 선정될 잉크

젯 프린트 헤드의 생산기간과, 향후 생산될 잉크젯 프린트 헤드에 대한 스펙검토를 잉크젯 프린트 헤드 제조업체와 긴밀히 행하여야 한다.

## 2.2 잉크젯 프린트 헤드 모델

잉크젯 프린트 헤드 모델의 선정시, 2.1 절에 언급된 바와 같이 노즐 피치 등과 같은 기계적 치수와 물리/화학적 적합성 외에도 노즐 자체 크기와 가공 오차 등에 대한 검토가 이루어져야 한다.

예를 들어, TFT-LCD 컬러필터 혹은 PLED 디스플레이에서와 같이, 폭 100  $\mu\text{m}$ , 길이 300  $\mu\text{m}$ , 깊이 1  $\mu\text{m}$ 의 마이크로 우물에 잉크를 채워넣어서 건조시켜 막을 생성해야하는 경우를 생각해보자. 잉크 건조시에 발생하는 물리적 현상들을 배제하고 단순화한 시스템으로 상정하여 예시적인 계산을 하도록 한다.

일반적으로 공정 엔지니어에게 주어지는 정보는 잉크의 점도, 표면장력, 액상에서의 고형분 무게분율 등이다. 액상 잉크에서의 고형분 무게분율이 건조후 최종 막두께와 연관성이 있으나, 액상에서의 고형분 무게분율 자체가 최종 막두께를 예측하는데 직접적으로 사용되지는 못한다. 공정에 있어 중요한 정보는 건조후 막두께 대비 건조전 막두께의 비율인 잔막율이다.

10%의 잔막율을 보이는 잉크를 가지고  $\pm 100\text{ nm}$  막두께 편차를 만족해야하며, 잉크액적의 사이즈는 노즐의 크기와 동일하며, 유일한 불확정 변수가 노즐직경의 가공오차일 경우, 허용 노즐 가공오차를 계산해보자.

Dimatix사의 S series 잉크젯 프린트 헤드가 고려될 경우, 선택가능한 노즐의 직경은 27, 35 그리고 50  $\mu\text{m}$ 이다.

27  $\mu\text{m}$  노즐의 잉크젯 프린트 헤드가 10% 잔막율을 가지는 잉크를 마이크로 우물에 29 방울 젯팅하여야 하며,  $\pm 100\text{ nm}$ 의 막두께 편차를 만족시키기 위해서는 노즐 직경은 26.1~27.9  $\mu\text{m}$  (절대 가공오차=1.8  $\mu\text{m}$ ) 범위 내에 들어와야 한다.

35  $\mu\text{m}$  노즐의 잉크젯 프린트 헤드의 경우 동일조건 하에서 13 방울이 마이크로 우물에 젯팅되어야하며, 노즐은 34.1~36.5  $\mu\text{m}$  (절대 가공오차=2.4  $\mu\text{m}$ ) 범위 내에 들어와야 한다.

50  $\mu\text{m}$  노즐의 경우 동일 조건 하에서 5 방울이 마이크로 우물에 젯팅되어야 하며, 노즐은 46.9~50.1  $\mu\text{m}$  (절대 가공오차=3.2  $\mu\text{m}$ ) 범위 내에 들

어와야 한다.

이와 같이, 노즐 구경이 커질수록 노즐의 허용 가공오차는 증가하는 경향을 보이며, 만약 노즐의 실제 가공오차가 허용 가공오차보다 작을 경우 젯팅시 생성되는 잉크액적의 직경 오차에 긍정적인 여유마진으로 적용된다. 반면, 실제 노즐 가공오차가 허용 가공오차보다 클 경우, 잉크젯 프린트 헤드의 젯팅 조건을 세밀하게 조절해줘야만 원하는 막두께 편차의 제품을 생산할 수 있으며, 이 경우 이미지 분석소프트웨어로 젯팅된 잉크액적의 속도를 이용하여 노즐을 캘리브레이션하는 방법은 더 이상 유효하지 않다.

노즐 크기가 증가할수록 노즐 허용 가공오차가 증대할뿐만 아니라, 부수적으로 마이크로 우물에 젯팅해야할 잉크액적의 수가 줄어들게 된다. 이와 같이 단위 마이크로 우물에 젯팅해야할 잉크액적의 수가 줄어들게 되면, 잉크젯 프린트 헤드의 이송속도가 동일할 경우 젯팅 주파수를 낮출 수 있으므로 긍정적이다. 혹은 주파수를 일정하게 유지할 경우, 노즐의 크기가 커질수록 잉크젯 프린트 헤드의 이송속도를 증가시킬 수 있으며, 최종적으로 공정시간을 줄일 수 있으므로 긍정적이다.

사용업체가 요구하는 사양을 만족하는 이상, 잉크젯 프린트 헤드의 유지보수와 수명측면에도 노즐이 클수록 유리하므로, 상기에 언급된 사항들을 고려하여 잉크젯 프린트 헤드 모델을 선정하여야 한다.

### 2.3 잉크와 공정

피에조 DOD 잉크젯 프린팅 방식이 DOD 잉크젯 프린팅 방식에서 가장 폭넓게 사용되고 있으며, 또한 가장 큰 주목을 받고 있다. 현재 잉크 개발의 주 타겟은 TFT-LCD 컬러필터용 잉크, 전도성 잉크, PLED 용 잉크, OTFT 용 잉크 등이 있으며, 이 중에서 실버 나노잉크의 개발이 가장 활발하게 이뤄지고 있다.

피에조 DOD 잉크젯 프린팅의 특성상 젯팅은도에서 30 cPs 미만의 저점도 잉크가 필요하며(최적 점도는 잉크젯 프린트 헤드 제조업체에서 제시함), 점도와 나노 입자의 분산성 제약으로 인해 현재까지 상용화된 혹은 개발중인 실버 나노잉크의 최대 함량은 무게분율로 50% 정도이다.

실버 나노잉크의 무게분율 50%가 수치상으로는 대단히 높게 느껴지나, 이것을 부피분율로 환산

하면 10%가 채 되지 않는다 점에 유의해야한다. 이와 같이 낮은 고형분 부피분율이 피에조 DOD 잉크젯 프린팅의 문제점 중의 하나이다.

이를 해결하기 위해서는 (1) 소재에서 접근하는 방식, (2) 설계률에서 접근하는 방식, (3) 공정에서 접근하는 방식, (4) 잉크젯 방식에서 접근하는 방식이 있다.

가능하다면, 소재에서 접근하는 방식이 유리하나, 현재 국내외의 잉크 기술수준으로는 단기간에 부피분율 10% 이상의 실버 나노잉크를 개발하는 것은 힘들 것으로 추정된다.

설계률에서 접근하는 방식은 기존의 생산방식에 준하여 수립된 전자회로 설계사양들을 잉크젯 방식으로 패턴된 얇은 도전패턴을 고려하여 전면 수정하는 것이나, 제품 동작성능에 대한 영향평가와 새로운 설계사양에 대한 신뢰성 검증이 이루어져야하는 문제점이 있다.

공정에서 접근하는 방식은 순수한 잉크젯 프린팅 방식을 적용하는 것에 비해 상대적으로 추가 공정과 비용상승을 유발할 수 있으나, 반면에 양산성과 신뢰성을 높일 수 있다는 긍정적인 면도 있으므로, 공정에서의 접근방식이 전술한 2 가지 방식에 비해서는 좀더 용이하나, 기존의 공정에 비해 어느 정도의 경제성을 확보하고 있는가에 대해 잉크젯 프린트 헤드 사용업체와 폭넓은 협의가 이뤄져야 한다.

마지막으로, 잉크젯 방식 자체로 접근하는 방식이 있다. 특정 잉크젯 방식은 멀티패스를 이용할시 패턴선폭을 10  $\mu\text{m}$  에 고정시킨채 100  $\mu\text{m}$  에 이르는 두께를 달성할 수 있음이 기술적으로 입증되었으나, 이러한 방식을 적용하기 위한 국내 인프라는 전무하며, 이러한 방식의 존재유무도 널리 알려지지 않거나 혹은 극소수만이 인지하고 있는 것으로 추정된다. 그러나, 상기의 특정 잉크젯 방식 또한 양산을 전제로한 기술적 검증과 신뢰성 테스트가 수행되어야 하며, 잉크와 공정에 대한 제약점이 있다는 점에서 모든 응용분야에 폭넓게 사용되기 보다는 특정 응용분야에 대한 솔루션이 될 수 있을 것으로 예상된다.

잉크의 불완전성을 보완하기 위해 추가적인 공정을 도입하는 경우 생산비용 상승이 불가피하나 반대로 신뢰성과 양산성을 상승시킬 수 있다면 적극적인 고려가 요구된다. Fig. 3 에 보인 바와 같이 공정비용이 상승할수록 일정한도까지는 양산성

과 신뢰성이 비례하여 상승함이 일반적이다. 비록 순수한 잉크젯만을 적용한 경우에 비해 공정비용은 상승하더라도, 기존 공정비용보다 저렴하며, 기존 공정의 양산성 혹은 신뢰성을 나타내는 B 한계선 이상의 양산성과 신뢰성을 확보할 수 있다면 추가적인 공정투입을 적극 고려해볼만 하다.(일본 측 특허들을 살펴보면 상당부분 추가공정 도입을 고려하고 있음을 주지해볼만 하다.) 혹은 기존공정 대비 낮은 수율에도 불구하고 저렴한 생산비로 낮은 수율을 커버하는 방안을 생각해볼 수 있다.

하지만, 추가적인 공정을 투입하여 비용상승이 일어남에도 불구하고 기존 공정의 양산성 혹은 신뢰성을 나타내는 A 한계선을 넘어서지 못한다면 공정 재설계를 해야한다.

추가적인 공정 중 가장 보편적인 것은 표면개질이다. 예를 들어, TFT-LCD 컬러필터나 전도성 패턴, TFT 소자를 잉크젯으로 패턴함에 있어 기판의 표면에너지 개질을 행하는 것이 일반적이나, 접촉각을 변화시키는 경우 후속공정에서 문제를 일으킬 수 있으므로, 잉크젯 공정개발시 전/후 공정이 반드시 함께 고려되어야 한다. Fig. 4 에 보인 바와 같이 TFT-LCD 컬러필터 와 PLED 디스플레이에서 주로 사용되는 बैं크 구조물은 잉크와의 접촉각에 따라 잉크의 건조후 최종 막품질에 영향을 미칠 수 있다.<sup>12</sup> 일반적으로 बैं크 구조물은 Fig. 5 에 보인 바와 같이, 잉크에 대해 높은 접촉각을 가지는 것이 패턴형성에 유리하다고 알려져 있으나 높은 접촉각을 가지는 बैं크 구조물은 बैं크 내부의 잉크 퍼짐성에 영향을 미칠 수 있으며, Fig. 4 에 보인 바와 같이 बैं크 측면에서의 잉크 젖음성을 나쁘게 하므로, 최적 접촉각이 존재함을 알 수 있다.

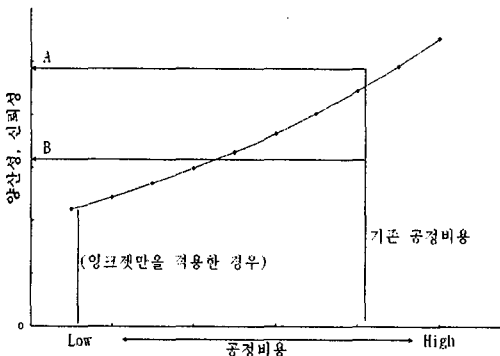


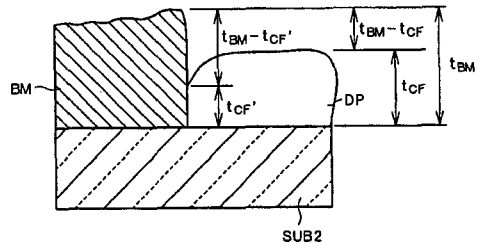
Fig. 3 Production cost against productivity /reliability curve

뱅크와 잉크간의 접촉각에 따라 बैं크 구조물 내부에 젖팅할 수 있는 잉크의 최대양이 결정되므로 건조 후의 막두께에 영향을 미칠뿐만 아니라, 건조된 잉크와 बैं크간의 표면 에너지 차이가 일정한도 이상일 경우, 후속공정에서 액상재료를 이용하여 코팅 혹은 패턴을 해야할 경우 문제를 일으킬 수 있다.

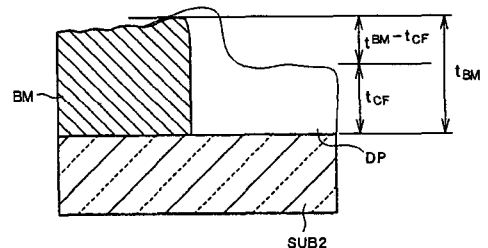
따라서, 잉크젯 공정의 개발시에는 잉크젯 적용 공정 전후 공정과 소재들에 대한 고려가 반드시 이루어져야 한다.

잉크젯을 이용한 전자회로 기판의 생산에 있어서도 원하는 막두께와 패턴선폭을 얻기위해 표면개질을 고려할 수 있다.

패턴 선폭을  $w$ , 패턴 길이를  $L$ , 패턴 길이내에 젖팅된 잉크액적의 총 갯수를  $N$ , 기판과 잉크간의 접촉각을  $\theta$ , 잉크액적의 직경을  $d$ , 젖팅되는 잉크액적간의 거리를  $p$ , 그리고 건조전의 잉크가 기판과 이루는 각도에 따른 패턴단면의 곡률반경을  $r$  로 정의할때, 이들간의 상관관계는 건조전 평형상태에서 Eqs. (1)과 (2)로 단순화될 수 있다.<sup>13</sup>



(a) Bank structure with low contact angle to ink



(b) Bank structure with high contact angle to ink

Fig. 4 Influence of contact angle of bank structure on the surface profile after drying/curing

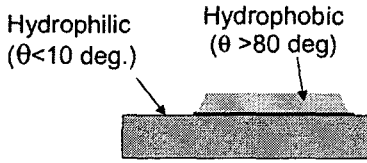


Fig. 5 Preferred contact angles of substrate and bank structure against ink<sup>7</sup>

잉크의 잔막울을 알면 패턴의 단위 길이당 젖팅될 잉크의 부피를 계산할 수 있으며, 원하는 선 폭을 대입할 경우 기판과 잉크가 이루어야할 접촉 각이 계산될 수 있다.

$$\frac{\pi d^3}{6} N = \left( r^2 \theta - \frac{wr \cos \theta}{2} \right) L \quad (1)$$

$$w^2 = \frac{\frac{\pi d^3}{6p}}{\frac{\theta}{4 \sin^2 \theta} - \frac{\cos \theta}{4 \sin \theta}} \quad (2)$$

그러나, 접촉각이 일정 각도 이상일 경우 표면 젖음이 불량하여 선으로 패턴되지 못하고 잉크액적들이 클러스터를 형성하게 되는 문제점이 있다. 이러한 경우, 현실적으로 잉크만으로는 사용자가 원하는 패턴을 행할 수 없으므로 표면개질 이외의 다른 공정이 도입되어야 한다. 혹은 다른 잉크젓 방식을 적용함으로써 이러한 문제점을 극복할 수 있다.

잉크젓 프린팅은 Ref. 8 에 기술된 바와 같이 건조공정도 고려해야하는 복잡한 엔지니어링 문제이며, 이에 대한 경향성을 파악하고 대응안을 도출하기 위해서는 단순히 실험만으로는 부족하며, 유변학과 마이크로 스케일의 유체역학적인 지식과 기초연구가 이뤄져야 한다.

### 3. 잉크젓 공정개발 현황과 연구방향

현재 국내에서는 삼성과 LG 가 잉크젓 공정을 적용한 TFT-LCD 컬러필터, PDP/PLED 디스플레이, 전자회로용 전극패턴 등의 연구개발을 행하고 있는 것으로 알려져 있다.

LG 화학은 잉크젓을 적용한 TFT-LCD 컬러필터 공정을 개발했음을 2005 년 8 월말에 다수의 신문

매체를 통해 대대적으로 발표하였다. 이에 자극받은 삼성은 2005 년 11 월 석준형부 사장이 2006 년 6 월부터 잉크젓 방식을 5 세대 생산라인에 도입하겠다고 발표하였다.

그러나, 삼성은 2006 년 5 월말, 6 라인에 잉크젓을 업계 처음으로 시험적용했음을 하나의 언론매체, 디지털 타임즈를 통해서 소극적으로 발표하였으며, 2006 년 IMID 학회에서는 LG 화학의 TFT-LCD 컬러필터용 잉크를 제외하면, 삼성과 LG 모두 잉크젓 공정을 적용한 컬러필터의 제작과 관련된 내용을 발표할 계획이 없음을 주목할만 하다.

8 세대 라인 적용을 발표했던 Sharp, 그리고 6 세대 라인에 적용하기로 발표했던 DNP, 그리고 대만의 Chunghwa Picture Tubes 모두 2006 년 IMID 학회에는 잉크젓 공정을 적용한 TFT-LCD 컬러필터에 관련한 내용을 발표할거 같지는 않다.

여러 정황증거로 보아 일본의 콘소시엄(Sharp, DNP, Epson)에 비해 출발이 느렸을뿐만 아니라 잉크젓 인프라 또한 1997 년 IMF 이후 붕괴된 한국 기업들이, 2004 년 이후 2 년이라는 짧은 시간안에 일본의 기술력에 대한 추격에 성공했다고 보기에 힘들다고 판단되며, 필자는 최악의 시나리오를 가정하여, 잉크젓 공정이 국내에서 실패할 경우 과연 무엇이 문제였는가를 간략히 짚어보고자 한다.

현재 잉크와 산업용 잉크젓 프린터 자체에 대한 개발은 관련업계에 의해 활발하게 진행되고 있으나, 기타 잉크젓 관련 주변기기들에 대한 연구개발, 공정개발에 대한 것은 팔목할만한 주목을 받지 못하고 있다.

예를 들어, 잉크와 잉크젓 프린트 헤드의 신뢰성과 특성을 평가하기 위한 특성평가장치는 잉크 제조업체와 잉크젓 프린트 헤드의 사용업체 모두에게 필요한 장비이나, 현재 상용화된 iTi, Xennia, AFIT 의 drop watcher 장비들은 작동 메커니즘 자체의 한계점으로 인해 전 노즐에 대한 초단위의 젖팅 데이터 수집과 분석에는 적합하지 않다.

또한, 노즐간의 잉크액적 생성 편차의 원인으로서는 크게 5 가지를 꼽을 수 있는데, 이에 대한 심도깊은 연구가 발표된 적이 없다는 것도 문제점으로 지적해볼 수 있다. 노즐간의 잉크액적 생성 편차를 줄이기 위해서는 잉크젓 프린트 헤드 자체에 대한 기초연구와 함께 측정장비도 함께 개발되어야 했는데 그러한 업계동향은 전무한 실정이다.

무엇을 연구하고 개발해야 할가에 대한 로드맵조차 제시된적이 없다.

디스플레이와 전자회로 응용분야에서는 기존의 그래픽 아트용 응용분야보다 고농도의 잉크를 사용하게 되는데, 이로 인해 실제 프린트 헤드의 사용수명은 제조사가 보증하는 잉크젯 프린트 헤드의 수명보다 짧다. 특히, 복수개의 잉크젯 프린트 헤드가 사용될 경우, 잉크젯 프린트 헤드의 평균 수명의 연장과 더불어 수명 표준편차도 매우 작아야 하는데, 이와 관련된 연구가 발표된 적도 없다.

반도체 공정이 단순히 노광기만으로 이루어지지 않고 스퍼터, 스펀코터, 슬릿코터, 임플란터 등등의 다양한 주변장비들과 함께 발전해왔듯이, 잉크젯 또한 잉크와 잉크젯 프린터 이외의 주변장비들이 개발되어 잉크젯 공정을 지원해야 할 것으로 보이나 주변장비 개발에 대한 업계동향도 없었다.

잉크젯 관련 인프라뿐만 아니라 잉크젯 관련 전문가들도 일본이나 영국에 비해서 턱없이 부족하고, 그 결과 현재 잉크젯 관련 연구개발인력은 잉크젯에 대해 전문적 지식이 없는 인력들이 상당수임이 문제점으로 지적될 수 있다.

산업체의 지나친 비밀주의는 잉크젯 관련 인프라의 확충과 전문인력의 양성을 저해하고, 부족한 인프라와 인력풀 그리고 기반지식은 다시 산업체의 기술혁신을 잠먹는 악순환이 이뤄지고 있다.

상기의 요인들로 인해 한국의 잉크젯 기술이 실패했음에도 불구하고, 만약 일본의 DNP 혹은 Sharp 가 잉크젯을 TFT-LCD 컬러필터의 양산공정 적용에 성공한다면, 혹은 일본이나 대만의 업체가 잉크젯을 PDP 나 PLED(아직 소재의 신뢰성이 확보되지 않았다는 것을 배제함) 디스플레이 양산공정 적용에 성공한다면, 국내 디스플레이업계는 소재와 기술혁신에서 일본이나 대만업체에게 뒤처질 수 밖에 없는 위기상황이다.

#### 4. 결론

수많은 잉크젯 기술에 대한 이슈중에서 일부 하드웨어와 공정관련 이슈들을 간략히 소개하였다. 필자가 잉크젯의 현재에 대해 필요이상으로 우려를 나타낸 것은 아닌가 염려가 되는 것은 사실이나, 차분히 현재를 둘러보고 앞으로 무엇을 해야 할 것인가에 대하여 진지하게 고민해보고, 항상 위기의식을 가지자는 의미로 파악해주기를 바란다.

Gartner 의 기술발전 곡선에 따르면, 어떤 요소 기술은 (1) 기술태동기, (2) 최고 기대기, (3) 각성기, (4) 계몽기, (5) 완숙기를 거친다. 잉크젯은 현재 어디에 위치하고 있는가 반문해 봐야 한다. 필자의 주관적 판단에 따르면 잉크젯은 현재 최고 기대기를 거치는 단계라고 본다. 최고 기대기에는 온갖 과장과 거품 또한 난무한다.

잉크젯은 분명 매력적인 패턴기술임에는 틀림 없으나, 환상만이 부각되고 잉크젯의 현실적 한계를 망각한채, 기초연구력도 없고 연구할 방향도 설정하지 못한채 트렌드를 쫓아 뛰어들어도 될 기술은 아니다.

LG 주간경제 6 월호에 소개된 ‘디스플레이 강국의 위상이 위협받고 있다’<sup>14</sup> 에 따르면, 시의적절한 대규모 투자를 통해 급속히 성장했던 한국 디스플레이업계는 이제 투자 주도 중심에서 혁신 주도 단계로 빠른 전환이 필요한 시점에 다다랐음을 알 수 있다. 그 중심에 다른 요소기술들과 함께 잉크젯이 위치하고 있다.

그러나, 잉크젯과 같이 기존 기술과의 연속성 없이 도약하는 신기술은 근본적인 혁신을 필요로 하지만, 대기업의 경우 풍부한 인적자원과 자본력에도 불구하고 근본적인 혁신을 창출해내기에는 어려운 면이 있다.<sup>15</sup>

산업체는 비밀주의의 굴레에서 좀더 유연한 태도를 취할 필요성이 있으며, 정부출연연구소/대학과 손잡고 인력양성과 기초기술을 착실히 쌓아 나가야 할 시점이라고 본다.

#### 참고문헌

1. Vest, R. W., Tweedell, E. P. and Buchanan, R. C., "Ink jet printing of hybrid circuits," Int. J. Hybrid Microelectron., Vol. 6, pp. 261-267, 1983.
2. Teng, K. F. and Vest, R. W., "Metallization of Solar Cells with Ink Jet Printing and Silver Metallo-Organic Inks," IEEE Transactions on Components, Hybrids and Manufacturing Technology, Vol. 11, No. 3, pp. 291-297, 1988.
3. Slade, C. E. and Evans, J. R. G., "Freeforming ceramics using a thermal jet printer," Journal of Materials Science Letters, Vol. 17, pp. 1669-1671, 1998.
4. Windle, J. and Derby, B., "Ink jet printing of PZT

- aqueous ceramic suspensions,” *Journal of Materials Science Letters*, Vol. 18, pp. 87-90, 1999.
5. Kobayashi, H., Kanabe, S., Seki, S., Kiguchi, H., Kimura, M., Yudasaka, I., Miyashita, S., Shimoda, T., Towns, C. R., Burroughes, J. H. and Friend, R. H., “A novel RGB multicolor light-emitting polymer display,” *Synthetic Metals*, Vol. 111-112, pp. 125-128, 2000.
  6. Kawase, T., Sirringhaus, H., Friend, R. H. and Shimoda, T., “Inkjet Printed Via-Hole Interconnections and Resistors for All-Polymer Transistor Circuits,” *Adv. Mater.*, Vol. 13, No. 21, pp. 1601-1605, 2001.
  7. Shimoda, T., Morii, K., Seki, S. and Kiguchi, H., “Inkjet Printing of Light-Emitting Polymer Displays,” *MRS Bulletin*, pp. 821-827, November, 2003.
  8. Yeates, H., “Plastic Logic targets 10  $\mu\text{m}$  inkjet lines,” *ElectronicsWeekly.com*, September 2004.
  9. “Production technology on plastic substrate for flexible display and electronics,” *LINK ISD*, 2003.
  10. Albertalli, D., “Gen 7 FPD Inkjet Equipment – Development Status,” *Society for Information Display*, 2005.
  11. Baldwin, H., “Industrial Single Pass Ink Jet Printing: Facing the Challenge,” *IMI’s 13<sup>th</sup> Digital Tag, Ticket & Label Printing Conference*, St. Pete Beach, FL, USA, 2006.
  12. Japanese patent, 2001-194521
  13. Smith, P. J., Shin, D.Y., Stringer, J. E., Derby, B. and Reis, N., “Direct ink-jet printing and low temperature conversion of conductive silver patterns,” *Journal of Materials Science*, in press, 2006.
  14. 최정덕, “디스플레이 강국의 위상이 위협받고 있다,” *LG 주간경제*, No. 880, pp. 26-30, 2006.
  15. 김기현, “혁신 기술에 도전할 때다,” *LG 주간경제*, No. 652, pp. 37-43, 2001.