잉크 젯트 프린터 技術

柳 永 洙
Hewlett-Packard 中央研究所

Ⅰ. 머리말

미국에서 발행되는 Electronic Business(7/22/91) 잡지에 의하면 1990년에 미국에서 가장 크다고 하는 200개의 전자 및 computer 회사에서의 computer를 비롯한 모든 전자제품의 총 매상이 3630억불 이었다고 신고하였는데 그 중 copier를 포함한 printer 시장은 세계적으로 약 500억불 이상으로 알려졌다. 그 시장 역시 날로 늘어가고 있고 종래에 존재하지 않았던 새로운 분야가 형성됨에 따라 그에 따른 information을 전달하는데 필요한 printer의 역할은 엄청나다고 할 수 있다.

최근에는 소위 desk top publishing이라는 새로운 분야가 생김에 따라 인쇄소에서 하던 많은 일들은 user가 직접하게 되었고 fax machine과 notebook computer, video camera 등의 보급에 따라 새로운 printing 개발에 대한 요구가 증가되고 있으며 또한 무시못할 큰 시장으로 확대된 것이다. 특히 경쟁이 심한 전자와 computer 계통에서는 품질이 좋고 싼 printer가 절실히 요구되고 있다.

불과 몇년 전만 해도 printer나 typewriter에 주로 많이 쓰이고 있던 ribbon의 수요가 요즘에 와서는 감소되고 있으며 또한 printing 방법이 impact에서 새로운 non-impact 방법으로 급격히 전환되고 있다. Dot matrix와 같은 impact printer는 office의 소음과 print quality, 속도, price면에서도 non-impact printer, 특히 다음에 언급하고자 하는 ink-jet printer와 경쟁하기가 어렵게 되어가고 있다.

Printer 제조에 조금이라도 관심이 있는 engineer라면 ink-jet printer에 매력을 느끼게 되는 데 그 이유는 아래와 같은 많은 장점이 있기 때문이다.

(1) Digital computer에 쉽게 adaptable 하다는 것

(2) Dot registration이 정확하므로 high resolution을 쉽게 achieve 할 수 있고

(3) High speed printing을 할 수 있으며

(4) Low cost product를 만들 수 있다(특히 drop-on-demand ink-jet). Printing이 drop을 ejection해서 이루어지기 때문에 복잡한 mechanical system을 쓰지 않고 또 laser printer나 copier에서 처럼 여러 단계의 processing (적어도 6단계)을 필요로 하지 않는다. 그리고 solid state electronic을 쓰고, hammer로 ribbon을 때리는 impact 방식이 아니기 때문에 마손이 적고 life time이 길며 reliable하기 때문에 low maintenance를 요구한다는 것이다.

(5) Non-impact printer이기 때문에 office에서 저소음의 operation을 할 수 있다.

(6) 아주 작은 energy를 요구하기 때문에 portable printer 제작에 적합하며 printer의 operating cost가 적게 든다.

(7) 필요한 양을 drop으로 ejection하여 필요로 하는 곳만 print하기 때문에 image를 marking하는 ink를 가장 효율적으로 사용하여 재료의 cost와 waste disposal 문제가 적다는 것이다.

Ribbon의 경우는 쓰지않는 부분이 많고 laser printer는 실지로 image에 쓰여지지 않는 필요이상 양의 toner도 image process에 관여되기 때문에 environmental disposal problem을 일으키게 된다.

(8) Non-contact printing을 하기 때문에 flat한 surface인 종이뿐만 아니라 플래스틱, 둥근깡통, 계란껍질 등에 쉽게 print 할 수 있다.

특히 상품의 serial number 및 model number, barcode, logo등을 깡통, plastic 표면, 유리병 등에 software를 써

서 각국 언어를 직접 print 하는 데도 쓸 수 있기 때문에 엄청난 응용분야를 추측할 수 있게 된다.

특히 새로운 application으로 전환하는데 tooling cost가 아주 적게 든다고 할 수 있다.

(9) Dot로 print 하기 때문에 활자 size의 변화는 물론 활자의 종류(한자, 일어, 한글 등)을 쉽게 generate 할 수 있어서 flexible하다.

(10) Basic printer engine을 사용하여 office용 뿐만 아니라 video 카메라나 일반 카메라의 사진(image)용 printer, 복사기, page array(line) printer 등으로 응용분야를 넓힐 수 있다.

지금까지의 현존하는 printing technology 가운데 ink-jet technology 이외에 상기와 같이 폭넓은 응용을 할 수 있는 것은 없다고 볼 수 있다.

잉크젯트 방식은 dot matrix printer의 속도를 훨씬 능가하면서도 高畵質, 低騷音, 高信賴性을 가지고 價格面에서 dot matrix에 경쟁력을 확보하여 市場에서 dot matrix를 代替할 프린터로 예상되고 있다. 한편 畵質과 速度의 改善은 價格의 저렴화와 더불어서 電子 프린터 市場을 침투하게 될 것이다.

뿐만 아니라 color의 필요성이 높아져 가고 있는 현황에서 잉크젯트 이외에 저렴한 시스템 가격, 쓰루풋(through-put), 高畵質, 信賴性을 제공할 수 있는 다른 칼라 프린팅 方式이 없다. 잉크젯트의 해상도와 속도를 끊임없이 높이고 畵質을 개선함으로써 칼라機器 市場의 主種으로 군림할 것으로 예상된다.

여기서 잉크젯트 方式의 技術을 槪觀하고 앞으로 풀어야 할 問題點들을 타진한 후 市場 展望을 살펴보기로 하겠다.

Ⅱ. Ink Jet Printing Technology

Ink jet(stream)을 이용하여 프린트하는 방법은 오래전부터 여러가지로 시도되어 왔는데 이를 크게 분류하면 2가지 범주로 나눌 수 있다.

첫째는 잉크의 분사방법에 따라서 나눌 수 있으며, 둘째는 사용하는 잉크의 종류에 따라 나눌 수 있다. 전자는 다시 continuous ink jet과 drop-on-demand ink jet printing으로 나누어지며, 후자는 실온에서 잉크가 액체인지 고체인지에 따라 liquid ink jet과 solid ink jet printing으로 나누어진다(그림 1).

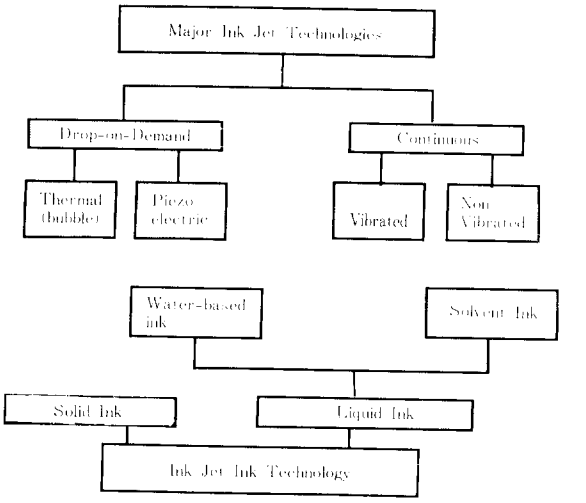

그림 1. 잉크 젯트 프린터 기술의 분류

1. Continuous Ink-Jet Printing

Continuous ink-jet printing 방식은 가장 오래된 것으로 현재는 이 방법을 쓰는 printer는 몇개 되지 않으며 그 기본동작 원리는 그림 2에서 명시한 바와 같이 펌프를 사용하여 高壓으로 아주 작은 구멍(orifile, nozzle)을 통해 잉크를 분사하고 고전압을 잉크 분사 방향으로 걸어 형성된 잉크 방울을 帶電한다. 대전된 잉크 방울들은 偏向板 電極에 걸리는 電壓에 의해 紙面으로 向하던지 잉크회수 홈통으로 偏向시켜 회수하여 재 순환시키는 방법이다.

연속식 잉크젯트 프린터에서는 잉크방울을 형성할 때 피에조型 振動子와 같은 보조기구를 써서 잉크방울을 만들어 내는 진동방법과 non-vibrate(non-stimulate)하는 방법 등이 있다(그림 2).

연속식 잉크젯트 프린터는 記錄속도가 아주 빨라서(약 100KHz) 고속인쇄용으로 많은 노즐(nozzle)을 쓰지 않아도 된다는 장점이 있으나 다음의 여러가지 단점을 가지고 있다.

(1) Printer를 始動할 때 필요한 복잡한 절차

(2) 아주 복잡한 ink 帶電장치와 고압의 잉크 偏向器具

(3) 多量의 잉크가 記錄에 쓰이지 않고 재 회수되어야 하기에 잉크 회수 시스템이 필요하다.

따라서 연속식 잉크젯트 프린터는 전반적으로 이러한 복잡한 과정때문에 제조가격이 높아져 IRIS Graphic사 및 Stork사를 제외하고는 실제로 상품화에 성공한 예가 별로 없다. 연속식 잉크젯트 프린터의 技術 發達과정과 技術 系統圖, 전형

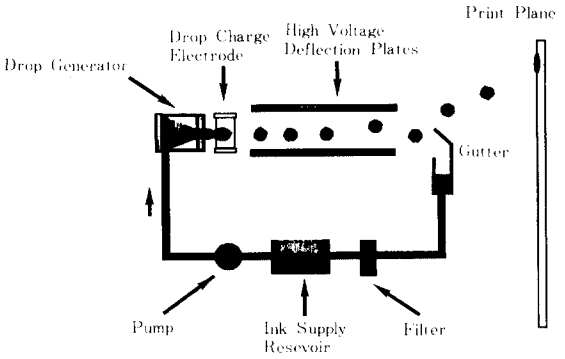

그림 2. 연속 잉크젯트 프린터 원리

표 1. Parameters for continuous ink jet printers

Parameters	Typical Range	IBM 5258	IRIS Graphics
Nozzle Diameter(μm)	10-220	33	15
Drive Frequency(KHz)	17-1000	117	1000
Ink Pressure(psi)	10-500	50	650
Jet Velocity(m/sec)	10-50.	18.5	
Resolution(dots/inch)	70-300	240	240
Charging Voltage(volts)	100-300	200	
Deflection Voltage(volts)	1000-5000	3300	
Ink Viscosity(cP)	1-10.	1.8	
Ink Surface Tension(dyne/Cm)	25-70	39	
Ink Resitivity(Ohm-Cm)	<1000	60	
Large Particle Size(μm)	<1	···	
Shelf-Life(months)	> 18	> 18	

적인 作動파라메터 등은 그림 3, 4와 표 1에 보이는 바와 같다. 연속식 잉크젯트 프린터가 가지고 있는 여러가지 단점을 보완하기 위해 개발된 것이 소위 "drop-on-demand(DOD)" 잉크젯트 프린터이다.

2. Drop-On-Demand 잉크젯트 프린터

DOD 잉크젯트 프린터는 비교적 최신식 방법으로 잉크방울을 帶電하거나 偏向시킬 필요가 없고 고압도 필요치 않으며, 대기의 압력하에서 필요할 때(printing할 때만) 잉크방울을 분사하여 손쉽게 記錄하는 방법으로써 잉크방울을 형성하는데 피에조 型 변화기를 써서 잉크방울을 만드는 피에조 방법과 熱을 이용하여 氣泡(bubble)를 만들어 잉크를 분사하는 thermal ink jet 방법으로 크게 나눌 수 있고, PZT 변환기法은 다시 PZT transducer의 형태에 따라 평면型 트랜스듀서(diaphrame이나 piston)와 원통형 트랜스듀서로 나누어 진다.

또 사용하는 잉크가 상온에서 액체인지 고체인지에 따라 液滴 잉크젯트 (liquid ink jet)과 固體 잉크젯트 (solid ink jet)으로 나눌 수 있다.

PZT transducer를 사용할 경우는 잉크室이나 노즐에 이 transducer를 부착하여 PZT의 수축에 따라 잉크방울이 형성되며, 버블을 사용할 경우는 기포(버블) 사이즈가 커짐에 따라 부피가 팽창하여 잉크실에서 잉크를 밖으로 밀어냄으로써 잉크방울을 형성하게 된다. 이 모든 방

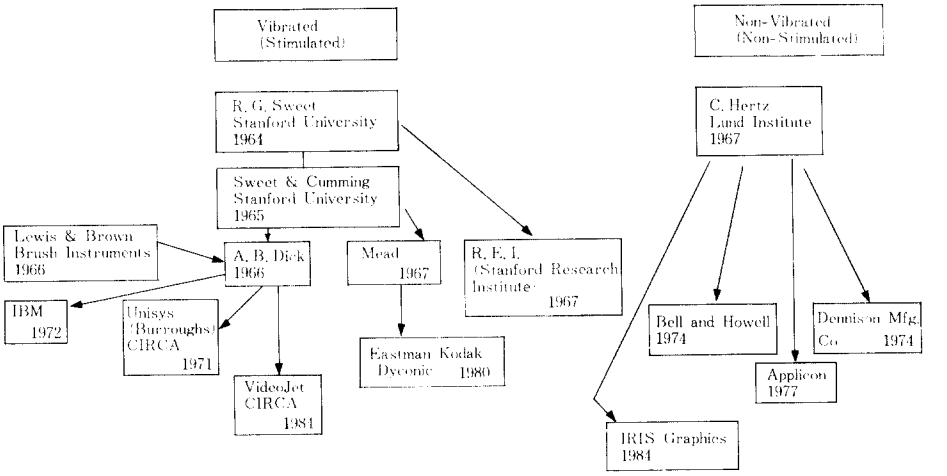

그림 3. History of continuous ink jet printing

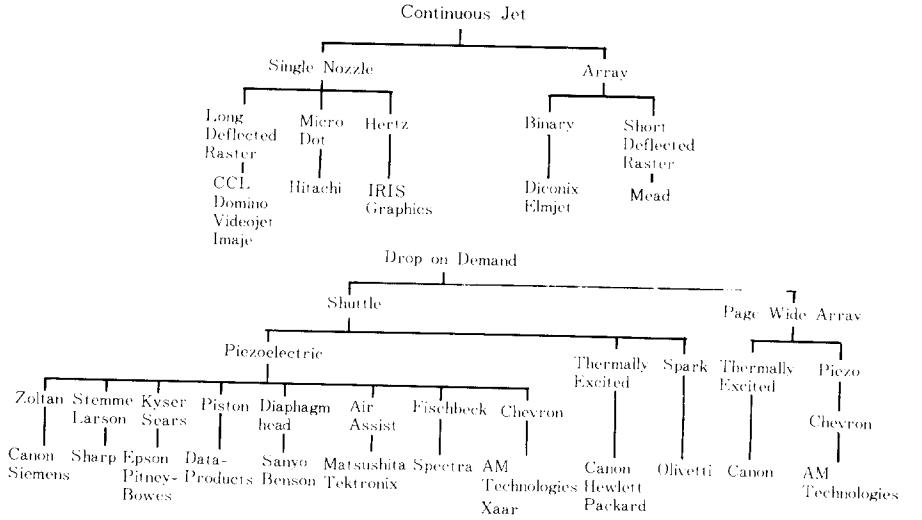

그림 4. Ink jet technology map

법에 있어서 잉크의 재 공급은 모세관 흡입작용(capillary suction)에 의해서 자동적으로 되므로 펌프가 별도로 필요하지 않고 記錄을 원할 때만 잉크 방울을 射出할 수 있기 때문에 "drop-on-demand(DOD)"라는 이름을 붙인 것이다(그림 5).

DOD 잉크젯트 프린터의 技術 발달과정과 技術 系統圖 및 전형적인 작동 파라메타 등은 그림 4, 5, 6과 표 2에 보이는 바와 같다.

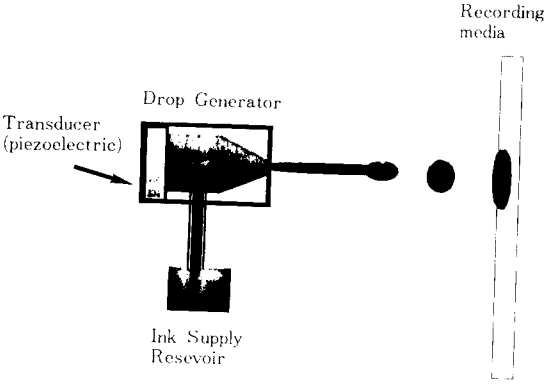

그림 5. Drop-on-demand piezoelectric ink jet

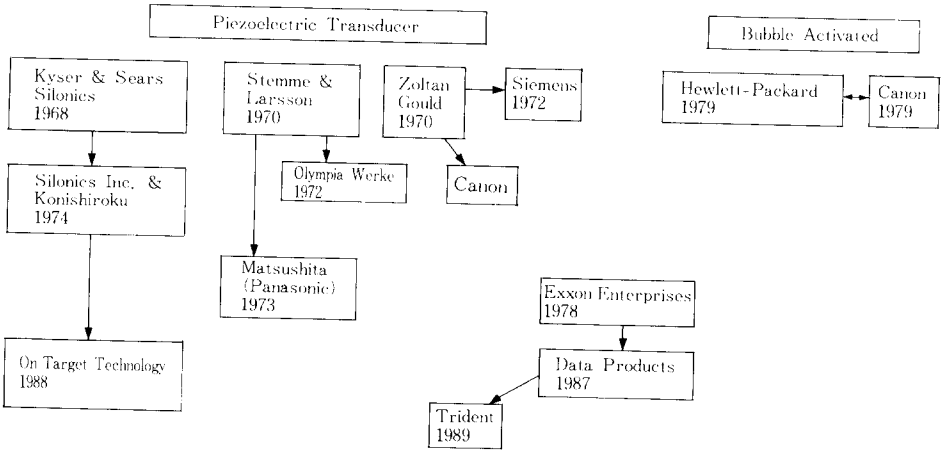

그림 6. History of drop-on-demand ink jet printing

표 2. Parameters for drop-on-demand ink jet printers

Parameters	Typical Range	Tektronix 4692
Nozzle Diameter (μm)	40 – 100	40
Drive Frequency (KHz)	3 – 25.	20
Jet Velocity (m/sec)	3 – 15.	10
Resolution (dots / inch)	100 – 300	154
Drop Volume (picoliters)	50 – 500	250
Pulse Width (μsec)	4 – 100	48

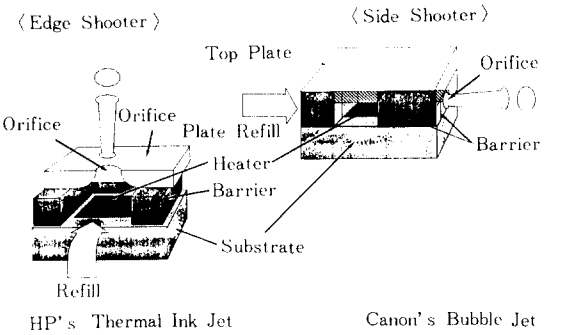

그림 7. Architectures of bubble jet and thermal ink jet printhead

Ⅲ. 잉크종류에 따른 분류

1. 水系 잉크젯트 프린터(water-based ink-jet printer)

DOD 잉크젯트 프린터 가운데 현재 가장 많이 보급되고 있는 프린터는 버블을 사용하여 잉크방울을 분사하고 水性잉크를 사용하는 Hewlett-Packard社의 서멀 잉크젯 프린터(thermal ink jet)와 Canon社의 버블젯트 프린터(bubble jet printer)이다.

1979년경에 HP社와 Canon社가 거의 동시에 독자적으로 그때 까지의 프링팅 방법과는 전혀 다른 DOD 잉크젯 技術을 발표하였다. 이것은 잉크를 發熱抵抗器로 가열하여 버블을 형성하고 그 부피의 팽창을 이용하여 orifice를 통하여 잉크방울을 射出하는 방법이다. 종래의 잉크젯트와는 달리 microfablication 技術을 이용하여 잉크젯 헤드를 만들기 때문에 노즐 수가 많은 高解像 헤드를 아주 값싸게 생산할 수 있다는 장점이 있었으나 초기에는 發熱器를 구성하는 재료가 심한 電氣化學的 부식과 cavitation damage를 감당해 내지 못해 상품으로 생산할 만큼 reliable한 life time을 갖지 못하였다.

眞空파손(cavitation damage)이란 버블이 해체될 때 發熱抵抗器의 표면이 엄청난 압력(>100,000 atmosphere)의 충격파와 높은 온도의 상승(>10,000℃)을 경험하게 되는데 대부분의 박막저항(thin film) 재료는 견디어내지 못하고 파손되는데 이것을 cavitation damage라고 부르며 材料工學 分野에서 해결하기 가장 어려운 문제로 남아있다.

그러나 HP는 난점을 극복하고 잉크젯 사상 최초로 값싸고 한번 쓰고 버릴 수 있는 프린트 헤드(약 500 page를 프린트 할 수 있는)를 개발하여 잉크젯트 전반에서 겪고 있는 신뢰성 문제를 해결하여 1984년 12노즐의

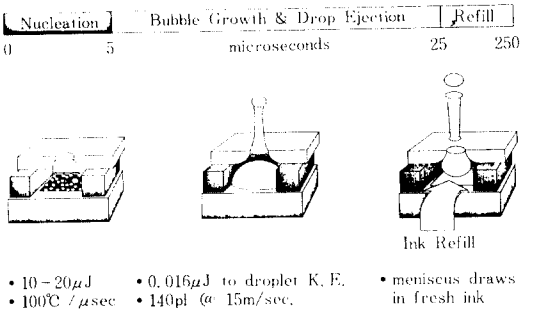

그림 8. Bubble formation and drop ejection of thermal ink jet printhead

thermal jet printer를 생산하여 판매하였다.

1986년에 30노즐 칼라 잉크젯트 프린터인 "PAINT JET", 그리고 1986년에 최초로 普通紙用 흑백프린터(DeskJet)를 시장에 소개했다. 지금까지의 잉크젯트 사상 가장 상업적으로 성공한 예로서 시장 점유율이 거의 80%를 차지하고 있다.

한편 Canon社도 계속 저항기의 errosion / cavitation 문제를 해결하고 뒤늦게 24노즐의 BJ-80 프린터와 普通紙 프린터인 BJ-130(48 노즐) 프린터를 소개했다. BJ-80은 黑白 프린터로써 180dpi 解像力으로 초당 240字(draft)의 속도로 프린트 했고, BJ-130는 360dpi로써 초당 400字(draft)의 속도로 프린트 했다.

1990년에 Canon社는 BJ-A1 이라는 大型 프린터 – 복사기를 Hanover Show에 소개했는데 256개의 노즐을 가진 400dpi의 해상력으로, A0 Size의 紙面을 6분에 프린트 할 수 있다고 하는 칼라 프린터–복사기를 선보였다.

1991년에 들어서는 Hewlett-Packard社에서 고해상의 칼라 잉크젯트 프린터가 소개되었는데 Deskwriter C (Macintosh 用), DeskJet C(PC 用)라는 color solid ink jet 이다. Deskwriter C는 종래의 DeskJet printer와 하드웨어 면에서는 거의 동일하며 水系잉크를 사용하며 3가지의 칼라 (cyan, yellow, magenta)만을 사용해서 칼라 畵像을 記錄할 수 있으며 text 전용으로 black cartridge를 따로 쓸 수 있다. 300dpi의 해상력으로 최대 5KHz로 작동하며 프린트 속도는 draft mode로는 3분, normal mode 로는 4분이 각각 소요된다. 프린트 헤드는 종래의 deskjet ink cartridge를 3개(칸)로 나누어 3 color의 잉크를 보유하도록 되어 있다.[4]

위의 두 회사의 技術은 거의 같으나 잉크방울을 분사하는 방향 및 구조(architecture)가 약간 다르다. 그림 7에서 보는 바와 같이 HP사의 구조는 버블이 팽창하는 같은 방향으로 잉크방울을 분사하게 되고 "(Edge Shooter)", Canon社의 것은 잉크방울을 버블의 팽창하는 방향과 90° 방향으로 분사한다. ("Side Shooter")[5,6]

위의 두 회사의 technology에 대해서 간단히 기술하면 다음과 같다.

1) 버블 形成과 수축

그림 8에서 보는 바와 같이 발열 저항기에 전류를 가하면 thermal ink jet에서는 5μs 이내에 버블 核(nucleation)이 형성되기 시작하고 5-25μs 사이에 버블이 최대의 사이즈로 팽창하여 거의 20-25μs경에는 잉크방울이 노즐板으로부터 떨어져 나가게 된다. Nucleation 시작된 후 25-250μs 사이에서 모세관 흡입(capillary suction)에 의해서 잉크가 프린트 헤드에 재 충전된다. 버블 nucleation 되는 데는 약 10-20μ Joule의 에너지가 필요하며 이에 필요한 에너지는 1μs당 약100℃의 아주 빠른 속도의 온도 상승에 의해서 충당된다. 이러한 현상은 물이 끓을 때 볼 수 있는 열전달과는 비교 할 수가 없이 빠르다. 그 이유는 전자는 non-steady state 현상에서 일어나게 되고 후자의 경우는 steady state 현상에서 일어나기 때문이다.

대표적인 잉크방울의 부피는 발열기의 사이즈에 따라 차이가 있지만 약 140 pico liter이며 잉크방울의 속도는 1초당 약 10-15meter 정도된다. 잉크방울이 분사될 때의 Kinetic Energy(K. E)는 약 0.016μ Joule 정도 된다. 따라서 대부분의 熱에너지는 저항器의 基板을 통해서 잃어버리게 된다.

2) 프린트 헤드의 구조

HP社의 thermal ink jet 프린트헤드의 횡단면은 그림 9에 보이는 바와 같다. HP社에서 처음 생산된 Think-Jet 프린터에서는 基板을 유리로 사용했으며 그 이후의 제품들은 실리콘(규소판)을 사용했다. 실리콘의 基板위에 SiO_2를 積層하여 열의 손실을 조절하였으며, 그 위에 TaAl 層의 發熱抵抗層을 만들고 그 위에, 또 알루미늄의 導傳 電極을 만들어 전류가 흐르도록 하였다. 특히 수용성(水溶性) 잉크가 일반적으로 이온(염료 등)을 포함하므로 이러한 금속층(conductor와 resister surface)의 잉크로 인한 부식(corrosion)을 방지하기 위해 보호층(passivation)을 만들었다. 버블은 그림 9에서 보는 바와 같이 깊이 파인 골안에서 형성하게 된다. 導傳層과 보호층 위에는 인접한 發熱器로 부터의 간섭(cross-talk)을 방지하고 노즐과 抵抗體와의 간격(spacer)을 유지하는 역할을 하는 격리층(barrier)이 있다. 이 격리층은 잉크가 재충전(refill) 되게 하는 공간을 제공할 뿐아니라, 인접한 가열기에서 버블이 형성되어 팽창하게 되면 자동적으로 인접한 노즐로 부터 잉크가 분사되는 것(cross-talk)을 방지해 준다. 일반적으로는 이 격리층 재료로는 感光 高分子 物質을 쓰고 있다.

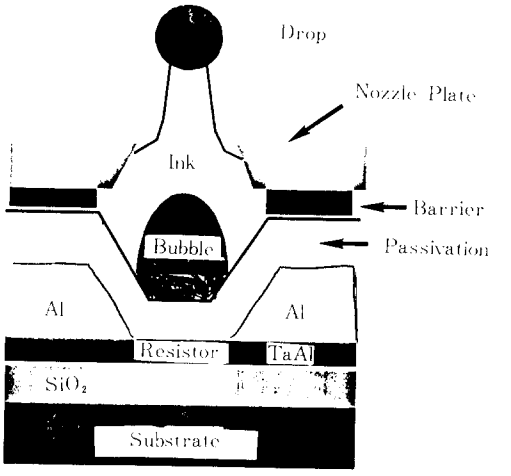

그림 9. Cross section of thermal ink jet print head

3) 노즐 板(nozzle plate)

프린트 헤드의 구조 중에서 또 한가지 중요한 부분은 노즐 플레이트이다. 그 구조는 잉크방울이 노즐 플레이트로 부터 떨어져 나가게 하는 것이나(break-off), 방울 크기(잉크방울 용량)의 均一性 등을 결정하게 되고 잉크방울의 방향(directionality)과 satellite(흐트러진 아주 작은 잉크방울들) 형성에 영향을 주기 때문에, 매우 중요하며, 매끄러운 표면 (smooth surface)이 요구된다.

또한 노즐 플레이트 모양은 잉크 저장탱크로 부터 노즐까지의 잉크의 흐름(flow)을 조절하기도 한다. 잉크 방울이 紙面의 정확한 장소에 位置하게 하는데 아주 큰 영향을 미치는 것은 노즐의 정확하고 정밀한 위치도 아주 중요하여 노즐의 均一性에 대한 허용오차는 集積回路 칩의 그것과 비슷하다.

노즐 플레이트 제조방법으로는 기계적으로 구멍을 뚫는 방법이나 유리관을 만들어 쓰거나, silicon wafer의 anisotropic etching 法을 이용했으나, 최근에는 소위 닉켈의 전기가공(electroforming)이라는 방법을 가장 많이 쓰고 있다. 생산가가 적게 들며 비교적 매끈한 표면을 손쉽게 만들 수 있기 때문이다.

Electroforming이란 일정한 기판이나 주물 틀(mold) 위에 전기도금을 하여 일정한 모양을 만든 후 그 주물 틀로부터 분리해서 원하는 물품을 만들어 내는 방법이다. 잉크젯트 노즐 플레이트를 만드는 데 쓰는 주물 틀(mandrel)은 전기도체 위에 (stainless 304와 같은) 비전도체를 입힌 후 닉켈 도금을 해서 만든다(그림 10).

이때 노즐의 직경과 두께의 均一性이 중요하다. 300dpi 해상도(resolution)의 노즐 플레이트의 한 예는 표4에 명기되었다. 대표적인 서멀 잉크젯트 프린터의 파라메타는 표5에 명기되었다.

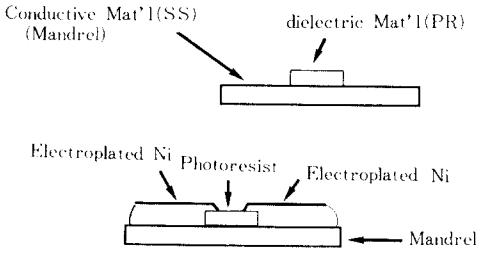

그림10. Schematic diagram of electroforming

표 4. Typical 300 dpi nozzle plate

For 300 dpi	
• No. of Orifice	50ea
• Orifice Center to Center	167μm
• Orifice Diameter	51+/−2.5μm
• Orifice Thickness	50μm
Tight Tolerance on diameter / Thickness Required for High Resolution Head	

표 5. Parameters for thermal ink jet printers

Parameters	Typical Range	HP Thinkjet
Nozzle Diameter(μm)	40-100	40
Drive Frequency(KHz)	2-25	2
Drop Velocity(m/sec)	3-15	10
Resolution(dots / inch)	100-300	96
Drop Volume(picoliters)	50-500	200
Pulse Width(μsec)	4-100	4.5

2. 잉크의 문제점(issues)

모든 잉크젯트 프린터에서는 잉크가 머리카락의 직경보다 작은 구멍(nozzle, orifice)을 통해서 분사 되어야 하기 때문에 프린트 헤드의 사용기간 동안에 부식이나, 기타 잉크와 잉크가 접촉하는 헤드 물질과의 상호관계(interaction)에서 생기는 입자들의 形成이나, 이러한 물질로부터 溶出되는 물질이 혹시 잉크를 침전시키면 노즐의 구멍을 막히게 하므로 절대로 허용되지 않는다. 따라서 많은 노즐 가운데 단 한개라도 막히게 되면 더이상 프린트 헤드로서 제 구실을 못하므로 버려야 한다. 서멀 잉크젯트 프린트 헤드의 잉크 수명기간을 대개 2년 정도 잡고 있으나 사용후 버리는 헤드가 아닌 영구 헤드에서는 그 기간이 훨씬 길어야 한다. 또 잉크는 온도의 상승과 하강에 관계없이 안정해야 한다. 잉크는 인화물질이 아니어야 하고 유독성이 없어야 한다. 시중에 쓰이고 있는 많은 염료가 유독(발암물질 등등)한 것들이 많은데 잉크는 실내에서 사용되므로 유해성이 있어서는 안된다. 수용성 잉크는 종이에 프린트 한 후 종이의 표면 아래로 스며들기 때문에 畵質, 濃度를 만족 할 정도로 유지하려면 염료의 양을 증가 시켜야 하고 이는 곧 노즐의 굳어지는 현상을 유발시키게 된다. 또 안료를 사용하지 않고 염료를 사용하는 모든 프린트물에서 볼 수 있는 실내의 등불이나 햇빛 아래에서의 쉽게 퇴색은, 특히 칼라 프린터에서 畵像의 영구 보존에 많은 문제가 있다. 잉크젯트 프린터에서 안료를 사용한 잉크는 한 곳도 없는데 안료의 입자 接着때문에 노즐이 쉽게 막히기 때문이다.

또 프린트한 화상은 커피, 습기나 물 뿐만 아니라 술(알콜)등의 유기성 용매에 대한 저항성이 있어야 하는데 수용성 잉크는 염료가 물에 녹는 것을 써야 하기 때문에 이러한 濕氣抵抗性을 유지하기가 어렵다. 따라서 영구 보존서류 등에 사용하기는 곤란하다는 것이다.

또, 한번 프린트한 활자나 화상을 강조하기 위해 다른 색깔의 펜으로 high light 할 때 그 원래의 잉크가 번져서

는 안되는데 수용성의 잉크를 쓰면 역시 이점을 완전히 피하기가 어렵다.

앞서 말한 바와 같이 노즐의 굳어지는 현상이나 막힘을 방지하기 위해 노즐 위에서 잉크건조를 방지시키는 화학 재료를 쓰게 되는데 이 경우 잉크의 건조시간을 지연시켜 고속 프린터의 프린트 속도에 영향을 준다.

수용성의 잉크를 쓰면 프린트 畵質은 종이의 종류에 따라서 달라지게 된다. 이점을 극복하기가 무척 힘들다.

또, 한 색깔로 프린트 한 후 인접한 곳에 다른 색깔의 잉크로 프린트하면 混色 현상이 일어나 깨끗한 경계선을 유지할 수 없게 된다(colar bleeding). 잉크를 많이 써야 하는 경우(image printing) 종이가 물을 많이 흡수하여 주름이 잡히게 된다(pager curl, cockle). 수용성의 잉크에서는 전기 화학적 부식에 대한 확률이 높다.

다음에 言及하게 될 고체잉크(solid ink)를 사용하면 수용성 잉크의 단점을 보완할 수 있으나 프린트한 활자나 畵像의 물리적 내구성이 문제가 된다. 즉 손상(scratch) 되기 쉽고, 종이를 접을 때 쉽게 畵像이 파손되며, 프린트한 종이를 겹겹이 쌓아 놓으면, 특히 고온에서(여름철) 종이가 서로 붙고 활자의 이미지가 다른면의 종이에 옮겨 진다는 것이다(off-set).

3. 고체 잉크젯트 프린터(solid ink jet printer)

지금까지는 잉크젯트 프린터를 개발할 때 잉크방울을 분사시키는 방법, 즉 하드웨어를 개발하고 그에 맞는 수용성 잉크를 찾아 나가는 경향이었으나 앞서 언급한 수용성 잉크로써의 여러가지 문제점과 畵質의 제한점을 극복하기가 어렵기 때문에 최근에는 수용성 잉크의 단점을 보완하는 잉크를 먼저 개발하고 그에 맞는 하드웨어(프린터)를 개발하려고 하는 것이 추세이다. 그 한 예가 solid ink의 사용이다.

Solid ink는 상온에서 고체 상태로 존재하고 프린터를 사용할 때 고온(100 ℃)으로 잉크를 액체로 만들어, liquid ink와 같은 방법으로, 분사하여 프린트하게 되며, 주로 왁스 같은 재료를 사용하여 잉크를 만든다. 따라서 solid ink는 액체성 잉크와는 달리 잉크가 종이 속으로 스며들지 않고 표면에서 고체화 되기 때문에 도트가 종이 표면에 남아 있어 色濃度를 포함한 畵質이 laser printer의 畵質에 견줄 수 있다. 건조시간이 짧고 종이나 기타 다른 재질에도 좋은 畵質을 보여준다.

Solid ink는 유기성의 고체 물질이기에 물(水)보다 양극성이 낮아서 부식에 대한 염려가 적고, 노즐 구멍의 막힘이 적으며 수명이 길고, 잉크를 수송하기 위해 적재하는데 값이 싸게 들고, 운송이 쉬운 장점이 있다.

고체 잉크젯트 프린터의 단점은 프린트 헤드를 고온으로 작동해야 하므로 특수한 재료로 사용하여 만들어야 하며 독특한 설계와 제어장치를 설치해야 하므로 생산가가 수용성 잉크젯트보다 훨씬 많이 든다고 할 수 있다. 또 잉크개발이 훨씬 어렵다. 고온에서 안정한 유기물질이 많지 않고 그의 용해점도가 높고 고체화 될 때 광투명한 재료가 희귀하다는 것이다. 또 잉크 구성 화학물질간의 상호 접합성이 중요하다. 따라서 투명필름紙에 선명한 칼라를 나타내기가 어려운데 그 이유는 빛이 투명필름紙를 통과해서 비출 때 solid ink의 입자크기가 빛의 파장보다 클 때 빛의 확산(scattering)이 많고 또 solid ink의 방울이 투명필름紙 위에서 고체화 될 때 볼록한 렌즈 모양을 이루어 투과하는 빛을 굴절케 하므로 균일한 광투영에 장애를 주어 칼라를 再現하기가 어렵다. 또한 종이위에 프린트 할 때도 방울이 紙表面위에서 속히 고체화 되어 off-set 프린트한 것 처럼 볼록(emboss)하게 나타나게 되는데 많은 사람들은 이러한 畵像과 感觸을 좋아하지 않는다.

Tektronix 사의 최근 제품인 Phaser PXIII 프린터는 이 문제를 해결하기 위해 高壓·저온의 특별한 장치를 쓰고 있는데 이런 것은 생산 단가를 높이는 요인이다. 또 한가지 단점은 앞서 말한 바와 같이 프린트 잉크가 왁스와 같은 재료를 주로 쓰기 때문에 물리적으로 손상되기 쉽다는 것이다.

현재 상품화된 고체 잉크젯트 프린터를 전부가 다 piezoelectric 변환기를 사용한 DOD 잉크젯트 방식이다. 그 이유는 이러한 PZT를 사용한 DOD 프린터에서는 잉크의 일부가 기체화하여 기포를 만들 필요가 없기 때문에 버블젯트보다 잉크방울을 만들기가 비교적 쉬울 수 있다는 점이다.

연속 잉크젯트 방식으로 solid ink를 적용한 프린트를 찾아보기 어려운데, 이는 열관리에 대한 복잡성 때문이 아닌가 생각된다.

한편 Tektronix사는 1991년 6월에 300dpi, color solid ink jet printer인 Phaser PXIII를 시장에 내 놓았다.[7] 이 프린터는 종래의 고체 잉크젯트의 단점인 프린트된 활자의 튀어나옴을 고압저온의 롤라를 써서 압착하여 평평하게 만든 것이다. 투명필름紙의 畵質은 感熱왁스전사의 것보다 못하며 畵素가 쉽게 손상되는 단점을 안고 있다.

최근의 특허 문헌에 의하면 고체 잉크가 서멀 잉크젯트(bubble jet)에서도 이용되는 것을 볼 수 있다. 앞으로의 귀추가 주목된다.

피에조 프린트 헤드 제조 방법에 있어서는 고해상도

로(600dpi이상)프린트 할 수 있는 프린트 헤드를 개발하기는 어렵다. 지금까지 알려진 헤드 제작 방법 기술로는 1인치의 헤드당 50 노즐밖에 내장 할 수 없기 때문이다. 그리고 생산가도 비싸서 쓰고 버릴 수 있는 프린터헤드를 쓰기에는 경제성이 문제가 된다. 그러나 thermal ink jet technology는 微細加工法을 사용하여 600dpi 이상의 高解像度 프린트 헤드를 만들기가 쉬우며 생산단가가 적게 들어서 disposable한 프린트 헤드를 만들 수 있다는 장점이 있다.

이상 기술한 것을 종합해 보면 잉크젯트 프린트 기술은 프린트 헤드(hardware)와 잉크를 함께 하나의 시스템으로 취급해야 한다는 것이다. 현재 시장에 나와 있는 단색과 칼라 잉크젯트 프린터의 仕樣은 다음의 표 6과 7에 표시되어 있다.

Ⅳ. 문제점

잉크젯트 프린팅에서 지금까지 이야기한 많은 장점이 있지만 가장 문제가 되는 것은 신뢰성, 프린트 품질, page array, line 프린터 제작이고, line printer의 경우 interconnection 개발등이 앞으로의 과제라 하겠다.

1. 기기 신뢰성

기기 신뢰성 문제 가운데 잉크 접촉면의 부식에 의한 사출구가 막히는 점이다. 또한 종이로 부터 먼지가 노즐 가까이 축적되어 노즐이 막히게 되는 예도 많아 얼마전까지만 해도 특수 용지를 잉크젯트 프린터용으로 쓰도록 했었다. 또 잉크가 노즐 밖에서 대기와 접촉하는 부분은 증발에 의해 점도가 증가하여 사출을 불안정하게 한다. 한편 잉크가 노즐의 주변 표면을 적시게 되면 잉크방울의 방향성에 왜곡이 생기기도 하고, 더 작은 잉크 방울이 형성되어, 화질을 훼손하거나 사출자체를 불가능하게 한다.

이러한 점을 고려하여 1984년에 HP사는 프린트 헤드를 아주 싸게 제조하여 최악의 경우 한번 쓰고 버릴 수 있도록 하여 가장 획기적인 방법으로 기기 신뢰성을 제고하였다.

표 6. Monochrome ink jet printers

Supplier	Model	Type	# Nozzle	Features/Comments	Addressable Locations (per inch)	Throughput (chars/sec) (draft/Letter)
Anderson-Jacobson	AJ-650	DOD-Piezo	7	Originally Silonics Quitetype*	80×80	180
Canon	BJ-80	DOD-Bubble	24	Bubble Jet	180×144	220/110
	BJ-130	DOD-Bubble	48	Plain Paper	360×360	220×110
Dataproducts	SI-480	DOD-Piezo	32	Exxon Solid Ink Technology	480×240	400/200
Diconix	Diji 1	Cont-Binary	64	Duplex Operation	300×300	20ppm
	I50	DOD-Bubble	12	Uses HP Thinkjet print head	96×96	150/50(at 12 pitch)
Epson	Letterjet H-	DOD-Piezo	9	**	96×96	160/32
	SQ-2500	DOD-Piezo	24	Plain paper, high pH ink	180×180	540/180
Exxon	Model 965	DOD-Piezo	32	Oil based ink**	480×224	1.5ppm
Hewlett-Packard	Thinkjet	DOD-Bubble	12	Disposable Ink Jet Head	96×96	150(at 12 pitch)
	Quietjet	DOD-Bubble	12	ThinkJet Head, Multi-pass for	192×192	160×48
	Deskjet	DOD-Bubble	50	Plain paper for IBM PC's	300×300	
	Deskwriter	DOD-Bubble	50	plain paper for Macintoshes	300×300	
IBM	5258(6640)	Cont-Vibr.	1	Multilevel defl., 40 positions	240×240	92
Konishroku	JM-241	DOD-Piezo	24	Uses drop sensor;24V×31H Cha	180×180	117
Olivetti	JP350	DOD-Bubble	50	Deskjet Clone licensed from HP	300×300	
Siemens	2712(PT80i)	DOD-Piezo	12	Large installed base	85×140	270
	PT-88	DOD-Piezo	9	80col, PT-89 is 136col versio	72×72	150
	PT-88-S	DOD-Piezo	9	Similar to Above;2 pass for N	144×144	200/7
	PT-90	DOD-Piezo	32	Announced 11/85;not shipped y	240×240	400×200
Toray Industries	FX500P	DOD-Piezo	1	A3 size sheets , plain paper	406×406	16 min/page

Vibr. =virbrated piezo=piezoelectric transdu Cont. =Continuous ink jet
** =Product no longer in production

표 7. Color ink jet printers

Supplier	Model	Type	# Nozzles per Color*	Features/Comments	Addressable Locations (per inch)	Throughput (minutes/page)
Canon	A-1210	DOD-Piezo	1	Used by IBM, Tandy, Others	80×80	2
	BP-601	DOD-Piezo	1YK, 3CM	For electronic Camera, 64 tones	170×170	4.5(3.6"×4.8")
	FP-510	DOD-Piezo	1YK, 3CM	8"×39.3 Max size, 64 Tones	160×160	8.6(8"×6")
	BJC430	DOD-Bubble	128	2KHz drop rate per nozzle	400×400	
Digital Equipment Co.	LJ250	DOD-Bubble	10CYM, 30B	HP Paintjet with DEC interface	180×180	4
Fuji	Jetgraphy 3000	DOD-Piezo	1	Large format***	152×152	15.5(23.2"×28.7")
Hewlett-Packard	PaintJet	DOD-Bubble	10CYM, 30B	Text Speed 167cps	180×180	4
	DeskJet XL	DOD-Bubble	30CYM, 30B		180×180	1.5
	Deskwriter C	DOD-Bubble	16CYM	3 color printing, 5KHz; Macintosh	300×300	3(draft), 4
	DeskJet C	DOD-Bubble	16CYM	3 color printing, 5KHz; PC	300×300	3(draft), 4
Hitachi	HJP-1016	Cont.-vibr.	1	Microdot Technology	400×400	16.5(22.8"×32.7")
Howtek	PixelMaster	DOD-Piezo	4CYM, 20B	Solid Ink, Licensed from Dataproducts, **	240×480	1
IRIS Graphics	2044	Cont.-Hertz	1	Large format	240×240	8(A), 30(34"×44")
Minolta Camera	4410	Cont.-Unvibr	1	Drum: 3.8" dia. 1000 rpm	254×254	2 (7.6"×10.1")
	4205	DOD-Piezo	2	110 columns	120×120	1
NEC Info Systems	110	DOD-Piezo	2	110 Columns	120×120	1
	136	DOD-Piezo	12	136 Columns	180×180	1
Sanyo	CJ-5500	DOD-Piezo	1		152×152	2(A), 4(B)
	CJ-5600	DOD-Piezo	1		203×203	3.5(A), 7(B)
	CJ-5700	DOD-Piezo	1		304×304	8(A), 16(B)
Sharp	JX-720	DOD-Piezo	4	Used by Xerox; 12H×16V char	120×120	2.5
	IO-700	DOD-Piezo	4		120×120	4.5
Tektronix	TEK 4692	DOD-Piezo	1	Printhead licensed from Matsushita	154×154	1(A), 2(B)
	TEK-4696	DOD-Piezo	4	OEMed from Sharp	120×120	3 to 7
	PhaserJet PXI III	DOD-Piezo	16CYM, 48B	Postscript Level 2	300×300	2
Xerox	4240	DOD-Piezo	4CYM, 8B	Technology licensed from Sharp	120/240×12	2
	C150	DOD-Piezo	4	Sharp Engine	120×120	4.5

Cont. = Continuous vibr. = vibrated　Unvibr. = Unvibrated　Hertz = Hertz dispersion technology
DOD = Drop-On-Demand Ink Jet　piezo = piezoelectric transducer
Bubble = Vapor bubble cause drop ejection　B = Black　CYM = cyan, yellow, margenta 3 basic color

* = Four color printing, unless indicated
** = Product no longer in production
*** = Lab prototype shown

2. Print Quality

화질도 잉크와 밀접한 관계가 있다. 잉크는 독성문제 때문에 수용성 잉크를 쓰게 되는데 수용성 잉크는 염료가 수용성이므로 습기안정성을 얻기 힘들고 화상이 물에 접촉할 경우 손상을 받는 것이 문제가 되고 있다. 수용성 잉크는 화상등을 프린트 할 때 증발이 느리고 종이 속으로 잉크가 침투하게 되어 화질이 잉크의 불규칙적인 번짐때문에 사용하는 종이의 종류에 의존성이 높다는 것이다. 또 화상면적이 넓으면 너무 많은 용제(특히 water)의 흡수로 인해서 종이가 나중에 마르면 주름이 생겨 문제성이 있고 이를 피하기 위해서는 주행 속도에 지장을 준다는 점이다.

칼라 프린팅에서는 잉크 건조시간의 한계 때문에 한 칼라로 프린트하고 그 잉크가 마르기 전에 그 위에 다른 칼라를 프린트하게 되면 두번째 칼라가 첫번째 칼라 층으로 스며들어 번지어 혼색의 문제가 있으므로 프린트 속도에 제한을 주게 된다.

3. 고해상도 헤드의 상호연결

잉크젯트 프린팅 기술로 고속 프린트하기 위해 많은

수의 노즐(300개 이상)을 써서 작동하는 방법이 있다. 이 경우가 많은 헤드가 밀집되어 있기 때문에 이 밀집한 헤드를 구동하기 위한 구동회로와 헤드의 상호연결이 기술상 문제점이고 비용을 고려하여 주로 multiplexing 방법을 쓰고 있다. 이러한 고해상, 고밀도 헤드의 생산은 생산성이 문제가 된다. 기계적인 문제로서 종이를 전진시키고 프린트한 다음, 다음 차례의 전진과 프린트를 할 때 경계선상이 기계적 구동 오차로 인하여 줄무늬가 가로로 보이는 점이다. 이를 해결하기 위해 여러가지 방법들이 구사되고 있다.

V. 결 론

1. 기기 신뢰성

잉크젯트 프린터가 경쟁 상대인 電写나 熱轉写에 대항하여 큰 시장점유율을 차지하려면 첫째로 기기신뢰성이 향상되어야 한다. 프린터의 화질이 기기의 수명기간 동안 변동 되어서는 안되겠다. 이러한 점을 고려하여 잉크의 점도, 잉크방울의 속도, 잉크방울의 비상궤적, 프린트 화질, 잉크사용량을 감지 할 수 있는 디바이스를 설치하려는 시도가 있었고 특히 연속식 잉크젯트 프린터에서는 잉크帶電감지기, 잉크방울 감지기 등이 시도되었다.

잉크젯트 프린터의 신뢰도가 최근에 상당히 향상되었는데 잉크젯트 헤드를 통해서는 근처에 공기가 지나게 하여 종이로부터의 먼지가 노즐에 축적되는 것을 방지하게 하거나, 노즐은 진공기를 사용하여 잉크를 가끔 빨아내거나 프린트 헤드를 닦아 내도록 하는 보수장치 등이다. 이러한 방법만으로는 잉크젯트 프린터를 아주 신뢰성 높은 제품으로 만들기에 충분하지 않을때가 있는데 이러한 점은 다 보완한다고 해도 헤드의 신뢰성에 민감한 부품이 오랫동안 쓰는 동안 마손하여 신뢰성 문제가 생길 수 있으므로 최근에 싼 값의 쓰고 버리는 프린트 헤드의[8] 도입은 기기신뢰성을 향상하는데 획기적인 공헌을 했다고 할 수 있다. 프린트 헤드를 사용자가 아주 쉽게 교환 할 수 있으므로 값비싼 보수 요청을 하지 않아도 되는 장점이 있다.

이러한 신뢰성 문제 외에도 濕氣安定性, 마모저항성이 있어야 한다. 또, 투명필름지를 투사 할 수 있어야 한다. 이는 화질이 기록지에(어떤 종류의 종이나 plastic 등 어떤 바탕을 사용해도 된다) 의존하지 않아야 한다는 것이다. 이러한 점들을 보완하기 위해 고체잉크와 안료잉크에 대한 관심이 높아지고 있다.

2. 가격과 성능

시장 점유율이 높은 오피스용이나 가정용으로 잉크젯트 프린터가 사용되려면 저가, 고품질을 유지해야만 가능하다. 잉크, 헤드 등 소모품을 효과적으로 이용하고 저전력 소모와 저소음 등은 시장점유율을 높이는데 중요한 역할을 한다. 더욱 최근에 요구되고 있는 desk top publishing 분야에서 고해상도가 요구되고 칼라 중간계조를 할 수 있는 잉크젯트 프린터가 요구되고 있는데 HP사의 Desk Writer C등은 중간계조 기능을 가지고 있다. Image emhancement와 color correction 등을 할 수 있는 IC등의 도입으로 화상처리, 補正, 계조보정, 성능, 화질 및 편의를 제공하고 있다.

프린트 헤드를 제조하는데 300 pel per inch 이상의 해상도를 가지는 헤드를 제조 할 수 있게 됐다. 또한 프린트헤드 조립을 자동화하여 제조비를 줄이고 구동회로를 프린트 헤드안에 내장시킴으로써 inter connection을 줄여 기기 신뢰성을 증가시키고 또 비용를 절감하는 방향으로 나가고 있다.

최근 잉크 기술의 발전으로 인해서 보통지의 화질과 신뢰성이 과거에 비하여 현저히 높아졌다.

수용성 잉크를 쓸 때 화질이 종이에 따라 달라지는데 이것도 잉크 기술의 발전에 따라 많이 향상되었는데 아직도 종이의 종류에 따라서는 laser printer보다 떨어지는 경향이 있어서 좀 더 종이 종류에 무관하도록 고체 잉크를 쓸 수 있는 잉크젯트 프린터 개발에 관심이 모아질 것이다. 또한 보통지를 썼을 때 종이먼지 문제를 해결할 수 있는 좀 더 현명한 제어시스템 개발이 요구되며, 아무리 보통지를 위한 잉크의 질이 향상된다 하여도 고화질 칼라 프린팅 분야에서는(사진등) 칼라의 특성상 특수지의 요구가 없어지지는 않을 것이다.

Industrial marking area (간판, poster, beverage can, plastic surface, 상자 등)에 non-contact ink jet printer의 도입이 증가되리라 생각된다.

3. 잉크젯트 프린터의 시장 점유도

BIS CAP International에서 발행한 1990년 marketing 보고서에 의하면 전세계의 프린터 시장은 1988년~1991년 사이에 약 7%의 성장률을 유지해 오고 있으며 약 350억불 정도의 판매량이 되며 거기에다 복사기까지 합하면 전세계 시장 규모는 연간 500억불 이상으로 추산되고 있다.

1988년에서 1992년 사이의 미국과 유럽의 desk top printer중에서 기계적 프린터의 성장률은 -5%(감소)이며 non-impact printer 시장 점유는 16%씩 매년 증가된

다고 한다.

1988년에 non-impact printer의 판매는 42억불 정도이었고 기계적 프린터는 약 55억불 정도이었으나, 1989년부터 non-impact printer 판매액이 기계적 프린터 판매액을 능가하였다.

1990년에는 65억불이 non-impact printer이고 53억불이 impact printer의 년간 sale 이었다. 1991년에는 72억불이 non-impact printer이고 52억불이 impact printer의 sale이 될 것이라고 내다보고 있다.

1988년과 1990년까지의 미국과 유럽에 보급된 단색 잉크젯트 프린터의 년간 성장률은 약 50%이며 1988년에는 약 60만대를 판매하였으며 1990년에는 130만대를 판매하였고 1991년에는 170만대에 이를 것이라고 추측하고 있으며, color ink jet printer의 경우는 1988년에는 6만대이었고 1990년대에는 16만대, 1991년 21만대, 1992년에는 26만대 이상이 되리라고 내다보고 있다.

이러한 잉크젯트 프린터의 성장율은 그동안 쓰고 버리는 헤드기술과 기타 방법으로 신뢰성이 현저히 증가했으며 잉크 기술의 발달에 따라 보통지에서도 좋은 화질을 유지할 수 있기 때문이라 믿어지며 앞으로는 laser printer의 가격 하락으로 인하여 잉크젯트로서는 고가, 고화상 모노크롬(흑백) 만으로는 경쟁이어려울 것이며, 저가의 잉크젯트는 dot matrix 프린터를 압도할 것이라 생각되며, 특히 칼라 잉크젯트 프린터는 저가의 칼라시장(사무실)에 압도적일 것이라 생각된다.

저가품의 영역에서는 dot matrix 프린터는 잉크젯트의 품질 향상과 가격 하락으로 인하여 시장에서의 경쟁력을 상실하고 특수용으로만 남아 있을 것이다. 특히 주목해야 할 점은 칼라를 요하는 응용에서는 잉크젯트의 저가와 고품질, 보통지 사용 가능 등의 매력으로 다른 칼라 기술을 압도하고 시장점유율은 대폭 늘릴 것이다.

參 考 文 獻

[1] G. Gidon, "Why all the excitement about ink jet printer?" Ink Jet Printing Conference, BIS Cap International, March 20-22, 1991.

[2] J. Michaelis, "Page-wide DOD Ink Jet Arrays, A breakthrough in cost, Resolution and Speed", Institute for Graphics Communication Conference on Ink Jet Printing, March, 1990.

[3] W. J. Lloyd and H. H. Taub, "Ink Jet Printing", Output Hatdcopy Devices, ed. by R. C. Durbeck and S. Sher, Academic Press, 1988.

[4] Printout, Printout 15(8), 1-3, August 1991.

[5] T. Hara and I. Endo, "Bubble jet recording", Preprint of Gazo Denshi Gakkai 68th Lecture, Canon Research Center, Tokyo, Japan, December 1981.

[6] J. L. Vaught, F. L. Cloutier, D. K. Donald, J. D. Meyer, C. A. Tackind, and H. H. Taub (1982), "Thermal Ink Jet Printer", U. S. Patent#4,490,728, issued December 25, 1984.

[7] Tektronix, Press Release, Wilsonville, Oregon, June 17, 1991.

[8] R. T. Buck, F. L. Cloutier, E. Erni, R. N. Low and F. D. Terry (1983), "Disposable ink jet head", U. S. Patent#4,500,895, issued Feburuary 19, 1985.

筆 者 紹 介

柳 永 洙

1943年 3月 26日

1965年 2月 고려대학교(학사) 임학전공

1973年 5月 University of British Columbia(석사), Pulp and Paper 전공

1977年 6月 University of California, Berkeley(석사), Polymer Technology 전공

1980年 6月 University of California, Berkeley(박사), Material Science 전공

1980年 6月～1982年 3月 IBM연구소 연구원, Electronic Printing Technology.

1982年 3月～현재 Hewlett-Packard 중앙연구소, 선임연구원, 프로젝트 리더, Electronic Printing Tech.

1985年 4月～현재 Northwestern Polytechnic University, 겸임교수, Dean of Undergraduate Studies, Dean of Student Affairs

1986年 4月～1988年 8月 Northwestern Polytenchnic University, Chairman at Curriculum Committee

주관심분야 : Non-Impact Printing Engine Systems, Electronic Color Printing Technology, Color Processing & Image Quality, Imaging Material Development, Electronic Material Processing.