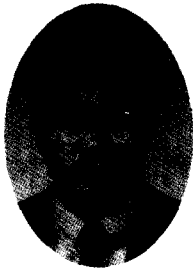


Ink-Jet printing 기술의 소개



김성진

수원 우체국 사서함 111,
삼성 종합 기술원

서 론

인쇄는 인류가 정보를 교환하고 저장하고, 전달하는 수단으로 활용되어 왔다. 예를 들면 우리나라의 경우, 팔만 대장경은 목판에 방대한 양의 불경을 저장해서 오들에 이르기까지 저장되어 왔고 또 불경을 모르는 사람들에게 전달되고 있는 것이다.

정보 통신기술의 발전으로 정보를 저장하는 기술은 대표적으로 자기 기록 매체에 정보를 부호화하여 저장하는 기술로 발전되고 있어 인쇄를 통해 정보를 저장하는 방법은 상대적으로 효과적인 방법이 못되고 있다. 그러나 정보를 교환하고 전달하기 위한 정보 출력 기술로서의 인쇄기술은 비약적으로 발전되고 있다.

현대의 인쇄기기의 대표적인 것은 Laser printer 라고 불리는 프

린터인데 이 기기에 이용되는 원리는 전자사진 (Electro-Photography) 원리 이다 [1], 또 다른 인쇄 방식은 최근에 각광 받고 있는 ink-jet printing 이다.

본 논문에서는 ink-jet printing 기술을 소개 하고자 하며 향후에 연관되는 주변 기술을 고려하면서 어떻게 발전해 갈 것인가 등에 대해서도 설명 하고자 한다.

ink-jet printing 기술의 발전 요인

정보화가 빠른 속도로 발전되면서 일상 생활에서 사용되는 정보가 급격히 늘고 있다. 특히, 표시 기기 (Display Device) 즉, 브라운관 과 Flat Panel Display 가 흑백에서 color 로 발전되고 digital 영상기술의 발전 등으로 인해 Color Image 를 일반 computer 사용자가 사무실 환경 및 가정에서 자주 접하고 있다. 따라서 이러한 주변기술의 발달이 Color Image 를 인쇄하고자 하는 요구를 증폭시키고 있다.

또, 이와 같은 사무실 및 가정을 제외한 산업용 인쇄 분야에서 Color Image 를 부호화 하여 computer 에 의해 작동되는 인쇄 기기 통해 효과적으로 인쇄할 수 있는 방법들이 발전되고 있다.

ink-jet printing 의 특징중 특별한 것은 비 충격식 인쇄 방법이다. 비 충격식 인쇄 방법의 장점은 다양한 매질에 화상을 인쇄할

수 있다는 것이다. 이런 매질은 종이를 포함해서 직물, 금속, 프라스틱등이다. 이런 특징 때문에 인쇄매질의 크기도 다양하게 사용할 수 있는데 최근에는 Grand Format Printing 이라고 수 평당 미터 이상이 되는 크기의 매질에서도 ink-jet printing 을 통해 인쇄가 가능하게 되었다.

기술의 분류

정보 통신기술은 크게, 정보 저장, 전달, 입력, 그리고 출력기술로 분류 될 수 있을 것이다. ink-jet printing 기술은 정보 출력기술에 속하며 출력 기술은 다시 크게 Soft Copy 와 Hard Copy 기술로 분류된다. 일시적으로 정보가 출력되는 기술, 즉, 브라운관 과 Flat Panel Display 등이 Soft Copy 대표적인 경우고 Hard Copy 기술은 정보를 어떤 매질에 기록하는 기술, 예를 들면 인쇄기술이 된다. 따라서, Ink-Jet Printing 기술은 hard copy 에 속하는 기술이다. 다른 대표적인 Hard Copy 기술로서는 앞서 설명한 Electrophotography 이다.

ink-jet printing 기술의 종류 및 원리

현재 널리 사용되고 있는 Ink-jet printing 기술은 drop-on-demand 방식이다. 즉, 필요 할 때마다 잉

크 방울을 토출 시켜 매질에 인쇄하는 방법이다. computer 에 연결된 Ink-jet printer 는 computer 가 신호를 보낼 때마다 잉크 방울을 토출 하게 되는데 화상을 인쇄할 때 computer가 조합하는 데로 방울을 출력 소자로 부터 매질에 이동 시키면서 인쇄를 한다.

상용화된 ink-jet printing 기술은 크게 두 가지가 있는데 그것은 Thermal Bubble Jet 과 piezo-electric impulse ink-jet 의 두 가지 방법이다. 흔히 시장 있는 bubble jet printer 는 앞의 Thermal bubble jet 인쇄 방식이고 또 다른 상용화된 방식은 Piezoelectric impulse ink-jet 방식이다. 그 구동 방식을 살펴보면 다음과 같다.

Thermal bubble jet 일 경우는 그림 (Fig. 1) 에서와 같이 printhead 의 구성은 크게 nozzle plate, thin film heater structure, 그리고 ink 로 구성되어 있다. thin film heater structure 은 Silicon substrate 상부에 Thin film heater, 전극, 보호막, Ink Partition 등으로 이루어져 있다.

이런 구조를 Top Shooting 구조라고 하며 다른 형태의 구조는 Thin film heater structure 와 평행한 방향으로 잉크가 토출되는 방식을 취하는 경우도 있는데 이런 형태를 Side shooting 구조라고 한다.

다음의 개념도(Fig. 2) 에서는 bubble jet 인쇄원리를 설명한다.

아래 있는 판은 Silicon 기판과 thin film structure 를 의미하고 위의 판은 노즐이 있는 Nozzle Plate 를 의미한다. 여기서 잉크는 상하 silicon 기판 사이에 있다고 가정 해보자. 하판에 있는 Silicon 기판위의 보호막과 접촉하는 Thin Film Heater 에 전류가 흐르면 전기 저항 때문에 순간적

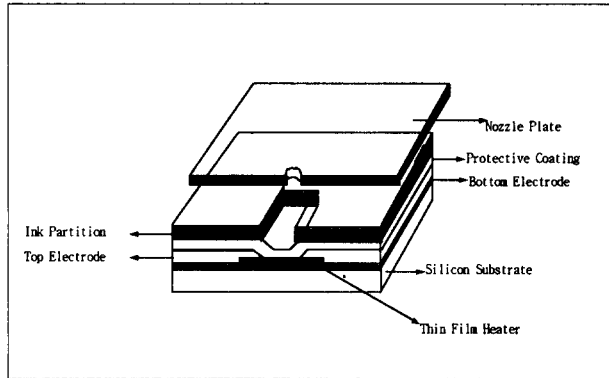


Fig. 1. Thermal Bubble Jet Printhead 의 Top Shooting 구조

으로 열이 발생된다. 상용화된 thermal bubble jet 의 경우 그 온도는 순간적으로 약 400 °C 까지 상승한다고 알려져 있다. 열이 발생되면 Protective coating 과 접촉하고 있는 잉크에 열이 전달되어 잉크는 비등점 이상으로 Super heating 이 되는데 이때 비등점과 superheating 온도차이에 의한 구동력으로 기포가 순간적으로 형성된다. 좀더 자세히 살펴보면 기포는 일차적으로 일정한 크기 이상으로 형성되는 기포의 핵 형성 과정을 거친다 (Fig. 2A). 핵형성이 어느 정도 진행이 되면 기포의 핵들은 서로 합쳐진다 (Fig. 2B). 추가의 기포 핵이 형성 되더라도 이미 합쳐진 기포에 흡수되어 버린다. 합쳐진 기포는 기포 성장 과정을 거치게 되는데 이때 일정한 크기 이상의 기포가 형성되면 기포의 외부에 있는 잉크에 충분한 압력이 가해지므로 잉크가 토출된다 (Fig.2C). 잉크가 토출된 후 전류는 더 이상 흐르지 않기 때문에 기포가 작은 기포로 변하면서 차차 소멸된다. 기포가 소멸되는 과정 중에 잉크는 모세관 현상 및 압력 차이 (잉크 저장 기기와 대기압의 압력 차이)로 인해 다시 채워진다 (Fig. 2D). 이러한

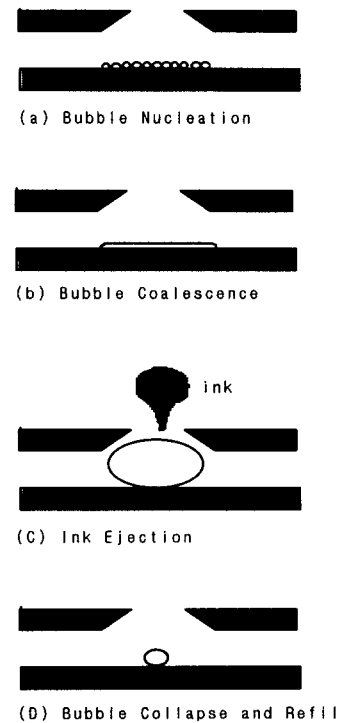


Fig. 2. Thermal Bubble Jet 인쇄 원리

과정을 반복하면서 잉크가 토출되면서 인쇄가 진행된다.

기포 핵 형성 및 성장의 이론

지금까지 설명한 bubble jet 인

쇄의 개념을 설명하는 이론은 고전적인 핵 형성 및 성장 이론에서 찾을 수 있다. 원래 이 이론은 대기 중에 있는 수분에서부터 물이 형성되는 과정을 모델로 해서 발전된 이론이고 상태가 변하면서 (즉 대기중의 수분에서 물) 조성이 변화지 않은 경우에 적용될 수 있다.

앞에서도 설명 했듯이 인쇄하는 과정에 일어나는 기포의 형성은 핵 형성과 성장의 두 가지 과정에 의해 진행된다. 핵 형성은 homogeneous nucleation 과 heterogeneous nucleation 의 두 가지의 형태가 있다. homogeneous nucleation 은 핵 형성이 되는 물질의 내부에서 일어나는 과정인데 이 과정은 다음의 식이 잘 설명 해 준다.

$$I_v = \frac{AT}{\eta} \exp\left(-\frac{\Delta G}{KT}\right)$$

여기서 I_v 는 homogeneous nucleation rate, A 는 물질의 구조적인 특성이 감안된 상수, T 은 온도, η 는 점도 K 는 Boltzman 상수, ΔG 는 임계핵이 형성되는데 필요한 열 역학적인 구동력이다. 여기서 homogeneous nucleation 은 물질 이동 속도와 물질 이동 경향에 영향을 받는다. 물질 이동 속도는 $\frac{1}{\eta}$ 그리고 물질 이동 경향은 온도의 함수로 위의 식에서 표현 되었다. 즉, 물질 이동 속도가 빠르고 경향이 크면 핵 형성 속도는 빠르다. 여기서, 물질 이동 경향의 크기는 superheating 온도와 비등점의 차이에 비례하는데 superheating 되는 온도가 크면 물질 이동 경향이 커지게 되므로 핵형성 속도가 커지고 궁극적으로는 인쇄 속도가 빠르게 된다. 좀더 자세히 기포

생성 이론을 이해 하고자 하는 독자는 참고 문헌을 참고하기 바란다[2].

반면에 표면에서 일어 나는 heterogeneous nucleation 의 경우, 임계핵 형성에 필요한 열역학적인 구동력 (ΔG_{het}) 은 다음과 같다.

$$\Delta G_{het} = \Delta G \left[\frac{2-3\cos\theta + \cos^3\theta}{4} \right]$$

여기서 θ 는 기포와 가열 박막의 접촉각 (contact angle) 이다. 상기 식의 괄호 안의 식은 다음과 같이 표현되고

$$f(\theta) = \left[\frac{2-3\cos\theta + \cos^3\theta}{4} \right]$$

θ 가 0 에서 180 도의 사이의 값일 때 $f(\theta)$ 는 1 보다 적다. 따라서 요구되는 열역학적인 구동력은 표면에서 핵이 형성되는 경우가 내부에서 형성되는 것보다 작기 때문에 homogeneous nucleation 이 heterogeneous nucleation 보다 상대적으로 어렵다. 가열주기 동안 thin film heater 와 접촉하고 있는 잉크가 기포의 핵이 형성되기 시작하는 시점에 앞서 평형 온도에 도달한다면 잉크 내부에서보다는 thin film heater 표면에서 핵이 형성되는 것이 쉽다. 이 사실은 상당히 인쇄 차원에서 상당히 중요한 의미를 갖는데, 결국 잉크 방울의 크기를 물리적으로 제어 할 수 있다는 얘기가 되는데 다음에서 좀더 자세한 설명을 한다.

앞서 설명한 바와 같이, 형성된 기포는 성장하면서 합쳐 지는데 독자들은 잉크의 크기가 기포의 크기와 선형적으로 비례 할 것이라는 것을 예상 할 수 있을 것이다. 좀더 자세히 설명하면 기포의 크기는, 핵 형성 속도, 핵의 성장 속도 등에 영향을 받는다. 다음식은 기포의 상대적인 크기를 예측하는 식이다.

$$\frac{V_b}{V_{ink}} = 1 - \exp\left[-\frac{4\pi}{3} I_v U^3 t^4\right]$$

여기서 V_b 는 기포의 부피, V_{ink} 는 ink 의 부피, U 기포의 성장 속도, 그리고 t 는 시간이다.

잉크 방울 크기 제어

잉크의 방울 크기를 일정하게 제어하는 것이 인쇄 질을 향상 시키기 위해서는 매우 중요하다. 다음 그림에서 (Fig. 3) 실제로 어떻게 잉크 방울 크기를 제어 할 수 있는지 알아보자.

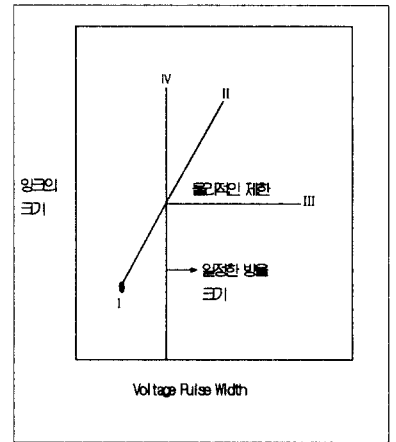


Fig. 3. 잉크 방울 크기와 구동 조건과의 관계

우선 그림에서, 선 I 은 적정 임계 Voltage Pulse Width 에서 잉크가 토출 되기 시작해서 voltage pulse width 가 길어지면서 전류가 thin film heater 에 전달하는 시간이 길어져 thin film heater 의 온도는 계속 상승 하므로 잉크 방울의 크기는 선 II 를 따라서 이론적으로는 증가해야 한다. 그러나 실질적으로 잉크 방울의 크기가 선 IV 가 정의하는 크기에 도달하면 잉크방울의 크기는 선 III 를 따라서 일정하게 되는데 이것은 잉크가 어느 정도의 크기가

되면 물리적인 제한 요소 때문에 Voltage Pulse Width 가 지속적으로 증가해도 더 이상 증가하지 않기 때문이다. 즉, 잉크 크기가 Printhead 의 구조에 의해 제한을 받는다. 이때 구조적으로 중요한 부분이 thin film heater 의 크기, ink partition 이 정의하는 ink chamber 의 크기 그리고 nozzle 의 크기이다. 따라서 일정한 크기의 잉크를 토출 하고자 할 때, 물리적으로 제한이 되는 선 III 영역에서 잉크를 형성시키는 것이 일정한 잉크 방울을 형성하는데 효과적이다. [3]

Piezo-electric impulse ink-jet

Piezo-electric impulse ink-jet 은 압전소자에 전압을 가하면 부피 변화가 순간적으로 발생하는데 이 부피 변화를 다음 그림을 (Fig. 4) 을 참고로 해서 설명을 하면, 산소 원자가 이루는 팔면체가 이례적으로 크기가 커서 그 중심에 있는 Ti 이온이 움직이게 되어서 중심에서 벗어나게 위치하게 되고 특히 Curie 온도 이하 (Cubic 구조에서 Tetragonal 구조

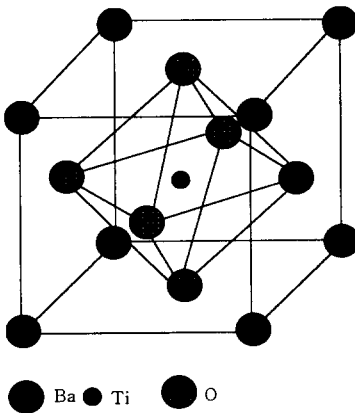


Fig. 4. Perovskite 구조

로 변화는 온도)에서는 Tetragonal

형태로 결정 구조가 변해서 한쪽 방향으로 (즉, 상하의 Ba 을 연결한 방향) 늘어난다. 격자가 늘어나고 산소 육면체내의 중심에서 벗어난 곳에 위치한 Ti 이온은 그 전하가 비 대칭적으로 분포하게 되어서 dipole 을 형성한다. 일정한 전기장을 가하면 이런 dipole 들은 전기장의 방향으로 배열하고 배열된 dipole 때문에 전압을 가할 때마다 부피변화가 일어난다 [4]. 따라서 전기장에 의해 순간적으로 부피변화가 일어난다.

이와 같은 원리를 이용한 ink-jet printhead 구조는 진동판을 이용하는 Kyser 방식, Push-rod 방식, 그리고 squeeze tube 방식 등이 있다 [5]. 다음은 Epson 의 초기 ink-jet printhead 구조의 개념도 이다 (Fig. 5). 여기서 MLCA 는 Multi-Layer Ceramic Actuator 인데 각 층들이 병렬로 연결되어서 전체에 가해지는 전압이 각 층에 전달된다. 각층의 두께는 얇으므로 적은 voltage 에서도 적용되는 Field Strength 는 크다. 따라서 비록 전 층에 낮은 전압이 가해지더라도 각층에서는 충분한 Filed Strength 를 얻을 수 있으므로 저 전압에서 구동이 가능한 방법이 된다.

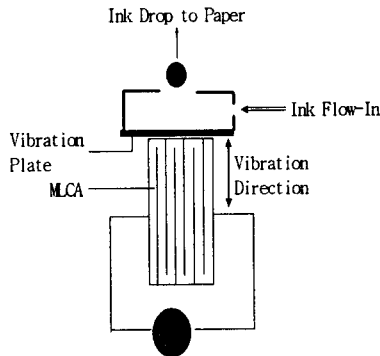


Fig. 5 Epson Push-Rod 개념도

전압이 가해지면 병렬로 연결된 각 압전소자 층들은 부피변화를 해서 이 부피 변화가 진동판에 전달된다. 진동판은 부피변화에 따라 움직이는데 이때 진동판의 진동 속도가 빠르기 때문에 순간적으로 압력파가 형성되어 압력파가 토출구쪽으로 이동한다. 토출구 주변에서는 대기압과 잉크 챔버 내부의 압력 차이에 의해 잉크는 토출 된다.

Halftone 인쇄

흔히 접하게 되는 화상 (즉, 책이나 잡지)인쇄는 일반 사진 인쇄에서 볼 수 있는 연속적인 명암을 점의 크기 또는 형태를 변화 시켜서 표현한다. 독자들은 아마 돋보기를 사용해서 이런 화상을 관찰하면 흥미 있을 것이다. 일반적으로 화상 인쇄에서 인쇄질의 해상도는 1 인치 안에 열만큼의 점이 있느냐 (DPI:Dot per inch) 의 기준으로 이해 할 수 있다.

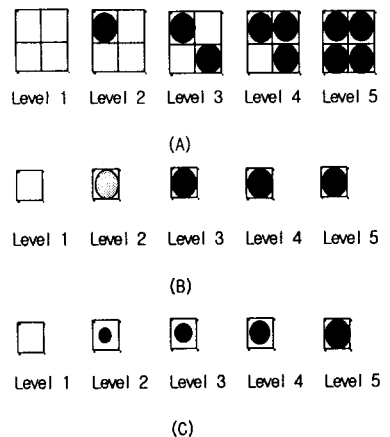


Fig. 6. Halftone 인쇄 방법

최근에는 1200 dpi 까지 용이하게 표현 할 수 있으나 이런 경우 토출구의 크기가 상당히 적어야 되기 때문에 Printhead 의 가격은

비싸지게 된다. 다음 식을 고려해보자.

$$Q = (DPI) \times [H - 1]^{-\frac{1}{2}}$$

여기서 Q 는 Quality Index, H 는 Halftone Level, 그리고 DPI 는 Dot per inch 이다. 위의 식에서 암시하다시피 같은 DPI 에서도 Halftone Level (명암을 표현하는 정도, 예를 들면 검은 점 한가지 일 경우 Halftone Level 은 2 가 된다) 이 많으면 더 높은 DPI 에 해당하는 인쇄를 할 수 있다. Halftone Level 을 만들기 위해서는 다음과 같은 3 가지 방법이 있다. 위의 그림 A 에서는 한가지 크기의 방울을 해상도가 떨어지는 것을 감수하고도 기본 Pixel 을 조합해서 (여기서 기본 Pixel 은 그림 5A 의 큰 사각형을 이루는 작은 사각형) Halftone Level 을 만드는 방법을 설명하고 있다.

그림 B 에서는 기본 Pixel 에 한가지의 방울 크기를 사용하되 잉크의 농도를 변화 시켜서 Halftone 을 만드는 방법이다.

그림 C 에서는 잉크의 농도는

동일 한데 잉크 방울의 크기를 변화시켜 Halftone 인쇄를 하는 방법이다.

따라서 Printhead 의 생산 원가 등을 감안한다면 낮은 DPI 에서도 높은 DPI 에 해당하는 인쇄질을 만들 수 있는 Printhead 의 설계 및 제조가 고려되어야 한다. 상기 방법중 그림 A 및 B 가 설명하는 방법은 비교적 오래 전부터 제품에 적용이 되어 왔고 그림 C 에서 설명하는 방식은 Cannon 에서 최근 Printer 상품에 적용시키고 있다.

결론 및 예측

인쇄 기술중 ink-jet printing 은 그 기술적인 특징과 주변 정보통신 환경의 개선으로 인해 비약적으로 발전 하였다. 상업적으로 성공한 대표적인 방식 및 인쇄의 기본적인 원리도 설명하였다.

지속적인 정보통신 기술의 발전은 앞으로 인쇄 기술을 단순한 정보 출력 기술에서 지식 출력 기술 (다양한 정보가 압축된 상태로 출력) 로 변화시킬 것이다. 특히

Digital Photography 의 비약적인 발전은 그 화상출력 기기로서의 인쇄기기의 가치를 더욱 중요하게 만들 것이다.

참고 문헌

- [1] Output Hard Copy Devices, Academic Press, pp.221-260, 1988.
- [2] The Theory of Transformations in Metal and Alloys, Pergamon Press, pp 418-457, 1975
- [3] "Thermal Bubble Jet 의 Printing Physics: 잉크 방울과 구동조건의 관계", 제 6 회 한국 화상 학회, 1996.
- [4] 세라믹스 물성학, 반도 출판사, pp 60-63, 1997.
- [5] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, pp 592, 1989.

< 이 천 위원 >