

잉크젯 파형과 잉크 액적 체적의 관계 실험적 분석

Experimental Study on the Relationship between Ink Droplet Volume and Inkjet Waveform

권계시^{1,✉}, 명재환¹
Kye-Si Kwon^{1,✉} and Jaehwan Myong¹

¹ 순천향대학교 기계공학과 (Department of mechanical Engineering, Soonchunhyang Univ.)

✉ Corresponding author: kskwon@sch.ac.kr, Tel: 041-530-1670

Manuscript received: 2008.10.20 / Accepted: 2009.1.23

Recently, inkjet technology has emerged as one of the most powerful tools for patterning electronics devices, such as large area display applications, RFID, PCB patterning, etc. By using the Inkjet technology, the droplet speed as well as the size can be controlled precisely. In this paper, the relationship between waveform and droplet size will be investigated by means of experiment. Also the relationship between inkjet speed and droplet size will be discussed. It was shown from experimental results that ink droplet size from the nozzle diameter of 50 μm can be varied from 37 to 58 μm by modifying the inkjet waveform when the speed of the droplet is 1m/sec. Finally, experimental results indicate that small drops are more difficult to generate than large drops since the jetting conditions for making small drops are sensitively affected by the dwell time variation.

Key Words: Inkjet Droplet Volume (잉크 액적 체적), Inkjet Waveform (잉크젯 파형), Inkjet Droplet Speed (잉크 액적 속도)

1. 서론

잉크젯 기술이 발전함에 따라서 사무실용 프린터로부터 제조 공정의 도구로서 응용 범위가 점차 넓어지고 있다.^{1,3} 따라서 다양한 종류의 토출 재료(jetting material)가 개발이 되고 있고, 이러한 잉크를 안정적으로 잉크젯 헤드로부터 토출 시켜야 된다. 이를 위하여 잉크젯에 인가되는 전압 파형(waveform)의 여러 가지 파라미터를 조절하여 잉크를 토출 시키는 방법을 사용해 왔다.^{2,4,5} 잉크젯 파형의 기본형태는 사다리꼴 형태의 파형이 많이 사용되며 상승시간(rising time), 하강시간(falling time)은 일정하게 고정시키고 휴지시간(dwell time)을 변화 시켜서 휴지 시간의 최적값을 찾는 것이 기존의 주된 방법 이었다.⁴ 이 때의 휴지 시간의 최

적값은 잉크 토출 속도가 최대가 되게 하는 시간이다.⁴ 한편으로는 잉크젯의 응용이 전자 재료를 이용한 미세 선폭 패터닝 등으로 다양해 짐에 따라 잉크 방울의 속도 제어가 아닌 잉크 방울의 체적 제어에 대한 이슈가 대두 되고 있다. 특히 잉크 방울 크기의 최소화를 위한 파형 설계 방법에 대한 필요성이 증대되고 있다.⁶⁻⁸

토출 되는 잉크의 체적은 헤드의 노즐의 사이즈와 관련이 있다. 따라서 잉크 방울의 최소화를 위하여 작은 크기의 노즐을 사용하기도 한다. 그러나 노즐의 크기가 작은 잉크젯 헤드를 사용하면 먼지 등에 의한 노즐 막힘이 생기기 쉽다. 또한 목표하는 잉크 체적을 위하여 최적의 노즐 크기를 갖는 잉크젯 헤드로 매번 바꾸는 것은 효율적이지 않다. 따라서 정해진 노즐 크기의 잉크젯 헤드에

서 간단히 입력 파형을 바꾸어서 잉크 방울의 크기를 조절 하는 것이 필요하다.

기존의 잉크 방울의 크기 제어에 대한 연구에서는 체계적인 접근 방법이 아닌 임의의 파형으로 시도하여 얻은 결과로부터 제시된 파형을 사용하고 있는 실정이다.^{6,8} 따라서 제안된 파형이 반복성이 있는지 또는 잉크가 바뀌었을 때 또는 헤드가 바뀌었을 때도 적용이 가능한 방법인지에 대한 검증이 필요하다. 또한 잉크젯 응용에 따라서는 잉크 방울의 체적을 최소화하는 것 뿐만 아니라 최대화를 목표로 하는 경우도 있다. 뿐만 아니라 잉크 방울의 크기를 목표하는 체적이 되도록 정확하게 제어하는 것이 필요한 경우도 있다.

본 연구는 토출 속도와 파형의 관계와 더불어 파형의 변화에 따른 토출 되는 잉크 체적의 관계를 실험적으로 구하여 잉크젯 헤드에서 토출되는 잉크 액적 체적을 제어하기 위한 기본 현상의 이해를 돕는 체계적인 데이터를 확보 하고 이를 분석하는 것에 목적이 있다.

2. 잉크젯 파형과 토출 현상

잉크젯 토출이 압력파와 관련이 있다는 것을 밝혀낸 이후에 이를 이용하여 파형을 설계하려는 노력이 진행되어 왔다.^{4,5}

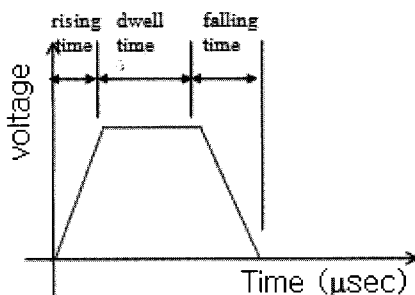


Fig. 1 Typical waveform for piezo inkjet

Fig. 1 는 가장 일반적으로 사용되는 기본 파형이다. 기본 파형은 상승시간(rising time), 하강 시간(falling time) 및 휴지 시간(dwell time)으로 이루어져 있다. 일반적인 파형 설계는 상승 및 하강 시간을 고정하고 휴지 시간을 변경하고 이 때 토출 특성인 속도 측정을 통하여 최적의 휴지 시간을 결정하게 된다.⁴

Fig. 1 과 같이 정의 된 파형을 인가하였을 때 Fig. 2 와 같은 압력파가 헤드 내부에서 진행된다. 상승 파형은 팽창(expansion)에 관련된 파형으로 두 개의 음의 압력이 반대방향으로 진행된다. 반면에 하강 압축(contraction) 파형이 인가하는 양의 압력파가 PZT 를 중심에서 양쪽으로 진행된다.⁵ 이러한 압력파와 파형의 관계를 통하여 최적의 파형을 설계하게 된다. 파형 설계를 위하여 Fig. 2 와 같이 팽창에 의해서 생겼던 두 압력파가 다시 PZT 중심에서 모일 때 압축 파형을 주기 위하여 휴지시간을 조절하여 토출압이 최대가 되게 하는 것이 기존의 파형 설계의 방법이다.⁵

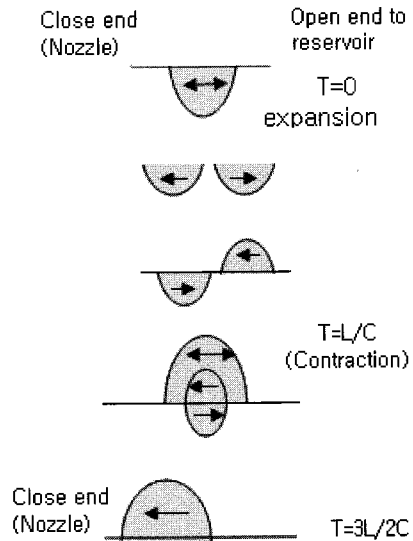


Fig. 2 Pressure wave inside inkjet head.

기존의 잉크젯 파형 설계 방법은 토출압이 최대가 되어 토출 속도가 최대화 되는 것이고, 토출되는 잉크의 체적과는 무관하게 된다. 따라서 본 연구에서는 속도와 잉크 크기(체적) 간의 관계를 실험적 연구를 통하여 토출성과 토출량의 관계를 실험적으로 규명하려고 한다.

3. 잉크 토출 실험

3.1 토출 실험 장치

잉크젯 토출 실험을 위해서는 잉크젯 입력 파형에 따른 잉크의 속도 및 잉크의 크기를 측정 할 수 있어야 한다. 토출 실험을 위하여 사용된 잉크

제팅 장치의 구성은 Fig. 3 과 같다. 본 연구실에서는 LabVIEW 기반의 소프트웨어를 제작하여 Fig. 3 의 모든 구성 요소를 통합하여 자동으로 잉크 방울의 속도 및 체적을 구할 수 있도록 하였다. 자세한 시스템의 작동에 대한 것은 참고문헌을 참조할 수 있다.¹

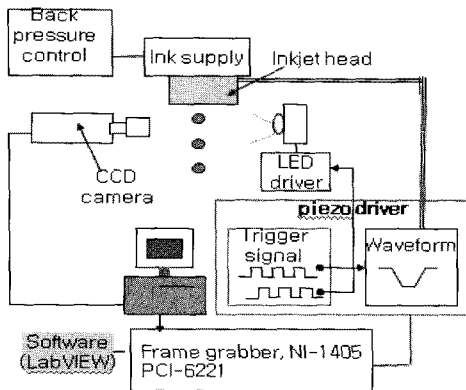


Fig. 3 Schematic of jetting system

본 연구에서는 마이크로랩 노즐(MJ-AT-01-50)의 직경 50 μm 의 노즐을 갖는 헤드를 사용하였다. 토출 시험을 위하여 도선 배선용으로 개발된 수재는 나노 잉크를 한국화학연구원으로부터 제공받아서 시험하였다.⁹

3.2 파형과 토출 속도의 관계

토출을 위한 파형 설계를 위해서는 최적의 파형을 설계해야 한다. 기존의 대부분의 방법은 속도가 최대가 되는 휴지 시간을 갖는 파형을 설계하게 된다. 이를 위해서 입력 전압의 크기를 일정하게 30V 로 고정하고, 휴지 시간을 10 μsec 부터 110 μsec 까지 증가하여 휴지 시간에 따른 잉크의 토출 속도를 측정하였다. 이 때 상승 및 하강시간을 6 μsec 로 고정하였다. Fig. 4 는 실험으로 얻는 휴지 시간과 잉크 토출 속도의 관계를 보여준다. Fig. 4 에서 알 수 있듯이 20 μsec 의 휴지 시간이 같은 전압에서 속도를 최대로 만드는 최적의 파형이 됨을 알 수 있다. 이러한 속도를 이용한 파형설계는 토출을 가장 용이하게 하는 파형이다.

3.3 속도와 체적의 관계

잉크젯의 응용범위가 미소 선폭 제어 또는 디스플레이 제조등으로 넓어짐에 따라서 체적을 제

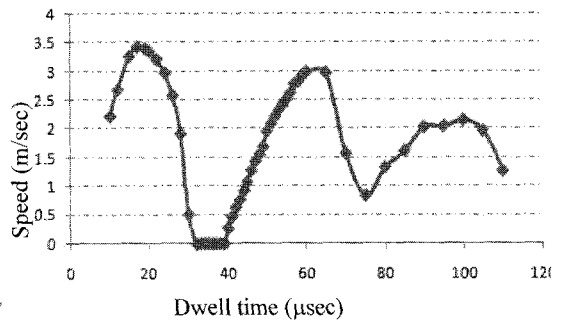


Fig. 4 Dwell time and droplet speed relationship

어 하는 것이 속도를 제어하는 것보다 중요성이 증대 되고 있다. 그러나 체적을 제어하는 경우에도 속도는 여전히 중요한 파라미터가 되고 있다. 예를 들면 토출 속도가 너무 느리면 잉크 방울의 토출 되는 방향의 직진도가 떨어지는 문제점이 있고 속도가 너무 빠르면 꼬리(tail or ligament)가 생기기 쉬우며 작은 위성 잉크 방울(satellite drops)들이 주 잉크 방울(Main drop)에 추가로 생기기 쉽다. 따라서 일반적으로 1~3m/sec 범위에서 잉크 토출 속도를 정하게 된다. 이러한 속도 크기는 최적의 휴지 시간이 정해진 후에 전압의 크기를 변경하여 쉽게 조정하는 것이 가능하다. 예를 들면 입력 전압의 크기를 낮추면 잉크 토출 속도가 감소하고 전압을 증가 시키면 토출 속도 역시 증가하게 된다.

3.4 잉크 방울의 크기와 파형의 관계

일반적으로 전압을 크게 하면 속도는 증가하고 이에 따라 잉크의 체적도 증가 한다. 따라서 잉크의 체적을 제어 하기 위하여 전압의 크기를 사용할 수도 있다.

Fig. 5 에서 알 수 있듯이 정해진 휴지시간에서 속도의 증가에 비례하여 잉크체적이 증가함을 알 수 있다. 여기서 잉크 토출 속도 증가는 전압의 크기를 조절하여 얻었다. 그러나 휴지시간을 30 μsec 으로 했을 경우(d30), 속도의 변화에 따른 잉크 방울의 크기 변화가 매우 작았다. 한편으로는 휴지 시간을 80 μsec 으로 했을 때는(d80) 속도를 0.6 에서 1.4m/sec 로 증가 시켰을 때 잉크 직경의 크기를 53 μm 에서 59 μm 까지 변경시킬 수 있었다. 그러나 휴지 시간이 고정되었을 때 전압만으로 잉크의 체적을 변화 시키려면 속도의 변화도 필요하게 되어 토출 속도의 저하로 인한 토출 직진성의

문제 혹은 토출 속도 증가로 인한 불필요한 위성 잉크 방울 등의 문제가 있다. 또한 잉크 크기의 변화를 위하여 파형의 휴지 시간을 변경하지 않고 전압의 크기만을 조절하였을 때는 효과가 크지 않은 단점도 있다.

한편으로는 휴지 시간을 변경하면 보다 큰 폭으로 잉크의 체적(크기)을 변화시킬 수 있다. Fig. 5 에서의 결과에서 알 수 있듯이 휴지 시간과 전압의 크기를 동시에 변경 하였을 때 잉크 액적의 크기는 37 μm (d30)에서 58 μm (d80, 속도 1.5m/sec) 까지 변경하는 것이 가능하였다.

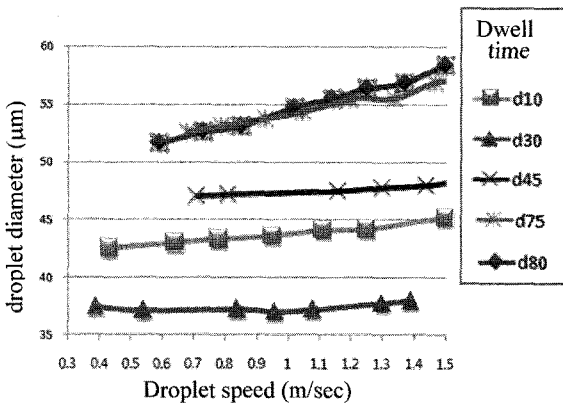


Fig. 5 Droplet speed and droplet size

3.5 잉크 방울의 크기 제어

Fig. 5 와 같이 토출된 잉크 액적의 크기는 휴지 시간 뿐만 아니라 토출 속도와의 밀접한 관계가 있다. 따라서 기본 파형의 휴지 시간에 따른 잉크의 크기를 비교 평가를 하려면 기준 속도에 대한 잉크 크기를 비교해야 한다. 잉크 액적의 토출 속도가 빠르면 위성 액적등이 발생하여 체적을 구하는 것이 어렵고 토출 속도가 느리면 잉크 액적의 토출 직진성이 문제가 된다. 이를 고려하여 기준 토출 속도를 1m/sec 로 하였다. 이를 위하여 각 휴지 시간에 따라서 전압을 달리 인가해야 한다. 예를 들면 Fig. 4 에서 구한 최적의 토출 휴지시간에는 작은 전압을 인가해야 하고 토출이 어려운 30 μsec 와 40 μsec 범위의 휴지시간에는 상대적으로 큰 전압이 인가되어야만 목표 토출 속도인 1m/sec 를 만들 수 있다. 이를 위하여 Fig. 6 과 같이 휴지 시간에 따라서 20-50V 범위의 전압이 사용되었다. 이 때의 잉크 액적의 휴지 시간에 대한 속도는 Fig. 7 과 같다.

Fig. 6 에서와 같이 토출된 잉크 직경의 크기는 휴지 시간이 약 30 μsec 일 때 제일 작게 되고 크기는 약 37 μm 가 된다. 반면에 가장 큰 체적은 휴지 시간이 약 75 μsec 일 때가 되며 잉크 액적의 직경은 약 55 μm 이다. 노즐의 직경이 50 μm 을 고려할 때 파형의 조절로 잉크 방울의 크기를 50 μm 보다 크거나 작게 조절하는 것도 가능함을 알 수 있다. 여기서 속도를 조정하면 크기를 추가적으로 더 조정하는 것이 가능하다.

Fig. 6 에서 알 수 있듯이 잉크 액적의 크기를 작게 만드는 것은 상대적으로 잉크 액적을 크게 만드는 것보다 어렵다. 잉크 액적의 체적을 최소화하는 휴지 시간은 30 μsec 근처이며 이 때 휴지 시간 변화에 대해서 잉크 방울 크기의 변화가 민감하게 된다.

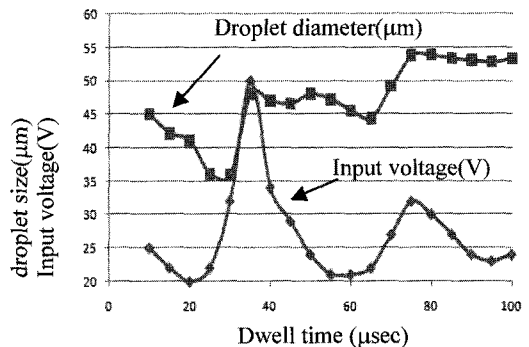


Fig. 6 Dwell time and droplet size

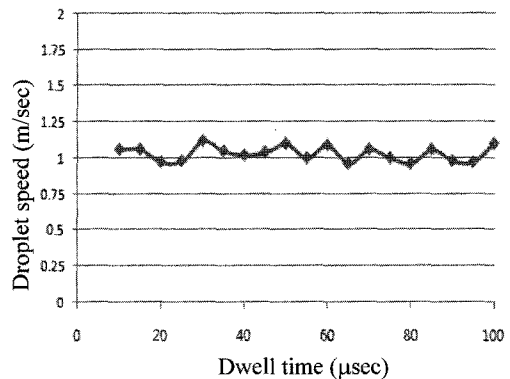
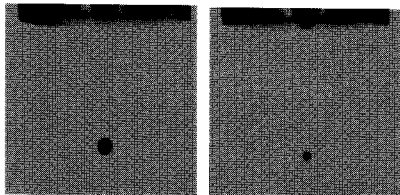


Fig. 7 Measured droplet speed

Fig. 8 은 휴지시간을 각각 75 μsec 와 30 μsec 로 하였을 때 토출되는 잉크 방울을 측정한 CCD 카메라 이미지이다. 이 때 토출 속도는 모두 1m/sec 로 하기 위하여 입력 전압의 크기를 조정하였다.

Fig. 8 에서 알 수 있듯이 같은 크기의 노즐에서 같은 속도로 토출되지만 인가 파형의 휴지 시간을 조절함으로써 잉크의 크기를 간단하게 조절할 수 있었다.



(a) 75μsec (b) 30μsec

Fig. 8 CCD camera images

4. 결론

토출되는 잉크 방울의 크기를 제어 하기 위하여 파형과 잉크 방울 크기의 관계를 실험적으로 고찰하였다.

잉크 방울의 크기를 제어 하기 위하여 기본파형의 휴지 시간을 고정하고 입력 전압의 세기를 조절하는 방법은 있으나 조절되는 잉크 방울의 크기를 큰 폭으로 변화시킬 수 없는 단점과 잉크 방울의 크기와 함께 토출 되는 잉크의 속도가 같이 변하여 이를 고려 해야 되는 문제 점이 있었다.

한편으로는 기본 파형의 휴지 시간을 변화시켜 체적을 바꾸는 방법이 있는데 이 때 입력 전압의 크기를 동시에 조절하여 기준 속도와 잉크의 크기를 모두 바꾸는 방법이다. 기본 파형의 휴지시간을 변경 함으로서 50μm 의 노즐 직경의 헤드를 사용하였을 때 1m/sec 의 토출 속도에서 37μm 에서 55μm 의 직경을 갖는 잉크 액적을 만들 수 있었다.

기본 파형이 아닌 변형된 파형으로 잉크 방울의 크기를 제어하는 연구는 추후의 연구 과제로 진행 중이다.

후 기

이 논문 2008 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (신진 교수 과제: D00019)

참고문헌

1. Kwon, K. S., "Development of a Test stand for

measuring ink jetting performance," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 8, pp. 45-50, 2008.

2. Kwon, K. S. and Kim, W., "A waveform design method for high speed inkjet printing based on self-sensing measurement," Sensors and Actuators A, Vol. 140, No. 1, pp. 75-83, 2007.

3. Creagh, L., McDonald, M. and Letendre, W., "Ink Jet Printhead as a precision deposition tool in manufacturing FPDs," SEMICON China, FPD Manufacturing Conference, 2004.

4. MicroFab Technologies, Inc., "Drive waveform effects on ink-jet device performance," Microfab technote 99-03, 1999.

5. Bogy, D. B. and Talke, F. E., "Experimental and theoretical study of wave propagation phenomena in drop-on-demand ink jet devices," IBM Journal of Research and Development, Vol. 28, No. 3, pp. 314-321, 1984.

6. Chen, A. V. and Basaran, O. A., "A new method for significantly reducing drop radius without reducing nozzle radius in drop-on-demand drop production," Physics of Fluids, Vol. 14, No. 1, pp. L1-L4, 2002.

7. Basaran, O. A., "Small-scale free surface flows with breakup: drop formation and emerging applications," AIChE Journal, Vol. 48, No. 9, pp. 1842-1848, 2002.

8. Rensch, C., "Creation of Small Microdrops," MicroFab Technologies, Inc., 2006.

9. Byun, J. H., Seo, D. S., Choi, Y., Chang, H., Kong, K. J., Lee, J. O. and Ryu, B. H., "Fabrication of silver micro lines by ink-jet method," Journal of Korean Ceramic Society, Vol. 41, No. 10, pp. 788-791, 2004.