

# 잉크젯 입력 파형에 의한 토출 특성의 실험적 연구

## Experimental study of waveform effect on jetting performance

\*명재환<sup>1</sup>, #권계시<sup>1</sup>, 엄태준<sup>1</sup>, 주영철<sup>1</sup>, 이상욱<sup>1</sup>

\*J. H. Myong<sup>1</sup>, #K. S. Kwon(kskwon@sch.ac.kr)<sup>1</sup>, T. J. Um<sup>1</sup>, Y. Ch. Joo<sup>1</sup>, S. W. Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 순천향대학교 기계공학과

Key words : piezo inkjet, jetting control, jetting performance, waveform design

### 1. 서론

잉크젯 기술이 발전함에 따라서 사무실용 프린터로부터 제조 공정의 도구로서 응용 범위가 점차 넓어지고 있다[1]. 따라서 다양한 종류의 잉크가 개발이 되어 이를 안정적으로 토출 시켜야 된다. 이를 위하여 잉크젯에 인가되는 파형(waveform)의 파라미터를 조절하여 잉크가 효과적으로 토출 되게 만드는 방법을 사용한다<sup>2</sup>. 한편으로 이러한 토출 현상은 잉크젯 내의 압력파(pressure wave)의 거동 현상과 파형과 관련이 있다고 알려져 있다<sup>3</sup>. 이러한 압력파를 파형을 조절 함으로서 토출이 용이하게 만들어 잉크를 토출 시키게 된다. 이러한 잉크젯 헤드내의 압력파를 측정하는 방법으로는 피에조의 셀프센싱을 이용하는 방법과 잉크젯 노즐 부분의 메니스커스 운동을 측정하는 방법이 있다<sup>1,4</sup>.

잉크젯 파형의 기본형태는 사다리꼴 형태의 파형이 많이 사용되며 상승시간(rising time), 하강시간 (falling time)은 고정시키고 휴지시간 (dwell time) 을 변화 시켜서 휴지시간의 최적 값을 찾는 것이 널리 사용되는 방법이다<sup>2</sup>. 일반적으로 상승 또는 하강 시간은 3~10μsec 로 되는 것이 좋다고 문헌에 되어 있다<sup>3</sup>. 그러나 얼마의 시간이 최적인지 그 효과가 어떻게 휴지시간에 영향을 미치는지에 대한 참고문헌이 거의 없다. 상승 또는 하강 시간을 지나치게 짧게 하면 헤드를 구동하기 위한 고전압 드라이버의 전류가 상승하여 파형이 왜곡되는 현상이 발생한다. 또한 압력파를 위한 에너지가 충분하게 잉크에 전달 되는지에 대한 문제가 있어서 일반적으로는 최소의 상승 또는 하강시간을 사용하기 보다는 적절한 시간을 해야 한다. 따라서 얼마 정도의 값이 상승 또는 하강시간의 설정 값이 적절한지 또는 상승시간과 하강시간의 변화가 휴지시간의 최적화 값에 미치는 영향을 체계적으로 평가하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 상승/하강 시간에 따른 속도의 변화 및 최적 휴지시간에 대한 영향을 실험적으로 구하고 이를 분석하려고 한다. 이를 통하여 잉크 토출 특성을 제어하기 위한 파형 설계를 위한 참고 데이터를 만들기 위한 것이 본 연구의 목적이 된다.

### 2. 잉크젯 파형 설계

잉크젯 토출이 압력파와 관련이 있다는 것을 밝혀낸 이후에 이를 이용하여 파형을 설계하려는 노력이 진행되어 왔다<sup>1,3</sup>.

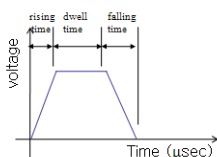


Fig. 1 Typical waveform for piezo inkjet

Fig. 1 와 같이 정의 된 파형을 인가 하였을 때 Fig. 2 와 같은 압력파가 헤드 내부에서 진행된다. 파형의 상승 부분이 헤드에 인가 될 때 헤드 내에 순간적인 팽창(expansion)으로 인하여 두 개의 음의 압력이 반대방향으로 진행하게 된다. 마찬가지로 파형의 하강

부분이 인가 될 때 순간적인 압축(compression)으로 인하여 양의 압력이 PZT 를 중심에서 양쪽으로 진행한다<sup>3</sup>.

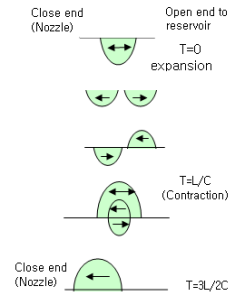


Fig. 2 pressure wave inside a head

압력파는 입력 파형에서 상승 또는 하강부분에 생성되고 적절한 휴지 시간을 조절하여 Fig.2 와 같이 압력파를 노즐에서 최대화하는 방법으로 잉크를 토출 시키게 된다.

### 3. Drop 속도 측정

잉크젯 토출 특성을 평가할 때 기본적으로 측정해야 하는 것이 잉크의 토출 속도이다. 잉크 토출 속도는 토출 압력과 직접적인 관련이 있으므로 상승 또는 하강 시간의 변화로 인한 압력파의 변화 및 최적 휴지 시간 등도 알 수 있게 된다.

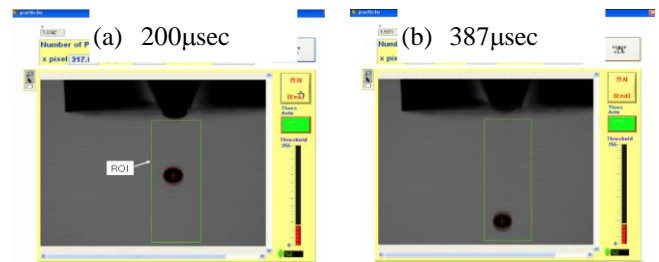


Fig.3 Speed measurement of ink droplet

Fig. 3 는 잉크 토출 속도를 측정하기 위해 개발된 소프트웨어이다<sup>5</sup>. Fig.3와 같이 토출 신호 인가 한 후의 두 시점의 (예를 들면 200μs 와 t2=387μs) 거리를 측정 함으로서 속도를 측정할 수 있다<sup>5</sup>.

### 4. 토출 속도와 파형과의 관계

일반적으로 입력 파형의 상승 및 하강 시간은 수 μsec 이고 휴지 시간 (dwell time)은 잉크에 따라서 많이 달라지며 수 μsec 에서 수십 μsec 의 범위가 된다. 이러한 파형을 만들기 위하여 Agilent 33120A 을 사용하였다.

이러한 파형은 헤드를 구동하기 위하여 고전압으로 증폭되어야 한다. 이를 위하여 Power OP amp 인 PA98A 을 사용하여 임의 파형 발생기로부터 생성된 파형을 100 배 증폭하였다. 실제 실험에서 PA98A 는 상승 및 하강 시간을 8μsec 이상으로 하였을 때 실제 구동 파형이 왜곡 없이

잉크젯헤드 (Microfab, MJ-AT 50 $\mu$ m)를 구동할 수 있었다. 따라서 8 $\mu$ sec 부터 상승 또는 하강 시간을 증가 시켜 토출 현상을 관찰하였다.

토출 실험을 위한 주파수는 1kHz 로 고정하고 토출 전압은 35v 로 주었다. 상승 및 하강 시간을 8 $\mu$ s 부터 20 $\mu$ s 까지 2 $\mu$ s 의 간격으로 증가시켜 잉크 토출 속도의 영향을 측정하여 Fig.4 와 같은 결과를 얻었다. 이 때 각 상승 및 하강 시간에 대하여 휴지 시간을 변화하여 잉크 토출 속도를 측정하였다. 이를 통해 관찰 하려고 하는 상승 및 하강 시간에 대한 최적의 휴지 시간을 변화를 관찰하는 것이 가능하다.

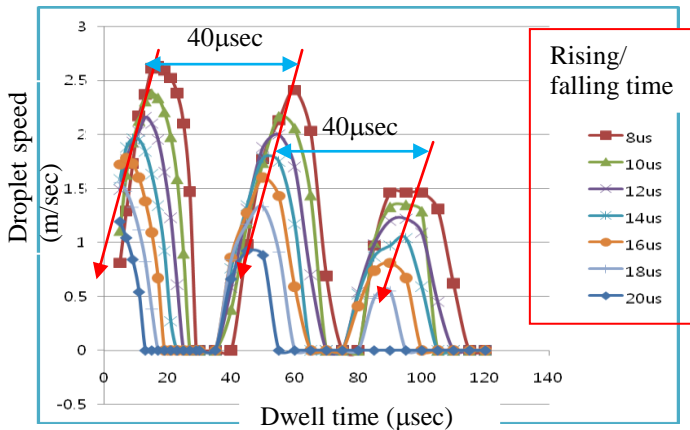


Fig. 4 Speed vs droplet speed relationship

Fig.4 에서 알 수 있듯이 상승/하강 시간이 8 $\mu$ sec 에서 20 $\mu$ sec 로 길어짐에 따라 속도의 최대값이 2.7m/sec 에서 1m/sec 로 감소 함을 알 수 있다. 이것은 상승 및 하강 시간이 짧을수록 더 강한 압력파가 생기는 것에 의한 것이다. 휴지시간의 증가 함에 따라서 속도의 피크가 반복적으로 나타나고 이 것의 주기는 40 $\mu$ sec 로 모두 동일 하였다. 이것은 잉크의 음속에 관련된 특성이므로 상승 시간과 하강 시간과 무관하게 동일 하였다. 또한 휴지시간에 대한 속도의 피크의 감쇄율 역시 잉크의 고유한 특성인 점성과 관련이 있기 때문에 상승/하강시간에 관계없이 비슷한 특성을 보였다.

과형을 설계할 때 최적의 휴지시간은 Fig.4 와 같은 속도와 휴지시간의 관계에서 첫 번째 피크의 휴지시간으로 정의 된다<sup>3</sup>. Fig.4 에서 알 수 있듯이 상승/하강시간에 길어짐에 따라서 최적의 휴지 시간이 짧아짐을 알 수 있다. 따라서 상승 및 하강 부분은 압력과 생성 뿐 만 아니라 최적 휴지 시간에 영향을 주게 된다. 따라서 팽창의 압력파의 발생 시간으로부터 압축의 압력파의 발생까지의 시간을 등가 휴지 시간(equivalent dwell time),  $t_{eq\_dwell}$ , 으로 정의하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$(t_{rising}+t_{falling}) * factor + t_{dwell} = t_{eq\_dwell} \quad (1)$$

식 (1)에서 알 수 있듯이 상승/하강 시간이 짧아질수록 최적의  $t_{dwell}$  은  $t_{eq\_dwell}$  에 근접함을 알 수 있고 그 시간은 속도의 주기의 반인  $t_{eq\_dwell}=20\mu$ sec 에 근접하게 됨을 Fig. 4 로부터 알 수 있다. 이를 이용하면 상승/하강 시간이 최적의 등가 휴지 시간에 미치는 영향을 Table 1 과 같이 정리하는 것이 가능하다.

Table 1 Rising/falling time effects on equivalent dwell time

rising/falling time ( $\mu$ sec)	Measured optimal dwell time $t_{dwell}$	factor
8	17	0.19
10	15	0.25
12	13	0.29
14	9	0.39
16	7	0.41
18	5	0.42

최근에 factor=0.5 로 하여 등가 휴지 시간,  $t_{eq\_dwell}$ , 에 대한 토출 특성의 관계에 대해 발표되기도 하였다<sup>6</sup>. 그러나 Table 1 에서 알 수 있듯이 상승/시간에 따라서 factor 의 양의 변화가 상수인 0.5 가 아닌 0.1~0.4 의 큰 범위로 상승/하강 시간에 비례하여 증가 됨을 알 수 있었다. 한편으로 상승 및 하강 시간이 8 $\mu$ sec 보다 작은 경우에는 근사적으로  $t_{dwell} \approx t_{eq\_dwell}$  가 됨을 알 수 있었다.

### 5. 결론

잉크젯 과형에서 상승 및 하강 시간의 변화가 토출에 미치는 영향에 대한 실험적 분석을 수행하고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 상승 및 하강 시간의 증가에 따라서 토출 속도가 감소하였다.
2. 상승 및 하강 시간에 관계없이 휴지시간에 대한 잉크 토출 속도의 관계에서 주기 및 감쇄율은 동일하였다.
3. 상승 및 하강 시간에 증가에 따라서 최적의 휴지 시간이 감소하였다. 그 영향은 상승 및 하강 시간이 커짐에 따라서 더 증가하였다. 이는 상승 및 하강 시간이 길어짐에 따라서 입력 과형에서 전압의 상승 및 하강 시에도 압력파의 생성과 더불어 압력파가 진행되는 것을 고려하여 과형을 설계해야 된다.

### 후기

본 연구는 지식경제부 지방기술혁신사업 (RTI04-01-02)지원으로 수행되었음.

### 참고문헌

1. K.S. Kwon and W. Kim, "A waveform design method for high speed inkjet printing based on self-sensing measurement," Sensors and Actuators A, 140, pg. 75, 2007.
2. Microfab technote, Drive waveform effects on ink-jet device performance, 99-03, 1999.
3. D.B. Bogy and F.E. Talke, "Experimental and theoretical study of wave propagation phenomena in drop-on-demand ink jet devices," IBM Journal of research and development, 28, 3, pg. 314, 1984.
4. K.S. Kwon 2008 Inkjet status monitoring using meniscus measurement *Proceedings of NIP24, Pittsburgh, USA*
5. Kwon K S 2008 Speed measurement of ink droplet by using edge detection techniques *Measurement* DOI:10.1016/j.measurement. 02, 016, 2008.
6. M.K. Kim, J.Y. Hwang, S.H. Lee, K.T. Kang, and H.S. Kang, "Phase Matching of Pressure Wave in a Drop-On-Demand Inkjet Print Head," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 9, 116-125, 2008.