

# 잉크젯 토출 특성 제어를 위한 입력 파형 설계

글 \_ 권계시  
순천향대학교 기계공학과

## 1. 서론

잉크젯 기술이 발전함에 따라서 사무실용 프린터로부터 제조 공정의 도구로서 응용 범위가 점차 넓어지고 있다. 따라서 다양한 종류의 잉크가 개발이 되어 이를 안정적으로 토출 시켜야 된다. 이를 위하여 잉크젯에 인가되는 전압 파형(waveform)의 파라미터를 조절하여 잉크가 효과적으로 토출 되게 만드는 방법을 사용한다<sup>1)</sup>.

잉크젯 파형은 목적에 따라서 다르게 설계될 수 있다. 토출을 용이 하게 하는 파형, 잉크의 체적 및 속도를 제어하는 파형, 위성 액적 및 ligament를 제어 하는 것을 목적으로 하는 파형의 형태는 모두 다를 수 있다<sup>2-4)</sup>. 또한 토출 시키려고 하는 잉크의 물성에 따라서 이러한 파형은 다르게 설계되어야 한다. 이러한 파형을 설계하는 것은 시간과 노력이 많이 들기 때문에 이를 체계화 시키는 연구는 중요하다.

한편으로 잉크젯 토출 현상은 잉크젯 헤드내의 잉크의 음향학적 압력파(pressure wave)의 거동 현상과 파형과 관련이 있다고 알려져 있다<sup>1)</sup>. 이러한 압력파의 세기를 입력 파형을 조절 함으로서 토출이 용이하게 만들어서 잉크를 토출 시키게 된다<sup>1)</sup>.

따라서 압력파를 측정 할 수 있다면 토출 전반적인 현상을 이해하는 것이 가능하여 잉크젯 파형을 효율적으로 설계하는 것이 가능하다. 잉크젯 헤드내의 압력파를 별도의 센서를 이용하여 측정하는 것은 매우 어렵다. 한편으로 잉크젯 헤드를 작동시키는 액추에이터인 피에조는

잉크젯 내부의 상태를 측정하는 센서로도 사용이 가능한 셀프 센싱의 특성을 가지고 있다. 이러한 셀프 센싱의 기능을 사용하여 토출 현상을 모니터링하고 파형을 설계하려는 노력이 진행 되고 있다<sup>4,5)</sup>.

토출 전압 보다 약한 전압을 헤드에 인가하게 되면 실제 토출은 이루어지지 않고 압력파에 의한 메니스커스 진동을 관찰 할 수 있게 된다<sup>6)</sup>. 이를 직접적으로 파형 설계 등에 응용하기 위해서는 측정을 자동화 해야 할 필요성이 있다. 이를 위하여 이미지 프로세싱 기술을 사용하여 메니스커스의 운동을 측정하였다<sup>6)</sup>. 이를 통해 토출 현상을 예측하는 것이 가능하게 되었다. 또한 메니스커스를 측정하면 입력 파형을 효율적으로 설계하는 것이 가능하다. 이와 같은 토출 현상의 측정을 통한 토출 제어 연구를 소개하려고 한다.

## 2. 토출 현상 측정

### 2.1. 압력과 측정

파형을 인가 하였을 때 Fig. 1과 같은 압력파가 헤드 내부에서 진행된다. 팽창(expansion)파형 인가시에는 두 개의 음의 압력이 반대방향으로 진행하고 반대로 압축(compression) 파형 인가시는 반대로 양의 압력이 PZT를 중심으로 양쪽으로 진행된다<sup>1)</sup>.

이러한 압력파는 일정시간 동안 계속해서 진동하게 된다. 진동하는 주기와 상태는 잉크젯 내의 유체 조건에 따라서 달라지게 된다<sup>1)</sup>. 따라서 압력파는 잉크젯 내의 상

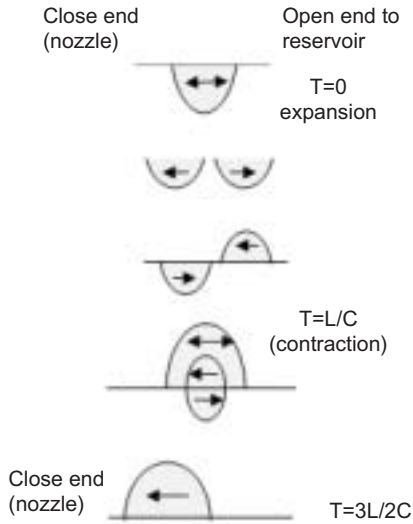


Fig. 1. 잉크젯 헤드 내의 압력파 진행<sup>4)</sup>.

태를 측정하는데 좋은 정보가 된다. 또한 주기등을 측정하여 제팅 파형 설계등에 응용이 가능하다. 이러한 압력파는 잉크에 따라서 주파수와 진폭과 압력파의 감쇄계수가 다르게 된다. 따라서 토출을 위한 잉크의 물성에 대한 간접적인 측정도 가능하게 된다. 이러한 압력파를 간접적으로 측정하기 위하여 피에조의 셀프 센싱을 이용하는 연구가 진행되고 있다<sup>4,5)</sup>.

## 2.2. 메니스커스 측정

메니스커스는 토출 현상과 밀접한 관계가 있다. 메니스커스를 측정하기 위해서는 토출을 하지 않는 작은 전압을 이용하고 LED의 trigger delay를 사용해야 한다. 이러한 메니스커스를 자동으로 측정하기 위하여 메니스커스는 노즐 부분의 관심 영역을 직선으로 만들고 이미지의 문턱값을 설정하면 Fig. 2와 같이 메니스커스의 운동을 측정하는 것이 가능하다.

측정된 메니스커스는 토출 현상과 직접적인 관련이 있으므로 토출 현상을 예측하고 잉크의 물성인 점성, 음속 등을 간접적으로 측정하는 것이 가능하다<sup>6)</sup>.

## 3. 잉크젯 파형 설계

Fig. 3과 같이 잉크가 다양해 짐에 따라서 효율적으로 잉크를 토출 시키는 토출 파형을 설계하는 것이 필요하다. 기존의 파형 설계는 토출 되는 잉크의 속도를 측정하여 원하는 속도가 되도록 실험에 의해서 파형을 설계하였다<sup>7)</sup>. 그러나 잉크젯 응용 범위가 넓어짐에 따라서 토출 조건을 찾는 것이 어려운 경우가 많다. 또한 설계된 파형이 최적인지를 판단하는 것이 어려운 경우가 많다.

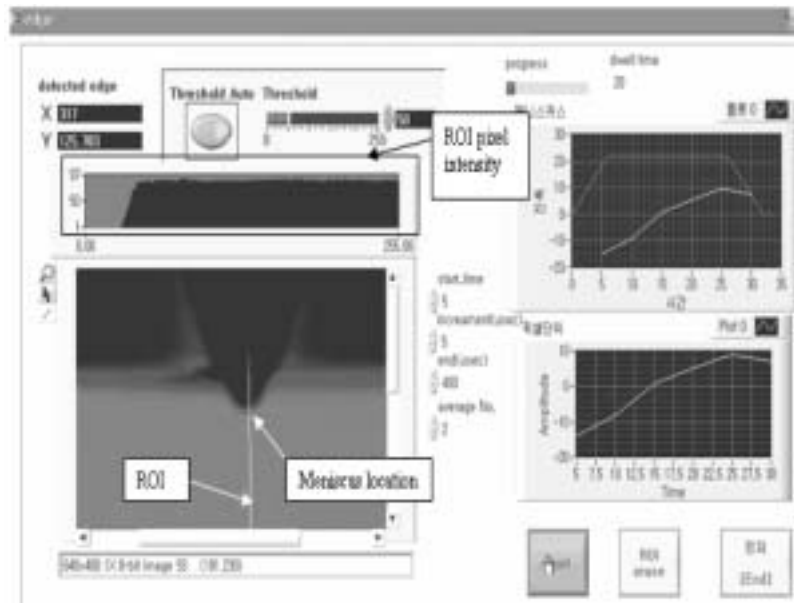


Fig. 2. 메니스커스 운동 측정<sup>6)</sup>.



Fig. 4와 같이 압력파를 측정하거나 토출 현상과 관련이 있는 메니스커스 운동을 측정하면 파형을 체계적으로 설계하는 것이 가능하고 설계된 파형을 평가하는 것도 가능하다<sup>7)</sup>.

한편으로는 토출 후에는 발생된 압력파는 바로 감쇄가 되지 않으면 이후에 토출 되는 토출 상태에 영향을 미치게 된다. 따라서 압력파가 효과적으로 감쇄가 되는 파형을 위한 파형을 설계하기 위한 노력도 진행되고 있다<sup>47)</sup>.

한편으로는 잉크젯의 응용이 전자 재료를 이용한 미세 선폭 패터닝 등으로 다양해 짐에 따라 잉크 방울의 속도 제어가 아닌 잉크 방울의 체적 제어에 대한 이슈가 대두되고 있다. 특히 잉크 방울 크기의 최소화를 위한 파형 설계 방법에 대한 필요성이 증대되고 있다<sup>23)</sup>.

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

Fig. 5는 파형을 변화시켜서 얻은 잉크 액적 크기의 결과이다<sup>3)</sup>. Fig. 5에서 알 수 있듯이 잉크 액적의 크기를 노즐 보다 크게 또는 작게 만들 수 있음을 알 수 있다.

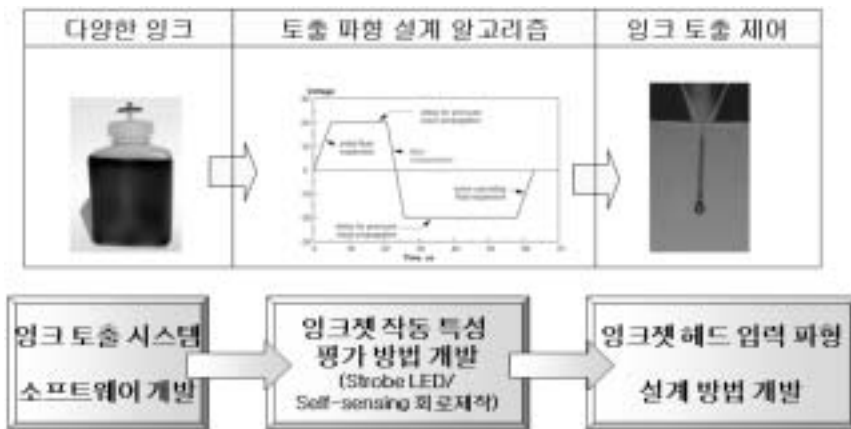


Fig. 3. 잉크젯 헤드 파형 제어.

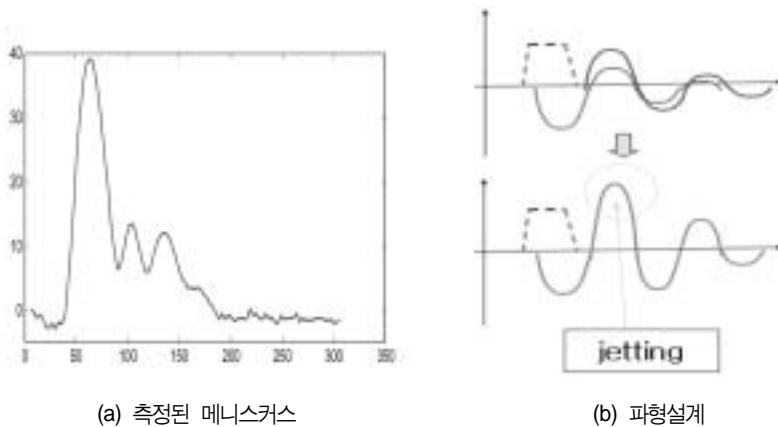
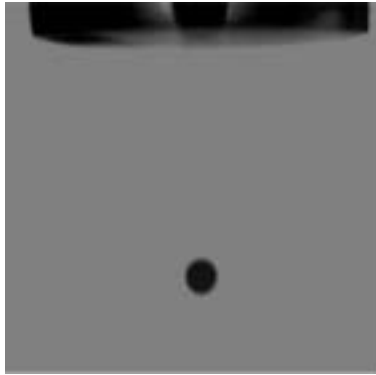


Fig. 4. 메니스커스를 이용한 파형 설계.



(a) 최대 잉크 액적



(b) 최소 잉크 액적

Fig. 5. 잉크 액적 크기 제어<sup>3)</sup>.

## 5. 맺는 말

잉크젯 응용이 넓어 짐에 따라서 다양한 잉크를 효율적으로 제팅 되어야 한다. 이를 위해서 잉크젯 토출 현상 및 토출 성능 측정하는 방법을 개발하고 있다. 이를 통해서 잉크 액적의 토출을 제어 하기 위한 파형 설계가 효율적으로 가능하게 되었다. 파형 제어를 통하여 잉크가 토출이 용이하게 만들 수 있을 뿐더러, 토출의 체적과 속도를 제어 할 수 있다. 또한 잉크젯에서 ligament 및 위성 액적 (satellite)을 제어 하는 것도 가능하다. 효과적인 파형 설계 방법을 개발하기 위하여 다양한 실제 잉크에 적용하여 검증하고 개선하는 연구를 진행 중이다. 잉크 액적의 토출 특성은 파형 뿐만 아니라 잉크의 물성과 밀접한 관련이 있다. 잉크의 특성을 고려한 효과적인 파형 설계 방법이 확립된다면 잉크젯을 이용한 다양한 분야에서 유용하게 사용될 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부 소재인천기술개발사업으로 진행 중이며, 이에 감사 드립니다.

## 참고문헌

1. 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] 314-21 (1984).

2. A.V. Chen and O.. A Basaran., "A new Method for Significantly Reducing Drop Radius without Reducing Nozzle Radius in Drop-on-demand Drop Production," *Physics of Fluids*, **14** [1] L1-L4 (2002).
3. 권계시, 명재환, "잉크젯 파형과 잉크 액적 체적의 관계 실험적 분석," *한국정밀공학회지*, **26** [4] 141-45 (2009).
4. 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] 75-83 (2007).
5. K.S. Kwon, "Methods for Detecting Air Bubble in Piezo Inkjet Dispensers," *Sensors and Actuators A*, doi:10.1016/j.sna.2009.04.024 (2009).
6. K.S. Kwon, "Inkjet status Monitoring using Meniscus Measurement," *Proceedings of NIP24, Pittsburgh, USA*, 2008.
7. K.S. Kwon, "Waveform Design Methods for Piezo Inkjet Dispensers Based on Measured Meniscus Motion," *IEEE/ASME Journal of Microelectromechanical Systems* (submitted) (2009).

## ●● 권계시



- KAIST 기계공학과 석사, 박사 학위 취득
- LG전자 삼성종합기술원 근무
- 현재 순천향대학교 기계공학과 조교수
- 잉크젯 파형제어, 잉크젯 프린팅 공정 개발, 잉크 제팅 시스템 개발 등 연구 수행