

잉크젯 작동 상태 모니터링 시스템 개발

Development of condition monitoring system for piezo inkjet

권계시 †
Kye-Si Kwon

Key Words : piezo inkjet, condition monitoring

ABSTRACT

Measuring system for piezo inkjet droplet and ink jetting status was developed. In order to measure the jetting performance, two different approaches have been used. One is to use the self-sensing capability of the piezo actuator in the printhead. The other is to use the droplet image from a CCD camera. The software as well as hardware using two approaches was developed. The self-sensing signal as well as meniscus motion was shown to be useful in monitoring jetting conditions. Furthermore, ink properties such as viscosity and speed of sound, which is related to jetting performance, can be understood.

1. 서론

잉크젯 기술이 발전함에 따라서 사무실용 프린터로부터 디스플레이 제조 공정의 도구로서 응용 범위가 점차 넓어지고 있다[1-5]. 디스플레이 제조로 응용 범위를 넓혀감에 따라 잉크젯 공정의 신뢰성과 생산성을 극대화해야 한다. 따라서 다음과 같은 이슈들이 최근에 대두되고 있다.

1. 높은 주파수 및 안정된 토출을 얻기 위한 인가 전압의 파형 최적화.
2. 신뢰성을 얻기 위해서 토출 현상 모니터링.

잉크젯 내의 음향학적 압력파가 토출에 직접적으로 관련이 있는 것은 Bogy[6]의 실험적 및 이론적 검증을 통하여 밝혀진 이후 압력파의 측정은 파형 설계 및 토출 예측을 위한 필수적인 요소가 되었다. 그러나 압력파를 측정하는 것이 어렵기 때문에 잉크 액적이 떨어질 때 액적의 형상 혹은 속도를 strobe LED 를 이용하여 관찰하면서 인가 전압을 설계하는 것이 기존의 주된 연구였다.

한편으로는 최근 잉크젯을 제조 장비로 사용하기 위해서는 잉크젯의 작동을 보다 쉽게 진단하여 신뢰성을 증가 시켜야 된다. 이러한 이슈들을 해결하기 위하여 최근에 피에조의 셀프 센싱 특성을 이용한 토출 현상 모니터링 및 파형 설계 방법등이 시도되었다[2,7,8].

본 논문의 목적은 이와 같은 잉크 토출 상태 진단을 위한 이미지처리 방법과 셀프 센싱을 사용한 압력파의 간접 방법을 사용하여 잉크제팅 상태를 측정하고 모니터링하는 시스템 개발에 대한 것이다.

한편으로는 토출을 위한 전자재료가 다양해지고 있다. 이러한 잉크를 개발하는데에

토출 특성을 효과적으로 평가가 되어야 한다. 이러한 토출 특성은 잉크의 음속, 점성, 표면장력, 밀도등이 관련되어 있으며, 이를 토출 관점에서 평가 해야 향후 잉크를 개선하거나 토출 제어를 통해 실제 생산 공정에 응용이 된다. 다양한 잉크의 물성을 토출 특성 평가를 통하여 간접적으로 측정하고 이를 이용한 입력 파형 제어가 가능한 토출 시스템 및 소프트웨어 개발을 하는 것이 본 연구의 또 다른 목표이다.

2. 헤드 내의 압력파

잉크젯 토출이 압력파와 관련이 있다는 것을 밝혀낸 이후에 이를 이용하여 파형을 설계하려는 노력이 진행되어 왔다[6].

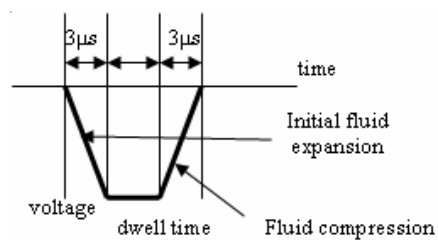


Fig. 1 Typical waveform for piezo inkjet

Fig. 1 와 같이 정의 된 파형을 인가 하였을 때 Fig. 2 과 같은 압력파가 헤드 내부에서 진행된다. 팽창(expansion)파형 인가시에는 두 개의 음의 압력이 반대방향으로 진행하고 반대로 압축(compression) 파형이 인가시에는 반대로 양의 압력이 PZT 를 중심에서 양쪽으로 진행한다.

잉크젯 헤드는 간단한 경계조건으로 해석이 가능하며, 잉크가 토출 되는 노즐 쪽은 튜브 (tube)의 단면적이 아주 작아지기 때문에 근사적으로 단힘 조건으로 해석이 가능하고 반대쪽의 잉크 공급 부분은 열림 조건으로 해석이 가능하다.

562 만일 유체의 음속을 C 라고 하고 잉크젯

† 책임저자; 순천대학교 기계공학과
E-mail : kskwon@sch.ac.kr
Tel : (041) 530-1670, Fax : (041) 530-1550

디스펜서(dispenser)의 길이를 L 이라고 하면 팽창 파형의 인가 후 $t=L/C$ 시간이 되면 압력파는 다시 가운데에서 만나게 된다. 따라서 Fig. 2 과 같이 L/C 에서 압축 파형을 주는 것이 좋다. 그러면 압력파는 합쳐져서 $t=3L/2C$ 에서 노즐 쪽으로 큰 압력으로 토출을 시킬 수 있다. 토출 후에도 이러한 압력파는 일정시간 동안 계속해서 진동하게 된다. 이러한 진동하는 주기와 상태는 잉크젯 내의 유체 조건에 따라서 달라지게 된다. 따라서 압력파는 잉크젯 내의 상태를 측정하는데 좋은 정보가 된다. 또한 주기등을 측정하여 제팅 파형 설계등에 응용이 가능하다.

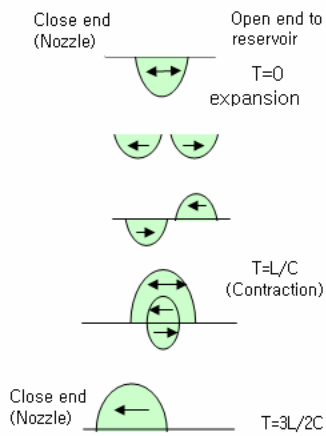


Fig. 2 pressure wave inside a head

3. PZT 의 셀프 센싱 측정

본 연구에서 사용된 단일 노즐의 Microfab 사의 피에조 잉크젯 헤드를 보여준다.



Fig. 3. Microfab head

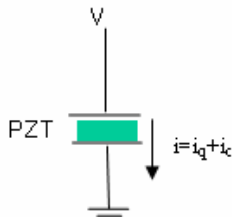


Fig. 4. Voltage and current in inkjet head

Fig. 4.에서 실제로 피에조 (PZT)에 흐르는 전류는

미세한 양이고 기계적 변형량에 의해 생긴 전류, i_q ,와 구동 전압, V_{in} ,에 대한 피에조의 정전 용량, C_{PZT} ,에 의한 전류, i_c ,의 양의 합이다.

$$i = i_q + i_c \quad (1)$$

여기서 $i_c = C_{PZT} \frac{dV}{dt}$ 이고 $i_q = \frac{dq_p}{dt}$ 이다. i_q 는 피에조의 변형량에서 생기는 전류이다. 따라서 헤드의 전류 i 를 측정 한 후에 등가 콘덴서 정전 용량에 의한 전류 i_c 를 빼면 피에조의 변형량을 간접적으로 알 수 있게 된다.

본 연구에서는 미세한 전류로부터 변형량을 측정하는 방법으로 Fig. 5.과 같은 브리지(bridge)회로를 사용하였다. 브리지 회로를 사용하여 Fig. 6.과 같이 V_{out} 을 측정하면 정전 용량의 영향을 제거한 변형량만의 전류의 영향을 얻을 수 있다. 여기서 C_{eq} 는 피에조와 등가의 정전 용량을 갖는 콘덴서이다.

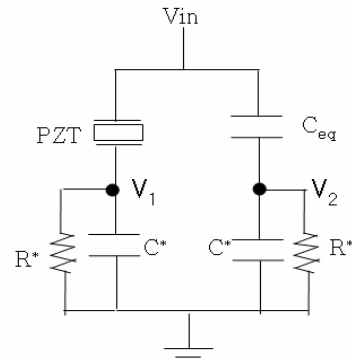


Fig. 5. bridge circuit

브리지 회로에서 검출된 압력파의 신호는 주파수가 수십 kHz이고 V_1 와 V_2 의 저주파 노이즈 및 드리프트는 신호와 관련이 없기 때문에 고주파 통과 필터 (high pass filter)를 통하여 없애 주었다. 또한 피에조의 정전용량과 등가 정전용량의 미세한 차이등에 의한 오차를 줄이기 위하여 게인을 조절하고 두 신호를 빼는 회로를 제작하였다.

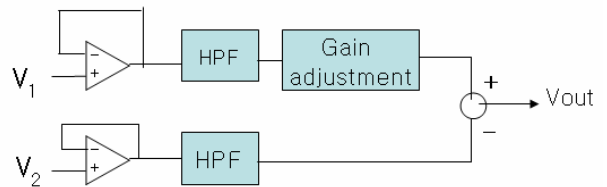


Fig. 6. Schematic of pressure wave detection circuit

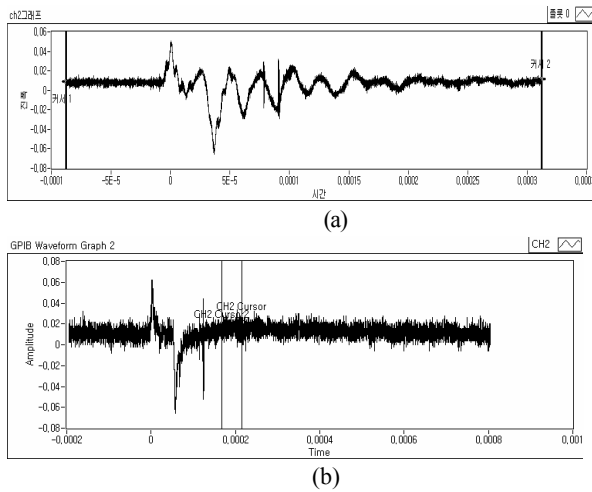


Fig. 7. Measured Pressure wave signal (a) with ink (b) without ink

Fig. 7 (a)은 나노 실버 잉크를 사용하여 정성적인 토출이 되었을 때 측정된 압력과 신호이고 Fig. 7 (b)는 잉크를 제거 했을 때의 신호이다. Fig. 7과 같이 측정된 신호는 헤드의 작동상태 및 잉크젯 헤드의 작동 특성을 모니터링 할 수 있을 뿐더러 파형 설계를 위한 기본 데이터가 된다.

4. 이미지 프로세싱

4.1 속도 및 체적 측정

전체적인 잉크 제팅 장치의 구성은 Fig. 8 과 같이 구성하였다. 이를 위하여 하드웨어를 Fig. 9 과 같이 구성 하였다. 잉크 토출 특성을 측정하기 위하여 LabVIEW 기반의 소프트웨어를 제작하여 위의 모든 구성 요소를 통합하여 자동으로 잉크 방울의 속도 및 체적을 구할 수 있도록 하였다.

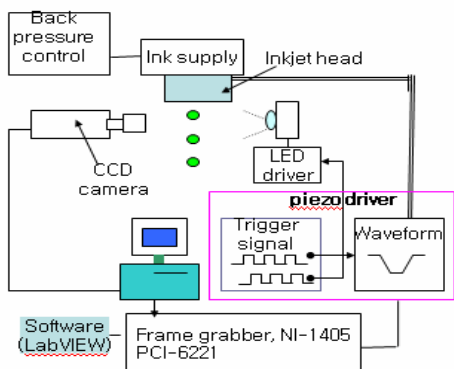


Fig. 8. Schematic of jetting system

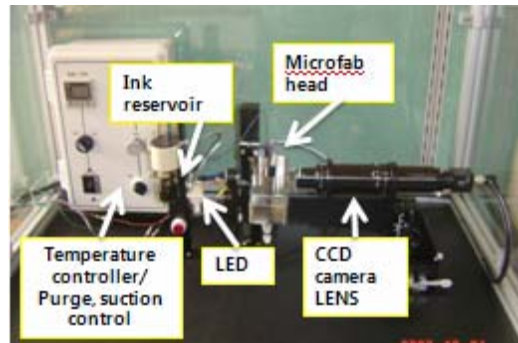


Fig. 9 Hardware of jetting system

Fig. 10 은 토출을 위한 잉크를 수계 나노 실버 잉크 (20wt%)를 사용하였을 때 토출특성 측정을 위해 개발된 소프트 웨어를 보여준다. 실제 토출은 1kHz 로 되고 있으나 strobe LED 조명을 통하여 마치 정지 한 것 처럼 보여줄 수 있게 된다. 이때 이미지 프로세싱을 통하여 잉크 방울의 위치 및 크기를 계산 할 수 있고 LED 조명의 트리거 delay 를 변화시켜 속도등을 구할 수 있다.

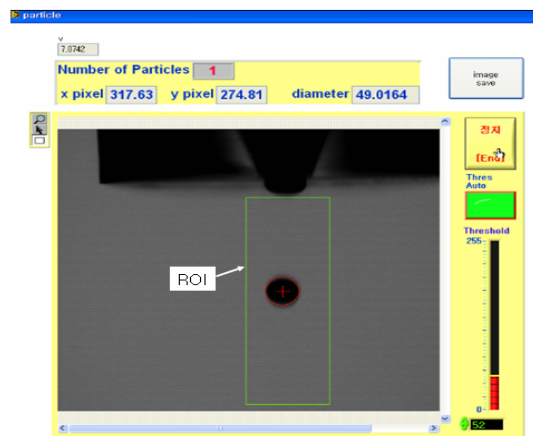


Fig. 10 Droplet image at 200 μsec time delay

4.2 메니스커스 측정

메니스커스는 토출 현상과 밀접한 관계가 있다. 메니스커스를 측정하기 위해서는 토출을 하지 않는 작은 전압을 이용하고 LED 의 trigger delay 를 사용해야 한다. 이러한 메니스커스를 자동으로 측정하기 위하여 메니스커스는 노즐 부분의 관심 영역을 직선으로 만들고 이미지의 문턱값을 설정하면 메니스커스의 위치를 측정하였다.

5. 결 론

잉크의 제팅 특성 평가를 위한 제팅 시스템 및 소프트웨어가 개발되었다. 잉크의 간접적 물성 측정이 가능하였고 이러한 측정을 통하여 토출 제어를 하기위한 시스템을 개발 하였다. 이를 위하여 2 가지 정보를 사용하였는데 하나는 피에조의 셀프 센싱을 위한 회로 개발이었고 또 다른 정보는 토출 특성을 위한 strobe LED 를 사용하여 얻은 이미지 정보 였다. 이러한 정보를 통합하는 software 를 개발 하였고, 이러한 정보로부터 얻은 것을 이용하여 잉크젯 토출 상태를 자체 진단 및 간접적으로 잉크의 물성 측정이 가능하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Kwon, K.S., Shin, S.J. and Kim S.J., 2005, "The opportunity of printing technology for display manufacturing process," Proceedings of colloquium on micro/nano thermal engineering, August 17-19, Seoul National University.
- (2) Kwon, K.S. and W. Kim, "A waveform design method for high speed inkjet printing based on self-sensing measurement", Sensors and Actuators A, vol. 140 pp. 75-83, 2007.
- (3) Bale, M., et al, 2006, "Ink jet printing: The route to production of full color P-OLED Displays", research paper, website: www.cdtitd.co.uk
- (4) Rhee J., et al, 2006, "A 14.1-in full-color polymer-LED display with a-Si TFT backplane by ink-jet printing", SID (society for information display) 2006
- (5) Gohda T., et al., 2006, A 3.6-in 202-ppi Full-color AMPLD Display Fabricated by Ink-jet method, SID 2006
- (6) Bogy, D.B. and Talke, F.E., 1984, "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.
- (7) Wassink, M.B. et al., 2005, "Enabling higher jet frequencies for an inkjet printhead using Iterative Learning Control", Proceedings of the 2005 IEEE conference on control applications, Toronto, Canada, Aug. 28-31.
- (8) Groninger, M. et al., 2003, "A method of controlling an inkjet printhead, an inkjet printhead suitable for use of said method, and an inkjet printer comprising said printhead", European patent, EP 1 378 360 A1.

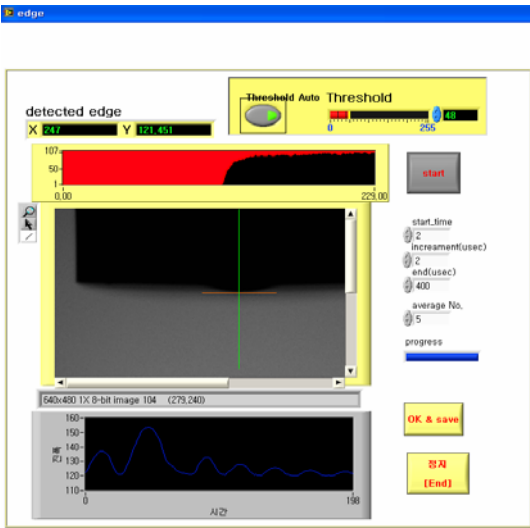


Fig. 11 Measurement of meniscus motion

Fig. 11 는 개발된 메니스커스를 측정하기 위한 소프트웨어이고 측정된 메니스커스를 이용하면 토출 현상을 예측하고 잉크의 물성인 점성, 음속등을 간접적으로 측정하는 것이 가능하다.

4.3 통합 소프트웨어

전체를 구성한 메인 화면은 Fig. 12 와 같다. 토출 주파수와 LED 밝기 등이 주화면에 조절이 되도록 작성하였다. 한편으로는 파형 설계를 위한 프로그램과 잉크 방울의 속도 및 체적을 측정하기 위한 소프트웨어는 전체 화면에서 버튼을 누르면 별도의 프로그램이 자동으로 pop-up 되도록 제작하였다. 또한 메니스커스를 측정하는 프로그램 역시 메인 화면에서 pop-up 되게 소프트웨어를 제작하였다.

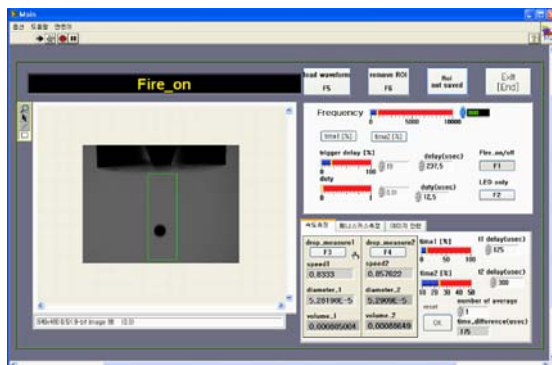


Fig. 12 Main Software.