

잉크젯 토출 특성 평가 장치 개발

권계시*

Development of a Test Stand for Measuring Ink Jetting Performance

Kye-Si Kwon*

ABSTRACT

An ink jetting measurement system has been developed such that the velocity as well as the volume of ink droplets can be measured. In order to measure the ink droplet, a strobe LED light was synchronized to the droplet firing signal in order to obtain frozen droplet images. Then, a LabVIEW based software was developed for the analysis of the droplet image. For the efficient droplet analysis, a user generated rectangular shaped ROI (Region of Interest) was used. By using ROI, the ink droplet image can be easily isolated from the other structures such as printhead and the processing area can be minimized.

Key Words : Inkjet (잉크젯), droplet image processing (잉크 방울 이미지 처리), ROI (관심영역)

기호설명

p = pixel to distance ratio (픽셀과 거리의 비)

n = number of pixel (픽셀의 수)

l = distance (거리)

Px , Py = pixel locations of droplet
(잉크방울의 위치)

v = speed of in droplets (잉크의 토출 속도)

θ = jet straightness (잉크의 토출 직진성)

1. 서론

잉크젯 기술이 발전함에 따라 사무용에서부터 전자 재료의 토출 등의 전자 부품 및 디스플레이 제조로의 응용 범위가 넓어지고 있다.¹⁻⁸ 이러한 잉크젯이 제조 공정으로서 응용 범위를 넓혀감에 따

라 잉크 방울의 정밀 제어 및 속도 측정 등을 통하여 이를 잉크젯 헤드의 입력 파형으로 제어하는 기술이 요구된다. 또한, 다중노즐(multi-nozzle) 헤드인 경우 각 노즐에서의 잉크의 토출량을 정확히 같게 하는 것이 요구된다.^{6,7} 이렇게 잉크젯 토출 특성이 각 노즐에 대해 균일해야 디스플레이 또는 잉크젯 공정으로 제조된 소자의 특성이 일정하게 되어 제품의 품질 향상을 확보할 수 있다.¹

따라서 잉크젯을 이용한 공정을 시작 하기 전에 잉크방울의 속도의 측정과 전압 조정 등이 반복적으로 이루어져 모든 노즐의 토출 특성을 균일하게 만들어야 한다.^{6,7} 따라서 잉크 방울의 특성인 속도 또는 잉크의 체적을 측정하고 평가하는 기술의 실제 잉크젯을 사용한 공정에서 필수적이다. 또한 잉크를 개발하는 개발자들에게는 개발 중인 잉크를 평가하기 위한 중요한 수단이 되고

* 접수일: 2008 년 1 월 23 일; 게재승인일: 2008 년 5 월 26 일

교신저자: 순천향대학교 기계공학과

E-mail: kskwon@sch.ac.kr Tel. (041) 530-1670

있다.

잉크 방울의 토출 특성은 헤드의 성능뿐만 아니라 잉크의 특성인 점성, 표면 장력등의 영향을 받는다. 따라서 잉크의 토출 특성을 측정하고 이의 평가를 통해서 보다 신뢰성 있는 토출 특성을 갖는 잉크 및 헤드 개발을 할 수 있게 된다.

한편으로는 잉크 방울을 측정하는 기술도 잉크젯을 이용한 생산장비와 더불어 발전하고 있다. 일반적으로 각 잉크젯 장비에서는 이러한 잉크 방울을 관찰 할 수 있는 장비를 개발하였으며, 잉크젯을 사용한 장비에서 양산 전에 잉크 방울의 정밀 제어 및 평가를 위하여 사용되고 있다.^{6,7}

그러나, 각 기업에 사용하고 있는 잉크 방울 측정 위한 장치의 기술적 노하우를 공개하고 있지 않아 적당한 참고 자료가 거의 찾기 힘든 실정이다.

본 논문의 목적은 잉크젯 토출 장치의 하드웨어와 소프트웨어 알고리즘등의 직접 구성한 예를 공개하여 향후 잉크젯관련 연구자들에게 참고 자료를 만들려고 한다.

본 논문에서는 잉크 토출 장치는 실험실에서 제작하기 위하여 하드웨어는 구입이 쉬운 상용화된 장비를 이용하여 구성하였고 이를 통합하는 소프트웨어는 NI 사의 LabVIEW software 를 이용하여 구현하였다. CCD 카메라로 얻은 잉크 방울의 특성을 측정 및 평가를 위한 소프트웨어를 제작하기 위하여 NI 사의 비전 개발 모듈 (Vision Development module)을 사용하였다. 특히 이미지 처리를 위하여 잉크 방울을 효율적으로 해석하기 위한 관심 영역 (ROI, Region of Interest)을 설정하여 잉크 방울의 속도 및 체적 측정하는 예를 보여주고 측정된 결과를 분석하였다.

2. 하드웨어 구성

전체적인 잉크 제팅 장치의 구성은 Fig. 1 과 같이 구성하였다. 하드웨어 구성은 Fig. 2 와 같다. 잉크 토출 특성을 측정하기 위하여 LabVIEW 기반의 소프트웨어를 제작하여 위의 모든 구성 요소를 통합하여 자동으로 잉크 방울의 속도 및 체적을 구할 수 있도록 하였다.

잉크젯 헤드로는 Microfab 의 단일 노즐 (single nozzle)을 사용하였다.⁹ 약 2nF 정도의 정전 용량을 가지고 있으며 노즐의 직경은 30~60 μ m 까지 양산

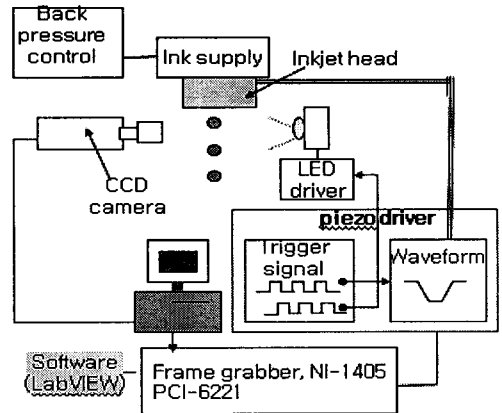


Fig. 1 Schematic of jetting system

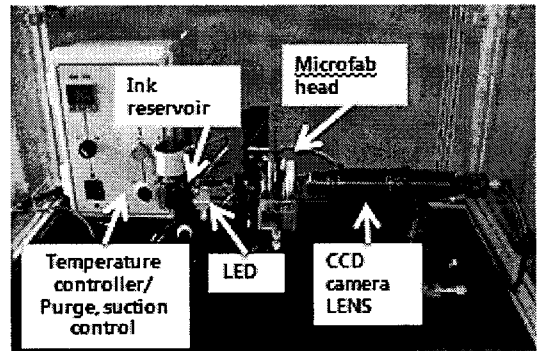


Fig. 2 Hardware of jetting system

되고 있다. 노즐 끝은 유리관으로 투명한 잉크인 경우 메니스커스 관찰이 용이하도록 되어있다. 본 연구에서는 MJ-AT-01-50 의 직경 50 μ m 의 노즐을 갖는 헤드를 사용하였다.

토출 시험을 위하여 도선 배선용 나노 잉크를 한국화학연구원으로부터 제공 받아서 시험하였다. 입자크기가 수 nm 인 고농도 은 (Ag) 나노 (20 wt%)잉크를 사용하였다.¹⁰

직경이 수십 μ m 정도의 잉크 방울 측정하기 위하여 Zoom Lens 인 MORITEX-ML-Z07545 (배율 0.75~4.5) 와 Lens adaptor 인 MORITEX-ML-Z20(배율 1.5~9)을 사용하여 최종 배율이 최대 약 40 배 까지 조절을 할 수 있게 하였다. CCD 카메라로는 SONY XC ES 50 을 사용하였다. CCD 카메라로부터의 이미지를 획득하기 위하여 NI 사의 PCI-1405 를 사용하였다.

잉크젯 노즐에서는 일정 정도의 음의 압력이

걸려야 한다. 따라서 이를 위하여 잉크 공급부(reservoir)의 높이를 이용하여 노즐의 압력을 제어하였다. 따라서 헤드 노즐의 높이에 비해서 잉크 공급부에서 잉크의 높이가 낮게 하여 약간의 음의 압력이 걸리도록 하였다. 또한 헤드의 메인터넌스를 위하여 공기 압력으로 잉크를 밀어내는 퍼지(purge)가 가능하게 하였다.

전자 재료 토출을 위한 잉크젯 헤드로는 피에조 방식을 많이 사용하고 있다. 피에조 방식의 잉크젯 헤드에는 토출 특성을 제어하기 위하여 적절한 입력 파형의 전압을 인가 해주어야 한다.⁹ Fig. 3은 이와 같은 파형을 만들어 주기 위하여 개발된 소프트웨어이다. 일반적으로 사용하고 있는 파형은 사다리꼴 모양으로 상승 및 하강 시간(rising/falling time)과 휴지 시간(dwel time)으로 이루어져 있으며 잉크의 특성에 따라서 적당한 파형으로 인가 시켜야 한다.⁸ 일반적으로 상승 및 하강 시간은 수 μsec 이고 휴지 시간(dwel time)은 잉크에 따라서 많이 달라지며 수 μsec 에서 수십 μsec 의 범위가 된다. 이러한 파형을 만들기 위하여 Agilent 33120A 을 사용하였다. Agilent 33120A 는 1 μsec 내에 최대 15 개까지의 데이터를 만들 수 있으므로 잉크젯 헤드를 드라이브하는 파형을 만드는 것에 문제가 없다. 이러한 파형은 소프트웨어에서 사용자가 쉽게 만들 수 있게 하고 데이터로 변환 후에 GPIB 통신을 사용하여 Agilent 33120A 로 보내었다. 이 파형은 외부 트리거 신호를 기다리고 있다가 트리거 신호에 의해 발생된다.

설계된 잉크젯 토출을 시키기 위한 파형은 Agilent 33120A 의 메모리에 저장되어 있다가 외부에서 트리거 신호가 오면 파형이 발생되도록 되어 있다. 이를 위하여 NI 사의 Multifunction 보드 6221 의 두 개의 카운터(counter)를 사용하여 Fig. 4와 같이 2 개의 디지털 펄스를 만들었다. 한 개는 기준 펄스로 토출을 위한 트리거 신호로 사용하였다. 토출 트리거 펄스는 주파수는 변화가 가능하도록 소프트웨어를 제작하였다. 이 주파수가 토출 주파수를 결정하게 된다.

한편으로는 토출 트리거 신호로부터의 시간지연을 조절 할 수 있는 디지털 펄스를 만들었는데 이 펄스는 LED driver 를 통하여 LED 의 점등을 제어 하도록 되어 있다. 한편으로는 LED 를 위한 펄스의 듀티(duty)비를 제어하여 LED 의 밝기를 제어 할 수 있게 하였다. LED 를 위한 펄스의 토출 펄스

로부터의 시간 지연(delay)를 조절하여 잉크가 토출되는 과정을 마치 정지한 잉크 방울처럼 CCD 이미지에서 관찰 할 수 있게 된다.

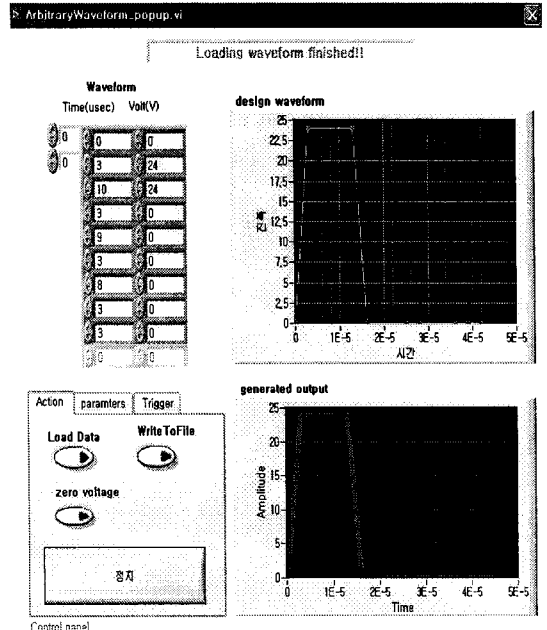


Fig. 3 Waveform editor

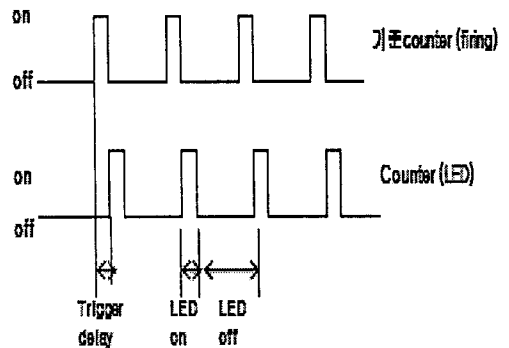


Fig. 4 Jetting trigger and LED control

잉크젯 헤드는 0~±100volt 범위의 입력 파형의 전압이 인가 되어야 한다. 따라서 Agilent 33120A 에서 발생된 파형의 전압을 증폭시켜야 된다. 이를 위하여 TREK 사의 PZD 350 을 사용하였다.

전체를 구성한 메인 화면은 Fig. 5 와 같다. 토

출 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 팝업 (pop-up) 되도록 제작하였다.

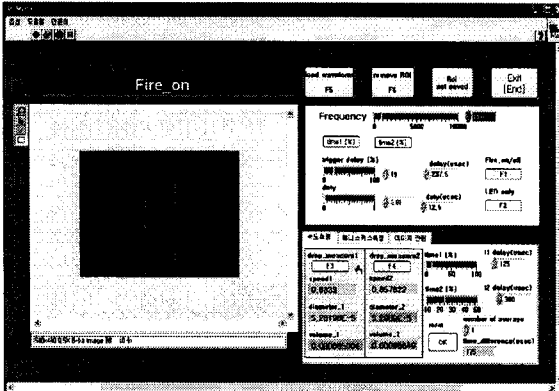


Fig. 5 Main Software

3. ROI 를 사용한 잉크 방울 분석

3.1. 픽셀-거리 변환

한 이미지 픽셀에 해당하는 실제 길이를 알아야 속도 및 체적을 계산하는 것이 가능하다. 따라서 이를 위하여 마이크로 미터로 이동 후 화면에서 움직인 길이를 직선으로 그린 후에 픽셀을 계산하고 실제 움직인 길이를 이용하여 CCD 이미지에서 한 개의 픽셀에 해당하는 실제 거리를 계산하는 것이 가능하다. 이를 화면에서 측정이 가능한 알고 있는 길이의 직선 길이, l , 를 그려주면 해당하는 픽셀 개수, n , 을 이용하여 자동으로 픽셀당 거리, p , 를 다음과 같이 계산하였다.

$$p = \frac{l}{n} \quad (1)$$

Fig. 6 는 실제 100 μm 로 수평방향으로 움직인 후 움직인 거리를 직선으로 그려주게 만든 소프트웨어를 보여준다. 그려준 그림의 픽셀의 길이를 이용하여 한 픽셀의 길이를 계산 예를 보여준다. Fig. 5 에서 알 수 있듯이 본 연구에서는 이미지의 1 개 픽셀당 길이는 약 1.03 μm 가 된다.

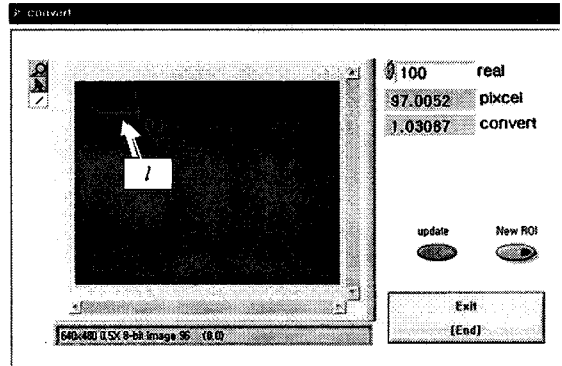


Fig. 6 Pixel to distance calibration

3.2 이미지 프로세싱

CCD 를 통하여 획득한 흑백의 이미지는 각 픽셀의 밝기에 따라서 0~255 까지의 값을 갖는다. 잉크 방울의 이미지는 배경에 비해서 어둡기 때문에 문턱값(threshold)를 사용하여 특정 값 보다 큰 값을 1 로 하고 작은 값을 0 으로 만든 이진 영상을 만들 수 있고 이를 이용하여 잉크의 이미지와 배경의 이미지를 분리할 수 있다. 잉크 방울에 해당하는 이진 영상(binary image)을 사용하면 잉크의 중심 위치 및 잉크에 해당하는 면적 등을 얻을 수 있다. 일단 위치와 직경이 계산이 되면 이를 통하여 잉크 방울이 구(sphere)라는 가정을 통하여 체적 등을 계산하는 것이 가능하다.

CCD 카메라의 전체 이미지에는 잉크 방울뿐만 아니라 헤드의 일부 등 다른 구조물이 있는 경우가 많다. 따라서 전체 화면을 분석하면 잉크 방울과 함께 화면에 있는 모든 구조물을 분석 후에 분리해야 한다. 따라서 이미지 프로세싱의 계산 측면에서 효율적이지 않다. 따라서 잉크가 제팅 되는 부분을 ROI(Region of interest)를 사용한다면 이를 관심영역으로 된 부분에서만 이미지를 처리하여 처리 시간등을 줄여주고 다른 구조물의 이미지를 분석할 필요가 없게 된다.

잉크 제팅의 특성 측정을 위하여 입력 파형을 상승 및 하강 (rising time/falling time)을 6 μsec , 휴지 시간 (dwell time)을 30 μsec 이고 30volt 의 전압으로 하여 1kHz 토출을 하였다. 잉크의 토출 속도 측정을 위하여 LED 의 트리거의 지연(delay) 시간을 $t1=200\mu\text{sec}$ 와 $t2=387\mu\text{sec}$ 로 하여 획득한 CCD 카메라의 이미지를 Fig. 7 과 Fig. 8 에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 화면에 생성된 직사각형의

부분은 사용자가 직접 화면에 그려서 생성한 ROI 를 보여준다. 또한 이미지 프로세싱을 거쳐서 분석된 잉크 방울의 위치 및 크기를 검증하기 위하여 계산된 잉크 방울의 중심의 위치와 직경을 원으로 그려서 실제 화면에 겹쳐서 그리도록 하여 분석된 결과를 실제 비교할 수 있게 하였다.

분석된 결과로부터 속도 v 는 다음과 같이 구하는 것이 가능하다.

$$v = \frac{\sqrt{(Px_2 - Px_1)^2 + (Py_2 - Py_1)^2}}{(t_2 - t_1)} \times p \quad (2)$$

여기서 Px_1 와 Py_1 는 $t_1=200 \mu\text{sec}$ 일 때의 잉크 방울의 중심에 해당하는 픽셀의 x 및 y 의 위치이고 각각 $Px_1=317.63$ 와 $Py_1=274.81$ 로 계산되었다. 한편, Px_2 와 Py_2 는 $t_2=387\mu\text{sec}$ 일때의 잉크 방울의 중심 위치를 나타낸다. 이미지 분석결과 $Px_2=312.14$ 와 $Py_2=415.56$ 의 위치가 되었다. 여기서, 전체의 이미지의 픽셀은 640×480 이다.

식 (1)에서와 같이 각 픽셀의 정보를 픽셀당 거리로 환산하여 ($p=1.03\mu\text{m}/\text{pixel}$) 시간에 따른 잉크의 진행거리를 이용하면 속도를 구할 수 있다. 이렇게 구한 속도는 약 0.78 m/sec 가 된다.

마찬가지로 잉크의 제팅 방향성을 계산할 수 있다. 노즐에 젖음 특성등에 의해서 제팅의 방향성이 악화될 수 있다. 이를 다음과 같이 평가하는 것이 가능하다.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{Px_2 - Px_1}{Py_2 - Py_1} \right) \quad (3)$$

계산 결과 약 2 도의 방향성을 가지고 제팅이 됨을 알 수 있다. 제팅의 방향성은 실제 프린팅에 적용이 되었을 때 잉크 방울의 탄착 정밀도와 관계가 있기 때문에 방향성이 좋지 않으면 적당한 메인テナンス를 이용하여 개선 시켜야 한다. 제팅의 방향성은 노즐 표면의 젖음 특성, 토출 파형, 토출 속도등과 관련이 있다.

한편으로는 측정된 잉크 방울의 직경의 크기는 $t_1=200 \mu\text{sec}$ 일때는 $49 \mu\text{m}$ 정도가 되나 $t_2=387 \mu\text{sec}$ 일때는 $48.4\mu\text{m}$ 로 약 2% 정도의 오차가 있었다. 이렇게 측정된 잉크 크기는 구 (sphere)모양이

라는 가정을 하면 약 60pL 정도가 된다. 잉크 방울의 크기 측정 결과는 여러 가지 측정 조건에 의하여 바뀔 수 있음에 주의 해야 한다. 예를 들면 조명, 카메라 렌즈의 초점, 이진 영상 (binary image)을 만들기 위한 문턱값에 의해서 변할 수 있다. 만약 잉크의 방향성이 렌즈의 초점을 변화시키는 방향으로 진행된다면 Fig. 7 및 Fig. 8 과 같이 잉크의 크기가 다르게 분석될 수 있다. 따라서 잉크 방울의 크기를 정밀하게 측정하는 데에 많은 노력이 필요하다. 따라서 잉크 방울의 크기를 이용한 체적을 사용하여 제팅 특성을 평가 하기 보다는 속도를 측정하여 제팅 특성을 평가 또는 제어를 하고 있다.⁷

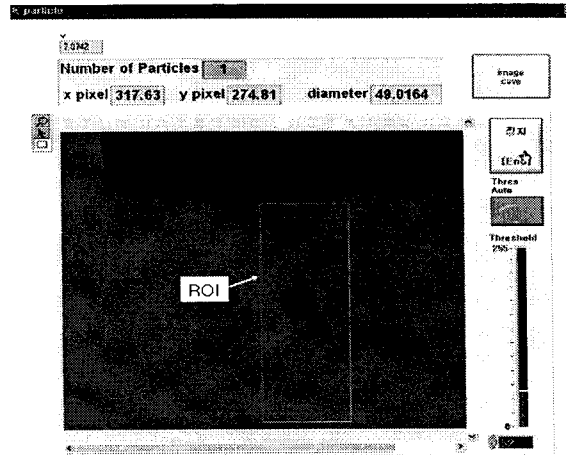


Fig. 7 Droplet image at $t_1=200 \mu\text{sec}$

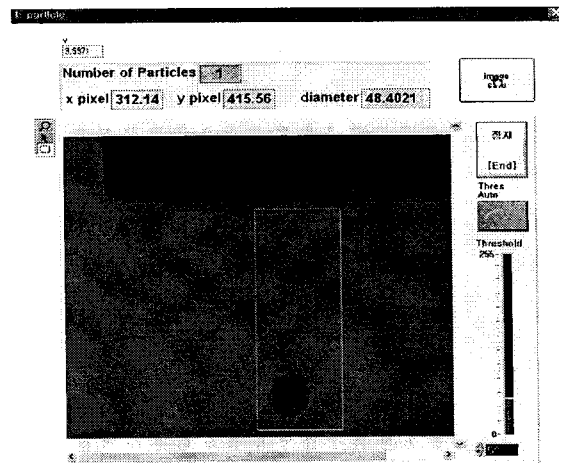


Fig. 8 Droplet image at $t_2=387\mu\text{sec}$

본 연구에서는 이진 영상을 만들기 위한 문턱 값 (threshold)을 위하여 널리 사용되고 있는 클러스터링 알고리즘을 사용하여 자동으로 구해주는 방법으로 결정하였다.¹¹ 이렇게 얻은 문턱값은 52 가 된다.

본 연구에서는 1 개의 노즐이 존재하는 헤드를 사용하였지만 여러 개의 노즐이 있는 헤드인 경우에 한 이미지 화면에 여러 노즐이 있고 각 잉크 방울이 동시에 토출 경우에는 각 노즐 별로 관심 영역 (ROI)을 각각 설정 할 수 있다. 이와 같은 관심 영역을 설정하면 이미지 프로세싱을 효율적으로 할 수 있는 장점이 있다.

4. 결론

잉크의 토출 특성 평가를 위한 잉크 제팅 장비를 구성하였고 실제 나노 실버 잉크를 제팅하여 토출 평가를 위한 이미지 프로세싱 알고리즘을 적용하였다. 특히 잉크의 효율적인 이미지 프로세싱을 위하여 잉크 방울이 떨어지는 부분만을 측정 및 분석을 위하여 직사각형의 관심영역(ROI)을 사용자가 임의대로 지정할 수 있게 하였다. 잉크 토출 특성 중 속도, 방향성, 방울의 직경 크기의 측정 방법에 대하여 논의 하였다. 각각 측정 방법은 소프트웨어에서 모두 구현이 되었으며 실제 실험 후의 측정 결과에 대하여 분석하였다. 특히 이미지 프로세싱을 통한 잉크 방울의 크기 측정은 조명 상태, 잉크 방울의 직진도에 따른 렌즈 초점 거리로부터의 거리 변화, 이진 영상을 만들기 위한 문턱 값 등의 여러 가지 조건에 대해서 민감하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Kwon, K. S., Shin, S. J. and Kim, S. J., "The opportunity of printing technology for display manufacturing process," Proceedings of colloquium on micro/nano thermal engineering, 2005.
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. Bale, M., Carter, J. C., Creighton, C., Gregory, H., Lyon, P. H., Ng, P., Webb, L. and Wehrum, A., "Ink jet printing: The route to production of full color P-OLED Displays," CDT Research paper, website: www.cdttld.co.uk, 2006.
4. Rhee, J., Wang, J., Cha, S., Chung, J., Lee, D., Hong, S. and Choi, B., "A 14.1-in full-color polymer-LED display with a-Si TFT backplane by ink-jet printing," Society for Information Display, pp. 895-897, 2006.
5. Gohda, T., Kobayashi, Y., Okano, K., Inoue, S. and Okamoto, K., "A 3.6-in 202-ppi Full-color AMPLED Display Fabricated by Ink-jet method," Society for Information Display, pp. 1767-1770, 2006.
6. Creagh, L., McDonald, M. and Letendre, W., "Ink Jet Printhead as a precision deposition tool in manufacturing FPDs," SEMICON China, FPD Manufacturing Conference, 2004.
7. Albertalli, D., "Gen 7 FPD inkjet Equipment - Development status," Society for Information Display, Vol. 36, Issue 1, pp. 1200-1203, 2005.
8. Seo, S. H., Park, S. J. and Joung, J. W., "Micro patterning of nano metal ink for printed circuit board using inkjet printing technology," Journal of Korean Society for Precision Engineering, Vol. 24, No. 5, pp. 89-96, 2007.
9. MJ-AT User's Manual, MicroFab Technologies, 2008.
10. Byun, J. H., Seo, D. S., Choi, Y., Chang, H., Kong, K. J., Lee, J. O. and Ryu, B. H., "Fabrication of Soliver Micro Lines by Ink-Jet Method," Journal of the Korean Ceramic Society, Vol. 41, No. 10, pp. 788-791, 2004.
11. NI Vision concept manual, National Instrument, 2008.