다중 노즐 잉크젯 헤드에서 토출 불량 검출
Inkjet jetting failure detection in mult-nozzle head

*권계시 [1], 김진원 [1], 김동수 [2]
*K. S. Kwon(kskwon@sch.ac.kr)[1], J. W. Kim[2] , D.S. Kim[2]
[1] 순천향대학교 기계공학과, [2] 한국기계연구원 나노 융합 생산시스템 연구본부

Key words : inkjet head, piezo self-sensing, malfunction detection

1. 서론

잉크젯 기술이 발전함에 따라서 사무실용에서부터 전자 인쇄 등 생산 및 제조의 도구로서 응용 범위가 넓어지고 있다.

잉크젯 공정을 사용한 제조 공정의 적용을 위해서는 정밀한 스테이지 (stage), 잉크젯 헤드, 잉크 및 재료, 기판 (substrate)이 중요한 요소가 되고 있다. 그 중에서 잉크를 직접 토출하는 헤드의 특성이 생산성과 신뢰성을 위하여 가장 중요한 요소가 된다. 따라서 잉크젯의 신뢰성과 생산성을 높이기 위하여 다음 이슈들이 최근에 대두되고 있다.

1. 신뢰성을 얻기 위해서 토출 현상 모니터링
2. 피에조 헤드내의 공기 유입(bubble)등에 의한 비정상 토출 현상 모니터링

기존의 잉크 토출을 모니터링 하기 위한 방법으로는 CCD 카메라를 이용한 스트로브 LED (strobe-LED)로 직접 토출 되는 잉크 액적 (droplet)을 관찰 하는 방법이 많이 사용되어 왔다. 그러나 기존의 strobe LED 를 사용하여 잉크 액적을 측정하거나 구조물의 진동을 직접 측정하는 것은 많은 노력이 필요하다. 정확한 노즐 위치에 대한 카메라의 기계적인 얼라인먼트 (alignment)가 필수적이다. 따라서 프린팅 시스템에서 실제 프린팅하고 있는 동안 상태를 관찰하는 것은 불가능하게 된다. 또한 잉크젯을 사용한 제조 공정의 생산성을 증대 시키기 위하여 많은 노즐을 가지고 있는 헤드를 사용하게 된다. 이러한 모든 노즐의 상태를 기존의 방법인 카메라를 이용하면 검사 시간이 오래 걸려서 실제 생산에 적용하기에 문제가 있다.

한편으로는 피에조 잉크젯 헤드는 피에조를 전압으로 구동하여 변형량을 얻어내는 엑츄에이터이다. 또한 피에조는 반대로 변형량이 존재하면 전하를 발생시켜 셀프 센싱(self-sensing)이 가능한 소자이다. 따라서 피에조에 흐르는 전류를 측정하면 변형량에 비례하는 전압을 측정하는 것이 가능하다.

본 연구에서는 피에조의 전류를 측정하여 피에조의 기계적인 변형량을 얻어 내려고 한다. 이를 이용하여 실제 잉크젯 헤드가 구동 되고 있을 때 잉크젯 헤드 내의 PZT 의 변형량으로 부터 압력파를 간접적으로 측정하고 이것을 잉크젯의 작동 상태를 평가하고 모니터링 하는 방법을 개발 하려고 한다. 본 연구에서는 실제 적용을 위하여는 다중 노즐에서의 적용 방법을 개발하였다. 피에조 셀프 센싱을 이용한 다중 노즐 헤드의 적용은 측정 잡음, 추가적인 비용 및 노즐 수에 비례한 많은 전선처리 등의 기술적인 과제가 있다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하여 dimatix 사의 SE-128 헤드에 적용을 위해 단순하면서 저가로 효과적인 불량 노즐 진단을 위한 측정 방법 및 데이터 처리 방법을 개발하였다.

2. 헤드내의 압력파 검출

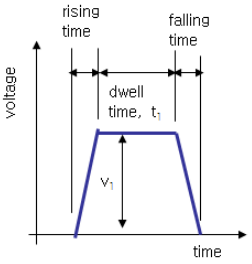

Fig.1 Waveform voltage for inkjet head

Fig. 1 와 같이 정의 된 파형을 인가 하였을 때 잉크에서 압력파가 헤드 내부에서 진행한다.

이러한 압력파는 진행 조건에 따라서 일부는 반사하고 일부는 진행하게 된다. 따라서 만일 잉크 supply 쪽에 파형이 진행된다면 반사하여 반대의 압력이 된다. 하지만 노즐쪽 방향의 압력파는 반사하여 같은 압력이 유지가 된다 [1].

만일 유체의 음속을 C 라고 하고 잉크젯 디스펜서(dispenser)의 길이를 L 이라고 하면 상승 파형의 인가 후 t=L/C 시간이 되면 압력파는 다시 가운데에서 만나게 된다. 따라서 L/C 에서 하강 파형을 주는 것이 좋다. 그러면 압력파는 합쳐져서 t=3L/2C 에서 노즐 쪽으로 큰 압력으로 토출을 시킬 수 있다 [1]. 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. 따라서 잉크젯 헤드내의 압력파의 거동을 측정한다면 잉크젯 작동상태의 불량 여부를 판단할수 있게 된다 [2,3].

한편으로 피에조 잉크젯 헤드는 셀프 센싱이 가능한 PZT 를 엑츄에이터로 사용하므로 구동중의 PZT 의 전류를 측정함으로서 압력파를 간접적으로 측정하여 작동 상태를 파악하는 것이 가능하다.

피에조에 흐르는 전류는 식 (1)과 같이 기계적 변형량에 의해 생긴 전류와 인가된 입력전압에 의해 흐르는 전류의 양이 합이다.

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

여기서 $i_c = C_{PZT}\frac{dv}{dt}$ 이고 $i_q = \frac{dq_p}{dt}$ 이다. i_q 는 PZT 의 변형량에서 생기는 전류이므로 전체 측정된 전류, i ,

에서 인가 전압에 의한 전류의 양 i_c 를 뺀 것이 실제 변형량에 의해 발생되는 전류가 된다. C_{PZT} 는 PZT 의 정전용량이고, v 는 인가되는 전압, q_p 는 PZT 변형량에 의해 발생되는 전하량이다.

3. 다중 노즐 헤드의 불량 노즐 검출

1 개의 헤드에 여러 개의 노즐이 있는 다중 노즐 헤드인 경우 불량 노즐의 검출을 위하여 노즐마다 측정 회로 및 데이터 측정을 위한 DAQ 채널을 사용한다면 비용이 상당히 증가하고, 노즐 개수 증가에 의한 배선 처리 등의 문제가 발생할 수 있다. 각 노즐의 전압을 제어 하기 위한 Driver per nozzle (DPN) 헤드 및 드라이브를 사용하는 경우에는 이 문제를 해결 해야 하는 어려움이 있다.

한편으로는 상용 헤드 중에서 1 개 또는 2 개의 구동 드라이버로 복수 개의 노즐을 구동하는 헤드가 가격 측면에서 장점이 있기 때문에 널리 사용되고 있다. 대표적은 상용화 헤드는 Dimatix 사의 SE-128 이다. 본 연구에서는 이러한 헤드에서 불량 노즐을 검출 할 수 있는 방법을 개발하려고 한다. 여기서 SE-128 은 2 개의 driver 를 사용하여 128 개의 노즐의 on-off 를 제어 하는 헤드 이다.

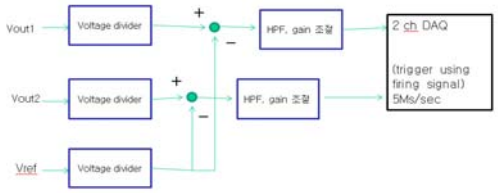

Fig.2 Schematic of self-sensing measurement

다중노즐 헤드의 불량 노즐을 검출 하기 위하여 Fig.2 와 같은 방법으로 셀프 센싱 신호를 검출 하였다. 전류신호로부터 셀프 센싱 신호만을 얻기 위하여 동일한 입력 전압을 등가 콘덴서에 인가하여 얻은 신호와 피에조 로부터 얻은 신호와 차를 구하였다. 1 개의 드라이브가 여러 개의 노즐을 동시에 구동하면 측정 전류는 각 노즐의 합으로 나타내게 되어 관심 노즐의 불량 여부를 알기 힘들다. 따라서 불량 노즐 검출을 위하여 관심노즐을 순차적으로 1 개씩 스캔 방법으로 검출 하였다.

4. 검출 실험

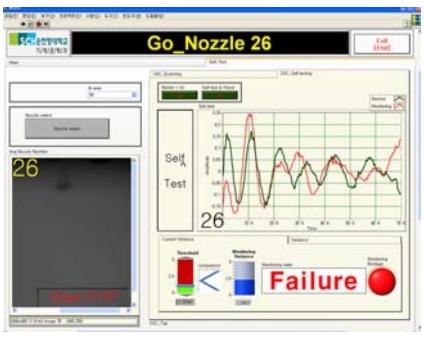

Fig.3 Developed software for inkjet malfunction [4]

잉크젯의 응용이 생산 공정으로 사용되었을 때 토출 불량을 신속히 검출하고 이를 신속하게 조치를 취하는 것이 필수적이다. 이를 위하여 비젼 이미지를 이용하는 것은 실제 프린팅시 어려울 뿐더러 검출 속도 역시 충분히 빠르지 않다. 반면에 셀프 센싱을 이용한 방법은 검출 속도는 빠르나 실제로 토출과의 관계가 정립이 되지 않기 때문에 아직 까지는 신뢰성있게 노즐 불량을 검출 하는데 어려움이 있다. 따라서 다양한 불량 노즐의 원인을 분석하고 이때의 셀프 센싱의 관계를 실험을 통하여 분석하기 위하여 2 가지 측정 방법을 비교하기 위한 소프트웨어 및 하드웨어를 개발 하였다 [4]. 이를 통한 다양한 실험을 통하여 셀프 센싱의 신뢰성을 증대 시키는 것이 가능하다.

한편으로 셀프 센싱으로 불량노즐을 검출 하기 위해서는 정상 토출 상태의 셀프 센싱 신호를 저장하고 있어야 한다. 이후에 모니터링 되는 신호를 이용하고 이의 차의 제곱을 이용하여 그 값이 기준값 보다 큰지의 여부를 사용하여 불량 여부를 결정하게 된다 [4].

5. 결론

카메라를 이용한 이미지를 이용하는 것은 droplet 의 제팅 여부, 속도, 비정상 토출의 여부등을 직접 확인하기 때문에 장점이 존재하나 카메라와 헤드의 alignment 등의 문제가 있어 실제 프린팅 도중에 불량 노즐을 검출 하는 것은 문제가 있다. 반면에 셀프 센싱을 사용한 방법은 전기적인 신호만 이용하므로 비교적 간단하게 측정이 가능한 장점이 있다. 현재 잉크젯 토출 불량의 원인 중에서 가장 빈도가 높은 원인으로는 잉크젯 헤드내의 공기가 차 있을 때이다. 다중 노즐 헤드에서 공기 방울에 의한 토출 불량을 셀프 센싱으로 간단히 구할 수 있음을 보였고, 향후 다양한 원인으로 기인된 토출 불량을 검출 하기 위한 연구를 진행 중이다.

후기

이 연구는 지식경제부 전략기술개발사업의 연구비 지원으로 수행 되었음.

참고문헌

1. 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, **28**(3), 314-321, 1984.

2. Jong, J. D., Bruin, G. D., Reinten, H., Berg, M. V. D., H., Wishoff, M. Versluis and Lohse, D., “Air entrapment in piezo-driven inkjet printheads,” Journal of Acoustical Society of America, **120**(3), 1257-1265, 2006.

3. Kwon, K. S., “Methods for detecting air bubble in piezo inkjet dispensers,” Sensors and actuators A, **153**(1), 50-56, 2009.

4. Kwon, K.S., “Inkjet jetting failure detection,” http://www.youtube.com/watch?v=0nWGGX0z0ow, 2009.