

다중 노즐 잉크젯 헤드의 상호 간섭 측정 및 평가

Measurement and Evaluation of Cross-talk Effects in Multi-nozzle Inkjet Head

권계시^{1✉}, 김진원¹
Kye-Si Kwon^{1✉} and Jin-Won Kim¹

1 순천향대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Soonchunhyang Univ.)

✉ Corresponding author: kskwon@sch.ac.kr, Tel: 041-530-1670

Manuscript received: 2010.8.6 / Accepted: 2010.10.19

Inkjet printhead may have a lot of nozzles to increase productivity as a manufacturing tool. So, the uniformity of jetting performance among a lot of nozzles has been one of the key issues in inkjet technology. In this study, we investigated the cross-talk effect which should be reduced for uniform jetting performance among a lot of nozzles. Due to the cross-talk, the jetting performance of a nozzle can be affected when neighboring nozzles are firing. For experimental study, we used commercial inkjet head SE-128 from Dimatix. To understand the cross-talk effect of SE-128 head, we measured the change in jetting speed of a nozzle when neighboring nozzles are jetting. The measured jetting speed was compared to the case of one nozzle jetting. Also, we used laser vibrometer to measure change in pressure wave due to cross-talk. As a result of the cross-talk, the jetting speed can become faster or sometimes slower depending on firing nozzle location. If the all nozzle are jetting, the jetting speed of a nozzle became slower because the pressure wave for jetting is reduced.

Key Words: inkjet Printhead (잉크젯 헤드), Cross-talk (상호 간섭), Jetting Speed (토출 속도), Pressure Wave (압력파)

1. 서론

잉크젯 기술은 사무용 문서 및 사진 출력 등에 많이 쓰이고 있는 완성도가 높은 기술이다. 이러한 기술이 전자 부품 및 디스플레이 제조의 도구로서 응용 범위가 넓어지고 있다.¹ 잉크젯이 제조 공정으로서 응용 범위를 넓혀감에 따라 사무용 잉크젯 프린터와 달리 잉크 방울(ink drop)의 크기를 정밀 제어하는 것과 원하는 위치에 수 마이크로미터 이내의 정밀도로 정밀하게 토출시키는 기술이 필요하다. 이러한 잉크젯 기술은 기존의 반도체 공정에 비해서 장점이 있다. 비싼 재료를 낭비 하지 않고 공정이 이루어지고, 대형화가 용이하여

특히 디스플레이 제조 분야에 잉크젯 공정을 적용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 제조 장치에 사용이 되기 위한 잉크젯 헤드는 생산성을 높이기 위해서 다수개의 노즐로 구성되어 있다. 예를 들면 제조 공정에 적용을 위해 개발된 Dimatix 사의 SX-128(또는 SE-128)은 노즐이 508 μm 간격으로 노즐이 모두 128 개가 있다. 이러한 노즐에서의 토출양 및 토출 특성을 제어를 하지 않으면 각 노즐에서 토출 성능이 차이가 있게 된다. 따라서 각 노즐에서 토출량 또는 토출 속도를 제어하여 균일한 토출 특성을 만들기 위한 노력이 진행되고 있다.¹ 토출량 또는 토출 속도를 제어하기 위해서는 토출되는 잉크 액적의 크기 및 속도를 측정하는

것이 필요하다. 한편으로는 여러 노즐을 동시에 토출을 할 때는 1 개 노즐을 토출할 때와 다른 특성을 보이게 된다. 따라서 이러한 상호 간섭(cross-talk)은 실제 프린팅 공정시 토출 불균일을 야기하게 된다. 이러한 상호 간섭의 원인으로는 유체적, 전기적, 구조적으로 특정 노즐의 토출이 다른 노즐의 토출 성능에 영향을 주기 때문이다.^{2,3} 본 연구에서는 이러한 상호 간섭의 원인을 체계적으로 측정하고 분석하고 평가하는 방법을 제시하려고 한다. 상호 간섭의 원인을 효과적으로 파악 해야만 프린팅 과정 중에서 각 노즐의 토출량의 변화의 원인 및 정도를 평가할 수 있다. 이러한 노즐간의 상호 간섭은 헤드 구조와 관련이 밀접하다. 따라서 본 연구에서 얻은 결과는 다른 구조의 헤드에서는 동일하지 않을 수 있다. 그러나 토출 특성의 측정 방법과 분석 방법 등에 대한 접근 방법은 다른 상용화 헤드에도 그대로 적용이 가능하다.

다중 노즐 헤드는 구조뿐만 아니라 구동 방법에 대해서도 토출 특성이 달라지게 된다. 다중노즐헤드를 구동하기 위하여 2 가지 방법이 존재한다. 각 노즐 별로 별도의 헤드 구동 드라이버(driver)를 갖는 DPN(drive per nozzle)을 이용하여 각각의 노즐의 전압을 제어하는 방법과 1 개의 driver가 여러 개의 헤드를 동시에 구동시켜 드라이버의 수를 줄인 구동 방법이 있다. DPN 방식은 각 노즐에 다른 입력 전압을 인가하여 각 노즐의 토출 특성을 제어 할 수 있는 장점이 있지만 드라이버 자체의 가격과 헤드의 가격이 비싼 문제가 있다. 실제 고정밀도의 인쇄가 필요한 경우가 아니라면 한 개의 드라이브로부터 여러 개의 노즐의 같은 전압을 인가하고 토출의 on-off 여부만 제어하는 방법을 많이 사용하게 된다. 본 연구에서는 다중 노즐 잉크젯 헤드를 구동하기 위한 방법 중에서 한 개의 드라이브를 사용하여 여러 개의 노즐을 구동하는 헤드인 Dimatix 사의 SE-128 을 사용하였다. 다중 노즐 헤드의 상호 간섭을 측정하기 위하여 1 개의 노즐만을 토출시켰을 때의 측정된 토출 특성을 기준으로 하였다. 이렇게 측정된 기준 토출 특성과 주변의 다른 노즐이 동시에 토출되었을 때 토출 특성이 변화하는 영향을 비교하여 평가하였다. 이를 위하여 자동으로 다중 노즐 헤드의 토출 특성 측정이 가능한 시스템 및 소프트웨어를 개발하였다. 이러한 잉크젯 헤드내의 상호 간섭은 잉크젯 헤드내의 압력파와 관련이 있다. 잉크젯 헤

드내의 압력파의 간접적인 측정을 위하여 레이저 속도계(laser vibrometer)를 사용하여 상호 간섭 효과에 의한 압력파의 변화를 측정하였다. 압력파의 크기 변화로부터 다중 노즐의 상호 간섭의 크기 및 원인 등을 분석하고 이를 Vision 으로 측정한 토출 속도와 비교하여 실험 결과를 검증하였다.

2. 제팅 속도 측정을 통한 상호 간섭 평가

노즐의 상호 간섭 측정 및 평가를 위하여 본 저자의 연구실에서 개발한 잉크젯 프린팅 시스템을 활용하였다. 개발된 프린팅 시스템에서는 다양한 프린팅 알고리즘 뿐만 아니라 Drop watcher 기능이 있어 잉크젯 토출 특성을 정밀하게 측정할 수 있는 기능을 포함하였다. 개발된 프린팅 시스템의 자세한 내용은 논문을 참조할 수 있다.^{4,6}

노즐의 상호 간섭을 측정하기 위하여 원하는 노즐만을 선택하여 토출시키고 이 때 상호 간섭을 측정하기 위하여 스테이지(stage) 제어를 통하여 해당 노즐을 정확하게 카메라가 관측할 수 있도록 시스템을 제작하였다.

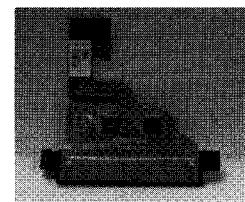


Fig. 1 SE-128 printhead (Dimatix)

Fig. 1 은 실험에서 사용한 다중 노즐헤드인 Dimatix 사의 SE-128 헤드이다. SE-128 인 헤드는 2 개의 드라이브로 128 개의 노즐을 구동하는 방법을 사용한다.

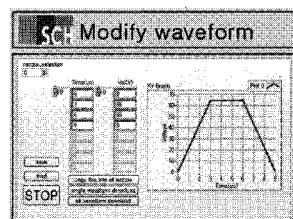


Fig. 2 Driving waveform voltage

토출 실험을 위한 사용 잉크는 DGMA based dye ink 를 사용하였으며, 각 노즐에서 토출을 위하여

Fig. 2 와 같은 사다리꼴 형태의 전압을 인가하였다. 입력전압을 위하여 상승 시간, 하강 시간, 휴지시간을 각각 $3\mu\text{s}$ 로 고정하였고 입력 전압의 크기는 65V로 인가하였다.

일단 노즐에서 토출이 되면 이를 정량적으로 측정하고 평가하는 것이 필요하다. 액적의 토출 속도는 토출 성능을 측정하는 가장 기본적인 성능 지표이다.⁶ 토출되는 액적의 속도 측정을 통하여 각 노즐의 편차 등을 평가하는 것이 가능하다. 한편으로는 토출되는 액적의 크기(체적)을 측정하는 방법도 있으나 비전 측정 방법을 이용한 체적 측정방법은 부정확하여 일반적으로 수 %의 측정 오차가 존재한다.⁶ 따라서 이러한 측정 오차로 상호 간섭을 효과적으로 측정하기에는 어려움이 있기 때문에 본 연구에서는 토출 속도의 변화로 상호간섭을 평가하였다.

SE-128 은 0.508mm 간격으로 노즐이 128 개 있으므로 각 노즐 위치에 대한 속도를 측정하기 위하여 스테이지를 정밀하게 해당 노즐을 위치시키고 선택된 노즐에 대한 속도 측정을 Fig. 3 과 같이 전 노즐에 대해 자동으로 스캐닝하도록 소프트웨어를 개발하였다.

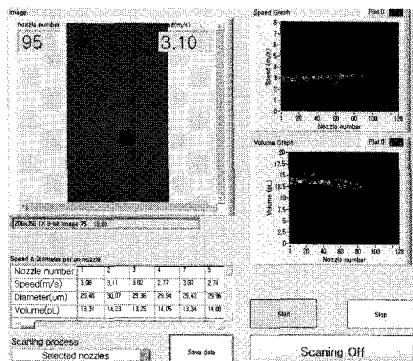


Fig. 3 Jetting speed measurement software

상호 간섭의 측정 및 평가를 위하여 1 개 노즐 씩 토출시킨 후에 각각의 노즐에 대해 속도를 측정한 데이터를 기준으로 하였다. 이 때 주변 노즐이 토출이 되었을 때 해당 노즐의 속도의 변화를 측정하였다. Fig. 4 는 Fig. 3 에서 구현된 소프트웨어를 사용하여 한 개 노즐만 토출되었을 때의 속도 데이터를 얻은 것이다. 이 데이터를 기준으로 하여 주변의 노즐이 토출될 때 속도의 변화 등을 측정 분석하게 된다.

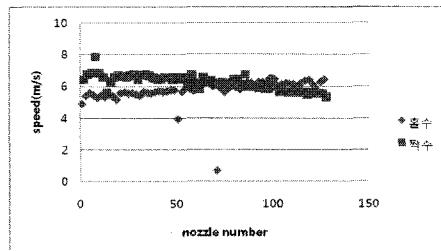


Fig. 4 Jetting speed scanning result (one nozzle jetting)

Dimatix 사의 SE-128 은 홀수번 노즐과 짝수번 노즐이 드라이브도 다르고 피에조를 붙인 면이 헤드의 앞면 뒷면으로 다르게 되어 홀수 또는 짝수 번의 노즐에 따라서 토출 특성이 다르다. 이러한 다른 특성은 Fig. 4 의 속도 측정의 결과에서 알 수 있듯이 짝수번 노즐인 경우 앞부분의 노즐에서는 속도가 크고 이것이 점차 뒷부분에 갈수록 선형적으로 감소하는 특성을 보였다. 홀수번 노즐인 경우에는 반대로 앞 부분보다 뒷부분의 속도가 선형으로 증가하는 현상이 나타나게 된다. 이러한 특성은 실험을 위해 노즐 1 개씩만 토출하였으므로 상호 간섭파는 관계가 없는 헤드 자체의 특성으로 판단된다. SE-128 헤드인 경우 홀수와 짝수 노즐을 구동하기 위한 피에조가 각각 다른 면에 부착되어 서로 0.508mm 간격으로 엇갈리게 붙여져 있다. 이를 통해 피에조가 노즐별로 정확한 채널 위치에 정렬되어 있지 않고 약간의 각도를 가지고 피에조가 부착되어 제작됨을 간접적으로 추정할 수 있다.

이러한 토출 특성으로 상호 간섭을 측정할 때 절대 속도를 이용하지 않고 각 노즐에서의 속도 변화의 변화율로 평가하였다. 이를 통하여 헤드의 제조상의 문제점에 의한 속도 변화 부분의 영향을 배제하고 상호 간섭만의 영향을 평가하는 것이 가능하였다.

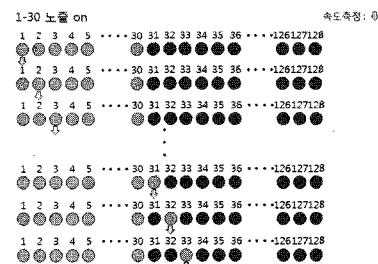


Fig. 5 Scanning nozzles for cross-talk measurement (with 1-30 nozzle on)

일부 노즐군의 토출에 의한 상호 간섭을 평가하기 위하여 Fig. 5 와 같이 1-30 개의 노즐을 모두 토출 시킨 상태에서 1 번부터 차례로 토출 속도를 측정하였다. 30 번 이후에는 선택된 그룹의 노즐을 모두 토출시키면서 관찰 하려고 하는 노즐 1 개씩만 토출하면서 속도를 측정하였다. 이를 통해 노즐 1 개만 토출하였을 때와 비교하여 토출 속도가 변화하는 비를 Fig. 6 과 같이 얻었다.

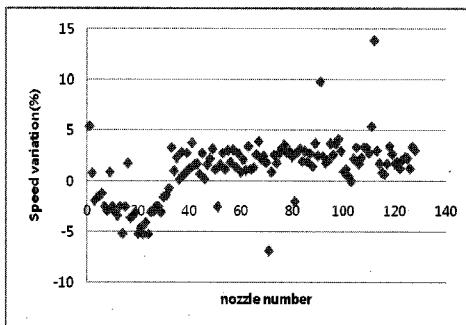


Fig. 6 Jetting speed ratio (with 1-30 nozzle jetting)

Fig. 6 에서 알 수 있듯이 1 번부터 30 번 노즐을 on 시킨 경우에는 1 부터 30 번 노즐의 속도가 전체적으로 들어들음을 확인할 수 있었다. 전체 또는 일부 토출을 시킨 상태에서는 주변의 가까운 노즐의 토출 특성에 주로 영향을 미치며 그 효과는 토출 감소를 가져왔다. 한편으로는 토출군으로부터 거리가 떨어진 노즐의 제팅 특성은 속도가 약간 증가하였다. 그 원인은 상호 간섭보다는 실험 조건의 변화(온도) 등에 따른 토출 특성의 변화로 인한 전반적인 특성의 변화로 인한 결과라고 추정할 수 있다. 유체의 압력파에 의한 상호 작용 인지 아니면 실험 조건의 변화에 의한 영향인지는 2 가지로 판단할 수 있었다. 토출군 부분의 토출 상태 변화인지 아니면 전체적인 토출 상태 변화 인지를 관찰하여 토출군 부분의 영향이 지배적이 면 유체의 압력파 간섭이라고 할 수 있다. 또한 전체적인 변화가 실험 조건의 변화에 의한 것 이라는 것은 시간에 따른 반복 실험을 통해 전반적인 변화를 확인할 수 있었다. 이를 통해 Fig. 6 의 전반적인 특성 변화는 상호 간섭보다는 실험 조건 변화임을 알 수 있다. 따라서 이를 고려하면 주변 노즐에 비교해 본다면 상호 간섭에 의해 1-30 번 노즐에서 약 6% 정도 속도가 감소하였다고 할 수 있다.

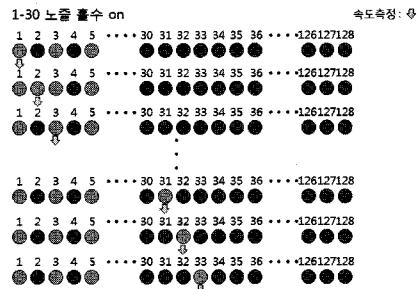


Fig. 7 Nozzle selection for cross-talk measurement (with nozzle number 1,3,5,...29 on, odd nozzle)

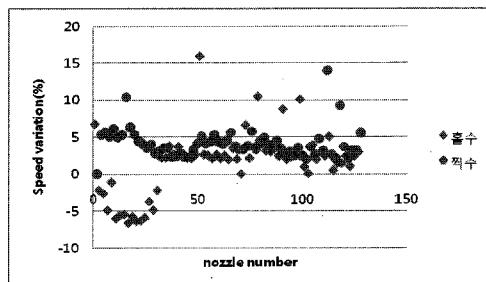


Fig. 8 Jetting speed ratio (with nozzle number, 1,3,5,...29, on)

Fig. 7 과 같이 1 번부터 30 번 까지의 노즐 중에서 홀수 노즐을 제팅시키면서 1 번부터 차례로 속도를 스캔하여 Fig. 8 과 같이 속도 변화율을 측정하였다. Fig. 8 에서 알 수 있듯이 토출시킨 노즐 부분의 짹수번 노즐은 속도가 약간 증가하였으나 홀수번 노즐인 경우 속도가 감소하였다. 따라서 상호 간섭의 영향은 속도를 증가시킬 수도 있고, 반면에 속도를 감소시킬 수도 있음을 알 수 있다. 이 노즐군 부분의 토출 속도 감소율은 주변 노즐에 비해 약 7-8%정도이고 짹수 노즐(노즐군 부분)

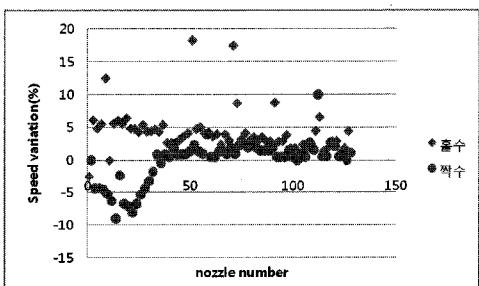


Fig. 9 Jetting speed ratio (with nozzle number, 2,4,6,...30 on, even nozzle)

에서의 속도 증가는 약 2-3% 정도이다.

반면에 1-30 번 사이의 노즐 중에서 짹수 노즐을 제팅하면서 토출 속도를 스캔하였을 때는 Fig. 9 와 같이 속도 변화율을 측정하였다. 그림과 같이 짹수 노즐일 때는 속도의 감소가 생겼고 반대로 홀수 노즐인 경우 속도의 상승이 생겼다.

이와 같은 실험을 중간 부분 또는 끝 부분에서의 노즐군을 선택하여 토출 속도를 스캔하여 측정된 결과도 마찬가지 결과를 가져왔다. 결론적으로는 토출시키는 노즐군 부분에서 주로 토출 속도의 변화가 발생했다. 홀수(쫙수)의 군만 토출시키는 경우에는 같은 홀수(쫙수) 쪽에서는 속도의 감소가 있었고, 반면에 짹수(홀수)에서는 속도의 증가를 가져왔다. 이러한 효과는 토출군의 중심부에서 제일 커지고 있다. 토출군의 끝부분의 상호 간섭 영향이 점차로 작아지는 것은 이러한 영향이 전기적인 영향 보다는 유체적인 영향이 주된 영향임을 추측할 수 있다. 실험에 사용한 SE-128 헤드는 1 개의 드라이버가 여러 헤드를 동시에 구동하기 때문에 헤드 구동 수가 늘어나면서 구동 전압이 토출 노즐의 수에 따라서 영향을 받게 된다. 이러한 영향은 토출군에서의 거리에 관계없이 동일하게 된다. 그러나 상호 간섭에 의한 영향이 토출군 부분에서 주로 토출 성능이 변화하는 것은 전기적인 영향보다는 다른 영향인 유체에 의한 압력파의 영향임을 알 수 있다. 유체적인 영향은 잉크젯 헤드내에서 잉크의 압력파가 한 노즐에 발생하여 다른 노즐에 영향을 미치지 않아야 하는데 그 영향이 다른 노즐에 어느 정도 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 여기서 토출 특성의 변화가 구조적 상호 간섭의 영향도 있을 수 있는데 이것은 레이저 진동계를 사용한 진동측정을 통하여 평가하였다.

결론적으로 상호 간섭에 의한 속도의 영향은 SE-128 인 경우 해당 노즐로부터 2,4,6...개 만큼의 노즐 간격에서 토출이 되었을 때 토출에 미치는 영향은 속도 감소이고, 1,3,5..만큼의 노즐 간격에 의한 영향은 토출 증가로 관찰되었다. 상호 간섭에 의해서 속도의 감소의 폭이 속도의 증가의 폭보다 커졌으며 전체 노즐이 모두 커지는 경우에는 두 개의 효과가 서로 상쇄되어 약간의 속도 감소가 있었다.

3. 레이저 속도계를 이용한 상호 간섭 측정

잉크젯 토출 현상은 잉크젯 헤드내의 압력파와 관련이 있다고 알려져 있다. 따라서 압력파를 측

정하면 보다 상호 간섭의 원인을 근본적으로 측정하는 것이 가능하다. 이러한 압력파를 간접적으로 측정하는 방법으로, 레이저 속도계를 사용하는 방법이다.⁷ 본 연구에서는 레이저 속도계를 사용하여 상호 간섭의 영향을 측정하였다. 이를 위하여 Polytech 사의 레이저 속도계(CLV-2534)를 사용하였으며, 이득은 10mm/s/V로 설정하였다. 압력파에 의한 진동을 측정하기 위한 측정 위치는 토출이 되고 있는 노즐 부분에서 Fig. 10 과 같이 측정하였다.

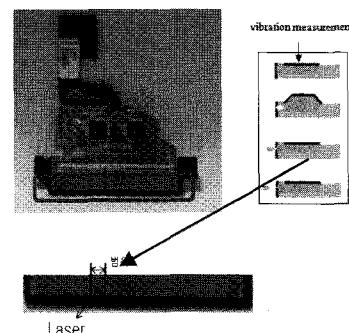


Fig. 10 Laser vibrometer measurement

토출이 되고 있는 노즐에 해당하는 진동을 측정하기 위하여 정밀한 positioning 제어가 필요하였다. 이를 위하여 스테이지를 미세하게 제어하여 해당 노즐의 위치를 알아 내었다. 실험을 위한 전체 장치는 Fig. 11 과 같다.

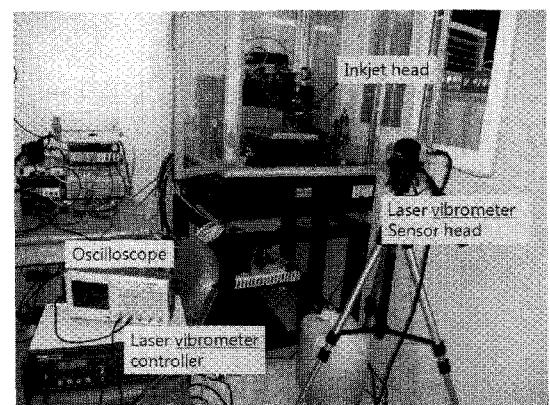


Fig. 11 Experimental setup for measuring pressure wave using laser vibrometer

측정된 진동 신호는 구조적인 신호이다. 따라서 압력파에 의한 유체적인 영향과 구조적인 연성(couple)에 의한 상호 간섭을 측정하는 것이 가능

하였다. 이를 위하여 1 개 노즐(84 번 노즐)을 토출시키면서 레이저 진동계의 헤드 측정 위치를 스테이지를 이동 시키면서 전압의 크기를 측정하였다. 레이저 속도계의 측정 노이즈를 줄이기 위하여 기준 토출 신호를 위한 트리거 신호를 사용하여 테이터 획득 후 약 20 회 평균을 구하였다. 측정 결과 신호가 해당 노즐 부분의 중심으로부터 약 $\pm 0.3\text{mm}$ 범위에서 측정이 됨을 알 수 있다. 본 연구에서 사용된 노즐간의 간격이 0.508mm이고 측정 범위는 1 개의 노즐의 간격과 비슷한 허용 범위내의 alignment로도 측정이 가능함을 보여준다. 그렇지만 해당 노즐의 중심으로부터 거리차이에 의해서 약간의 전압 차이가 존재하기 때문에 이를 최소화하기 위하여 레이저 속도계의 위치는 고정하고 다른 노즐의 토출 상태를 변화시켜 이때의 진동량을 측정하여 상호 간섭을 측정하였다.

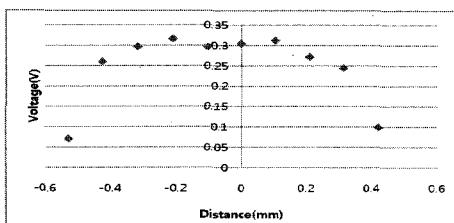


Fig. 12 Laser vibrometer signals according to position

한편으로는 $\pm 0.3\text{mm}$ 로부터 벗어나는 위치에서는 진동 측정이 어려웠다. 이는 구조적인 연성에 의한 상호 간섭에 의한 영향은 상대적으로 적어서 측정이 불가함을 알 수 있었다. 따라서 본 레이저 진동 측정 방법으로 잉크젯 헤드내의 유체의 압력파에 의한 상호 간섭만을 측정함을 알 수 있었다. 또한 토출 속도 변화에 비해 레이저 속도계 측정 시 진동의 변화량이 작아서 전 노즐 또는 홀수번(짝수번) 노즐 전체의 토출에 대한 압력파 변화량을 측정하였다.

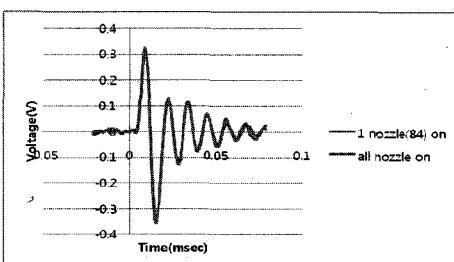


Fig. 13 Vibrometer signals (all nozzle jetting)

Fig. 13에서 전 노즐을 토출시켰을 때와 해당 84 번 노즐만 토출 시켰을 때의 레이저 속도계의 신호를 비교하였다. 이때는 1 개 노즐을 켰을 때와 비교하여 전체 노즐을 모두 켰을 때 신호가 피크값을 기준으로 6.1% 감소하였다. 이것은 주변 노즐 전체를 토출시켰을 때 압력파의 감소로 인해 Fig. 6과 같이 토출 속도가 감소하는 것과 같은 결과이다.

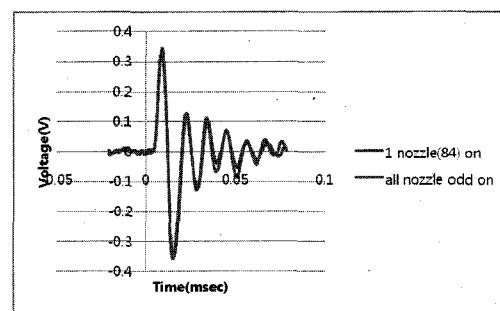


Fig. 14 Vibrometer signals (odd nozzle jetting)

반면에 홀수 노즐을 모두 토출시킨 경우와 관심 노즐인 84 번 노즐만을 토출시키면서 진동 신호를 측정 결과는 Fig. 14 와 같이 얻었다. 홀수 노즐을 모두 토출시키면서 84 번 노즐을 관찰한 결과는 진동 신호가 4.9% 증가함을 알 수 있다. 결론적으로 기준 노즐로부터(84 번 노즐) 1,3,5,...의 노즐 간격으로 토출시킨 경우 압력파를 상승시켜 토출 속도가 증가하였다. 이것은 Fig. 9 와 Fig. 10과 같은 결과이다.

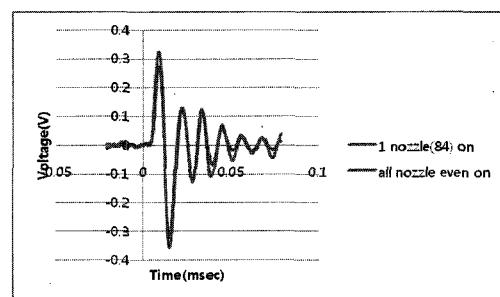


Fig. 15 Vibrometer signals (even nozzle jetting)

반면에 짝수 노즐을 모두 토출시킨 경우에는 관심 노즐에서 진동 신호를 측정한 결과 피크 진동이 Fig. 16 과 같이 16% 감소함을 알 수 있다. 이 결과는 Fig. 9-10 의 토출 속도 실험에서 같은 짝수(또는 홀수) 노즐에 해당하는 노즐은 속도를 감소

시키는 것과 일치한 결과를 얻을 수 있다. 이러한 감소의 폭은 Fig. 14 의 증가폭보다 컸다. 따라서 흘수 및 획수를 모두 다 제팅하는 경우 약간의 제팅 속도의 감소가 생기는 원인과 일치하였다.

레이저 속도계의 실험으로 잉크젯 헤드내의 유체의 압력파에 해당하는 신호를 얻을 수 있었다. 토출의 세기는 토출을 위한 압력파의 크기와 비례 관계가 있으므로 카메라로 관찰된 상호 간섭의 현상을 레이저 속도계를 이용하여 검증할 수 있었다.

4. 결론

상용화 다중 노즐 잉크젯 헤드인 SE-128 에 대해서 상호 간섭 현상을 측정하고 분석하였다. 다른 노즐이 동시에 토출이 되는 경우 주변의 어떤 노즐이 토출이 되는지에 따라서 토출 속도가 증가하기도 하고 감소하기도 하였다. 이러한 영향은 주로 주변 노즐의 토출이 관심 노즐의 압력파 변화를 야기 시킨 유체적인 상호 간섭이 주된 영향임을 밝혔다. 또한 레이저 속도계를 사용하여 이러한 영향을 검증하였다.

이러한 상호 간섭은 헤드의 구조 및 디자인에 따라서 달라질 수 있다. 그러나 본 방법에 의한 측정 방법 및 평가는 사용하는 헤드를 평가하는데 있어서 참고 자료 및 기준으로 활용할 수 있다.

후기

이 논문은 2008 년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: 331-2008-1-D00019).

참고문헌

- Creagh, L., McDonald, M. and Letendre, W., "Ink Jet Printhead as a precision deposition tool in manufacturing FPDs," SEMICON China, FPD Manufacturing Conference, 2004.
- McDonald, M. and Zhou Y., "Crosstalk study of a high speed shear mode piezo ink jet printhead," International Conference on Digital Printing Technologies, pp. 40-43, 1999.
- Wassink, M. B. G., Bosgra, O. H. and Koekebakker, S. H., "Minimization of cross-talk for an inkjet printhead using MIMO ILC," Amercian Control Conference, pp. 964-969, 2006.
- Kwon, K. S., Go, J. K. and Kim, J. W., "Development of Inkjet printing system for printed electronics," Proceedings of KSMS Spring Conference, pp. 174-175, 2010.
- Kwon, K. S., "Printing system development," website: <http://www.youtube.com/watch?v=leG8kDujXr8>, 2009.
- Kwon, K. S., "Development of a Test stand for measuring ink jetting performance," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 25, No. 8, pp. 45-50, 2008.
- 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.