

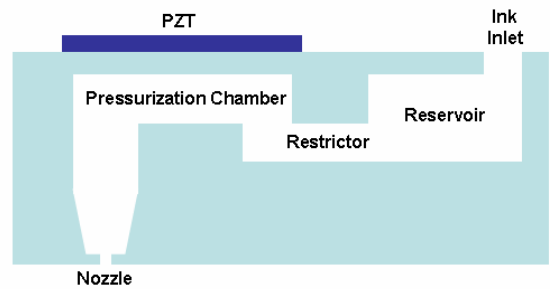
## 잉크젯 헤드내 발생한 기포에 따른 토출 변화 연구

유영석<sup>1</sup>, 김영재<sup>1</sup>, 심원철<sup>1</sup>, 박장성<sup>1</sup>, 박정훈<sup>2</sup>, 강필중<sup>1</sup>, 정재우<sup>1</sup>, 오용수<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>삼성전기 중앙연구소 eMD Center  
<sup>2</sup>삼성전기 중앙연구소 CAE Group

### Studies on Changes of the Droplets by Bubbles in Piezoelectric Inkjet Head

Youngseuck Yoo<sup>1</sup>, Youngjae Kim<sup>1</sup>, Won-chul Sim<sup>1</sup>, Changsung Park<sup>1</sup>, Junghoon Park<sup>2</sup>, Piljoong Kang<sup>1</sup>, Jaewoo Joung<sup>1</sup>, Yongsoo Oh<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>eMD Center, Central R&D Institute, Samsung Electro-Mechanics  
<sup>2</sup>CAE Group, Central R&D Institute, Samsung Electro-Mechanics

**Abstract** - 본 논문은 피에조방식으로 구동하는 MEMS 구조의 산업용 잉크젯 헤드를 제작하여 잉크를 충진하여 토출하는 과정에서 토출이 되지 않는 원인 중 하나인 기포에 대해서 연구하였다. 기포를 직접 관찰하기 위한 방법으로 투명한 유리로 Membrane을 제작하여 기포가 발생하여 거동하는 모습을 관찰하였으며 Actuator가 구동하는 헤드내 기포를 구동 중에 관찰하기 위한 방법으로 LDV(Laser Doffler Vibrometer)를 이용하였다. 그 결과, 구동하면서 발생하는 변위의 미세한 차이를 관찰할 수 있었으며 주파수 data의 차이를 관찰함으로써 기포의 크기에 따른 토출의 양태를 구별할 수 있었다.



<그림 1> 압전 잉크젯 헤드의 구조

## 1. 서 론

산업용 프린팅 기술은 원하는 위치에 원하는 모양을 바로바로 형상화할 수 있다는 장점으로 인하여 직물, 래전드 마킹 뿐 만 아니라 LCD의 칼라필터와 같은 디스플레이의 기능성 물질의 도포나, 유전자물질의 배열과 같은 Bio분야 등 그 응용분야가 더 넓어지고 있는 추세이다[1]. 또한 최근에는 금속 nano입자를 이용한 metal잉크의 개발로 금속배선을 통한 PCB(Printed Circuit Board) 제조와 같은 양산제조기술로 이용하려는 노력을 하고 있다[2]. 그러나 위와 같은 기능성잉크를 인쇄하는 잉크젯 헤드가 신뢰할 수 있는 수준이 되지 못하여 많은 응용분야에 적용하기에는 한계가 있다[3~5]. 잉크젯헤드에 대한 연구는 오랜 동안 진행되었으나 다양한 기능성 잉크의 물성을 만족하기에는 아직도 어려움이 많고 더욱 응용분야를 넓어짐에 따라서 잉크의 종류는 더 많아지고 있는 현실이다. 이러한 기능성 잉크와 헤드간에 발생하는 문제는 헤드의 기능을 저하시키며 특히 헤드설계나 제조 공정상에서 문제가 없어도 발생하는 미토출 현상은 규명이 어렵고 제조 공정상의 문제와 연결되어 분석이 어렵다. 따라서 본 연구에서는 초기에 헤드내에 잉크를 충진하거나 또는 잉크내의 용해된 기포로 인하여 잉크가 토출되지 못하는 현상들 중에서 가장 문제가 되는 기포로 인한 미토출 현상을 밝히고자 한다.

## 2. 본 론

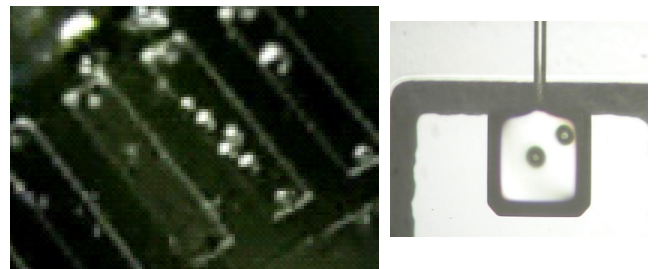
### 2.1 잉크젯 헤드

MEMS 공정을 이용하여 실리콘 웨이퍼를 가공하여 그림 1의 구조체를 제작하였다. 이러한 잉크젯 헤드는 리저버, 리스트릭터, 챔버, 노즐 및 압전 액추에이터를 포함하는 구조이다. 압력실은 진동판을 가지고 있으며, Piezo electric 재료인 PZT층이 진동판에 직접 연결되어 있다. PZT에 전기적인 신호가 가해지면 PZT는 인가된 신호에 맞는 변형을 일으키며 그에 따라 진동판은 변위를 일으킨다. 보통 이와 같은 챔버 방향의 진동판 변형에 의해 챔버내부의 압력은 증가하며 증가된 압력은 잉크 액적을 노즐로부터 토출되도록 한다.

#### 2.1.1 투명 헤드를 이용한 기포 관찰

MEMS 공정을 이용한 실리콘 웨이퍼 공정의 경우 마스크 작업을 통해서 대부분의 공정상에서 문제가 없는 것을 확인할 수 있다. 그리고 Actuator인 PZT의 경우에도 유전율을 측정하면 Actuator를 제작하는 공정상에서 문제가 생긴 것을 검증할 수 있어 비교적 용이하게 문제의 발생원인을 규명하고 해결할 수 있다. 그리고 유로상의 문제나 Actuator의 문제가 없으면 대부분의 노즐에서는 잉크가 토출된다. 그러나 이러한

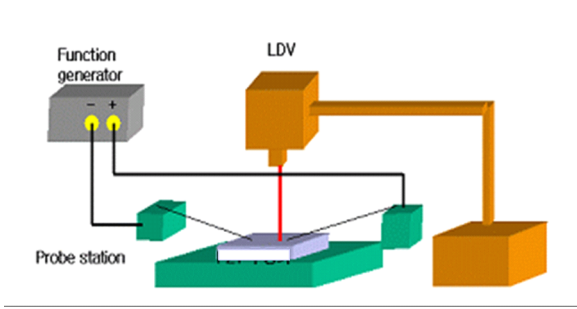
검수 과정을 거쳐서 헤드를 제작함에도 토출이 되지 않는 노즐을 종종 관찰할 수 있다. 이와 같은 문제가 발생하는 원인은 주로 기포로 인하여 발생하는 것으로 Actuator에서 발생한 압력이 기포를 응축시키는 에너지로 쓰여서 노즐에서 잉크가 토출되지 않는 현상으로 발생한다. 그러나 헤드 구조내에서 발생하는 기포를 관찰하기는 매우 어렵다. 따라서 기포를 관찰하기 위해서 membrane을 유리로 만들고 Actuator는 제작하지 않은 기포 관찰용 헤드를 제작하여 기포의 거동을 관찰하였다. 그림 2는 투명한 윗면에서 기포가 발생한 것을 관찰한 모습이다. 비교적 빠른 속도로 헤드 유로내에 잉크를 주입하면 챔버나 기타 다른 유로내에 많은 기포가 발생하며 높은 압력으로 잉크를 밀어 넣어 기포를 제거하려고 하여도 잘 제거되지 않는 기포의 거동을 관찰 할 수 있었다.



<그림 2> 유리 Membrane을 이용한 기포 관찰

#### 2.1.2 헤드내 기포 관찰을 위한 LDV 원리

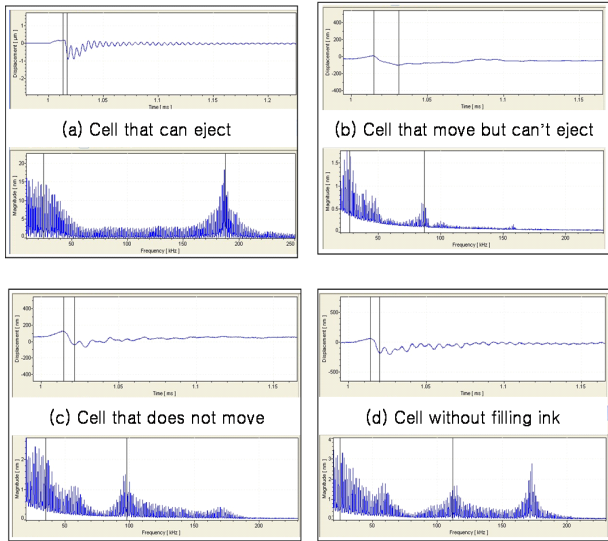
앞에서 설명한 바와 같이 압전재료를 이용한 헤드의 구동은 Actuator인 PZT의 변위변화를 이용한다. 그러나 이러한 위상의 변화는 수nm 정도의 작은 변화이며 수kHz ~ 수십kHz의 짧은 시간에 발생하게 된다. 따라서 이러한 변화를 관측하기 위해서 Laser의 위상차를 관측하는 LDV 장비를 이용하였다. 그림 3은 LDV 측정을 위해 시편과 LDV 그리고 신호를 인가하는 장치의 대략적인 배치도를 나타내었다. LDV는 경로를 달리하는 두빔간의 위상차이를 탐지하는 간섭장치로써 하나의 빔은 헤드위의 Actuator에 초점이 맞춰져 있으며 간섭계 뒤로 빛이 반사되며 또 다른 빔은 모듈레이터(Bragg cell)를 통해 증폭되어 위상차이를 측정 가능케 한다.



〈그림 3〉 LDV 측정 배치도

## 2.2 토출 양태에 따른 LDV 측정 결과

헤드구조내에 기포가 유입되면 유로구조나 Actuator에 문제가 없음에도 불구하고 토출이 되지 않는다. 이처럼 토출이 되지 않는 Cell내의 기포를 관찰할 수 있으면 헤드의 미토출에 대한 원인을 규명하게 되고 따라서 기포를 제거하기 위한 노력을 할 수 있다. 따라서 헤드내 기포를 관찰하기 위해서 실시간으로 관찰하는 방법으로 앞에서 설명한 LDV를 사용하였다. 그림4는 헤드내의 상황을 4가지로 구분하여 LDV를 측정하고 차이점을 관찰한 결과이다. 그림4(a)는 잉크를 충전하여 정상적으로 토출되는 cell의 Actuator위를 LDV로 측정 결과로 두가지 형태의 data를 얻을 수 있었다. 위에 위치한 data의 경우, 상대적인 위상차를 시간에 따라서 나타낸 것으로 1회의 토출 신호에 대하여 위상변화가 일어나고 본래 위치로 돌아가면서 변위의 작은 변화까지도 관찰할 수 있다. 이는 헤드를 구동하는 구동신호가 인가되어 Actuator와 진동판이 1회 구동한 후에 재 위치로 돌아가는 과정에서 Damping 되는 모습이다. 이러한 결과는 헤드내부에 충전되어 있는 물질의 종류에 따라서 각기 다른 측정결과를 보인다. 아래쪽에 위치한 측정데이터는 변위에 대한 결과를 주파수로 나누어 적분한 결과로 미세한 진동이 어떤 주파수로 진동하고 있는지를 알 수 있다. 즉 작은 변위들의 주파수를 나타내어 준다.



〈그림 4〉 LDV를 통한 변위와 주파수 데이터

위와 같은 방법으론 다른 3가지 다른 cell을 관찰하였다. 헤드내 충진을 하였으나 토출이 되지 않고 노즐 주위에서 풀링이 발생하는 모습을 관측한 data를 그림4 (b)에 나타내었고 그림4 (c)는 잉크가 충전되었으나 토출이 되지 않고 노즐 끝단에서의 잉크거동이 전혀 없는 cell을 관찰한 결과이다. 그리고 마지막으로 그림4 (d)는 잉크를 충전하지 않은 상태의 cell을 LDV로 관찰한 결과이다. 잉크를 충전하기 전(d)과 토출이 되는 cell의 변위(a)를 비교하면 변위 데이터가 완전히 다른 경향을 보이며 특히 (d)의 주파수 데이터를 보면 120kHz 부분에서 주파수 peak를 관찰할 수 있었다. 그리고 노즐상의 미토출도 없고 토출이 되지 않는 (C)와 (d)를 비교하면 변위의 거동이 유사하고 100kHz 이상의 주파대에서 peak를 관측할 수 있다. 그리고 노즐에서 약간의 풀링이 발생하는 현상을 보이며 토출이 되지 않는

(b)의 경우에는 100kHz 보다 낮은 주파수에서 공진하는 주파수 peak를 관찰할 수 있었으며 이는 토출이 잘되는 (a)의 경우에는 볼 수 없었던 것이다.

### 2.2.1 헤드내 기포와 토출 양태의 관계

위에서 관찰된 결과를 토대로 헤드내 기포와 토출되는 양태를 나타내 보면 그림 5와 같다. 즉 잉크가 충분히 충전되어 기포가 없는 상태를 나타내는 그림4(a)의 경우는 그림5 (a)와 같이 예측할 수 있으며 잉크가 헤드내에 기포없이 잘 충전되어 정상적인 잉크토출이 되는 상태이다. 그림5(b)는 작은 기포가 헤드내에 포집된 경우로 Actuator로부터 발생한 압력의 변화가 노즐 끝으로 전달되기 전에 작은 기포가 압력을 감쇠시킴으로써 풀링이 발생하는 현상을 보이며 토출이 되지 않는 불량 발생으로 그림4(b)와 같은 LDV 측정결과를 통하여 구분할 수 있다. 마지막으로 헤드내에 커다란 기포가 포집된 경우에는 Actuator의 변위변화로 인하여 인가된 압력이 커다란 기포에 의해 압력 감쇠가 됨으로 노즐 끝단에서는 전혀 유동이 없는 미토출 현상이 발생하게 된다. 이러한 모습은 그림5 (c)와 같은 상태로 예측되며 그림4 (c)에서와 같은 LDV 측정 결과가 이와 같은 상태를 나타내 준다.



〈그림 5〉 기포의 발생 모식도

## 3. 결 론

헤드내에 포집된 기포는 잉크의 토출을 방해하는 요소이다. 이러한 헤드의 성능을 저하시키는 기포를 관찰하는 방법으로 유리를 이용한 관찰 방법이 가능하였고 구동하는 헤드에서 기포를 관찰하는 방법으로는 LDV를 이용한 관찰이 가능하였다. LDV를 통해서 헤드내 잉크 충전이 잘 되어 토출이 원활한 상태와 작은 기포로 인하여 노즐 끝단에서의 작은 거동이 있지만 토출이 되지 않는 상태 그리고 커다란 기포로 인하여 전혀 토출이 되지 않는 상태를 분석할 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] Stephen F. Pond, Inkjet Technology and Product Development Strategies, Torrey Pines Research, Carlsbad, 2000.
- [2] Berend-Jan de Gans, Paul C. Duineveld, and Ulrich S. Schubert, Adv. Mater. 16, 203, 2004
- [3] David Wallace et al., "Think additive: Ink-jet Deposition of Materials for MEMS Packaging", 6th Topical Workshop on Packaging of MEMS and Related Micro-Nano-Bio integrated Systems, pp 1-5, November 18-20, 2004
- [4] Donald J. Hayes et al., "Printing System for MEMS Packaging", SPIE Conference on Micromachining and Microfabrication, pp 1-9, October, 2001
- [5] Tanya Kaydanova et al., "Ink Jet Printing Approches to Solar Cell Contacts", NCPV and Solar Program Review Meeting, pp 919-920, 2003