

메탈 인쇄용 압전 헤드 제작 프로세스 연구

유영석, 김영재, 심원철, 박창성, 정재우, 오용수
 삼성전기 중앙연구소 eMD Lab.

Studies of Printing Head Fabrication Process For Nano Metal Printing System

Youngseuck Yoo, Youngjae Kim, Wonchul Sim, Changsung Park, Jaewoo Joung, Yongsoo Oh
 eMD Lab., Central R&D Institute, Samsung Electro-Mechanics

Abstract - It is a paper for design, manufacture and estimation of industry inkjet head. Simulations for Actuator, Ink flow and Ejection are executed for securing design ability. Relations between droplet and properties of ink are explained closely through simulation for nozzle. Actually, two silicon plates are made by dry and wet etching and directly bonded. PZT materials is attached on the bonded ink flow part and cut to 540 μ m interval by dicing saw. Actuator was seen variation within 10% between simulation and actual head. Through the ejection estimation, it is shown that stabilized driving voltages change according to viscosity and surface tension of metal ink. Using the metal ink of viscosity of 4.8 cps and surface tension of 0.025 N/m, it is possible to eject the stable droplets with 5m/s, 20 pl, 5 kHz.

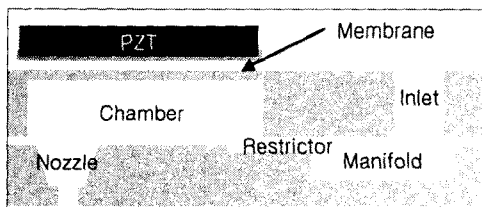
1. 서 론

본 산업용 프린팅 기술은 원하는 위치에 원하는 모양을 바로바로 형상화할 수 있다는 장점으로 인하여 직물, 래전드 마킹 뿐 만 아니라 전자분야에서는 LCD의 칼라필터, Bio분야에서는 유전자물질의 배열과 같이 그 응용분야가 더 넓어지고 있는 추세이다[1]. 또한 최근에는 metal잉크의 개발과 함께 이를 PCB(Printed Circuit Board) 제조와 같은 양산제조기술로 이용하려는 노력을 하고 있다[2]. 그러나 위와 같은 기능성 잉크를 인쇄하는 잉크젯 헤드가 신뢰할 수 있는 수준이 되지 못하여 많은 응용분야에 적용하기에는 한계가 있다[3-5]. 잉크젯헤드에 대한 연구는 오랜 동안 진행되었으나 기존 잉크물성과 전혀 다른 금속잉크의 물성을 만족하기에는 아직도 어려움이 많으며 응용분야를 넓혀감에 따라서 다양한 잉크를 토출할 수 있는 헤드 설계 기술과 제조기술을 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 금속잉크를 토출할 수 있는 헤드를 설계하고 제작하는 과정에서 설계능력을 확보하고자 하였다.

2. 본 론

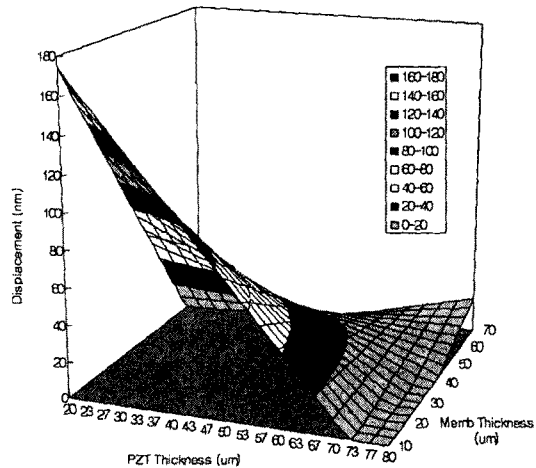
2.1. 설계

단일 노즐의 구조를 그림1에 나타내었다. 본 헤드는 잉크가 토출되기 위해 압력을 발생시키는 Actuator와 잉크가 공급되어 토출되는 유로로 구분할 수 있다.



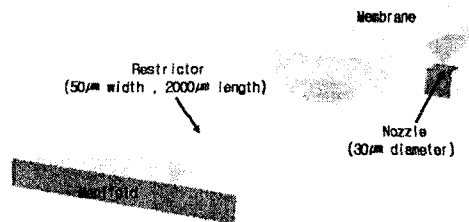
〈그림 1〉 잉크젯 헤드의 기본 구조

먼저 잉크를 토출하는 구동력을 발휘하는 Actuator부 설계가 필요하며 설계 주요 Factor로 피에조의 두께, membrane의 두께와 폭 그리고 너비를 책정하여 적정한 설계를 위해 변위에 대한 simulation 해석을 실시하였고 최적의 설계를 위해 4인자 3수준 DOE를 실시하였다. 결과적으로 주어진 범위내에서 99% 신뢰할 수 있는 회귀식을 얻을 수 있었다. 그림2에 가장 영향을 많이 주는 PZT 두께와 membrane의 두께에 따른 변위변화를 3차원으로 나타냈다.



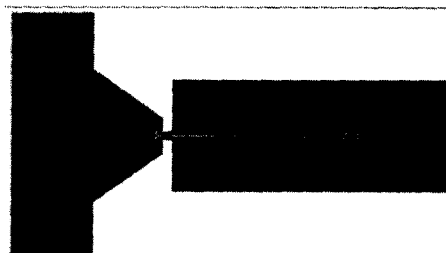
〈그림 2〉 변위에 대한 DOE 결과 도식화

다음은 유로 설계로 잉크의 안정된 토출이 가능하기 위해서는 잉크의 주입부인 Restrictor와 잉크의 토출부인 Nozzle의 유체 저항에 대한 설계가 필요하며 이를 위해 3차원 시뮬레이션을 실시하였다. 그림3은 시뮬레이션을 위한 3차원 구조를 나타내었다. 3쌍의 노즐과 Restrictor 구조를 설정하여 3차원 시뮬레이션 tool로 분석한 결과도 얻을 수 있었다.



〈그림 3〉 3차원 시뮬레이션을 위한 구조도

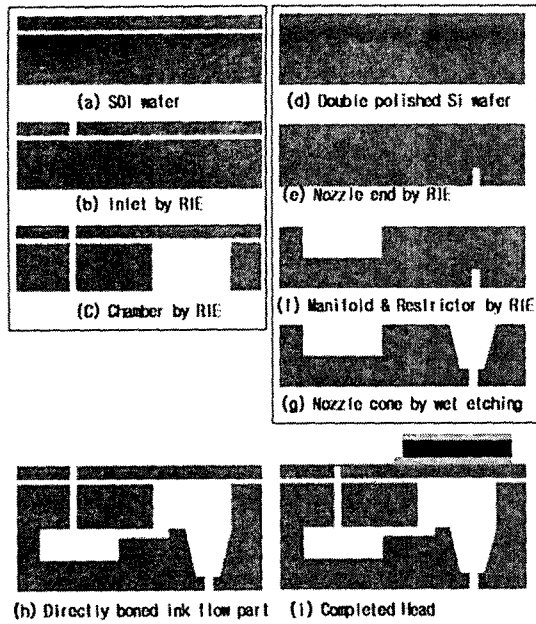
마지막으로 잉크의 물성과 구동파형에 따라서 잉크 토출의 양태가 크게 바뀐다. 이를 예측하기 위해 시뮬레이션 tool을 사용하여 잉크의 물성에 따른 토출 양태를 예측하였고 이를 그림4에 나타내었다. 표면장력이 증가함에 따라서 drop size는 작아졌으며 점도도 증가하면서 Drop size가 작아졌다. 이를 바탕으로 산업용 잉크에 걸맞는 헤드설계를 완성하였다.



〈그림 4〉 토출 양태의 3차원 시뮬레이션 결과

2.2. 제조 공정

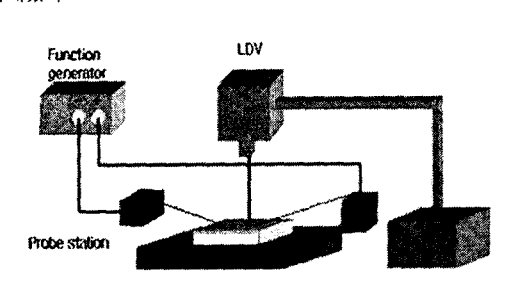
MEMS 공정을 이용한 Si wafer를 사용하였다. 유로의 구성은 앞에서 언급한 바와 같이 상/하판으로 이루어져 있다. 상판에는 SOI wafer를 이용하였고 하판은 <100> Si wafer를 사용하였다. 그림 5에 제조공정을 도식화하여 나타내었다. Si 식각으로 이루어진 내부는 Si Dry Etching 공정능력에 의하여 좌우되지만 일반적으로 공정설계치에 $\pm 5 \mu\text{m}$ 의 정밀도로 제작되었다.



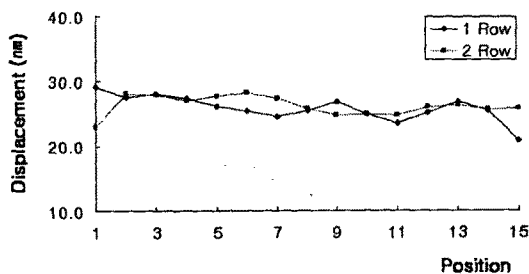
〈그림 5〉 잉크젯 헤드 제작 공정도

2.3. 평가 결과

헤드를 제작하기 이전에 구동부에 대한 평가를 실시하였다. 구동의 경우 유로부에 장착하지 않고도 Membrane이 있는 Chamber 위에 PZT를 장착하고 전압을 인가하여 구동하면 변하는 속도를 측정하고 이를 시간으로 적분하여 변위를 계산한다. 그림 6은 측정장비의 간단한 모식도로 나타내었다. 그리고 충분한 변위를 발생하는 챔버 폭, 600 μm 로 하고 챔버 길이는 2700 μm 로 하여 15개씩 2열의 헤드를 제작하였다. 30개의 노즐에서 평균 26.0nm, 표준편차 1.75으로 위치에 따른 변화없이 거의 균일한 변위를 얻을 수 있었다. 이는 기존의 시뮬레이션 검증에 의한 29.5nm의 변위 예측치보다 3.5nm 작은 결과이지만 제작상의 오차로 판단하고 잉크를 충전하여 잉크 토출 평가를 실시하였다. 그림 7에 이를 그래프로 나타내었다.

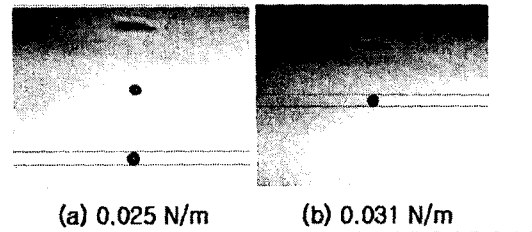


〈그림 6〉 변위 측정장비의 모식도



〈그림 7〉 변위 측정 결과

잉크의 표면장력의 변화를 주면서 drop size 변화를 보고자 하였다. 표면장력이 변화함에 따라서 안정된 drop이 생기는 인가전압이 달라졌으며 그로 인하여 직접적인 비교는 할 수 없었다. 점도를 4.8cP로 하고 표면장력을 0.025N/m, 0.031N/m으로 변화시키면 실험한 결과를 그림 8에 나타내었다. 표면장력이 0.025N/m인 경우 15~30V의 구동 전압에서도 안정된 토출이 이루어진 반면에 표면장력이 0.031N/m로 커짐에 따라서 일반적으로 50~85V의 높은 구동전압을 필요로 하였다. 표면장력이 낮으면 낮은 전압에서 구동하면서도 50pl 이상의 큰 Droplet이 형성되었으며 위치가 쉽게 발생하였다. 또한 점도 차이에 따른 droplet 평가를 실시하였다. 표면장력은 0.025N/m로 일정하게 하고 점도를 4.8cP, 8.6cP로 달리하면서 평가하였고 4.8cP에서의 안정된 토출 전압이 15~30V였던 점에 반하여 8.6cP의 잉크는 구동 전압이 60V 이상이었고 노즐로부터 토출된 잉크가 Drop으로 분리되는 시간이 길어졌다.



〈그림 8〉 토출 양태 평가

3. 결 론

나노고속잉크를 토출하기 위한 헤드를 주요한 3부분으로 나누어 설계하고 MEMS 공정을 통하여 산업용 압전 잉크젯 헤드를 제작하였다. 이 과정에서 Actuator를 설계하는 주요인자와 유로를 설계하기 위한 주요인자 그리고 토출에 영향을 주는 인자를 도출함으로써 추 후 다른 기능성 잉크에 대해 적합한 헤드를 설계하고 제작할 수 있는 능력을 갖출 수 있었다. 그리고 결과적으로 Actuator 성능 30개의 노즐에서 평균 26.0nm, 표준편차 1.75으로 위치에 따른 변화없이 거의 균일한 변위를 얻을 수 있었다. 이는 기존의 시뮬레이션 검증에 의한 29.5nm의 변위 예측치보다 3.5nm 작았다. 또한 토출 전압이 15~30V에서 점도 4.8 cP, 표면장력 0.025 N/m인 잉크를 사용하여 5kHz, 5m/s, 20pl의 안정된 토출 결과를 얻었다.

〔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