

잉크액적 형성에 대한 잉크젯 웨이브폼 영향 Influence of Driving Waveform on the Formation of a Droplet in Inkjet

*#신동윤

*#D-Y. Shin(dongyoun.shin@gmail.com)
한국기계연구원 나노기계연구본부

Key words : Inkjet, Driving waveform, Droplet formation

1. 서론

잉크젯 프린팅을 thin film transistor liquid crystal display (TFT LCD)의 color filter [1], e-Paper 등의 TFT [2], RFID 태그 안테나[3,4] 등과 같은 디스플레이 및 전자소자의 제작에 적용하기 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 이와 같은 디스플레이 및 전자소자 응용분야에서의 신뢰성은 중요한 이슈이며, 그 중에서 Fig. 1 에 보인 바와 같이 위성액적 형성에 의한 패턴 품질의 열화는 제품 성능뿐만 아니라 수율에 직접적인 영향을 미치기 때문에 위성액적 형성을 억제하여야 한다.

위성액적 형성을 억제하기 위해 Ohnesorge number 로 환산시 1~10 정도의 한정된 범위를 가지도록 잉크의 조성을 조절하는 등의 방법을 취하기도 하지만[5], 동일한 잉크를 젯팅하더라도 젯팅 조건에 따라 위성액적이 형성될 수 있으므로 구동파형 최적화를 통한 적극적인 위성액적 형성 제어가 요구된다.

본 논문에서는 구동파형 최적화를 통한 위성액적 형성 제어를 위한 기초단계로서 위성액적 형성 요인을 수치해석을 통해 살펴보도록 한다.

2. 모델링

잉크젯 프린트 헤드의 모델링은 피에조 압전소자와 챔버, 잉크 간의 상호영향을 수식[6]이나 수치해석, 혹은 lumped element equivalent circuit model [7,8,9]을 통해 계산하는 방식이 사용되고 있다. 본 논문에서는 잉크젯 프린트 헤드의 피에조 압전소자와 챔버, 노즐부는 수식계산을 통해 모델링하였으며, 노즐 외부의 잉크액적 형성과정은 FLOW 3D (Flow Science, Inc., Los Alamos, NM, USA)를 이용하여 수치해석을 수행하였다. 모델링에 사용된 잉크젯 프린트 헤드는 Fig. 2 에 보인 바와 같이 MicroFab Technologies(Plano, TX, USA)의 MJ-AT-01-30 을 설정하였으며, 잉크는 isopropyl alcohol 을 선정하였다.

Computational domain 은 Fig 3 에 보인 바와 같이 반경방향 및 축방향으로 각각 51×783 의 셀을 설정하였으며, 공칭 셀 종횡비는 1 이다. 수식해를 통해 계산된 압력경계조건은 노즐 팁으로부터 $200 \mu\text{m}$ 내측에 설정하였으며, $800 \mu\text{m}$ 의 잉크액적 낙하공간을 설정하였다. 잉크젯 노즐의 구경은 $30 \mu\text{m}$, 그리고 테이퍼 각도는 14.1° 로 설정하였다.



Fig. 1 Satellite droplets formed with isopropyl alcohol

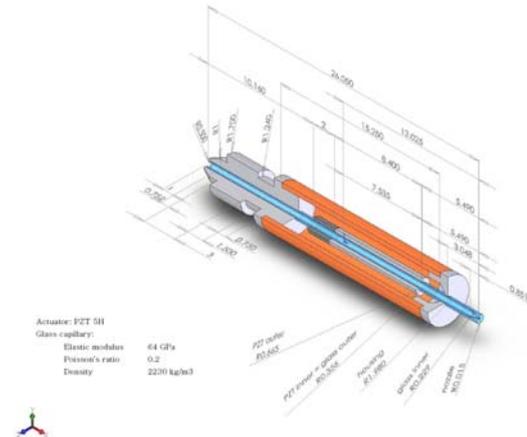


Fig. 2 MJ-AT-01-30 piezo inkjet print head

3. 실험결과

오실로스코프(TDS3012B, Tektronix Inc., OR, USA)로 측정 한 구동파형을 Fig. 4 에 도시하였다. 인가된 바이폴라 구동파형은 전압 상승기, t_r , 제 1 전압 유지기, t_{p1} , 전압 강하기, t_f , 제 2 전압 유지기, t_{p2} , 최종전압 상승기 t_{r2} 로 구성되어 있으며, 피에조 압전소자가 구동파형과 동기되어 변위가 발생할 경우 Fig. 5 에 도시한 바와 같은 노즐 평균 축방향 유동 속도가 발생한다. Figure 6 은 Fig. 4 의 구동파형이 인가되었을 때의 잉크액적 형성에 대한 시뮬레이션 결과와 실험결과를 비교한 것이다.

잉크젯 프린트 헤드는 동일 모델이더라도 제품마다 젯팅성 편차가 발생하는데, 피에조 압전소자의 성능편차, 피에조 압전소자와 모세 유리관간의 접합 차이, 노즐 가공편차 등에 의한 불확정성이 존재하기 때문이다. 이러한 불확정성은 모델링을 통해서 모사할 수가 없으므로, 불확정 교정계수를 도입하여, 실험값과 해석값 사이의 편차를 보정 해주도록 한다. Figure 6 의 경우 불확정 교정계수는 0.219 이며, 이 값이 낮을수록 이론값보다 낮은 성능값을 가지는 것으로 해석할 수 있다.

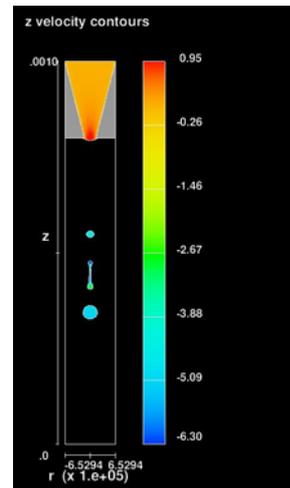


Fig. 3 Simulated results with FLOW 3D

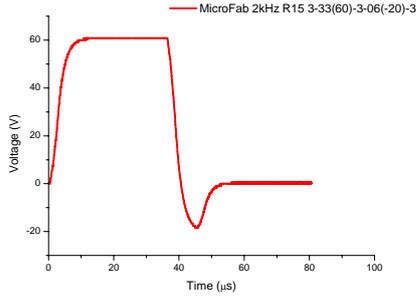


Fig. 4 Measured driving waveform for isopropyl alcohol

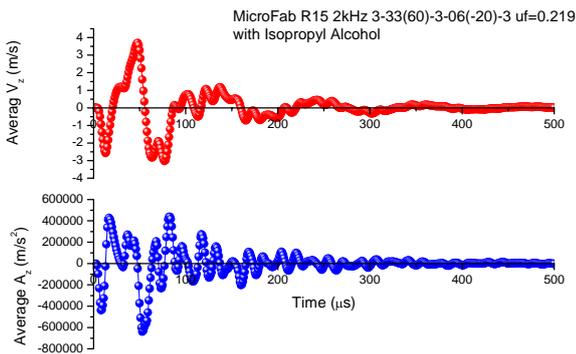


Fig. 5 Computed average axial velocity and its acceleration

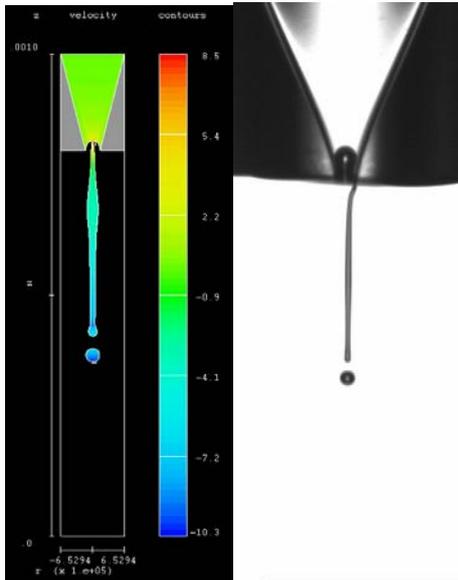


Fig. 6 Comparison of simulated and experimental jetting results

잉크액적 형성에서 위성액적 형성 원인은 Fig. 5 에 보인 바와 같이 Rayleigh instability 와 국부적 속도 및 가속도 편차를 들 수 있다. 특히, 초기 국부적 속도 및 가속도 편차는 Fig. 6 에 보인 바와 같이 잉크액적의 머리부분과 몸체 부분간의 분리를 야기시키며, 길게 연장된 몸체 부분에 존재하는 속도 및 가속도 편차는 위성액적으로 발달할 여지가 있다. 따라서, 구동파형을 최적화시킴으로써 속도 및 가속도 편차를 완화시킬 경우 위성액적 형성을 제어할 수 있을 것으로 예측된다.

4. 결론

본 연구에서는 바이폴라 구동파형에 대한 노즐부 잉크 압력경계조건 및 평균 축방향 유동을 계산하였으며, FLOW 3D 를 통해 잉크액적 형성을 수치해석하였다. 그리고, 수치

해석된 결과를 실험결과와 비교함으로써 불확정 교정계수를 도출하였으며, 위성액적의 형성요인을 고찰하였다.

위성액적의 발생은 Rayleigh instability, 국부적 속도 및 가속도 편차에 의해 발생하며, 특히 100 μs 스케일에서 액적의 분리현상이 벌어진다는 측면에서 Rayleigh instability 보다는 국부적 속도 및 가속도 편차가 위성액적 형성에 보다 큰 영향을 미치는 것으로 추정된다.

잉크 점도에 의한 소산에너지를 이용하여 위성액적 형성을 억제할 수도 있으나, 보다 근본적으로는 국부적 속도 및 가속도 편차를 완화시키도록 구동파형을 최적화하는 것이 위성액적 형성 억제에 효과적이라고 판단된다.

후기

이 연구는 지식경제부의 중기거점기술개발사업인 RFID 태그 제작을 위한 인쇄공정 및 장비기술개발 과제(과제번호 10030065)의 일환으로 수행되었습니다. 그리고, 잉크젯 프린트 헤드의 기술적 사양을 공개해준 MicroFab Technologies 에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. Koo, H.S., Chen, M., and Pan, P.C., "LCD-based color filter films fabricated by a pigment-based colorant photo resist inks and printing technology," *Thin Solid Films*, **515(3)**, 896-901, 2006.
2. Zhao, N., Chiesa, M., Sirringhaus, H., Li, Y., Wu, Y., and Ong, B., "Self-aligned inkjet printing of highly conducting gold electrodes with submicron resolution," *J. Appl. Phys.*, **101(8)**, 064513_1-6, 2007.
3. Yang, L., Rida, A., Vyas, R., and Tentzeris, M.M., "RFID Tag and RF Structures on a Paper Substrate Using Inkjet-Printing Technology," *IEEE T. Microw. Theory*, **55(12)**, 2894-2901, 2007.
4. Mäntysalo, M., and Mansikkamäki, P., "An inkjet-deposited antenna for 2.4 GHz applications," *AEU-Int. J. Electron C.*, in press.
5. Reis, N., Seerden, K.A.M., Grant, P.S., and Derby, B., "Ink Jet Printing of Alumina Suspensions in Liquid Wax," *J. Am. Ceram. Soc.*, **84(11)**, 2514-2520, 2001.
6. Dijkstra, J.F., "Hydrodynamics of Small Tubular Pumps," *J. Fluid. Mech.*, **139**, 173-191, 1984.
7. Välimäki, H., Leikkala, J., and Helle, H., "Prediction ability of a lumped-element equivalent-circuit model for thickness-shear mode resonators in liquids," *Sensor Actuat. A-Phys.*, **60(1-3)**, 80-85, 1997.
8. Yu, J-D., and Sakai, S., "Piezo Ink Jet Simulations Using the Finite Difference Level Set Method and Equivalent Circuit," *IS&T's NIP 19th*, 2003.
9. 심원철, 박성준, 김영재, 박창성, 유영석, 정재우, 오용수, "1 차원 Lumped 모델을 이용한 산업용 잉크젯 프린팅 헤드 토출 특성 해석," *한국정밀공학회지*, **24(11)**, 101-107, 2007.