

피에조 잉크젯 헤드의 액적 토출 형상 전산해석

주영철*, 박상국, 권계시
순천향대학교 기계공학과

Numerical Simulation of Inkjet Drop Formation in Piezo Inkjet Head

Youngcheol Joo*, Sangkug Park, Key-Si Kwon

Dept of Mechanical Engineering, Soonchunhyang University

요 약 피에조 DOD(drop-on-demand) 잉크젯 프린팅 방식은 다양한 종류의 잉크를 사용할 수 있기 때문에 최근에 첨단 산업에 적용이 활발히 연구되고 있다. 피에조 잉크젯 헤드에서 토출되는 액적의 형성 과정을 VOF(Volume-of-Fluid) 기법을 이용한 전산해석으로 예측하고 이를 측정결과와 비교하였다. 작동유체는 에틸렌 글리콜 50%와 IPA(Isopropil alcohol) 50%의 혼합액을 사용하였다. 노즐 출구에서 메니스커스 변위의 시간에 따른 변화를 직접 측정하여 노즐 입구의 속도분포를 예측하고 이를 해석의 초기조건 입력자료로 사용하였다. 측정치와 해석치를 비교한 결과 전산해석이 측정치의 액적 형성 과정을 잘 예측함을 알 수 있었다. 주액적 형성과정보다 위성액적 형성과정 예측에 오차가 약간 컸는데, 이는 정지중의 공기에 큰 질량의 주액적이 날아가는 것을 예측할 때는 해석오차가 적지만 주액적에 의해서 주변 공기 유동이 활발해진 상태에서 적은 질량의 위성액적이 날아가는 것을 예측할 때는 해석오차가 상대적으로 커지기 때문이다. 또한 에틸렌 글리콜과 IPA의 혼합 비율을 달리하여 물성치를 변화시킨 다른 잉크에 대해서도 잉크 액적 형상을 예측한 결과 실험 결과를 비교적 정확히 예측할 수 있었다.

Abstract A drop-on-demand inkjet is used widely for various applications. Therefore, it is important to understand the jetting behavior of the drop from the piezo inkjet. In this study, to predict the jetting behavior, VOF (Volume-of-Fluid) simulation techniques were used and compared with the experimental results. The experimentally measured meniscus movement was used as the input data for the simulation. To verify the simulation, the measured jetting behavior of the mixture fluids of ethylene glycol and IPA (isopropyl alcohol), which has a mixing ratio of 50:50, was used. The numerical simulation of the drop formation using various mixture ratios and its comparison with the measured drop formation confirmed that the proposed method can predict the actual jetting. On the other hand, the satellite drop behavior showed slight differences because the small sized droplet is subject to a more aerodynamic effect during flight because the kinetic energy of the satellite droplet is far smaller than that of the main droplet.

Keywords : CFD, droplet formation, ethylene glycol, inkjet, isopropyl alcohol, piezo

1. 서론

잉크젯 프린팅 기술은 기존의 종이에 출력물을 인쇄하는 용도를 넘어 디스플레이 제조공정, 태양광 전지 제조공정 및 3차원 형상물 제조 등 많은 분야에 활용되고 있다[1-4]. 잉크젯 프린팅 기술에는 여러 가지 방식이 있

으나 피에조 DOD(drop-on-demand) 잉크젯 프린팅 방식이 다양한 종류의 잉크를 사용할 수 있기 때문에 첨단 산업에 적용이 활발히 연구되고 있다.

이를 위해서는 잉크 방울을 원하는 위치에 정밀하게 토출시킬 필요가 있다. 주 액적 이외에 위성 액적이 생성되면 잉크 방울을 제어하는데 많은 어려움이 발생한다.

본 논문은 2014년도 순천향대학교 교수 연구년제에 의하여 연구하였음

*Corresponding Author : Youngcheol Joo(Soonchunhyang University)

Tel: +82-41-530-1551 email: ychjoo@sch.ac.kr

Received April 14, 2016

Revised May 16, 2016

Accepted July 7, 2016

Published July 31, 2016

위성액적은 주변 기류의 영향에 쉽게 반응하여 원하는 위치에 떨어지지 못하여 미세 패턴을 형성하기 어렵게 되고 품질을 떨어뜨리는 결정적인 요인이 된다. 따라서 잉크젯 헤드의 액적 토출 형상에 대한 연구가 필요하다.

Wu 등은 Solution Algorithm 기법을 기반으로 VOF(Volume-of-Fluid) 알고리즘과 PLIC(Piecewise Linear Interface Construction) 기법을 결합한 수치해석 기법을 개발하여 피에조 잉크젯 헤드의 액적 토출 특성을 해석하였다. 전산해석 입력자료로 노즐 입구의 압력을 sine 파형으로 가정하였고, 작동유체인 물을 비압축성 유체로 가정하여 Navier-Stokes 방정식과 연속방정식을 풀었다. 작동유체인 물의 액적 토출 특성을 실험을 통하여 측정된 결과와 해석결과를 비교하여 비교적 비슷하다는 결과를 얻었으며, 작동유체의 중요한 물성치인 표면장력과 점도를 변화시킨 가상의 액체에 대해 해석하여 물성치가 액적 토출 특성에 미치는 영향을 연구하였다[5]. Kim과 Son은 미세 노즐에서 액적 형성에 관해 수치해석을 통해 노즐내의 점축각의 변화에 따른 액적 토출의 특성을 연구하였다[6]. N. Reis와 B. Derby는 레이놀즈(Reynolds) 수와 웨버(Weber) 수의 비인 오네소지(Ohnesorge) 수의 역수인 Z 값이 1과 13 사이의 값을 갖도록 파라핀에 알루미늄을 포함시켜 잉크젯 프린팅을 이용하여 세라믹 제조품을 제작하였다. 물질을 포함한 파라핀과 순수한 파라핀의 볼륨 크기에 따른 점도 비의 관계를 보이긴 했지만 점도와 표면장력에 관련한 세밀한 연구는 이루어지지 않았다[7]. Bos 등은 실리콘 오일을 작동유체로 하여 액적 토출 형상을 측정하고 이를 해석결과와 비교하였다. 전산해석의 초기조건 입력자료로 액적이 노즐에서 토출된 직후의 측정자료에서 속도분포를 산출하였다[8]. 이와 같이 피에조 잉크젯 헤드에서 액적의 토출과정을 해석하고 이를 측정자료와 비교한 연구는 많지만 전산해석의 초기조건 입력자료를 심도있게 분석하고 또 이를 바탕으로 물성이 다른 액체의 토출과정을

예측하는 연구는 무척 드물다.

본 연구에서는 피에조 잉크젯 헤드에서 액적 토출에 대해 좀 더 자세히 이해하기 위해 토출 형상을 전산해석을 통하여 예측하고 이를 측정 결과와 비교하였다. 또한 전산해석의 입력자료를 물성이 다른 액체에 대입하여 예측결과와 측정결과를 비교하였으며, 이를 통하여 액적 형성 기구를 좀 더 자세히 이해하고자 한다.

2. 입력자료 및 모델링

2.1 잉크젯 전압 입력 파형

피에조 잉크젯 헤드에서 액적 토출 형태의 측정은 Myong 등[9]과 Kwon[10]의 결과를 이용하였다. 실험에 사용한 잉크젯 헤드는 MicroFab Technologies사의 MJ-AT-01-30 피에조 잉크젯 헤드이고 작동유체는 에틸렌 글리콜(EG, ethylene glycol)과 IPA(isopropyl alcohol)의 혼합액을 사용하였다. 작동유체의 물성치를 Table 1에 나타내었다. 잉크젯 전압 입력 파형은 Fig. 1과 같이 정의된 파형을 인가하였고 상승, 휴지, 하강시간은 각각 6 μ s, 20 μ s, 6 μ s씩 주었다. 인가되는 전압을 변화시켜가며 잉크젯 액적이 토출되기 직전의 메니스커스의 거동, 토출될 때의 액적 형상을 관찰하였다.

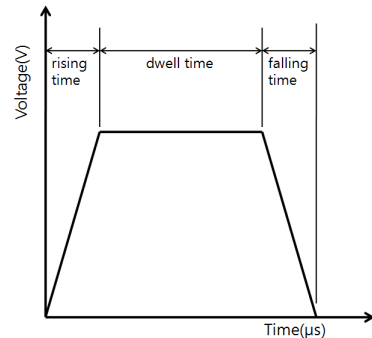


Fig. 1. Input voltage wave for the piezo-inkjet head [10, 11]

Table 1. Properties of jetting fluid

	Jetting Fluids (volume fraction)	Density (kg/m ³)	Surface Tension (mN/m)	Viscosity (mPa·s)	Z number
1	EG	1155	47.01	15.8	3.30
2	EG0.75+IPA0.25	1032	26.59	9.3	3.98
3	EG0.5+IPA0.5	975	25.144	7.68	4.56
4	EG0.25+IPA0.75	864	22.479	4.45	7.01
5	IPA	797	20.344	2.17	13.12

2.2 메니스커스 변위측정 및 입력 속도함수

잉크젯 헤드를 통해 토출되는 액적을 전산해석으로 구하기 위해서는 노즐 입구 부분에서 작동유체의 시간에 따른 속도 혹은 압력 변화를 알아야 한다. 하지만 노즐 내부의 유체유동이나 압력 변화를 직접 측정하기는 매우 어렵다. 따라서 토출이 시작되는 전압보다 아주 조금 낮은 전압인 19V를 피에조에 가하여 메니스커스의 시간에 따른 변위를 구하였다. 에틸렌 글리콜과 IPA의 체적비 50%:50%의 혼합물을 작동유체로 하여 시간에 따른 변위 측정을 한 결과 Fig. 2와 같은 결과를 얻었다.

측정된 변위 데이터를 Matlab을 이용하여 곡선 맞춤하여 22차 Fourier 급수 식을 얻었다. Fig. 2에 곡선 맞춤하여 얻은 함수 그래프와 실험 측정치를 함께 나타내었는데 230 μ s 이후의 값을 제외하면 두 값이 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

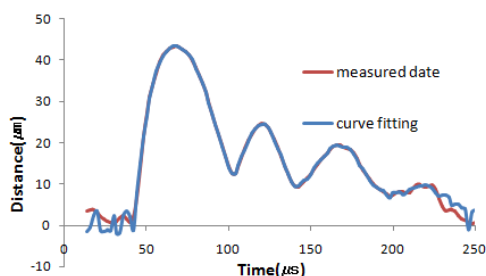


Fig. 2. Measured meniscus motion at the nozzle outlet and the curve fitting of the motion

이렇게 얻어진 변위에 대한 22차 Fourier 급수를 시간에 관하여 미분하여 메니스커스의 속도 함수를 산출하였다. 전산해석에서는 노즐 입구에서 액체의 속도함수가 입력자료로 사용되기 때문에 잉크를 비압축성이라고 가정하고 연속방정식을 이용하여 메니스커스 속도함수로부터 노즐 입구에서의 속도함수를 구하였다.

2.3 모델링

잉크젯을 통해 토출되는 액적의 형태를 파악하기 위해 열유체 전용 해석 프로그램인 ANSYS Fluent를 사용하였다. 잉크젯에서 액적이 토출될 때 잉크 방울은 공기 중에 자유표면을 형성한다. 잉크의 물성에 따라 여러 가지 형태의 자유표면을 가진 잉크가 토출되게 되는데 이는 ANSYS Fluent의 multigrid method를 이용한 VOF(Volume of Fluid) 모델에 의해 계산된다. 이는 다

음과 같은 explicit scheme으로 풀어진다.

$$\frac{\alpha_q^{n+1} - \alpha_q^n}{\Delta t} V + \Delta(U_f^n \alpha_{qf}^n) = 0 \quad (1)$$

여기서 $n + 1$ 은 새로운(현재의) time step, n 은 이전의 time step, α_q 는 cell내의 q^{th} 유체의 볼륨 조각, α_{qf} 는 q 번째 볼륨 조각의 면의 처음 혹은 두 번째 경사면의 값에 대한 계산법, V 는 체적, U_f 는 면을 관통하는 체적유동을 의미한다[11].

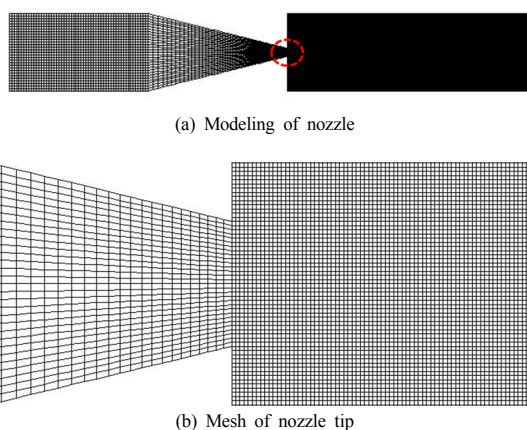


Fig. 3. Modeling of numerical analysis

모델링을 하기 전에 계산영역을 선정하는 것이 중요하다. 피에조에 의한 압력파를 입력 데이터로 사용하여 계산하지 않고 메니스커스의 변위를 측정하여 구한 속도 함수를 입력하여 전산해석을 실행하기 때문에 피에조 잉크젯 헤드의 전체 모델링은 의미가 없다. 하지만 노즐 내부 접촉각은 액적 토출형상에 영향을 미치므로 매우 중요하다. 노즐 모델링은 잉크가 토출되는 노즐로부터 테이퍼 각이 끝나는 부분을 포함시켜 모델링하였다. 해석 대상이 θ 방향 대칭인 것을 이용하여 2차원 원통좌표계로 해석하였다. Fig. 3에 나타낸 바와 같이 노즐의 직경은 50 μ m이며 자유표면이 형성되는 외부 공기 영역의 길이는 1500 μ m이고 폭은 458 μ m이다. 격자형태는 사각으로 격자수는 86,250개이다. 노즐부를 기준으로 노즐내의 계산이 많이 필요치 않은 부분은 격자를 크게 하고 노즐부와 계산이 많은 부분은 격자를 조밀하게 생성하였으며 계산성이 좋게 하기 위해 노즐부터 출구쪽 공기부분은 정사각형 격자를 생성하였다.

3. 전산해석 결과

3.1 토출전압보다 조금 낮은 전압에서 메니스커스의 거동

2.2절에서 얻은 노즐 입구에서의 액체 속도함수를 입력자료로 하여 ANSYS Fluent를 이용하여 액체의 거동을 전산해석하였다. 잉크를 비압축성이라고 가정한 오차, 측정 데이터의 곡선맞춤 오차 등의 원인으로 인하여 해석결과가 측정결과보다 약간 높은 값을 나타내었다. 이에 속도함수에 보정계수 0.9를 곱하여 얻은 해석결과를 Fig. 4에 나타내었다. 보정계수 0.9는 시행착오법으로 찾아내었다. Fig. 4에서 해석결과와 측정결과가 평균 3 μm 의 오차값을 나타내었다.

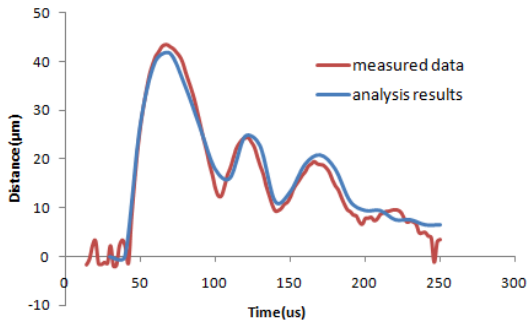


Fig. 4. Measured time variation of meniscus displacement at the nozzle outlet, and the analytic results obtained by CFD analysis

3.2 액적 토출 형상

Figure 5. (a)에 잉크젯 헤드에 30V의 전압을 가했을 때의 액적 형상을 나타내었다. 작동유체는 EG 50%와 IPA 50%의 혼합물이다. 노즐이 수직으로 장착되어 잉크 액적이 수직 아래방향으로 토출되었지만 그림에서는 시간에 따른 액적 토출 형상을 비교하기 위해 90도 회전하여 표시하였다. 노즐에서 토출되면서 주액적 뒤에 꼬리가 생성되다가 140 μs 에 노즐에서 분리된다. 180 μs 에 꼬리가 주액적에서 분리되어 뚜렷한 위성액적이 형성된다. 그 이후에는 주액적과 위성액적 사이의 거리가 같은 것을 보아 주액적의 속도와 위성액적의 속도가 같은 것을 알 수 있다.

이를 전산해석으로 예측하기 위해 3.1절에서 기술한 입력함수에 전압비를 곱한 값을 이용하여 해석하였다. 즉 Fig. 4를 해석할 때 사용하였던 노즐 입구에서의 속

도함수에 전압의 비인 30V/19V를 곱한 값을 입력함수로 하여 전산해석을 한 결과 Fig. 5 (b)의 결과를 얻었다. 해석결과도 측정결과와 마찬가지로 노즐에서 토출되는 주액적 뒤에 꼬리가 생성되다가 140 μs 에 노즐에서 분리되고 180 μs 에 뚜렷한 위성액적이 형성된다.

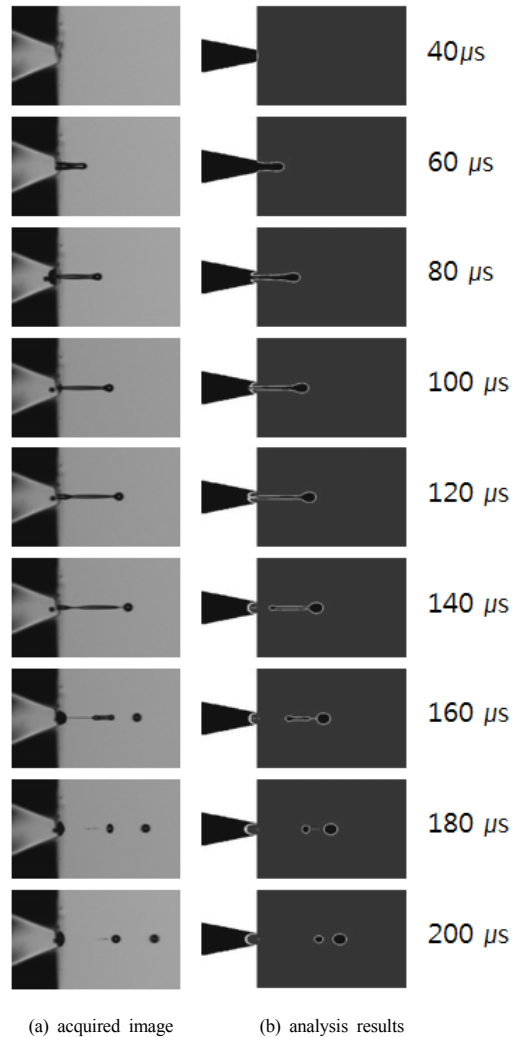


Fig. 5. Inkjet drop formation of the mixture of ethylen glycon 50% and IPA 50% (30V)

해석결과와 측정결과를 더욱 자세히 비교하기 위해 Fig. 6에 시간에 따른 주액적의 위치와 위성액적의 위치를 나타내었다. 잉크 액적은 수직 아래쪽으로 토출되었다. 그래프의 실선은 노즐 출구와 주액적 선단과의 거리를 나타내고 점선은 노즐 출구와 위성액적 선단과의 거

리를 나타낸다. 노즐 출구와 액적 선단과의 거리를 나타내었기 때문에 주액적 뒤에 나타나는 꼬리는 그래프에 표시할 수 없었다. 측정 결과에서 주액적은 35 μ s까지는 노즐 출구 내에서 진동하고 있어서 겉에서 관찰되는 변위의 변화가 없다가 35 μ s 이후에 토출되기 시작하여 변위가 늘어난다. 초기에는 토출 속도가 빠르다가 약 100 μ s 이후에 속도가 약간 늦어져서 시간-변위 곡선의 기울기가 줄어드는 것을 볼 수 있다. 140 μ s까지는 주액적 뒤에 꼬리가 달려 있다가 140 μ s에 꼬리가 분리되면서 위성액적이 생성되는데 이는 Fig. 6에서 140 μ s에 위성액적이 생성되는 것으로 나타내어진다. 위성액적의 속도는 발생 초기에는 무척 빠르다가 약 150 μ s 부터는 위성액적 형성이 안정되어 주액적과 비슷한 속도를 나타낸다.

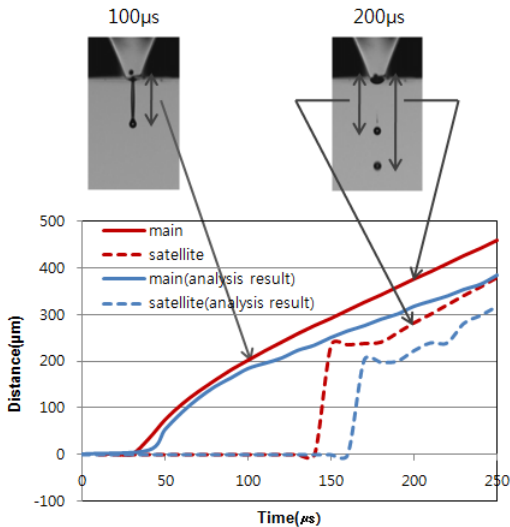


Fig. 6. Distance of the inkjet drop tip from the nozzle outlet

해석결과와 주액적은 측정치에 비하여 약 5 μ s 가량 늦게 토출되지만 변위를 전체적으로 매우 흡사하게 예측함을 알 수 있다. 이에 반해 해석결과와 위성액적은 측정치에 비해 약 15 μ s 가량 늦게 생성되며 변위의 차이도 주액적 보다는 크게 나타났다. 위성액적의 거동예측 오차가 주액적의 거동예측 오차보다 큰 이유는 두가지로 생각되는데, 첫째 이유는 정지중의 공기에 큰 질량의 주액적이 날아가는 것을 예측할 때는 해석오차가 적지만 주액적에 의해서 주변 공기 유동이 활발해진 상태에서 적은 질량의 위성액적이 날아가는 것을 예측할 때는 해

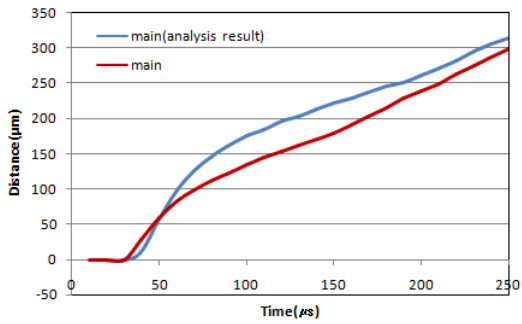
석오차가 상대적으로 커지기 때문이다. 두 번째 이유는 전산해석을 할 때 밀도, 표면장력, 점도 등 기존에 잉크 액적 형성에 중요한 요인이라고 알려져 온 물성치들을 대입했는데 이 이외에 다른 중요한 물성치가 있을 수 있다는 것이다. 예를 들어 액체의 탄성계수 등이 위성액적 형성에 큰 영향을 미치는데 본 해석에서는 이를 고려하지 않았다. 향후 이에 대한 연구가 필요하다.

4. 잉크 물성치 변화에 따른 액적토출 예측

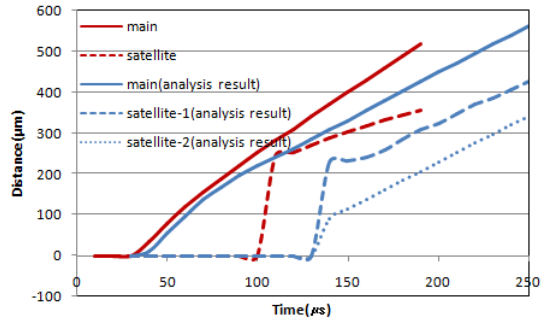
디스플레이 제조공정이나 3차원 형상물 제조 공정 등 산업 현장에서는 단일한 물성의 잉크만 제조공정에 사용되는 것이 아니라 다양한 물성의 잉크가 사용된다. 3절에서 잉크가 토출되는 전압보다 아주 조금 낮은 전압을 가하여 메니스커스의 거동을 측정하고 이를 입력자료로 하여 잉크의 토출을 예측하였다. 그러나 잉크의 물성치가 변할때마다 메니스커스의 거동을 측정하기는 무척 어렵다. 이에 3.2절에서 사용한 노즐 입구에서 액체의 속도함수 입력자료를 그대로 사용하고 물성치만 바꾸었을 때 전산해석이 실제 잉크젯 액적의 토출을 잘 예측할 수 있는지를 연구하였다.

Table 1에 액적 측정과 전산해석에 사용한 여러 가지 잉크의 특성을 나타내었다. 에틸렌 글리콜과 IPA의 혼합비를 조금씩 바꾸어 5가지 혼합물을 만들었다. 2.2절에서 기술한 메니스커스 측정은 3번 EG0.5+IPA0.5로 하였고, 이때 얻은 노즐 입구에서의 속도함수 입력자료를 나머지 1, 2, 4, 5번의 잉크에 적용하여 잉크젯 액적의 형성과정을 예측하였고 이를 측정치와 비교하였다.

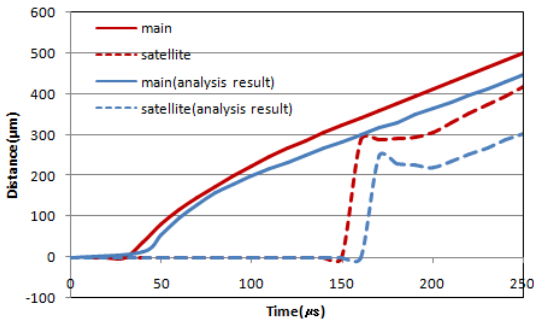
Figure 7에 해석결과와 측정치를 비교하였다. 주액적의 거동은 해석치와 측정치가 거의 일치하였다. 특히 입력자료인 3번 잉크(EG0.5+IPA0.5)와 비교적 물성치가 비슷한 2번(EG0.75+IPA0.25)과 4번(EG0.25+IPA0.75) 잉크는 해석치와 측정치가 거의 흡사하였다. 그러나 위성액적은 주액적 보다는 좀 더 큰 차이를 보이고 있다. 이는 3.2절에서 설명한 이유로 위성액적 형성 예측이 주액적 형성 예측보다 오차가 크기 때문이라 생각된다.



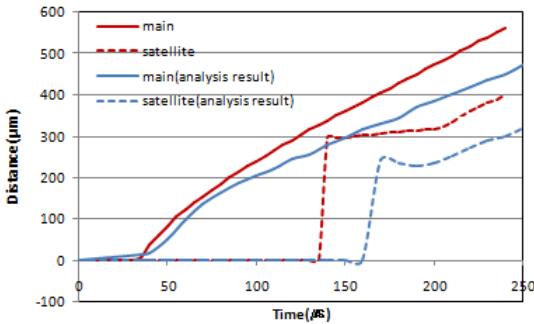
(a) EG (34V)



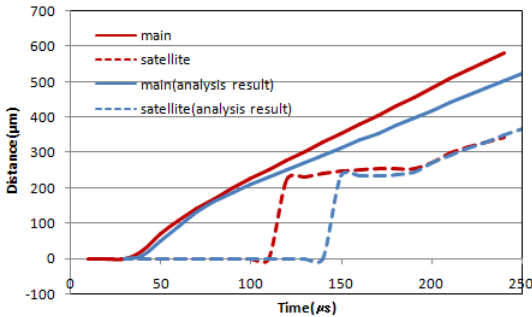
(e) IPA (32V)



(b) EG0.75+IPA0.25 (32V)



(c) EG0.5+IPA0.5 (32V)



(d) EG0.25+IPA0.75 (32V)

Fig. 7. Distance of the inkjet drop tip from the nozzle outlet of various inkjet fluids

5. 결론

피에조 잉크젯 헤드에서 토출되는 액적의 형성 과정을 측정하고 ANSYS Fluent를 이용하여 전산해석을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 노즐 출구에서 메니스커스 변위의 시간에 따른 변화를 직접 측정하여 노즐 입구의 속도분포를 예측하고 이를 해석의 입력자료로 사용하였다. 측정치와 해석치를 비교한 결과 전산해석이 측정치의 액적 형성 과정을 잘 모사함을 알 수 있었다.
2. 메니스커스를 측정한 잉크와 물성치가 다른 잉크에 대해서도 잉크 액적 형상을 비교적 정확히 예측할 수 있었다.
3. 주액적 보다는 위성액적의 예측치와 측정치 오차가 컸는데 이는 해석에 사용한 액체의 물성치인 밀도, 표면장력, 점도 외에 다른 중요한 물성치가 있을 수 있는 가능성을 제시하고 있으며, 향후 탄성계수 등 다른 물성치를 전산해석에 포함하여 연구할 필요가 있다.

References

[1] Herman Wijshoff, "The dynamics of the piezo inkjet print head operation," Physics Reports, Vol. 491, pp.77-177, 2010.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physrep.2010.03.003>

[2] Seogsoon Kim, Dongsoo Kim, Wonhee Lee, Dongyun Shin, Chounghwan Kim, "Ink-jet Printing Technology for Paradigm Shift in Mass Production," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 23, No.

8, pp.15-21, 2006

- [3] Sang-Kwon Wee, Seyoung Oh, Jung Yong Lee, Yu-Seop Lee, and Jaewoo Chung, "A Study on Droplet Formation from Piezo Inkjet Print Head", Transactions of the KSME B, Vol.30, No.10, pp.1003-1011, 2006.
- [4] J.H. Yoo, Y.W. Park, "Study of Jetting Performance of Magnetostrictive Inkjet Head According to Fluid Properties," Korean Society for Precision Engineering Fall Conference, pp.79-80, 2010.
- [5] Wu, H. C., Hwang, W. S. and Lin, H. J., "Development of a Three-Dimensional Simulation System for Micro-Inkjet and Its Experimental Verification," Material Science and Engineering A, Vol. 373, pp.268-278, 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.msea.2004.01.043>
- [6] Sungil Kim, Gihun Son, "Numerical Study on Drop Formation Through a Micro Nozzle," Transactions of the KSME B, Vol. 29, No. 2, pp.205-213, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.3795/ksme-b.2005.29.2.205>
- [7] Derby, B. and Reis, N., Inkjet Printing of Highly Loaded Particulate Suspensions, MRS Bulletin, November, pp.816-818, 2003.
- [8] Aran der Bos, Mark-Jan van der Meulen, Theo Driessen, Marc van der Berg, Hans Reinten, Herman Wijshoff, Michel Versluis, and Detlef Lohse, "Velocity profile inside piezoacoustic inkjet droplets in flight: Comparison between experimental and numerical simulation," Physical Review Applied, Vol. 1, 2014.
- [9] J.H. Myong, K.S. Kwon, T.J. Um, Y.Ch. Joo, S.W. Lee, "Experimental study of waveform effect on jetting performance," Korean Society for Precision Engineering Fall Conference, pp.273-274, 2008.
- [10] Kye-Si Kwon, "Experimental analysis of waveform effects on satellite and ligament behavior via in situ measurement of the drop-on-demand drop formation curve and the instantaneous jetting speed curve," Journal of Micromechanics and Microengineering, Vol. 20, 115005, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/0960-1317/20/11/115005>
- [11] FLUENT 5 User's Guide, FLUENT inc, 1998.

박 상 국(Sang-Guk Park)

[준회원]



- 2015년 2월 : 순천향대학교 기계공학과 (공학사)
- 2015년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 대학원 기계공학과 (기계공학석사 과정중)

<관심분야>
잉크젯, 열-유체

권 계 시(Kye- Si Kwon)

[정회원]



- 1999년 8월 : KAIST 기계공학과 (공학박사)
- 2012년 1월 ~ 2012년 12월 : Palo Alto Research Center (PARC) 방문 연구원
- 2006년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 기계공학과 교수
- 2013년 1월 ~ 현재 : 주식회사 피에스 대표이사

<관심분야>
잉크젯, 프린팅, 인쇄전자

주 영 철(Youngcheol Joo)

[정회원]



- 1986년 2월 : KAIST 기계공학과 (공학석사)
- 1993년 5월 : University of California, Los Angeles 기계공학과 (공학박사)
- 1993년 6월 ~ 1995년 9월 : University of California, Los Angeles Postdoctoral Fellow

- 1995년 10월 ~ 1999년 2월 : 삼성자동차 엔진설계실 책임 연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 순천향대학교 기계공학과 교수

<관심분야>
기계공학, 열전달, 유체역학, 자동차