

적층형 압전 액추에이터를 이용한 나노리터급 액적 젯팅용 마이크로 디스펜서

A Micro Dispenser Using Multilayer Piezoelectric Actuator for Nanoliter Droplet Jetting

함영복, *#서우석, 공태우, 최형일, 차재곤, 박중호, 윤소남

Y.-B. Ham, * #W.-S. Seo(woosseo@kimm.re.kr), T.-W. Kong, H.-I. Choi, J.-G. Cha, J.-H. Park, S.-N. Yun
한국기계연구원 나노기계연구본부 스마트디바이스응용팀

Key words : Dispenser, Nanoliter, Droplet Jetting, Piezoelectric Actuators

1. 서론

최근, 초정밀기기·반도체 산업분야, 화학 공정장비 산업분야 및 의료·바이오 산업분야 등 국가 기술경쟁력 강화를 위한 차세대 고부가가치 산업분야에서 IT, BT, NT 와 같은 신기술의 융·복합화, 초정밀화 및 환경친화 기술개발 요구 등이 강화됨에 따라 기능성 액적을 초정밀·정량 토출하는 디스펜싱 기술이 요구되는 분야가 증가하고 있다.

기능성 액체는 탄소나노튜브, 은-나노입자 등을 함유한 금속 나노입자 기반 전도성 액체 및 LEP(Light Emitting polymer), OLED(Organic Light Emitting Diodes), 나노 세라믹 등의 유·무기 고분자 기반 하이브리드 액체 등을 의미하며, 직경 수십~수백 μm 의 나노리터급 액적 형태로 토출시켜 극미세 패턴 형성, 반도체 패키징 공정 등에 사용되고 있다. 이러한 기능성 액적의 적용분야로는 전계방출 디스플레이(FED: Field Emission Display), 유기박막 트랜지스터(OTFT: Organic Thin-Film Transistor), 유기 태양전지, RFID, 플렉서블 OLED 디스플레이, 바이오 일렉트로닉스 소자 및 BIO-MEMS 등, 차세대 정보·전기·전자소자 및 의료·바이오 소자 개발 등에 활발히 적용되고 있다.

기능성 액적을 초정밀·정량 토출하기 위한 디스펜싱 방법으로 기존의 압축공기와 밸브(니들밸브 또는 솔레노이드 밸브)를 이용한 공기압 구동방식 디스펜서를 이용하고 있으나, 공기의 압축성 및 밸브의 동특성 한계 등으로 인한 문제점으로 고주파수 영역에서 사용이 곤란하며, 공기압 부품들의 신뢰성 확보 측면에서도 기능성 액적을 나노리터 수준에서 고속·정량으로 디스펜싱하기에는 어려운 현실이다. 한편, 기능성 액적의 극미세 패턴 형성을 위하여 기존의 압전 잉크젯 기술을 적용하는 방안이 시도되고 있으나, 잉크젯 프린팅 기술에서 토출가능한 점도범위의 제한(10cPs 이하의 저점도), 액적 직경의 크기 및 액적 토출 체적의 좁은 변조범위(pL 스케일) 및 잦은 노즐막힘으로 인한 유지보수 비용의 증가 등에 따른 생산성 저하로 인하여 고점도의 기능성 액적을 디스펜싱하는 분야에 적용하기에는 한계가 있다. 탄소나노튜브, 나노세라믹 등 함유된 나노입자에 따라 기능성 액체는 수십~수백 cPs의 다양한 점도범를 가지며, 적용분야에 따른 다양한 종류의 기능성 액적을 극미세와 동시에 정량 디스펜싱 하기 위해서는 기존의 잉크젯 프린팅 기술의 한계를 극복하는 디스펜싱 헤드의 개발이 요구된다. 최근 소형이면서 제어가 용이하고, 고속응답성 및 높은 발생력(blocking force)을 가지는 압전 액추에이터(piezoelectric actuator)를 구동원으로 이용한 압전구동 디스펜서의 개발이 가속화 되고 있다.¹⁻³

본 연구에서는 인가전압에 대한 빠른 응답성, 큰 발생력 및 낮은 구동전압 특성을 가지는 적층형 압전 액추에이터를 구동원으로 하여 나노입자 기반 전도성 액체 및 유무기 고분자 기반 하이브리드 액체 등과 같은 기능성 액체를 초정밀·정량 토출하기 위한 압전구동 마이크로 디스펜서를 설계, 제작하고 액적 토출 특성을 실험적으로 검토한다.

2. 압전구동 마이크로 디스펜서

압전구동 디스펜서는 압전 액추에이터에 인가되는 구동전압, 구동 주파수 및 구동전압의 파형 변화에 따라 액적 토출량 제어가 가능하며, 큰 발생력을 가지는 압전 액추에이터를 구동원으로 사용함으로써 다양한 점도범위를 갖는 기능성 액체의 극미세, 정량토출이 가능하다. 기존의 연속 토출방식 공기압 구동 디스펜서와 비교하여 압전구동 디스펜서는 DoD(Drop-on-Demand) 방식의 비접촉식 액적 젯팅 방식을 채용함으로써 액적 디스펜싱 균일도를 향상시켜 고집적 미세패턴 형성 등에 응용할 수 있다.

압전 디스펜서의 구동방식은 적층형 압전 액추에이터의 축방향 변위를 이용한 누름모드(Push mode) 방식, 압전 박막의 굽힘변위를 이용한 굽힘(Bending mode) 방식 및 모세관 주위를 둘러싼 중공형 압전 액추에이터의 반경방향 변위를 이용한 짜내기모드(Squeeze mode) 방식으로 구분된다.

Fig. 1은 본 연구에서 제안한 적층형 압전 액추에이터를 이용한 누름모드(Push mode) 구동방식 마이크로 디스펜서의 구조 및 단면도를 나타낸다. 제안하는 압전구동 디스펜서의 구조는 적층형 압전 액추에이터, 마이크로 노즐, 누름판, 다이어프램, 2 개의 액체 유입포트 및 하우징으로 구성되어 있다. 적층형 압전 액추에이터의 축방향 변위에 의해 누름판은 다이어프램의 변위를 발생시키고, 2 개의 포트를 통하여 유입된 액체는 다이어프램 변위에 따라 챔버 내부체적이 변하게 되고 노즐을 통하여 액적형태로 토출된다.

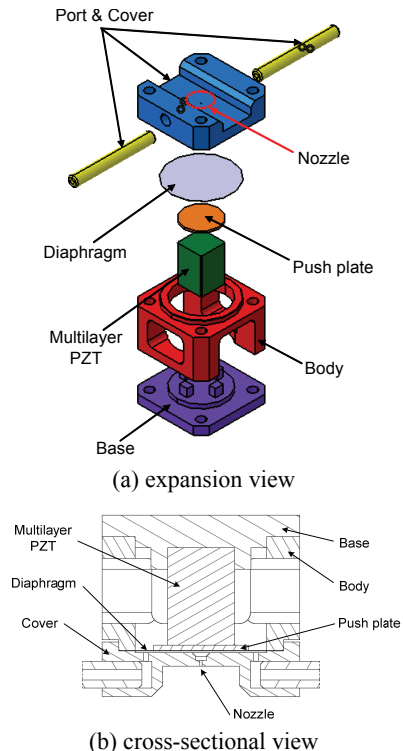


Fig. 1 Construction of proposed piezoelectric driven micro dispenser

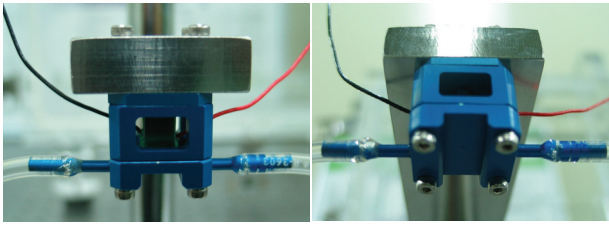


Fig. 2 Photographs of the fabricated micro dispenser

Table 1 Design parameters of piezoelectric driven micro dispenser

Parts	Dimensions
Overall dimensions	L 18 × W 18 × H 16.7 mm ³
Nozzle diameter and length	φ200 μm, L 500 μm
Diaphragm	φ15 mm, t 20 μm (SUS)
Push plate	φ8.6 mm, t 500 μm (SUS)
Multilayer PZT actuator	L 5 × W 5 × H 9 mm ³ (PSt 150/5×5/7, Piezomechanik GmbH)

제작된 압전구동 디스펜서의 사진을 Fig. 2에 나타낸다. 디스펜서의 전체치수는 18mm × 18mm × 16.7mm이며, 다이어프램과 노즐커버 사이에 형성된 챔버높이는 200μm이다. 액적이 토출되는 노즐의 치수는 직경 200μm, 길이 500μm로써, 노즐의 직경과 길이의 세장비(aspect ratio)는 1:2를 갖도록 설계하였다. Table 1에 본 연구에서 제작된 압전구동 디스펜서의 설계 파라미터를 나타낸다.

3. 액적 디스펜싱 특성

2장에서 논한 압전구동 디스펜서의 액적 토출 특성을 실험적으로 검토하였다. 먼저, 적층형 압전 액추에이터의 변위량에 따른 다이어프램의 변위특성 실험을 수행하였다. Fig. 3은 압전 액추에이터의 구동 주파수 변화에 따른 다이어프램의 변위량을 측정된 실험결과를 나타낸다. 적층형 압전 액추에이터에는 0~150V_{pp}의 구형파를 인가하였으며, 구동주파수의 변화에 따른 다이어프램 변위량은 약 8.2μm로 비교적 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다.

다음으로 제작된 압전구동 디스펜서의 액적 토출 특성 실험을 수행하였다. 압전 액추에이터의 인가전압과 구동 주파수 변화에 따른 액적 토출량 측정결과를 Fig. 4에 나타낸다. 압전 액추에이터에는 0~100V_{pp}, 0~125V_{pp}, 및 0~150V_{pp}의 구형파(duty ratio 50%)를 인가하였으며, 구동 주파수는 1~20Hz로 변화하였다. 디스펜싱 대상 액체는 탈이온수(deionized water)를 사용하였으며, 기포에 의한 액적 토출 특성의 변화를 줄이기 위하여 진공챔버를 이용한 탈기(脫氣)작업을 수행하였다. Fig. 4의 결과로부터, 구동 주파수

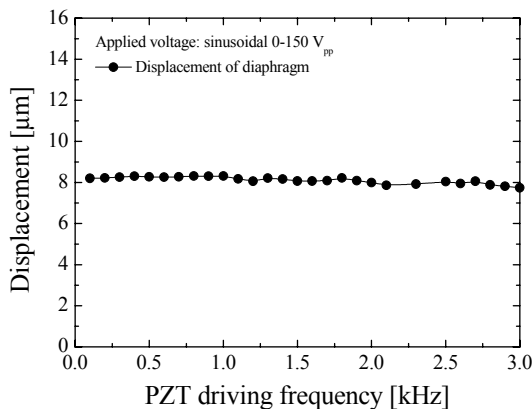


Fig. 3 Diaphragm displacement versus PZT driving frequency

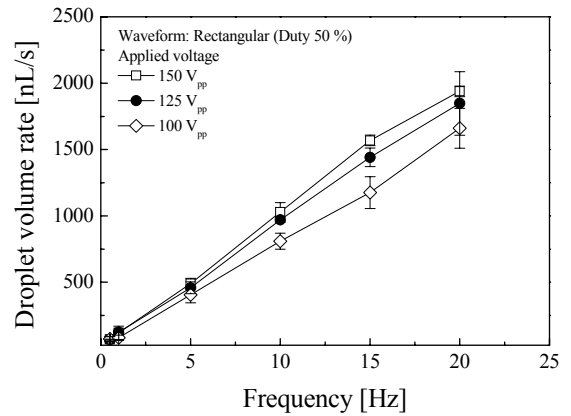


Fig. 4 Droplet dispensing characteristics of fabricated piezoelectric driven micro dispenser

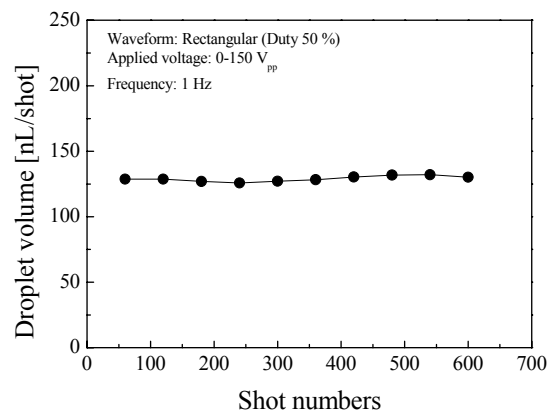


Fig. 5 Aging characteristics of droplet volume

의 증가에 따른 액적 토출량은 선형적으로 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 구동 전압의 상승에 따라 액적 토출량이 증가하는 결과로부터, 본 압전구동 디스펜서는 구동 전압 및 구동 주파수 변화에 따라 액적 토출량의 제어가 가능함을 알 수 있다.

Fig. 5는 압전구동 디스펜서가 1회 액적 토출시, 토출된 액적 체적의 경시변화(aging characteristics) 특성 실험결과를 나타낸다. 구동 전압 0~150V_{pp} 구형파, 구동 주파수 1Hz 조건에서 600회 연속구동시 1회 액적 토출량은 125~130nL가 얻어졌으며, 액적 토출시 경시변화 특성은 비교적 일정하게 유지되고 있는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 적층형 압전 액추에이터를 구동원으로 이용한 기능성 액적의 초정밀·정량 토출을 위한 압전구동 마이크로 디스펜서를 제안, 제작하고 액적 토출 특성을 실험적으로 검토하였다. 향후, 다양한 점도범위를 갖는 기능성 액체의 적용, 액적 토출의 가시화 및 제어성능 향상 등에 관한 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

1. P. Bingger, E. Just, P. Woias, "A microdispenser based on the piezo-polymer-composite technology," Proc. of Actuator 2006, 285-288, 2006.
2. Chris P. Steinert *et al.*, "A highly parallel picoliter dispenser with an integrated, novel capillary channel structure," Sensors and Actuators A: Physical, **116**, 171-177, 2004.
3. R. Steger *et al.*, "Two-dimensional array of piezostack actuated nanoliter dispensers," Proc. of Actuator 2002, 537-541, 2002.