

일체형 노즐을 이용한 정전기 마이크로 추진 장치

양지혜* · 김용재** · 변도영* · 이석한*** · 한상준*** · 고한서**

Electrostatic Micro Thruster with Monolithic Nozzle

Ji Hye Yang* · Yongjae Kim** · Doyoung Byun* · Sukhan Lee*** · Sang Joon Han*** · Han Su Go**

ABSTRACT

This paper presents a novel mechanism of electrostatic micro thruster using based on a layered electrode structure of nozzle. A comparison between experiment and simulation studies indicates that the proposed mechanism allows at less than 100 volt of operating voltage for the micro thruster.

초 록

본 논문은 적층된 전극 구조의 노즐을 이용한 정전기 마이크로 추진 장치의 새로운 메커니즘을 제시하고 있다. 실험과 시뮬레이션 결과를 비교해 볼 때 제안된 메커니즘은 pico-liter 부피를 가진 액적의 분출과 최소 100volt 이하의 요구 전압이 가능함을 보여주고 있다.

Key Words: micro thruster(마이크로 추진 장치), electrostatic ejector(정전기 발사장치), monolithic nozzle(일체형 노즐)

1. 서 론

MEMS 기술의 발달은 마이크로 사이즈의 전기장치 생산을 가능하게 함으로써 많은 기계장치들의 변혁을 이끌고 있다. 이는 저비용, 발사시의 적은 위험, 무중력 상태에서의 정확한 자세 제어 등을 요구하는 우주 비행체를 마이크로 우주비행체로 대체할 수 있을 것이다[1], 따라서 MEMS 기술을 이용한 마이크로 추진 장치에

대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다[2].

마이크로 추진 장치를 위해 열기포(thermal bubble), 압전(piezoelectric), 정전(electrostatic), 플라즈마(plasma)등을 이용한 여러 기법이 시도되었다[3-5]. 그러나 이런 기존의 장치들은 분사 빈도(ejection frequency), 노즐분포밀도의 기본적인 한계를 가지고 있다.

여러 마이크로 추진 장치 중 마이크로 콜로이드 추진 장치(micro colloid truster)는 제어의 용이성, 높은 에너지 효율, 일정한 μN 의 추력을 낼 수 있는 장점 때문에 마이크로 비행체의 실현 가능성을 가장 많이 가지고 있다[6].

* 건국대학교 항공우주공학과

** 성균관대학교 정보통신공학부

*** 성균관대학교 기계공학부

연락처, E-mail: dybyun@konkuk.ac.kr

최근 마이크로 콜로이드 추진 장치(micro colloid truster)는 정전기 분사방법이 이용되고 있으나, 이 역시 고전압이 필요하다는 한계점을 가지고 있다.

본 논문은 적층된 전극 구조의 일체형 노즐을 이용한 정전기 마이크로 추진 장치의 새로운 메카니즘을 제시함으로써 미세 액적 형성의 한계점을 해 결할 수 있음을 보여주고 있다. 정전기 장치에서 액적의 형성과 분출을 확인하기 위해 거시적 규모(macro scale)에서 실험을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과와 비교해 볼 때, pico-liter 부피의 액적의 분출과 최소 100volt이하의 요구 전압에서 가능함을 보여주고 있다.

2. 실험적 방법

2.1 실험장치 구성

본 논문에서 제안된 메카니즘의 타당성을 확인하기위해 거시적 규모(macro scale)에서 실험을 수행하였다. 실험은 고속카메라로 액적의 형성을 관찰하였으며, 실험대상은 내경이 200 μ m인 붕규산염 유리(borosilicate glass) 정사각형 채널을 이용하여 제작하였다.

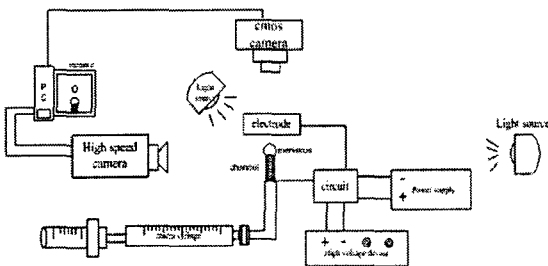


Fig. 1 Schematic of the experimental setup

Fig. 1은 전체 실험 장치 구성을 보여주고 있다. 전압 공급을 위해 고전압 장치, DC power supply와 회로를 이용하였다. 액적 형성과 토출을 촬영하기 위해 고속카메라(IDT)를 이용하였으며, 전극과 채널의 정렬 상태를 확인하기 위해 채널에 수직인 방향으로 cmos 카메라를 설

치하였다. 카메라 앞에 4:1 줌 렌즈와 micro-nikkor 105mm 렌즈를 장착하였다. 광원은 할로겐램프(50W)를 사용하였고, 역광(back light)으로 설치하였다. 액체의 공급은 250 μ l 마이크로 주사기(TLL 1725, hamilton)와 측미척(micromete)r를 이용하였으며, 미세 누출을 막기 위해 너트(nut)등을 사용하여 테플론 튜브와 주사기를 연결하였다. 아래 Fig .2는 실험장치 사진을 보여주고 있다.

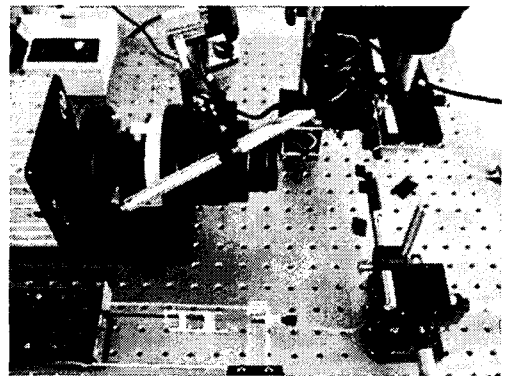


Fig. 2 Photo of the experimental setup

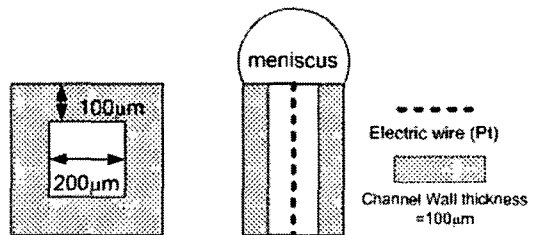


Fig. 3 Top view and side view of borosilicate glass square channel

Fig. 3은 실험대상 마이크로 채널의 모양과 크기를 나타내고 있다. 두께가 100 μ m인 정사각형 모양의 유리 채널(vitrocom)이며, 채널 안에 굵기 100 μ m 이하의 백금 선을 삽입하였다.

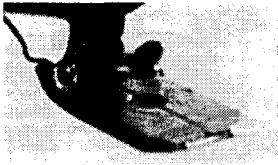


Fig. 4 Al electrode

그리고 전극으로는 사각형에 지름이 1.8 mm 인 구멍이 뚫어져 있는 알루미늄 사용하였다. 전극을 XYZ 매니퓰레이터(manipulator)에 고정시키기 위해 Fig. 4처럼 직각으로 굽혀지는 부분이 존재하게 된다. 이는 완전 평면인 전극을 사용할 때와 조금 다른 전기장 분포를 가지게 되는 원인으로 작용하게 된다.

2.2 측정방법

실험 대상인 채널 내부로 연결된 전선에는 -극을 연결하고, 전극에는 +극을 연결하였다. 액체 메니스커스(meniscus)의 빠른 증발에 영향을 주지 않을 정도의 거리에 조명을 위치하였다. Cmos 카메라를 이용하여 채널이 전극의 홀 중심에 오도록 10 %오차 이내에서 정렬을 맞추었다. 마이크로 주사기를 이용하여 액체(DI water)의 메니스커스(meniscus)를 형성한 후, 전압을 가하여 4000 fps, 노출시간 150 μ s의 조건에서 고속카메라를 사용하여 1024x128 해상도(pixel)로 촬영하였다.

본 실험은 전극과 채널사이의 거리, 전압, 접촉각(채널과 메니스커스(meniscus)가 이루는 각도)의 3가지 변수를 가지고 수행하였다. 아래의 표에서 숫자는 접촉각(contact angle)을 달리하여 실험을 수행한 횟수를 나타낸다.

Table 1. Experimental condition

거리 \ kV	2.5	2.8	3.0	3.5	4.0	5.0
2mm	7	5	4	-	-	-
3mm	-	-	5	5	6	6

3. 결과 및 토의

Fig. 5은 가해진 전압, 채널과 전극 사이의 거리, 그리고 채널과 meniscus가 이루는 접촉각(contact angle)을 변수로 실험을 한 결과이다. 접촉각(contact angle)은 102에서 140도 내에서 변화시켜 실험을 하였다.

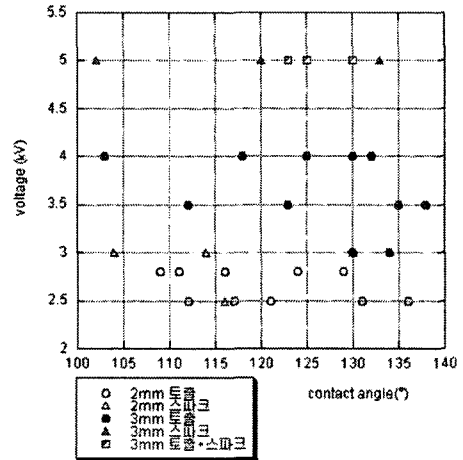


Fig. 5 Region of ejection and spark according to different voltages, distances between meniscus and electrode, and contact angles

Fig. 5를 보면 메니스커스(meniscus)가 토출되는 일정한 조건 범위가 존재함을 알 수 있다. 또한 일정한 범위에서는 스파크 현상, 스파크와 토출현상이 동시에 일어나는 구간이 나타났다. 이는 세 가지 변수의 적절한 동시 요구 조건에서 최적의 토출을 얻어 낼 수 의미한다.

토출이 된 여러 조건하에서도 몇 가지 대표되는 다른 특징을 수반하며 토출이 일어났다.

대표적으로 주어진 거리에서 적절한 전압이 가해졌을 때, 대부분의 토출이 작은 크기의 액적을 수반하며 토출이 이루어졌다. 때로는 주된 토출 액적에 여러 개의 2차 액적들을 수반하기도 하였다. 이런 현상은 적절한 크기의 접촉각(contact angle), 다시 말하면 어느 일정 부피

이상의 초기 메니스커스(meniscus)가 존재할 때, 2차 액적이 사라짐을 볼 수 있었다. 본 실험에서는 2 mm 2.8 kV 130도와 3 mm 4.0 kV 130도인 조건에서 초기 메니스커스(meniscus)가 거의 모두 한 번에 토출이 되는 성공적인 모습을 보였다. Fig. 6은 액적의 토출되는 예를 보여주고 있다.



Fig. 6 Ejection by electrostatic from meniscus of liquid (2mm distance, 2.8kV, 130도)

이런 결과를 볼 때, 많은 실험을 통해 적절한 조건을 찾으면 원하는 사이즈의 토출을 한번 또는 원하는 횟수만큼 시킬 수 있을 것이다. 이를 위하여 본 논문에서는 Fig. 7에서 보여주는 바와 같이 일체형 노즐을 갖는 마이크로 추진 장치를 디자인하고 제안하고 있다.

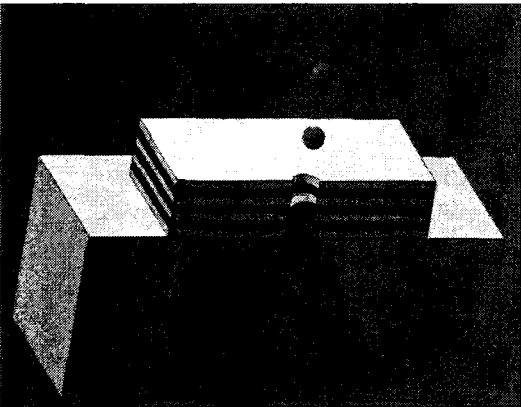


Fig. 7 Schematic of micro thruster with nozzle

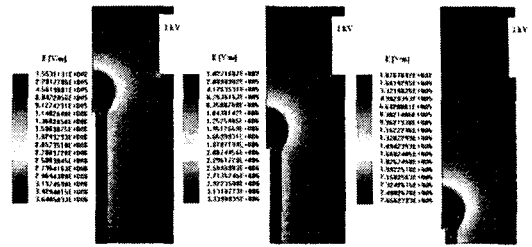


Fig. 8 Contour of the equi-potential line near the liquid surface

정전기 분포를 실험결과와 비교 분석하기 위하여 전산해석을 수행하였다. Fig. 8은 전압이 가해졌을 때, 등전위의 세기 분포를 보여주고 있다. 표면장력과 전기장의 크기는 길이에 반비례하게 때문에, 거시적 모델(macro model)과 마이크로 모델(micro model)이 비슷한 조건이라 말할 수 있다. 이는 마이크로 모델(micro model)의 메니스커스(meniscus) 근처에 같은 크기의 전기장을 가했을 때, 액적의 형성, 토출이 가능함을 보장해준다. Fig. 7에 제시되어 있는 마이크로 모델에 대하여 시뮬레이션을 수행한 결과, 토출이 가능함을 확인하였다. 실험과 시뮬레이션 결과를 비교해 볼 때, 제안된 메커니즘은 pico-liter 부피의 액적의 토출과 최소 100volt이하의 요구 전압을 가능하게 한다.

4. 결 론

본 논문은 적층된 전극 구조의 노즐을 이용한 정전기 마이크로 추진 장치의 새로운 메커니즘을 제시하고 있다. macro scale의 실험과 시뮬레이션 결과를 비교해 볼 때 제안된 메커니즘은 pico-liter 부피를 가진 액적의 분출과 최소 100volt 이하의 요구 전압이 가능함을 보여주고 있다. 이는 계속 진행될 연구에서 micro-scale의 MEMS기술로 제작된 적층된 전극 구조의 노즐을 통해 검증할 것이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단(KOSEF-R08-2003-000-10801-0)의 지원으로 수행 되었으며, 이에 감사드립니다. 또한 본 연구는 나노메카트로닉스 사업단(KISTEP M102KN01001604K140101610)의 부분적인 지원을 받았음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

1. S. Janson, H. Helvajian, S. Amimoto, G. Smit, D. Mayer, S. Feuerstein, "Microtechnology for space systems," in: Proceedings of the Aerospace Conference, Vol. 1, IEEE, 1998, pp. 409-418
2. D. H. Lewis Jr., S. W. Jason, R. B. Cohen, and E. K. Antonsson, "Digital micropropulsion," Sensors and Actuators, Vol. 80, 2000, 143-54.
3. R. Buston and P. Turchi, "Pulsed plasma a thruster," Journal of Propulsion and Power, Vol. 14, Oct. 1998, pp. 716-735
4. Jijun Xiong, Zhaoying Zhou, Xiongying ye, Xiaohao Wang, Yanyin Feng, Yonghong Li, "A colloid micro-thruster system," Microelectronic Engineering. Vol. 61-62, 2002, pp. 1031-1037
5. Fang-Gang Tseng, Chang-Jin Kim, and Chih-Ming Ho, "A High-Resolution High-Frequency Monolithic Top-Shooting Microinjector Free of Satellite Drops-Part I:Concept,Design, and Model," Journal of microelectromechanical systems, Vol. 11, No. 5, October, 2002, pp. 427-436
6. J. Xiong, Z. Zhou, D. Sun, X. Ye, "Development of a MEMS based colloid thruster with sandwich structure," Sensors and Actuators, in press, 2004