

정전기장 콜로이드 마이크로 추진기관의 크기에 따른 영향에 대한 연구

양지혜* · 변도영*

Study of Size Effect on Electrostatic Colloid Micro Thruster

Ji Hye Yang* · Doyoung Byun*

ABSTRACT

This paper present a study of size effect on electrostatic colloid micro thruster. According to results about size effect experiments indicates that the proposed mechanism allows at less than 500 volt of operating voltage for the micro thruster.

초 록

본 논문은 적층된 전극 구조의 노즐을 이용한 정전기 마이크로 추진 장치의 새로운 메커니즘을 제시한 구조에 대해 크기에 따른 영향을 연구하였다. 구조의 크기에 따른 실험결과를 비교해 볼 때 500volt 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 전 기장치 생산을 가능하게 함으로써 많은 기계장 치들의 변혁을 이끌고 있다. 이는 저비용, 발사 시의 적은 위험, 무중력 상태에서의 정확한 자 세 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 시도 되었다[3-4]. 그러나 이런 기존의 장치들은 분사 빈도(ejection frequency), 노즐분포밀도의 기본 적인 한계를 가지고 있다.

여러 마이크로 추진 장치 중 마이크로 콜로이드 추진 장치(micro colloid truster)는 제어의

* 건국대학교 항공우주공학과

연락처, E-mail: dybyun@konkuk.ac.kr

용이성, 높은 에너지 효율, 일정한 μN 의 추력을 낼 수 있는 장점 때문에 마이크로 비행체의 실현 가능성을 가장 많이 가지고 있다[5].

본 연구진이 제시하였던 적층된 전극 구조의 일체형 노즐을 이용한 정전기 마이크로 추진 장치의 새로운 메커니즘을 이용하여 크기에 따른 영향을 연구하였다. 정전기장하에서 액적의 형성과 분출을 확인하기 위해 거시적 규모(macro scale) 및 미세 규모(micro scale)에서 실험을 수행하였으며, 구조의 크기에 따른 실험결과를 비교해 볼 때 500volt 이하의 요구 전압이 가능함을 보여주고 있다.

2. 실험적 방법

2.1 실험장치 구성

본 논문에서 제안된 메커니즘의 타당성을 확인하기 위해 거시적 규모(macro scale)와 미세 규모(micro scale)에서 실험을 수행하였다. 거시적 규모에서 실험은 고속카메라로 액적의 형성을 관찰하였으며, 실험대상은 내경이 $200\mu\text{m}$, $100\mu\text{m}$ 인 봉규산염 유리(borosilicate glass) 정사각형 채널을 이용하여 제작하였다.

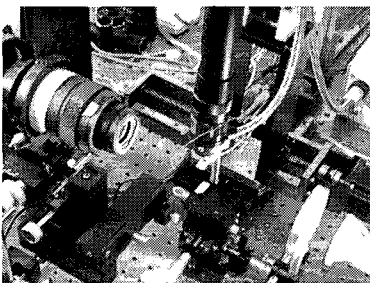


Fig. 1 Macro-experimental setup

Fig. 1은 거시적 규모(macro scale)의 실험 장치 구성을 보여주고 있다. 전압 공급을 위해 고전압 장치, DC power supply와 회로를 이용하였다. 액적 형성과 토출을 촬영하기 위해 고속 카메라(IDT)를 이용하였으며, 전극과 채널의 정

렬 상태를 확인하기 위해 채널에 수직인 방향으로 cmos 카메라를 설치하였다. 카메라 앞에 4:1 줌 렌즈와 micro-nikkor 105mm 렌즈를 장착하였다. 광원은 할로겐램프(50W)를 사용하였고, 역광(back light)으로 설치하였다. KDS 200 주사기 펌프를 이용하여 실험에서 요구하는 액체를 공급하였다. 미세 누출을 막기 위해 너트(nut)등을 사용하여 테플론 튜브와 주사기를 연결하였다.

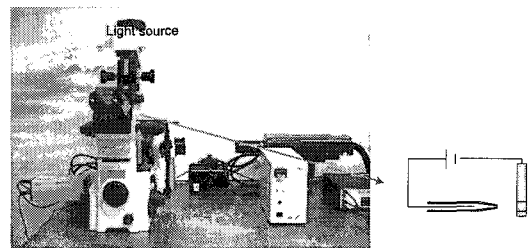


Fig. 2 Micro-experimental setup

Fig. 2는 미세 규모(micro scale)의 실험장치 구성을 보여주고 있다. 1-3 μm 의 노즐직경을 갖는 유리노즐을 이용하여 나노 스케일 분사제어를 가능성을 보기위한 실험장치 구성도이다. 실험 장치는 40x와 100x 대물렌즈, 고속카메라(Photron ultima APX), 보조광 150W 할로겐램프, 주사기 펌프(Havard 11 pico plus), epi-fluorescence inverted microscope(Nikon 2000)로 구성된다.

거시적 규모의 실험 대상은 내경이 $100\mu\text{m}$, $200\mu\text{m}$ 인 유리 채널이었으며, $75\mu\text{m}$ 의 백금선을 채널에 삽입하여 그라운드 전극(ground electrode)으로 이용하였다. 미세규모의 실험은 노즐의 외경이 1-3 μm 인 유리 노즐을 이용하였으며, $75\mu\text{m}$ 와 $25\mu\text{m}$ 인 백금선을 노즐에 삽입하여 거시적 규모에서의 실험과 마찬가지로 그라운드 전극(ground electrode)으로 이용하였다.

+전극으로는 사각형에 지름이 1.8 mm인 구멍이 뚫어져 있는 알루미늄과 간단한 MEMS공정으로 제작한 전극을 이용하였다. 실험대상과 +전극의 위치 선정을 위해 XYZ 매니퓰레이터

(manipulator)와 전동 미세 조정장치를 이용하였다. Fig. 3은 간단한 MEMS 공정을 이용하여 제작한 전극의 공정순서를 보여주고 있다. 먼저 Si wafer나 Glass wafer에 알루미늄을 증착시킨다. Deep RI를 이용하여 600, 400, 300 μm 크기의 구멍을 뚫어 간단한 전극 형태를 제작한다. 미세 실험은 현미경을 이용하는 특성상 빛을 투과하는 전극이 필요하므로 유리 웨이퍼를 이용하였다.

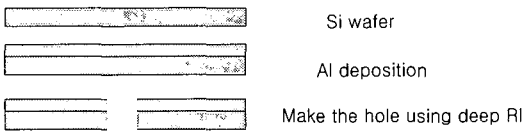


Fig. 3 Process of electrode fabrication

액체를 공급하는 방법은 미세 주사기를 이용하여, 초기상태에 원하는 메니스커스를 생성하는 방법과 주사기 펌프를 이용하여 지속적인 공급을 하는 두 가지 방법을 이하였다. 전압 공급 방법은 먼저 전압을 가한 후, 액적의 모습을 촬영하는 방법과, 일정한 신호에 의해서 작동하는 동기를 맞추는 방법을 이용하였다.

3. 결과 및 토의

거시적 규모(macro scale)에서의 실험은 전압과 유량에 따른 제팅 모드(jetting mode) 그리고 drop-on-demand가능 여부에 초점을 맞추었다.

미세 규모(micro scale)에서의 실험은 노즐 사이즈가 극단적으로 (1-3 μm) 작아 졌을 때, 제팅이 가능한지 여부와 그에 따른 현상분석, 그리고 낮은 요구전압의 가능성에 초점을 두고 실험을 수행하였다.

Fig. 4에서 Fig. 6은 거시적 규모에서의 실험 결과이다. Fig. 4는 제팅 모드를 구분한 그림이며, Fig. 5는 전압과 유량에 따른 제팅 모드를 구분한 표이다. Fig. 4에서 Type E는 micro

dripping mode을, Type C는 spindle mode를 나타낸다.

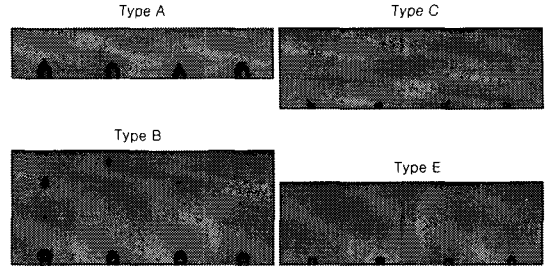


Fig. 4 Jetting mode

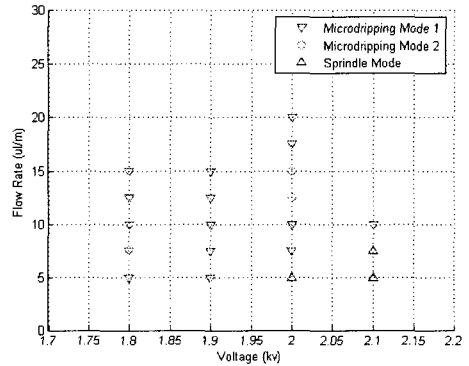


Fig. 5 Variation of jetting type by flow

Fig. 5에서 보듯이 유량과 전압이 낮을 때 일정한 액적이 토출되는 micro-dripping mode가 잘 나타났다.

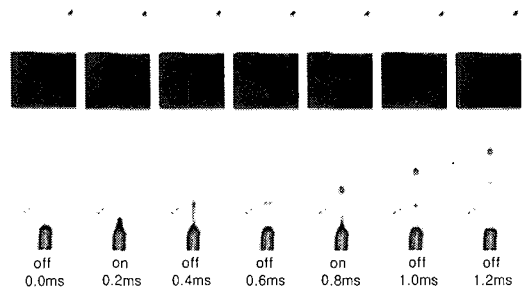


Fig. 6 Ejection frequency of 2KHz in manner of drop-on-demand

Fig. 6은 고전압 제어장치를 이용하여 토출 빈도가 2kHz가 가능함을 보여 주고 있다. 고전압 장치에서 나오는 동기 신호를 이용하여 전압이 가해지는 순간에 촬영을 가능하게 하였다.

Fig.7은 D.I(distilled water)를 이용하여 노즐의 크기가 작아졌을 때, 액적의 토출이 가능함을 실험한 사진이다. -전극과 +전극 사이의 거리는 2.843mm이며, 가한 전압은 500V이다.

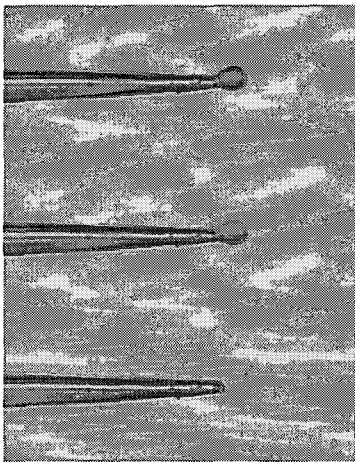


Fig. 8 Feasibility of nano-jetting

이로써 노즐의 사이즈가 작아질수록 요구전압을 낮출 수 있고, 액적의 토출 또한 가능함을 확인 하였다. 이로써 나노 제팅의 가능성을 실험으로서 확인하였고, 나노 크기의 우주비행체 및 정확한 자세제어 기여를 할 수 있으리라 생각된다.

4. 결 론

본 논문은 적층된 전극 구조의 노즐을 이용한 정전기 마이크로 추진 장치의 새로운 메커니즘을 제시한데 이어 정전기장 콜로이드 마이크로 추진 장치의 크기에 따른 영향을 살펴보았다.

macro scale의 실험 결과는 전압과 유량에 따라 여러 제팅 모드가 가능하며, 전압의 펄스를 이용하여 drop-on-demand가 가능함을 확인하였다. 노즐 사이즈를 극단적으로 작게 하여 micro scale에서 실험한 결과, 노즐의 사이즈가 작아질수록 요구전압을 낮출 수 있었고, 액적의 토출 또한 가능함을 확인 하였다. 이로써 나노 제팅의 가능성을 실험으로서 확인하였고, 나노 크기의 우주비행체 및 정확한 자세제어에 기여를 할 수 있으리라 생각된다.

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. 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
4. 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
5. J. Xiong, Z. Zhou, D. Sun, X. Ye, "Development of a MEMS based colloid thruster with sandwich structure," Sensors and Actuators, in press, 2004