

Electro-spray 마이크로 추진 장치 개발 및 나노 크기의 힘 측정

이영중* · Bui Quang Tran Si** · 변도영***

Development of electro-spray micro-thruster and measurement of nano-scale thrust

Youngjong Lee* · Bui Quang Tran Si** · Doyoung Byun***

ABSTRACT

Conventional force sensors such as piezoelectric sensor has limitations for measuring micro/nano-scale thrust. In this study we developed nano-scale measurement system using laser displacement sensor and cantilever. And electrospray microthruster was fabricated by using stainless capillary and extraction electrode, to generate nano-scale thrust. The measurement system can measure the around 90 nN thrust from this thruster. In addition, we designed and fabricated electrospray micro thruster based on PMMA(Polymethyl methacrylate), which has a nozzle protruded from the substrate.

초 록

기존에 사용되는 피에조 타입의 센서는 추력의 측정 범위가 제한되어 있으므로 이를 개선하고자 레이저 변위측정기와 cantilever를 이용하여 변위 측정 장치를 개선하였고, 스테인레스 캐필러리를 이용하여 추력 모델을 만든 후 추력을 측정하였다. 이와 더불어 extrude shape의 노즐을 갖는 마이크로 추력 장치를 PMMA(Polymethyl methacrylate)를 이용하여 공정하였으며, 매니스커스의 형상 변화를 관찰하였다.

Key Words: Micro thruster(마이크로 추진 장치), Thrust measurement system(추력 측정 장치)

1. 서 론

MEMS 기술의 발달로 마이크로 스케일의 기

기 생산이 가능하게 됨으로써 많은 기계장치들의 변혁을 이끌고 있다. 이는 저비용, 발사시의 적은 위험, 무중력 상태에서의 정확한 자세 제어 등을 요구하는 우주 비행체를 마이크로 우주비행체로 대체 하는 데 도움이 될 것이다.[1]

많은 비용과 큰 부피를 가지고 있는 위성이 적은 비용과 작은 부피를 가지는 수많은 위성으

* 건국대학교 항공우주정보시스템공학과
** 건국대학교 항공우주정보시스템공학과
*** 건국대학교 항공우주정보시스템공학과
연락처, E-mail: dybyun@konkuk.ac.kr

로 대체 될 것이며, 기존의 위성과 같은 노즐, 펌프, 센서 및 제어 부분의 구성요소를 마이크로 위성에 적용 시킬 경우 MEMS 기술로 부피를 혁신적으로 작게 하고 제작비용을 줄일 수 있다.

따라서 MEMS 기술을 이용한 마이크로 추진 장치 공정에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다.[2]

마이크로 우주비행체의 개념이 출현하게 되면서, 콜로이드가 가지는 특징인 제어의 용이성, 높은 에너지 효율, 일정한 μN 의 추력은 마이크로 우주비행체를 실현 시킬 수 있는 장점으로 나타나게 되었고, 마이크로 추진 장치를 위해 많은 연구가 진행 되고 있는 배경으로 작용하고 있다.[3]

이들 분야 중 마이크로 추진 장치의 노즐과 노즐 표면 및 마이크로 추진 장치의 형상에 대한 연구 또한 연구가 진행 되고 있다.[4,5]

이러한 마이크로 크기의 위성은 크기 및 질량이 작기 때문에 추진 장치는 소형화 되어야 하며 추력 또한 μN 단위의 추력을 발생하여야 한다.[6]

이러한 μN 스케일의 추력을 측정하기 위하여 나노 단위의 범위까지의 추력을 측정하는 시스템이 필요하게 될 것이며, 따라서 레이저 변위 측정기 및 cantilever를 이용하여 캐필러리 추진 장치의 추력을 μN 단위 까지 힘을 측정 하고, PMMA(Polymethyl methacrylate)를 이용하여 공정 후 추력 장치 매니스커스 변화 및 제팅 현상을 관찰하였다.

2. 실험방법

2.1 스테인리스 캐필러리 추진 모델

실험대상은 내경이 $500\mu\text{m}$ 인 스테인리스 캐필러리로 만들어진 채널을 이용하여 제작하였다. 그리고 전극으로는 사각형에 지름이 1.8mm 인 구멍이 뚫어져 있는 두께 $200\mu\text{m}$ 의 알루미늄 판을 사용하였고, 채널과 전극의 간격은 2mm 의 거리를 유지하도록 PMMA 구조물을 만들어 전극과 채널을 고정 하였다.

마이크로 제팅을 위하여 콜로이드로 아세톤을 사용 하였으며, 실린지(10mL)를 이용하여 콜로이드의 매니스커스를 형성 한 후 전압을 인가하여 제팅 현상을 관찰 하였다.

전압 공급을 위해 직류 고전압 장치를 사용 하였으며, 액체의 공급은 실린지 펌프와 10mL 의 실린지를 이용 하여 아세톤(CH_3COCH_3)을 30μ 의 유량으로 일정하게 공급하였고, 미세 누출을 막기 위해 너트(nut, LT-115BLK, Upchurch scientific)등을 사용하여 테플론 튜브와 주사기를 연결하여 아세톤의 유량 누수를 최소화 하여 실험 하였다.

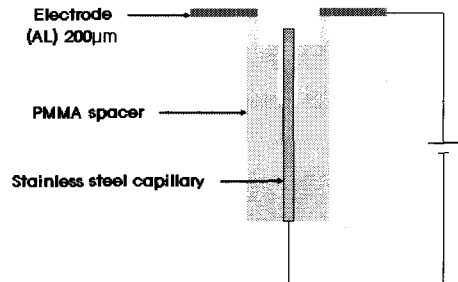


Figure 1. 스테인리스 캐필러리 모델

2.2 마이크로 추력 측정 장치

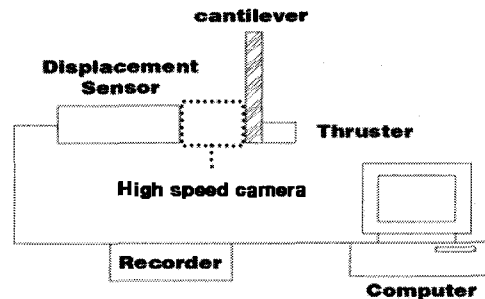


Figure 2. 추력 측정 장치의 개요도

마이크로 추진 장치의 추력이 발생하면 그에 대한 반발력으로 추력과 반대되는 힘이 작용하게 되며, 이러한 추력의 크기의 범위는 $\text{mN} \sim \mu\text{N}$ 의 범위의 힘이 발생 되게 된다.

$$F = (3EI/l^3)D \quad I = \frac{bh^3}{12} \quad (1)$$

마이크로 추진 장치에서 발생하는 추력에 따른 cantilever의 변위를 관계식으로 나타내면 식 (1)과 같으며 cantilever의 각각의 항목들 중 b는 가로, h는 두께, l은 길이, E는 Young's modulus, I는 Area moment of inertia, 그리고 D는 변위를 나타낸다.

알루미늄 1050(Young's modulus : 68.67 Gpa)로 제작된 cantilever는 두께 200 μm, 가로 10 mm, 세로 190 mm를 사용하였고, 식 (1)의 방정식으로

$$F = 0.2003D \quad (2)$$

의 값으로 추력이 계산된다.

따라서 본 논문에서는 추력의 반발력에 따른 각각의 실험 모델의 변위를 기록하고, 식 (2)를 이용하여 추력 계산을 하였다.

2.3. PMMA 마이크로 추진 장치

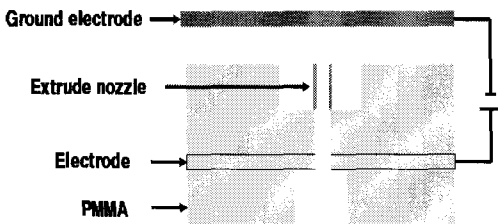


Figure 3. PMMA 마이크로 추진 장치

PMMA를 이용한 마이크로 추진 장치를 공정하기 위하여 (+)전극으로 금 박막 1000 Å을 PMMA 웨이퍼 위에 증착 하였고, (-)전극으로는 2000μm의 알루미늄을 이용하여, 고전압 공급 장치에 연결하였다.

PMMA 마이크로 추진 장치의 작동 유체는 아세톤 및 D.I water를 사용하였고, 콜로이드를 직경 2 mm의 reservoir로 10 μl의 일정한 유량을 공급하기 위하여 너트로 테프론 튜브로 실린지

를 연결, 실린지 펌프로 유량을 공급 하였다.

CNC machine과 레이저 가공 장치를 이용하여, extrude shape의 직경 300μm의 노즐, 직경 8mm의 Ring Drain 및 reservoir를 가공 하였고, Ground 전극은 두께 200μm의 알루미늄을 이용하여 가공하였다.

3. 실험 결과

3.1 스테인리스 캐필러리 추진 모델

스테인리스 캐필러리 모델의 경우 전압의 범위는 2200V~3000V에서 실험 하였다.

2200V의 전압에서 캐필러리에 공급되는 액적의 모양이 con-jet 형상이 나타났으며, 제팅이 시작 되었다.

마이크로 추력 측정의 결과는 다음과 같다.

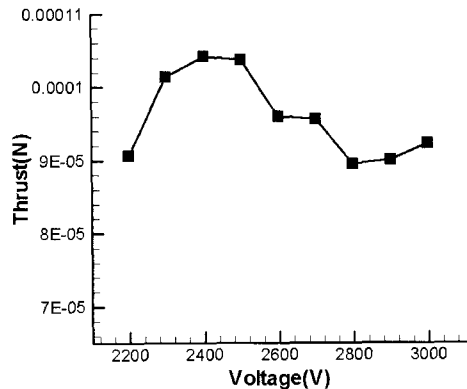


Figure 4. Thrust dependence on Voltage

최고 작동 전압 2500 V에서 cantilever의 변위는 0.5266 mm 변위를 가졌으며, 이에 따른 추력은 104.2μN으로 측정이 되었다. 최소 작동 전압인 2200 V의 경우 0.4615 mm의 변위로 추력은 90.6 μN의 추력이 측정 되었다.

2500 V 이상의 범위의 전압에서는 con-jet 형상에서 제팅 되는 액적의 크기가 일정하지 않고, 빈도수가 이전의 전압에서 보다 많이 발생 하였으므로 추력 측정의 결과가 최대값 보다 적게 나왔고 비교가 어려웠다.

이를 통하여 추력을 위한 전압이 증가함에 따라 액적이 토출되는 추력 또한 증가하나, 일정 전압 이상이 되면 제팅 되는 액적의 형상이 변화 하는 것을 알 수 있었다.

3.2 PMMA 마이크로 추력 장치

PMMA 마이크로 추력장치의 경우 기존에 연구가 진행 된 모델에 비하여 액적의 매니스커스 형성의 변화는 매우 잘 일어나는 것으로 관찰되었으며 시뮬레이션 결과 electric field의 작용 역시 더 효과적인 것으로 보였다. 그러나 작동 유체가 이온을 포함하지 않은 D.I water에 대한 실험 만 수행되었으므로, 추력의 발생은 관찰 되지 않았으며, 이후의 연구에서 이온의 포함된 액체를 사용하여 연구를 개선 할 것이다.

4. 결 론

이번 논문은 기존에 사용 되고 있는 피에조 타입의 센서를 대신하여 cantilever와 레이저 변위 측정기를 통한 추력 측정 모델을 이용하여 마이크로 추력 장치의 추력을 측정하고, PMMA와 MEMS 공정을 이용하여 extrude shape 노즐을 갖는 마이크로 추력 장치를 공정 하였다.

추력 측정의 결과 스테인리스 캐필러리 추진 모델의 경우 작동 전압은 2200 V~2500 V의 범위를 가지며 이에 따른 추력의 범위는 90.6 μ N~104.2 μ N의 범위를 가지는 것을 알 수 있었다.

PMMA 마이크로 추력장치의 경우 기존의 연구 보다 매니스커스 형상이 con-shape으로 잘 형성되었으나 액체를 이온이 포함되지 않은 D.I water를 사용하였으므로 추력이 발생하지 않은 문제를 개선하여 연구를 진행하도록 하겠다.

Acknowledgement

This research was financially supported by a grant to MEMS Research Center for National Defense funded by Defense Acquisition Program Administration and in part, by the Second-Phase of the Brain Korea 21 Project.

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. 양지혜, 변도영, 정전기장 콜로이드 마이크로 추진기관의 크기에 따른 영향에 대한 연구, 한국추진공학회 2005년도 추계학술대회 논문집, pp.278-281
4. S. H. Lee, D. Y. Byun, H. S. Ko, Y. Kim, J. H. Yang, S. J. Han, S. U. Son and J. T. Oh, Electrostatic Droplet Ejector with Monolithic Fabrication of nozzle, Nanotech 2005, May 8-12, 2005, Anaheim CA USA
5. Doyoung Byun, Budiono, Jihye Yang, and Sukhan Lee, Effect of Surface Wettability on Flow Instability in Micro-channel, IEEE International Conference on Mechatronics(ICM2005), 10-12 July, 2005, Taipei, Taiwan
6. J. Mueller, Thruster options for microspacecraft: a review and evaluation of existing hardware and emerging technologies, in: AIAA97-3058.