

# 디퓨저/노즐을 이용한 압전형 마이크로 펌프에서 기하학적 형상과 작동 조건에 따른 펌핑 특성에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Pumping Characteristics of Diffuser/Nozzle based Piezoelectric Micropumps with Different Geometries and Operating Condition

\*용정권<sup>1</sup>, #김창녕<sup>2</sup>(cnkim@khu.ac.kr), 김진욱<sup>3</sup>

\*J. K. Yong<sup>1</sup>, #C. N. Kim<sup>2</sup>(cnkim@khu.ac.kr), C. U. Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 경희대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 경희대학교 테크노공학대학, <sup>3</sup> 경희대학교 기계공학과

Key words : Diffuser/Nozzle, Micropump, Piezoelectric

### 1. 서론

미소 유체를 제어하는 마이크로 유체기기(micro fluidic device)에 관한 기술은 마이크로 시스템의 가공 및 제작 기술의 발전과 더불어 급속하게 발전하고 있다. 마이크로 기술을 이용한 유체기기와 관련해서 핵심이 되는 소자들 중의 하나인 마이크로 펌프는 일반 펌프와 달리 그 크기가 매우 작으면서 마이크로 채널을 통해 미소유량을 이송할 수 있는 이점이 있어서 다양한 방법으로 연구가 진행되어 실용화가 이루어지고 있다.

압전형 마이크로 펌프는 압전 세라믹의 압전효과를 이용하여 구동하는 방식으로 다른 구동 방식에 비해 구조가 간단하면서 상대적으로 큰 동력을 낼 수 있다는 장점으로 인해 MEMS 분야에서 마이크로 유체기기 기술발전에 힘입어 보다 실용적으로 여겨지고 있다.

마이크로 펌프에 대한 여러가지 연구가 선행되었다. Stemme and Stemme<sup>1</sup>는 디퓨저/노즐의 원리를 이용한 새로운 형태의 valveless 마이크로 펌프를 제작하고, 동일한 규격의 수동형 체크 밸브(check valve)를 갖는 펌프와 비교함으로써 디퓨저/노즐을 이용한 valveless 펌프의 장점을 부각하였다. Olsson et al.<sup>2,3</sup>은 압전 구동방식 마이크로 펌프에 대한 실험을 통해서 디퓨저/노즐의 길이와 발산각에 따른 펌핑 유량의 변화와 최적의 발산각을 제시하였다. Anderson et al.<sup>4</sup>은 여러 종류의 유체에 대하여 유체의 밀도와 점도에 따른 디퓨저/노즐을 이용한 마이크로 펌프의 펌핑 특성을 실험을 통하여 연구하였고 챔버 안에서의 유체 유동특성을 관찰하였다.

마이크로 펌프에 대한 연구가 오래 전부터 수행되어 왔으나 압전 구동방식 마이크로 펌프에서 인가되는 교류전류의 특성과 기하학적 특성에 따른 펌프의 성능특성 등이 충분히 연구되어 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 디퓨저/노즐을 이용한 압전형 마이크로 펌프에서 압전소자에 가해지는 인가교류전압과 인가주파수와 같은 인가조건과 펌프의 챔버(chamber)의 높이 변화를 복합적으로 고려하며 펌프의 성능 변화에 관한 실험을 수행하였다.

### 2. 실험

본 연구에서는 실험적인 방법으로 첫째, 디퓨저/노즐을 이용한 압전형 마이크로 펌프에 가해지는 교류신호의 인가전압의 크기와 인가주파수에 따른 펌핑 특성을 파악하고, 둘째, chamber의 높이에 따른 유동 특성을 파악하고자 한다.

디퓨저/노즐에 의한 압전형 마이크로 펌프는 액츄에이터(actuator)로서 작동되는 압전소자, 디퓨저/노즐이 있는 펌프 상판, 압전소자에 붙어서 작동유체를 움직이는 역할을 하는 박막, 압전소자를 담고 있는 펌프 하판 그리고 입·출구 튜브로 구성되어 있다.

본 실험 연구에서는 pic-153 물질로 제작된 PI사의 P-286.20 모델의 압전소자가 사용되었다. 펌프의 크기는 80 mm × 80 mm × 24.55 mm의 직육면체인데 이 안에 있는 piezo-disk와 chamber의 직경은 각각 50 mm, 40 mm이다. 디퓨저/노즐의 길이, 발산각과 양끝의 직경은 각각 6 mm, 7°와 0.8 mm, 1.5 mm이고 top part와 bottom part의 재질로는 가공성이 뛰어나고 투명성이 좋아 실험 중 챔버 내부 유체 유동을 쉽게 확인할 수 있는 아크릴을 사용했다.

디퓨저/노즐을 이용한 압전형 마이크로 펌프의 유동특성 파악을 위한 실험에서 Fig. 1에서 제시된 바와 같이 function generator와 power supply 그리고 oscilloscope 등이 사용되었다. 우선적으로 function generator에서 일정한 주파수의 Sine 파를 외부로 출력하고 power supply에서는 압전소자의 특성에 맞도록 음의 전위만을 갖는 교류신호를 압전소자에 인가하고 이때에 oscilloscope에서 압전소자에 가해지는 인가전압과 인가주파수를 확인할 수 있다. 마이크로 펌프에 교류신호가 인가되면 마이크로 펌프가 작동되어 입·출구에서 수면이 이동하게 되는데 자(scale)가 설치되어 있는 출구 쪽 튜브 내 수면의 위치 변화를 디지털 카메라 [LAP POLARIS 10]로 촬영하고 촬영된 영상자료를 분석하여 체적유량(volume flow rate)을 평가한다.

### 3. 결과 및 토론

마이크로 펌프의 펌핑 특성에 영향을 미치는 여러 가지 변수들 중에서 펌프에 가해지는 인가전압과 인가주파수의 영향이 먼저 파악되었다. ppv 200 V(0 ~ 200 V)부터 450 V(0 ~ 450 V)까지 50 V의 ppv 변화를 갖는 6 가지의 인가전압이 사용되었고 5.0 ~ 8.5 Hz 까지 0.5 Hz의 주파수 변화를 갖는 8 가지의 인가주파수가 사용되었다. 마이크로 펌프의 중심축으로부터 입·출구까지의 거리가 14.5 mm로 일정하고 챔버의 높이는 0.6 mm이다.

Fig. 2에서 보인 바와 같이 압전소자에 가해지는 교류신호의 전압이 상승할수록 펌프의 유동률도 증가했는데 이러한 현상은 실험에서 고려된 모든 인가주파수에 대해서 공통적으로 발생하였다. 각각의 인가교류전압마다 인가주파수에 따른 유동율의 경향은 유사하였는데 ppv 250 V와 300

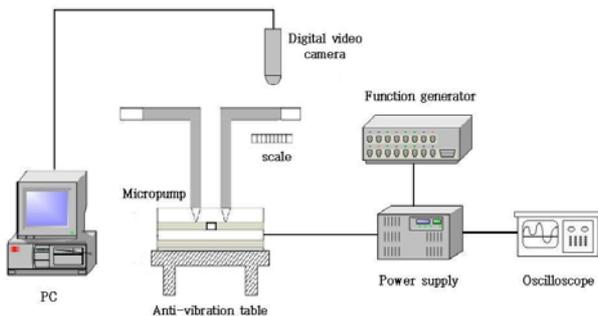


Fig. 1 Schematic diagram of the test facility.

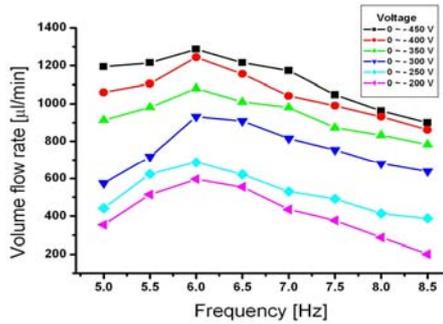


Fig. 2 Influence of the voltage and frequency on the volume flow rate with the chamber height of 0.6 mm

V 의 사이에서 유동률이 급격히 변화하였으며 ppv 450 V, 6.0 Hz 의 경우에는 1286  $\mu\text{l}/\text{min}$  의 최대 유동률을 가지지만 그에 비해 인가주파수가 6.0 Hz 일 때에 ppv 200 V 와 250 V 에서는 상대적으로 유동률이 작다. 인가주파수를 기준으로 살펴볼 때에 본 실험에서 사용된 마이크로펌프에서는 모든 인가전압의 신호에 대하여 6.0 Hz 일 때 가장 높은 유동률이 발생했다. 그리고 6.0 Hz 를 기준으로 주파수가 증가하거나 감소할 때에 유동률이 작아지는데 이러한 현상은 모든 인가교류전압에 대하여 나타났다. 이를 통해 어떤 주어진 압전형 마이크로 펌프에 대하여 펌프의 유동율을 최대로 만들어 주는 특정 주파수가 존재함을 알 수 있다.

마이크로 펌프의 입출구 튜브에서 유체의 마찰에 의한 압력강하( $\Delta P$ )는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (1)$$

여기에서,  $f = \frac{64}{\text{Re}}$  (laminar flow)

펌프의 펌핑 동력은 식 (2)와 같이 표현될 수 있다.

$$\dot{W} = \Delta P \times \dot{Q} \quad (2)$$

여기에서  $\dot{Q} : \frac{1}{4} \pi D^2 \times V$

각각의 인가전압에 대한 인가주파수에 따른 펌핑 동력은 Fig. 3 에 제시되었다. 유동률과 압력강하는 수면의 이동 속도에 비례하므로 이 두 개의 값이 결합된 펌핑동력의 특성은 수면의 이동속도의 제곱에 비례하는 특성을 갖는다.

압전형 마이크로 펌프의 챔버 높이가 펌핑 특성에 미치는 영향이 검토되었다. 실험에서 챔버의 높이는 각각 0.4 mm, 0.6 mm, 0.8 mm이며 인가전압은 ppv 450 V 이고 5.0 ~ 8.5 Hz 범위의 8 가지의 인가주파수를 고려하여 총 24 가지의 경우를 실험 대상으로 삼았다. 각각의 챔버의 높이에 대한 인가주파수에 따른 체적유량을 Fig. 4 에 나타내었다.

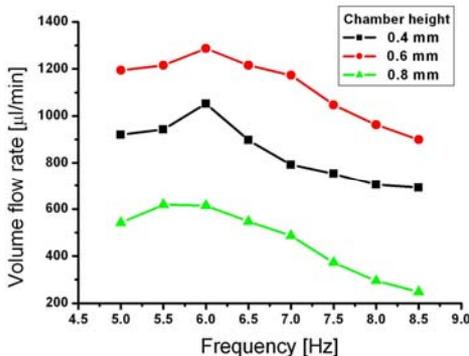


Fig. 4 Influence of the chamber height on the volume flow rate with difference input frequency at the ppv 450 V

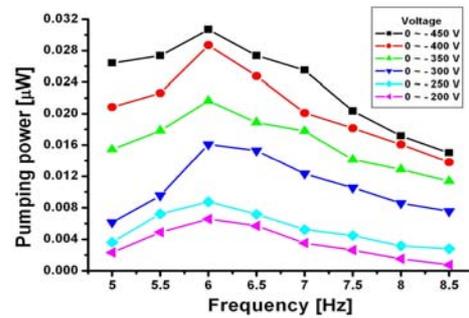


Fig. 3 Influence of the voltage and frequency on the pumping power of with the chamber height of 0.6 mm

마이크로펌프가 구동함으로써 유체가 챔버 안을 흐르게 될 때 챔버의 높이에 따라 유동저항이 감소하고 유동률이 증가하는 현상이 어떤 챔버의 임계높이까지만 나타난다는 것이 관측되었다. 임계높이를 넘어서면 유동률은 오히려 감소하게 된다. 유동률이 최대값으로 되는 챔버높이의 임계치는 0.6 mm 근처에 존재할 것으로 여겨진다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 디퓨저/노즐을 이용한 압전형 마이크로 펌프에서 다양한 기하학적 형상과 작동조건이 펌프의 펌핑 특성에 미치는 영향을 실험적으로 파악하였다.

압전소자에 인가된 sine 파 형태의 교류전압이 클수록 유동률이 증가하였으며 같은 인가교류전압에 대하여 인가주파수가 6.0 Hz 일 때 유동률이 가장 높았다. 이는 주어진 인가교류전압에 대하여 펌핑 능력을 최대로 만들어주는 특정주파수가 존재한다는 것을 의미한다.

챔버 높이에 따라 유동률이 변화하였다. 본 연구에서 고려된 마이크로펌프 형상에서 유동률이 최대가 되는 챔버의 임계높이가 있으며 챔버 높이가 임계값 이상이 되면 유동률은 감소하는 것으로 밝혀졌다.

위의 연구 결과는 압전형 마이크로 펌프에 대해 정확하고 높은 수준의 실험적 연구를 수행하는 데에 있어 기초 데이터로 활용될 수 있을 뿐만 아니라 다양한 마이크로 펌프의 설계와 관련해 유용한 자료로 이용될 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

1. Stemme, E., Stemme, G., "A valveless diffuser/nozzle-based fluid pump", Sensors and Actuators A, Vol. 39, pp. 159-167(1993)
2. Olsson, A., Enoksson, P., Stemme, G., Stemme, E., "Micromachined flat-walled valveless diffuser pumps", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 6, No. 2, pp. 161-166(1997)
3. Olsson, A., Stemme, G., Stemme, E., "Numerical and experimental studies of flat-walled diffuser elements for valveless micropumps", Sensors and Actuators A, Vol. 84, pp. 165-175(2000)
4. Anderson H., van der Wijngaart W., Nilsson P., Enoksson P., Stemme G., "A valveless diffuser micropump for microfluidic analytical systems", Sensors and Actuators B, Vol. 72, pp. 259-265(2001)