

전자기 저항을 이용한 압전 구동방식 마이크로 펌프의 펌핑 성능 평가를 위한 수치해석적 연구

A Numerical Analysis on the Performance Evaluation Piezoelectric Micropumps with Electromagnetic Resistance for Electrically Conducting Fluids

*홍태협¹, 안용준², #김창녕³

*T. H. Hong(ttere@khu.ac.kr)¹, Y. J. An², #C. N. Kim(cnkim@khu.ac.kr)³

¹ 경희대학교 기계공학과, ² 경희대학교 기계공학과, ³ 경희대학교 테크노공학대학 기계산업시스템공학부

Key words : Magneto hydrodynamics, Piezoelectric Micropumps,

1. 서론

마이크로 유체기기의 핵심 소자인 마이크로 펌프는 마이크로 시스템 설계 기술, 마이크로 가공 기술, 마이크로 유체역학 등 다양한 지식과 첨단 기술을 필요로 하는 유체 시스템이다. 여러 가지 형태의 마이크로 펌프 중에서 압전 세라믹의 압전 효과를 이용하여 펌프를 구동하는 압전구동 방식 마이크로 펌프는 다른 구동방식에 비해 변위가 크고 큰 힘을 낼 수 있으며 구조가 간단하다는 장점을 가지고 있어 최근에 활발한 연구가 이루어지고 있다.

압전구동방식 마이크로 펌프에 관한 기존 연구들은 디퓨저/노즐의 원리를 이용하여 valveless 마이크로 펌프를 제작하고 valveless 마이크로 펌프의 장점을 제시하거나, 디퓨저/노즐의 형상 또는 유체의 종류에 따른 마이크로 펌프의 성능의 변화를 수치해석적 또는 실험적으로 평가한 연구가 대부분이었다 [1][2]. 그러나 디퓨저/노즐 원리를 이용한 마이크로 펌프는 디퓨저와 노즐의 유동 저항의 차이가 현격히 크지 않기 때문에 펌핑 효과가 작다는 단점이 있다.

본 연구에서는, 통전 유체의 미세 유동을 제어하기 위한 마이크로 펌프를 고려할 때, valveless 마이크로 펌프의 장점을 살리면서 디퓨저/노즐 원리에 의한 마이크로 펌프보다 뛰어난 펌핑 성능을 얻기 위하여 MHD (Magneto Hydro Dynamics) 원리를 이용한 마이크로 펌프의 입구와 출구의 유동 제어를 수치해석을 통해 확인하고 펌핑 성능을 평가하였다.

2. MHD 를 이용한 유동제어의 원리

본 연구에서 수치해석에 고려된 마이크로 펌프의 형상이 Fig. 1 에 나타나있다. 마이크로 펌프의 챔버의 높이는 0.5 mm, 폭은 40 mm 이고 원형의 챔버 단면에 수직으로 정사각형 단면의 덕트가 설치되어 있다.

압전구동형 마이크로 펌프는 압전디스크의 변위에 의해 챔버 밑바닥 면인 박막이 상승하게 되면 챔버 내의 유체가 챔버 밖으로 유출되고, 하강하게 되면 챔버 내로 유체가 유입되는 과정을 반복하여 펌프 기능을 수행한다. 챔버와 연결된 덕트에 아무런 유동저항이 없다면 양쪽의 덕트를 통과하는 통전 유체는 동일한 유량으로 흐르게 되어 펌핑효과가 발생하지 않는다. 그러나 박막이 상승하는 시기에 입구 측 덕트에 자기장을 가하면 Lorentz force 에 의해 유동저항이 발생하여 통전유체는 입구 측보다 출구 측으로 더 많이 흐르고 박막이 하강하는 시기에 출구 측 덕트에 자기장을 가하면 유동 저항 발생하여 통전 유체가 입구 측 덕트로 더 흐르게 되어 결과적으로 통전유체가 입구에서 출구로 흐르는 순 유량이 발생하게 된다.

3. 수치해석 모델 및 방법

본 연구에서는 MHD 를 이용한 압전구동방식 마이크로 펌프에 대하여 비정상 3 차원 수치해석을 수행하였다. MHD 원리에 의한 전자기 저항을 이용하여 마이크로 펌프의 벨

의 기능을 대신한 마이크로 펌프에 대한 연구는 아직까지 수행된 바 없으므로 통전유체에 가해지는 자기장의 세기가 펌핑 성능에 미치는 영향을 파악하는 것은 매우 중요하다. 또한 Lorentz force 에 의한 유동저항은 통전유체의 유속과도 밀접한 관계가 있으므로 입구와 출구의 유속에 큰 영향을 미치는 덕트의 단면의 크기가 펌핑 성능에 미치는 영향을 파악하는 것도 매우 중요하다.

따라서 본 연구에서는 자기장의 세기와 덕트의 크기가 펌핑 성능에 미치는 영향을 파악하기 위해 Fig. 1 에 제시된 자기장의 세기 B 와 정사각형 덕트 단면의 한변의 길이 D 를 변화시키며 수치해석을 수행하였다. B 와 D 의 변화는 Table. 1 에 제시되어 있다.

압전 구동방식 마이크로 펌프의 유동 특성을 정확하게 파악하기 위해서는 유체 영역뿐만 아니라 박막의 변형을 고려하여 계산하여야 한다. 본 연구에서는 챔버 내의 유동장을 계산하기 위해 연속방정식, Navier-Stokes 방정식을 사용하였으며 유동장 내 유도 전류 및 Lorentz force 를 계산하기 위해 Electric 방정식과 Magnetic vector potential 방정식을 사용하였다. 수치계산 과정에서 디스크의 변형에 의한 박막의 거동은 Timoshenko 의 이론을 사용하여 다음 식으로 계산하였다.

$$dy(x,t) = A_0(t)[1 - (x/X)^2] \quad (1)$$

여기서, X 는 챔버의 반지름이고, A₀(t) 는 전압과 동일한 형태인 Sine 파 형태로 가정된 Piezo disk 의 중심에서의 시간에 따른 y 방향 변위이다. 식 (1)에 제시된 디스크 변위에 관한 식이 유체-고체 경계면에 주어지고 유체 유동 영역에서 위에 언급된 방정식들이 비정상상태에서 해석된다.

Table 1 Classification of the calculated cases

Case	B (Tesla)	b (mm)
Case 1	0.01	1
Case 2	0.05	1
Case 3	0.1	1
Case 4	0.15	1
Case 5	0.05	2
Case 6	0.05	3

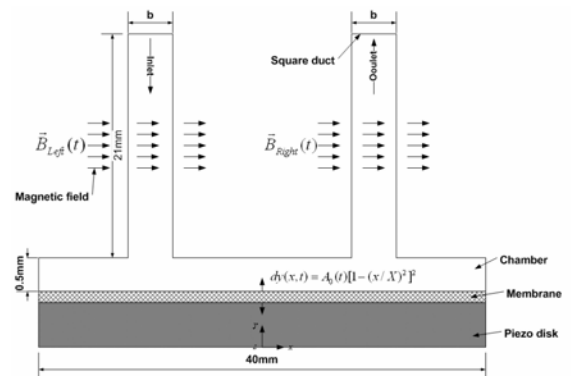


Fig. 1 Schematic diagram of piezoelectric micropump with electromagnetic resistance

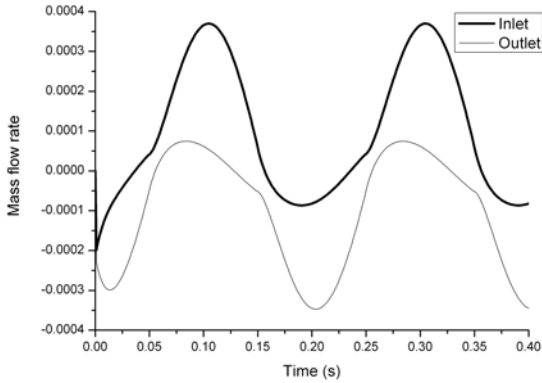


Fig. 2 The mass flow rates of the inlet and the outlet (Case 2)

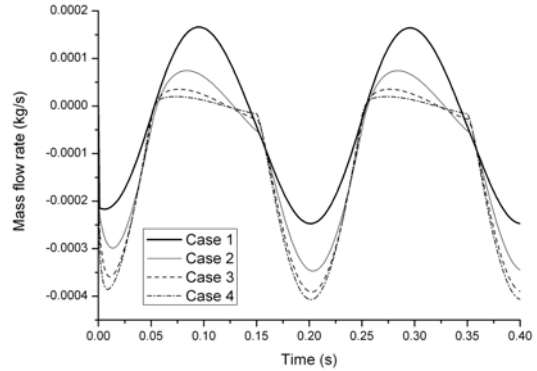


Fig. 3 The mass flow rates of the outlet with the change of the magnitude of the magnetic field

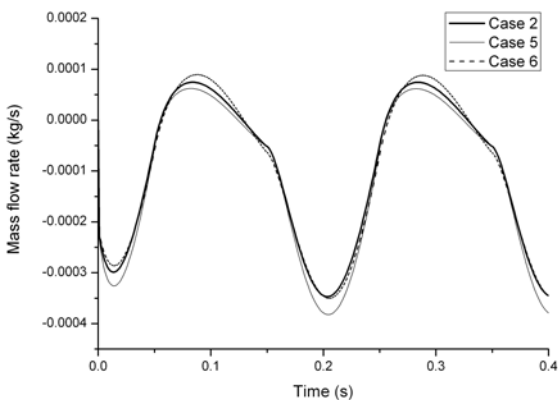


Fig. 4 The mass flow rates of the outlet with the change of the duct size

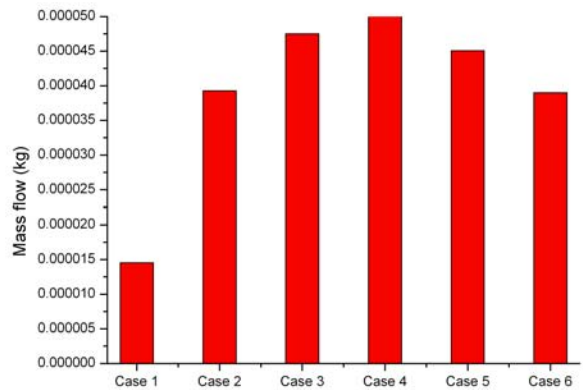


Fig. 5 The comparison of the net mass flow for two periods

4. 계산결과 및 고찰

본 연구에서는 계산영역으로 들어오는 유량을 양의 유량으로, 계산영역 밖으로 나가는 유량을 음의 유량으로 정의하였다. Case 2 에 대한 입,출구에서의 시간에 따른 유량 변화가 Fig. 2 에 나타나있다. 0.05 s 부터 최대로 상승한 박막이 하강에 시작함에 따라 계산 영역 내로 통전유체가 들어오지만 출구 덕트 측에 자기장이 가해져 있기 때문에 유동 저항이 발생하여 출구 측 덕트보다 입구 측 덕트에서 훨씬 많은 유량이 발생하고 있다. 또한 0.15 s 부터 최대로 하강한 박막이 상승을 시작함에 따라 계산 영역 밖으로 통전 유체가 나가지만 입구 측 덕트에 자기장이 가해져 있기 때문에 대부분의 통전 유체가 출구 측 덕트로 흐르고 있다. 이로써 박막이 상승 및 하강을 하는 동안 통전 유체가 입구로부터 출구로 흐르는 순 유량이 발생하게 된다.

Fig.3 는 자기장의 세기의 변화에 따른 마이크로 펌프의 출구 측 질량유량을 나타낸 그림이다. 박막의 하강에 의한 계산 영역 내로의 통전 유체의 유입 시 자기장이 세기가 증가할수록 자기장을 통과하는 통전 유체의 유량은 급격히 작아지고 박막이 상승에 의한 계산 영역 밖으로의 통전 유체의 유출 시 출구로 흐르는 통전 유체의 유량은 급격히 증가하고 있다.

Fig. 4 는 덕트 크기의 변화에 따른 마이크로 펌프의 출구 측 질량유량을 나타낸 그림이다. 덕트의 한 변의 길이 1 mm 부터 1 mm 씩 증가함에 따라 펌핑 성능은 증가하다 감소하는 경향이 나타나고 있다. 따라서 전자기 저항을 이용한 마이크로 펌프의 설계 시 덕트 크기의 결정은 펌핑 성능에 영향을 주며, 따라서 최적 설계가 필요하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5 는 모든 Case 에 대하여 두 주기 동안의 펌핑에 의한 순 유량의 크기를 비교한 그림이다. 자기장의 세기가 커짐에 따라 순 유량은 증가하나 그 증가율은 감소하는 것으로 나타났다. 덕트의 크기가 증가함에 따라 순 유량은

증가하다가 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 덕트의 크기가 감소할수록 마찰저항이 커져 순 유량이 작아 지고, 덕트의 크기가 증가할수록 단면적이 커짐에 따라 덕트 단면을 흐르는 통전 유체의 유속이 작아져 자기장에 의한 유동 저항의 크기가 작아지기 때문이다.

5. 결론

본 연구에서는 MHD 원리에 의한 전자기 저항을 이용해 압전 구동형 마이크로 펌프의 유동을 제어하였으며 수치해석을 통해 펌핑 성능을 평가하였다.

자기장의 세기가 증가함에 따라 통전 유체의 순 유량은 증가하였으나 그 증가율은 감소하는 경향이 나타났다. 덕트의 크기가 증가함에 따라 순 유량은 증가하다 감소하는 경향이 나타났고, 이는 최적의 펌핑 성능을 내는 이상적인 덕트 크기의 결정이 중요하다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 전자기 저항을 이용하여 마이크로 펌프의 유동을 제어할 수 있는 효과를 수치해석을 통해 파악하였으며, 본 연구는 펌프의 valveless 마이크로 펌프의 장점을 살리면서 펌핑 성능이 뛰어난 마이크로 펌프 개발에 대한 연구에 기여할 것으로 예상된다.

후기

이 연구는 학술진흥재단의 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Stemme, E. and Stemme, G., "A valveless diffuser/nozzle based fluid pump", Sensors and Actuators, Vol.39, pp. 159-167, 1993
2. Song, Y.S., "Numerical simulation of flow in a piezoelectric diffuser/nozzle-based micropump for microfluidic application, MS thesis, KAIST, Daejeun, Korea, 2002