

# 전자기 저항을 이용한 열공압 구동방식 마이크로 펌프 특성에 관한 수치해석적 연구

## A Numerical Study on the Characteristics of a Thermopneumatic Micropump with Electromagnetic Resistance for Electrically Conducting Fluids

\*안용준(jun2o8@khu.ac.kr)<sup>1</sup>, #김창녕(enkim@khu.ac.kr)<sup>2</sup>, 용정권<sup>3</sup>  
 \*Y. J. An(jun2o8@khu.ac.kr)<sup>1</sup>, #C. N. Kim(enkim@khu.ac.kr)<sup>2</sup>, J. G. Yong<sup>3</sup>  
<sup>1</sup> 경희대학교 기계공학과, <sup>2</sup> 경희대학교 기계공학과, <sup>3</sup> 경희대학교 기계공학과

Key words : Electromagnetic Resistance, Magnetohydrodynamics, Thermopneumatic Micropump,

### 1. 서론

최근 마이크로 유체시스템과 소자부품에 대한 연구개발이 매우 활발하다. 특히 화학·의학 분야에 있어서 마이크로 유체기기는 기술적, 경제적 측면 모두 기존의 시스템에 비해 훨씬 유리하다. 또한, 최근 마이크로 유체기기의 핵심소자인 마이크로 펌프의 응용가능성이 확대됨에 따라 이에 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다[1].

마이크로 펌프는 일반 펌프와 달리 그 크기가 매우 작고 미소유량을 마이크로 채널을 통해 이송하기 때문에 점성효과가 크게 중요하다. 또한 마이크로 펌프는 마이크로 단위의 시스템 설계기술, 각종 요소 부품들의 마이크로 가공기술, 유동 특성과 관련된 마이크로 유체역학 등 다양한 지식과 첨단기술을 필요로 하는 유체시스템이며 바이오/의료 응용 기기의 연구에 활용될 수 있다[2].

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 열공압 구동방식 마이크로 펌프는 온도에 따른 공기의 팽창/수축 효과를 이용한 방식으로 펌프 자체의 온도가 상승한다는 단점이 있지만, 다른 방식에 비해 비교적 구동 전압이 낮다. 그리고 구동기 박막의 변위가 크다는 장점이 있고 구조 및 작동원리가 간단하므로 실용성이 크게 부각되고 있다[3].

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

열공압 구동방식 마이크로 펌프는 cavity의 부피의 증가하면 챔버 밑바닥 면인 박막이 상승하게 되면서 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 force에 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 연구에서 고려된 3 차원 형상의 마이크로 펌프의 단면형상이 Fig. 1에 제시되었다. Fig. 1에 나타난 바와 같이 챔버(chamber)의 직경이 10 mm, 높이가 500 μm이고 2 개의 duct가 챔버와 연결되어 있다. 챔버의 바닥에는 시간에 따라 상승 하강하는 박막(membrane)이 있다. 1 mm × 1 mm의 단면을 갖는 입구 duct와 출구 duct가 각각 챔버의 중심에서 3 mm 떨어진 곳에 설치되어 있으며 각각의 duct의 길이는 14 mm이다. 이 두 개의 duct에 대하여 각각 챔버의 상판에서 5 mm 떨어진 위치에서부터 y 방향으로 7 mm 영역에 걸쳐서 자기장이 걸린다.

또한 열공압형 마이크로 펌프의 cavity의 열선에서는 0.0 s ~ 0.2 s 동안에 전기가 흐르므로 저항에서 발생된 열에 의하여 cavity가 팽창하여 박막이 상승하며 0.2 s ~ 1.0 s 동안에는 전기가 흐르지 않아 cavity로부터 외부로 열이 방출되어 박막이 하강한다. 본 수치연구에서는 수학적으로 지정된 초기조건이 t > 0에서의 마이크로 펌프의 성능에 영향을 미치지므로 주기 1 초를 갖는 열공압형 마이크로 펌프의 작동이 3 주기 동안 해석되었다. 본 연구에서 전자기 저항을 이용한 열공압형 마이크로 펌프의 유동 특성과 펌핑성능을 파악하기 위해 Hartmann 수를 고려하였는데 Hartmann 수는 다음과 같다.

$$M^2 = (Re \cdot N) = \frac{\sigma B_0^2 L_0^2}{\mu} = \frac{\text{자기력}}{\text{점성력}} \quad (1)$$

Table 1 The calculation conditions

	Hartmann number, M	Magnetic flux density, $B_a$ [T]
case 1	30	1.1707
case 2	20	0.7805
case 3	10	0.3903
case 4	5	0.1951

Table 2 Properties of the working fluid (mercury)

Density ( $\rho$ )	13529 [kg/m <sup>3</sup> ]
Dynamic viscosity ( $\mu$ )	0.001523 [kg/m·s]
Electrical conductivity ( $\sigma$ )	$1.0 \times 10^6$ [S/m]
Magnetic permeability ( $\mu_0$ )	1 [H/m]

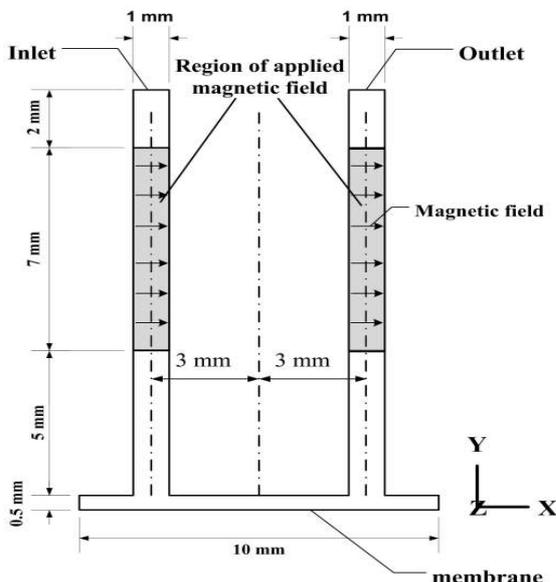


Fig. 1 Cross-sectional view of the thermopneumatic micropump with electromagnetic resistance.

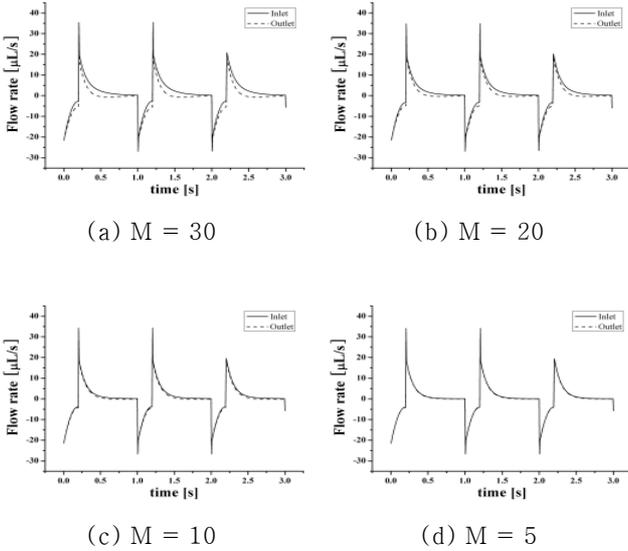


Fig. 2 Flow rates at the inlet and outlet for four different Hartmann numbers

본 연구는 Hartmann 수가 5, 10, 20, 30인 4 가지에 대해 수치해석이 수행되었고, 각 경우에 인가된 자기장의 세기가 Table 1에 제시되었다. 입구 duct와 출구 duct에 걸리는 자기장은 시간에 따라 변한다. 박막이 상승하는 구간인 0 ~ 0.2 s 동안 입구 duct에 자기장이 걸리고 박막이 하강하는 구간인 0.2 ~ 1 s에서 출구 duct에 자기장이 걸리는데 이러한 자기장의 인가가 3주기 동안 이루어졌다. 자속밀도(magnetic flux density)의 방향은 덕트에서 유동의 방향과 직교하는  $x$  방향이다. MHD 마이크로 펌프의 통전유체는 수은(mercury)이며 수치해석에 사용된 수은의 물성치가 Table 2에 제시되었다.

### 3. 계산결과 및 고찰

4 개의 Hartmann 수에 대하여 마이크로 펌프의 입·출구에서 계산된 시간에 대한 flow rate의 그래프가 Fig. 2에 제시되었다. 제시된 그래프에서 음의 유량값은 마이크로 펌프 밖으로 유체가 유출되는 것을 의미하고, 양의 유량값은 펌프 내로 유체가 유입됨을 의미한다. 박막이 상승하는 시간구간에서 출구 쪽에서 유량의 절대값이 크고 박막이 하강하는 시간구간에서 반대로 입구 쪽에서 유량의 절대값이 크므로 전체적으로 유체가 입구로 들어와 출구로 나가는 유동을 갖게 된다. Hartmann 수가 감소할수록 박막이 상승 하강하는 각 시간구간에서 입·출구 유량의 절대값의 차이가 감소하였다. 그리하여 Hartmann 수가 5일 경우 입·출구 유량의 절대값이 미소하다.

마이크로 펌프에 의하여 펌핑되는 시간에 따른 순유량이 계산되어 Fig. 3에 제시되었는데 Hartmann 수가 감소함에 따라 순유량이 감소함이 현저하게 나타났다. 주기의 진행에 따라 마이크로 펌프에 의하여 펌핑되는 순유량이 stationary 상태에 도달하였는지를 파악하기 위해 각 주기에서 시간에 따른 순유량의 비교가 Fig. 4에 제시되었다. 여기에서 4 가지의 Hartmann 수에 대하여 모두 첫 번째 주기의 그래프가 두 번째, 세 번째 주기 그래프와 다소 차이가 있으며 두 번째 주기와 세 번째 주기의 순유량 곡선은 사실상 일치하였다. 이는 수치해석에서 주어진 초기조건 (특히 유체의 속도 조건)의 영향이 첫 번째 주기의 유동에 크게 영향을 미치지만 두 번째, 세 번째 주기의 유동에는 영향을 거의 미치지 않기 때문인 것으로 여겨진다. 여기에서 각각의 주기에 대하여 모든 Hartmann 수에 대하여 약  $t = 0.4$  s일 때 최대 순유량이 나타났다 (Fig. 4).

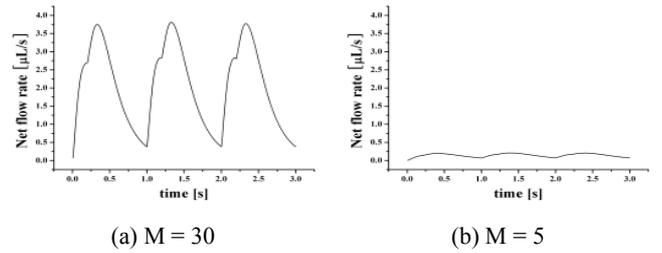


Fig. 3 Net flow rate for four different Hartmann numbers.

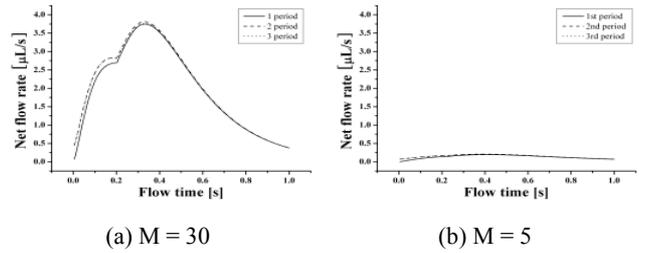


Fig. 4 Comparison of the flow rates for different periods.

### 4. 결론

본 연구에서는 MHD의 원리를 이용한 열공압형 마이크로 펌프에 대하여 grid deform 방식을 이용하여 비정상 3차원으로 수치해석이 수행되었다. 전자기 저항을 이용한 마이크로 펌프의 유량 제어에 관한 연구가 거의 없었다. 본 연구에서는 Hartmann 수에 따른 마이크로 펌프의 pumping 성능이 수치해석 방법을 통하여 제시되었다.

한 번의 길이가 1 mm인 정사각 duct가 입출구 통로로 선정되었고 입출구 duct에 자기장이 인가되었다. 자기장의 세기가 증가함에 따라 통전 유체의 순유량이 증가되었고 그 증가율은 거의 선형적으로 나타났다.

기존 diffuser/nozzle을 이용한 valveless micropump와 본 연구의 마이크로 펌프의 펌핑 능력이 비교되었다. hartmann 수가 5일 때의 유량이 같은 size의 열공압형 마이크로 펌프의 유량보다 약 3.4 배 정도 컸다.

본 연구에서 전자기 저항을 이용한 마이크로 펌프의 유동을 제어할 수 있는 효과가 수치해석을 통해 파악되었으며, 본 연구가 valveless 마이크로 펌프의 장점을 살리면서 pumping 성능이 뛰어난 마이크로 펌프 개발 및 연구에 기여할 것으로 본다.

### 후기

이 연구는 학술진흥재단의 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

1. Chang, J. K., Chung, S. and Han, D. C., "Application of Bio-MEMS Technology on Medicine and Biology", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 7, pp. 45-51, 2000
2. Park, J. S., "Technology trends in the micro-devices and components", Korea Institute of Science and Technology Information, 2002
2. Lee, S. W. and Yang, S. S., "The fabrication and application of micropump", ICASE, pp. 26-32, 1998