

## 전자기 저항을 이용한 열공압형 마이크로 펌프에서 통전유체의 유동 및 펌핑 특성에 관한 연구

오 세 홍, 용 정 권, 김 창 념<sup>\*†</sup>

경희대학교 대학원 기계공학과, <sup>\*</sup>경희대학교 기계공학과(산학협력기술연구원)

### On the Flow and Pumping Characteristics of a Thermopneumatic Micropump with Electromagnetic Resistance for Electrically Conducting Fluids

Se Hong Oh, Jung Kwon Yong, Chang Nyung Kim<sup>\*†</sup>

*Graduate School, Kyunghee University, Yongin 446-701, Korea*

*<sup>\*</sup>Department of Mechanical Engineering, Kyunghee University, Yongin 446-701, Korea*

*(Received April 15, 2010; revision received November 15, 2010)*

**ABSTRACT:** An analysis has been conducted of the flow characteristics and pumping performance of a thermopneumatic micropump with electrically conducting fluid. In the present study, considered is a thermopneumatic micropump for electrically conducting fluids with electromagnetic resistance alternately exerted at the inlet and outlet by alternately applied magnetic fields. A model of Prescribed Deformation is used for the motion of the membrane. Here, the pumping performance of the micropump and flow characteristics of the electrically conducting fluid are investigated in the range of Hartmann number less than 30. The current numerical study shows that the net flow rate through the micropump is almost proportional to the strength of the applied magnetic field.

**Key words:** Electromagnetic Resistance(전자기 저항), Magnetohydrodynamics(자기유체역학), Thermopneumatic Micropump(열공압형 마이크로 펌프)

#### 기 호 설 명

$B$  : 자속 밀도 [T]

$B_0$  : 특성 자속 밀도 [T]

$F$  : 로렌츠 힘 [ $N/m^3$ ]

$J$  : 전류 밀도 [ $A/m^2$ ]

$L$  : 길이 [m]

$L_0$  : 특성 길이 [m]

$M$  : Hartmann 수,  $\sqrt{\frac{\sigma B_0^2 L_0^2}{\mu}}$

$N$  : Interaction parameter,  $\frac{\sigma B_0^2 L_0}{\rho u_0}$

$P$  : 압력 [Pa]

$Re$  : Reynolds 수,  $\frac{\rho u_0 L_0}{\mu}$

$t$  : 시간 [s]

$u$  : 속도 [m/s]

$u_0$  : 특성 속도 [m/s]

#### 그리스 문자

$\mu$  : 동점성 계수 [ $kg/m \cdot s$ ]

$\rho$  : 밀도 [ $kg/m^3$ ]

$\sigma$  : 전기 전도도 [S/m]

$\phi$  : 전기 포텐셜 [V]

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-31-201-2578; fax: +82-31-202-8106

E-mail address: cnkim@khu.ac.kr

## 1. 서 론

최근 마이크로 유체시스템과 소자부품에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있으며 특히 마이크로 유체기기의 핵심소자인 마이크로 펌프의 응용 가능성이 확대됨에 따라 이에 관련된 연구개발이 적극적으로 이루어지고 있다.<sup>(1)</sup> 마이크로 펌프는 마이크로 단위의 시스템 설계기술, 각종 요소 부품들의 마이크로 가공기술, 유동 특성과 관련된 마이크로 유체역학 등 다양한 지식과 첨단기술을 필요로 하는 유체시스템으로서 그 크기가 매우 작고 미소량의 유동 제어가 가능하다. 때문에 마이크로 종합 분석 시스템(micro Total Analysis System :  $\mu$ -TAS) 및 랩온어칩(Lab-on-a-chip)의 응용에 있어서 매우 중요한 비중을 차지하는 유체 제어 기기로서 주목을 받고 있으며 바이오/의료, 신물질 및 화학 등의 다양한 분야에서 폭넓게 활용될 수 있다.<sup>(2)</sup>

마이크로 펌프의 가장 일반적인 형태는 다이어프램(diaphragm)의 변위를 이용하여 압력차를 발생 시킴으로써 유체의 흐름을 유도하는 다이어프램 변위 펌프(diaphragm displacement pump)이다. 이는 박막(membrane)과 같은 다이어프램의 왕복운동을 이용하여 펌핑 챔버(pumping chamber) 내의 공간을 확장하거나 축소시킴으로써 유체의 유동을 발생 시킨다. 다이어프램의 왕복운동을 위해서는 다양한 형태의 작동기구가 이용되는데 그 구동방식에 따라 정전형, 압전형, 전자기형, 열공압 구동방식 등으로 분류할 수 있다. 이 중 열공압 구동방식은 온도에 따른 공기의 팽창/수축 효과를 이용한 방식으로 다른 방식에 비해 비교적 구동 전압이 낮고 구동기 박막의 변위가 크다는 장점이 있으며 구조 및 작동 원리가 간단하여 실용성이 크게 부각되고 있다.<sup>(3)</sup>

박막의 진동을 이용하여 유체를 이송하는 마이크로 펌프의 초기 연구에서는 유체의 흐름을 원하는 방향으로 제어하기 위한 정류 기구로서 압력차로 개폐하는 캔틸레버 형태의 체크밸브가 주로 사용되었다. 그러나 체크밸브를 사용하는 경우 압력강하가 크고 장시간 구동 시 캔틸레버의 파손 등의 문제가 발생하자 이를 해결하기 위해 밸브가 없는 마이크로 펌프(valveless micro-pump)가 제안되었고, 이후 간단한 구조로 유동을 제어하는 기술에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 그 중에서도 디퓨저/노즐을 이용하여 유동제어를 하는 밸브리스(valveless) 마이크로 펌프가 지금까지 많은 주목을 받았으나

디퓨저/노즐 원리를 이용한 마이크로 펌프는 디퓨저와 노즐의 유동 저항의 차이가 현격히 크지 않기 때문에 펌핑 성능이 떨어진다는 단점이 있다.

자기유체역학(magnetohydrodynamics : MHD)은 통전유체에서 전자기적 에너지와 기계적 에너지의 상호전환을 다루는 학문이다.<sup>(4-6)</sup> 주로 MHD는 수은과 같은 액체금속과 이온화된 가스를 펌핑하고 제어하는 데에 적용되고 있으며 자기 핵융합 장치(magnetic fusion device) 등에 대한 연구에도 사용되고 있는데 마이크로 펌프의 입·출구 부위에 자기장을 인가함으로써 인해 발생하는 전자기 저항을 유동저항으로 설정하여 기존 정류 밸브(check valve)의 기능과 유사한 기능을 갖게 할 수 있다. 본 연구에서는 통전유체의 미세 유동을 제어하기 위하여 기존의 밸브리스(valveless) 마이크로 펌프의 장점을 살리면서 디퓨저/노즐 원리에 의한 마이크로 펌프의 성능보다 향상된 펌핑 성능을 구현하기 위하여 MHD 유동저항 원리를 이용한 열공압형 마이크로 펌프의 유동을 수치해석하고 펌핑성능을 평가하고자 한다.

## 2. MHD를 이용한 유동제어의 원리 및 지배방정식

### 2.1 마이크로 펌프의 기하학적 형상

본 연구에서 고려된 마이크로 펌프의 단면 형상이 Fig. 1에 제시되었는데 챔버(chamber)의 직경이 10 mm, 높이가 500  $\mu$ m이고 2개의 덕트(입구와 출구)가 챔버와 연결되어 있다. 챔버의 바닥에는 시간에 따라 상승 및 하강하는 박막(membrane)이 있다. 1×1 mm의 단면을 갖는 입구 덕트와 출구 덕트가 각각 챔버의 중심에서 3 mm 떨어진 곳에 설치되어 있으며 각각의 덕트의 길이는 14 mm이다. 이 두 개의 덕트에 대하여 챔버의 상판에서 5 mm 떨어진 위치에서부터 12 mm 떨어진 위치까지의 7 mm 영역에 걸쳐서 자기장이 주기적으로 x축 방향으로 인가된다.

### 2.2 MHD를 이용한 유동제어의 원리

유체의 속도가  $\vec{u}$ 이고, 자속  $\vec{B}_0$ 가 걸려 있을 때 아래의 식과 같이 전류밀도,  $\vec{j}$ 가 발생된다(Fig. 2).

$$\vec{J} = \sigma(-\nabla\phi + \vec{u} \times \vec{B}_a) \quad (1)$$

여기서,  $\phi$ 는 전기포텐셜,  $\sigma$ 는 통전유체의 전기전도도이다. 덕트의 재질이 전기를 통하지 않을 경우에 전류의 흐름은 유체의 영역에 국한되어 자장이 인가되는 중앙부위에서는 전류의 흐름이 xz 평면에서 폐쇄회로(closed loop)를 이룬다.

발생된 전류밀도에 의해 아래의 식과 같이 로렌츠 힘(Lorentz force),  $\vec{F}$ 가 발생된다.

$$\vec{F} = \vec{J} \times \vec{B}_a \quad (2)$$

$\vec{F}$ 가 유체의 유동 방향과 반대 방향으로 작용되어 결과적으로 유동 저항이 발생하는데 이 원리가 마이크로 펌프에 적용되어 유동 제어를 담당하게 된다. 즉, 마이크로 펌프의 박막이 상승할 때에 입구측에 자기장을 걸어줌으로써 유동저항을 발생시켜 챔버 내부에 있는 유체가 입구측으로 유출되는 것을 억제하며, 또 박막이 하강할 때에는 출구측에 자기장을 걸어주어 출구 쪽에 있는 유체가 펌프 내부로 유입되는 유동을 억제한다. 이로써 전체적으로 입구측에서 출구측으로 이동하는 유체유동이 얻어질 수 있다.

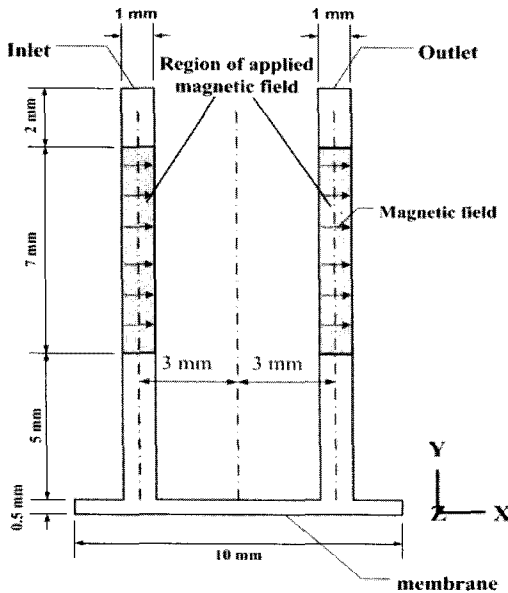
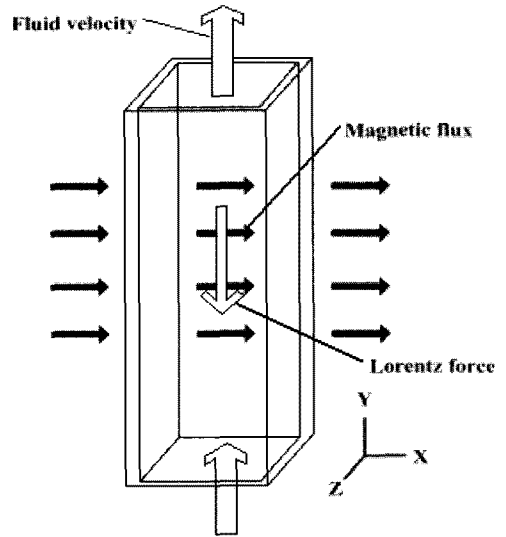
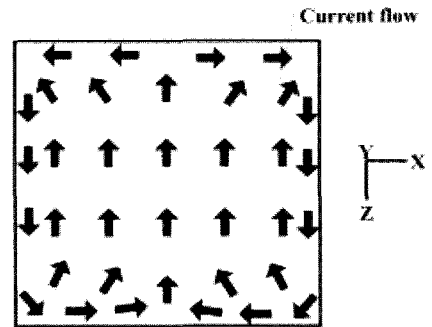


Fig. 1 Cross-sectional view of the thermo-pneumatic micropump with electromagnetic resistance.



(a) Lorentz force exerted in a duct



(b) current flow in a cross-section of a duct

Fig. 2 Schematic diagram for the Lorentz force and induced current.

### 2.3 지배방정식

MHD 문제에서는 내비어-스톡스(Navier-Stokes) 방정식과 맥스웰(Maxwell's) 방정식이 고려되어야 한다. 비정상, 비압축성, 층류 유동 그리고 물성치가 상수일 때, 통전유체에 대한 지배방정식은 다음과 같다.

$$\text{질량 보존식} \\ \nabla \cdot \vec{u} = 0 \quad (3)$$

$$\text{운동 방정식} \\ \rho \left( \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 \vec{u} + \vec{J} \times \vec{B} \quad (4)$$

전하 보존 방정식

$$\nabla \cdot \vec{J} = 0 \quad (5)$$

오염의 법칙

$$\vec{J} = \sigma(-\nabla\phi + \vec{u} \times \vec{B}) \quad (6)$$

유도 방정식

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{B} = \alpha_m \nabla^2 \vec{B} + (\vec{B} \cdot \nabla) \vec{u} \quad (7)$$

여기서,  $\alpha_m = (\mu_0 \sigma)^{-1}$ 이고  $\mu_0$ 와  $\sigma$ 는 각각 자기 투과도(magnetic permeability)와 전기 전도도(electrical conductivity)이다.

또한, 본 연구에서는 전자기 저항을 이용한 열공압형 마이크로 펌프의 유동 특성과 펌핑 성능을 파악하기 위해 Hartmann 수를 고려하였는데 Hartmann 수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M = \sqrt{(\text{Re} \cdot N)} = \sqrt{\frac{\sigma B_0^2 L_0^2}{\mu}} = \frac{\text{자기력}}{\text{점성력}} \quad (8)$$

여기서 무차원수 Re, N은 각각 Reynolds 수, Interaction parameter 이며, 이들의 물리적 의미는 다음과 같다.

$$\text{Re} = \frac{\rho u_0 L_0}{\mu} = \frac{\text{관성력}}{\text{점성력}}$$

$$N = \frac{\sigma B_0^2 L_0}{\rho u_0} = \frac{\text{자기력}}{\text{관성력}}$$

### 3. 수치해석 모델 및 방법

본 수치해석 연구에 사용된 격자계(Fig. 3)에서 제시된 바와 같이 자기장이 걸리는 영역에는 6면체 격자(hexagonal grid)가 사용되었고, 챔버 영역과 챔버와 자기장 인가영역 사이의 입·출구 덕트 부분에는 4면체 격자(tetragonal grid)가 사용되었으며 본 격자계에서는 약 580,000개의 격자가 사용되었다. 자장이 걸려있는 부분과 챔버와 덕트가 연결되는 부분에서 속도벡터가 급격히 변화하는 특성이 있으므로 이들 영역에서 조밀한 격자가 사용되었다.

전자기 저항을 이용한 열공압형 마이크로 펌프의 유동 특성과 펌핑 성능을 파악하기 위해 Hartmann 수가 5, 10, 20, 30인 4 가지 경우에 대해 수치계산이

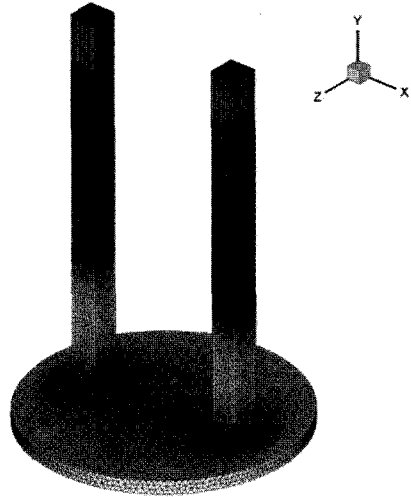


Fig. 3 Grid system for the thermopneumatic micropump.

수행되었고, 각 경우에 인가된 자기장의 세기가 Table 1에 제시되었다.

수치해석 시 고려된 마이크로 펌프의 캐비티(cavity) 내에 설치된 열선에서는 0.0~0.2 s 동안 전기가 흐르고, 이 때 전기저항에 의해 발생된 열로 인해 캐비티(cavity)가 팽창하여 막막이 상승하며, 또 0.2~1.0 s 동안에는 전기가 흐르지 않아 캐비티(cavity)로부터 외부로 열이 방출되어 막막이 하강한다. 펌프의 입구와 출구에 걸리는 자기장은 이러한 막막의 상승 및 하강에 맞추어 인가되며, Fig. 4에 제시된 바와 같이 막막이 상승하는 동안에는 입구측 덕트에 자기장이 인가되고 막막이 하강하는 동안에는 출구측 덕트에 자기장이 인가된다.

연구에 사용된 마이크로 펌프의 작동유체는 통전유체인 수은(mercury)이며 수치계산에 사용된 수은의 물성치가 Table 2에 제시되었다.

본 연구에서는 캐비티(cavity)의 팽창 및 수축에 의한 막막의 거동 특성을 모사하기 위하여 Timoshenko<sup>(7)</sup>의 이론을 사용하여 아래의 Prescribed Deformation Model을 사용하였다.

$$D_z(r, t) = A_0(t) \left[ 1 - \left( \frac{r}{R} \right)^2 \right]^2 \quad (9)$$

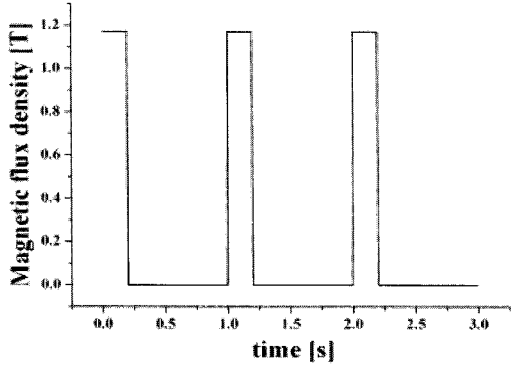
여기서, R은 막막(membrane)의 반지름, r는 원의 중심에서부터 임의의 위치까지 거리이며  $A_0(t)$ 는 시간에 따른 막막(membrane)의 중심에서의 변

Table 1 The calculation conditions

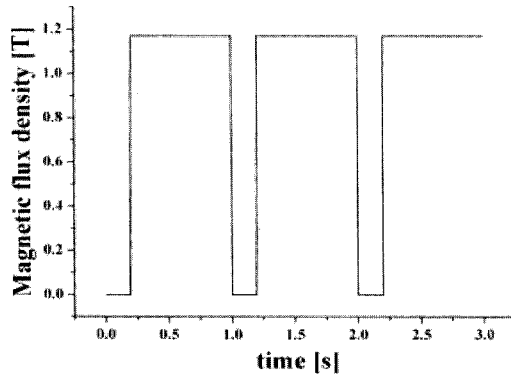
	Hartmann number, M	Magnetic flux density, $B_a$ [T]
case 1	5	0.1951
case 2	10	0.3903
case 3	20	0.7805
case 4	30	1.1707

Table 2 Properties of the working fluid

Name	Mercury
Density( $\rho$ )	13,529[kg/m <sup>3</sup> ]
Dynamic viscosity( $\mu$ )	0.001523[kg/m · s]
Electrical conductivity( $\sigma$ )	1.0×10 <sup>6</sup> [S/m]
Magnetic permeability( $\mu_0$ )	1[H/m]



(a) Inlet region



(b) Outlet region

Fig. 4 The applied magnetic flux density at the inlet and outlet duct for the Hartmann number 30.

위이다. 본 연구에서 고려된 마이크로 펌프와 동일한 챔버 형상의 열공압형 디퓨저/노즐 마이크로 펌프의 유동특성에 대해 실험과 FSI 기법을 이용하여 Jeong<sup>(8)</sup>의 연구가 수행되었다. 이 연구에서 제시된 시간에 따른 박막 중심의 변위와 이를 3차 함수(0.0~0.2 s 구간)와 지수함수(0.2~1.0 s 구간)로 회귀 분석한 곡선(curve fitting)이 Fig. 5에 나타났다. 여기에서  $A_0(t)$ 는 Table 3에 제시된 바와 같이 나타낼 수 있다.

박막의 변위에 관한 식(9)를 챔버의 바닥면에 적용시킴으로써 마이크로 펌프 내부의 유체 유동이 이뤄진다. 챔버영역은 상용 코드 FLUENT에서 제공하는 Dynamic Mesh Method 중 Spring-Based Smoothing Method가 적용되었고 박막의 거동이 UDF(User-Defined Function)로 구현되었다.

작동유체의 유동에 대해서는 점착조건(non-slip condition)이 사용되었고, 마이크로 펌프에서 통전유체가 마이크로 펌프의 내벽과 절연되었다고 가정하여 전위  $\phi$ 에 대한 경계조건은  $\partial\phi/\partial n = 0$ 이다. 또

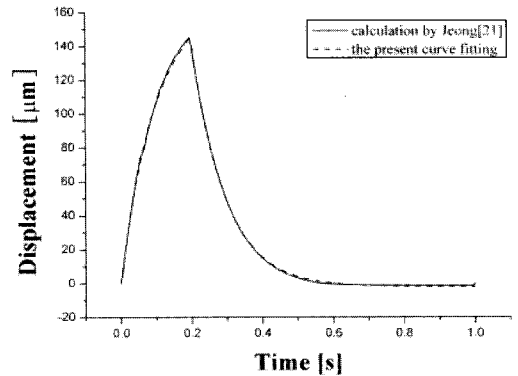


Fig. 5 The displacement of the center of the membrane.

Table 3 Regression of the displacement in the center of the membrane

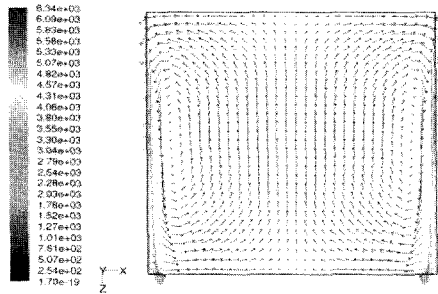
$0 \leq t < 0.2$		$0.2 \leq t < 1$	
$A_0(t) = a_0 + a_1t + a_2t^2 + a_3t^3$		$A_0(t) = k_1e^{(-t/k_2)} + k_3$	
$a_0$	1.90323×10 <sup>-7</sup>	$k_1$	0.00119
$a_1$	0.00164	$k_2$	0.09457
$a_2$	-0.00699	$k_3$	-2.00357×10 <sup>-7</sup>
$a_3$	0.01217		

입·출구에서는  $P = 0$ 의 조건이 주어져 있다. 수치 계산에 사용된 초기조건은 모든 계산영역에서  $\vec{u} = 0, P_{gage} = 0, B_u = 0$ 이다.

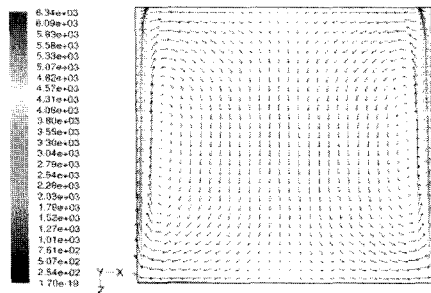
여기에서 주어진 초기조건이  $t > 0$ 인 시각에서의 유체의 유동과 마이크로 펌프의 성능에 영향을 미치므로 수치계산에서 얻은 마이크로 펌프의 첫 번째 주기에서의 특성치들은 수학적으로 지정된 초기 조건에 크게 영향을 받을 수 있다. 그러므로 임의로 주어진 초기조건(특히, 유체의 속도조건)에 영향을 받지 않는 펌핑 주기까지(즉, 3번째 주기까지) 수치 계산이 수행되었다.

#### 4. 수치해석 결과

Fig. 6은 박막이 상승 및 하강할 때 자기장이 걸리는 입·출구 단면에서 전류의 흐름을 나타내고 있다. 박막이 상승할 때(예를 들어,  $t = 0.1$  s)에 자장이 걸려 있는 입구영역에서  $y$  방향으로 유동이 발생하는데 이 유동과 인가된 자기장( $x$  방향)이 상호 작용하여 입구영역의 넓은 부분에서  $z$  방향성분을 갖는 전류밀도가 관찰된다. 본 연구에서 입·



(a) Inlet region(at  $t = 0.1$  s)



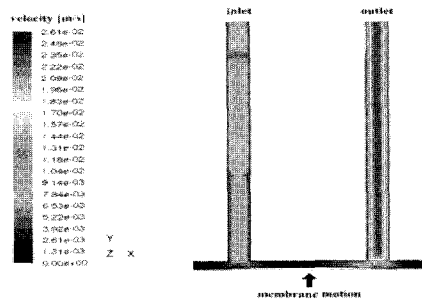
(b) Outlet region(at  $t = 0.35$  s)

Fig. 6 The current flows in the cross section (at  $y = 9$  mm) at the inlet and outlet.

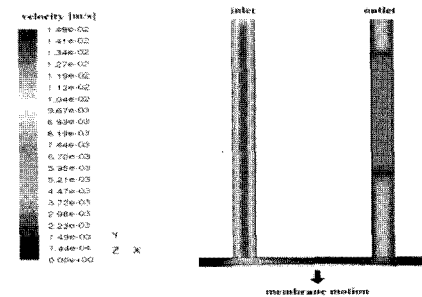
출구 덕트는 전기적으로 절연되어 있으므로  $z$  축에 평행한 두 벽면 근처에서는 양의  $z$  방향으로 비교적 큰 전류밀도를 갖는 전기의 흐름이 나타나서  $zx$  평면의 유동영역에서 폐쇄회로(closed loop)를 이룬다(Fig. 6(a)).

한편, 박막이 하강할 때(예를 들어,  $t = 0.35$  s)에는 출구영역에서 음의  $y$  방향으로의 유동이 발생하며 이 유동과 자기장이 상호작용하여 출구영역의 넓은 부분에서  $z$  방향 성분을 갖는 전류밀도가 관찰된다(Fig. 6(b)). 이처럼 유도된 전류는 다시 자기장과 상호작용에 의하여 작동유체의 유동과 반대 방향으로 작용하는 로렌츠 힘(Lorentz force)를 생성함으로써 마이크로 펌프의 밸브 역할을 하게 된다.

박막이 상승하고 하강할 때의 작동유체의 속도분포가 Fig. 7에 제시되었는데, 박막이 상승할 때에는 입구 측에 인가된 자기장에 의하여 유동 저항이 발생하게 되어 출구로 작동유체가 더 많이 유출되고, 반면에 박막이 하강할 때에는 입구로 작동유체가 더 많이 유입됨을 보이고 있다. 여기서, 자기장이 인가되지 않은 부위의 덕트에서는 덕트 중심부의



(a)  $t = 0.1$  s



(b)  $t = 0.35$  s

Fig. 7 The velocity contours in the cross section view of the micropump ( $M = 30$ ).

속도가 덕트 벽면 근처에서의 속도 보다 크지만 자기장이 인가된 영역의 덕트에서는 덕트 단면에서의 속도 분포가 비교적 납작해지는 것으로 나타났다.

Fig. 8은 4 개의 Hartmann 수에 대하여 마이크로 펌프의 입·출구에서 계산된 시간에 대한 flow rate의 그래프를 나타내고 있다. 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 절대

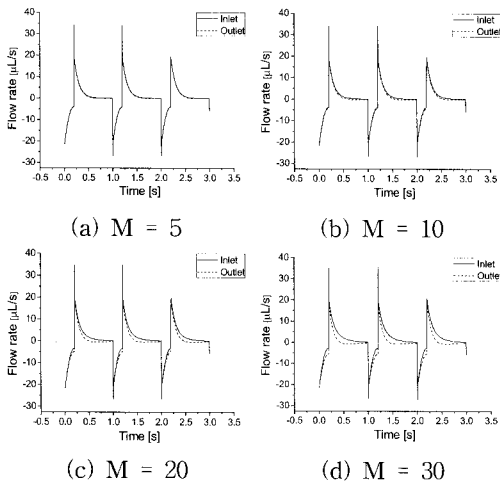


Fig. 8 Flow rates at the inlet and outlet for four different Hartmann numbers.

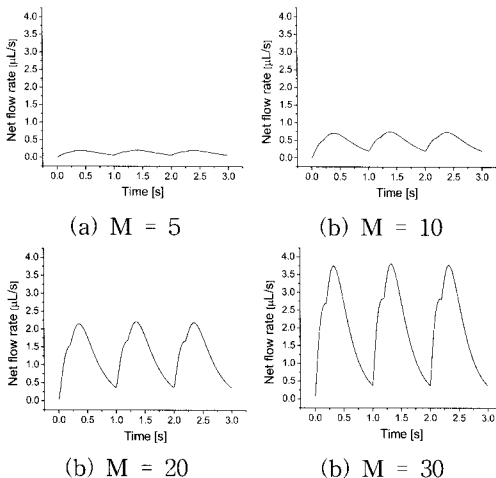


Fig. 9 Net flow rate for four different Hartmann numbers.

값이 크므로 전체적으로 유체가 입구로 들어와 출구로 나가는 유동을 갖게 된다. 이 그림에서 입구와 출구에서 자장의 인가가 시작되거나 종료되는 순간 (예를 들어,  $t = 2.0$  s와  $t = 2.2$  s)에 입·출구에서 유량의 절대값이 극대치(peak)를 보이고 있다.

이 그림에서 Hartmann 수가 증가할수록 박막이 상승 하강하는 각 시간구간에서 입·출구 유량의 절대값의 차이가 증가하였다. 마이크로 펌프에 의하여 펌핑되는 시간에 따른 순유량이 계산되어 Fig. 9에 제시되었는데 Hartmann 수가 증가함에 따라 순유량이 증가하는 현상이 현저하게 나타났다.

주기의 진행에 따라 마이크로 펌프에 의하여 펌핑되는 순유량이 일정한 상태에 도달하였는지를 파악하기 위해 각 주기에서 시간에 따른 순유량의 비교가 Fig. 10에 제시되었다. 여기에서 4가지의 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 수치계산에서 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. 각각의 주기에서 모든 Hartmann 수에 대하여 약  $t = 0.4$  s일 때 최대 순유량이 나타났다.

모든 경우에서 두 번째 주기와 세 번째 주기에서의 순유량 곡선들이 거의 동일한 결과를 나타내

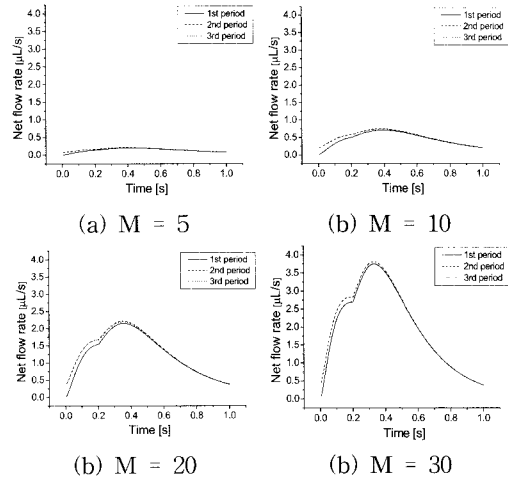


Fig. 10 Comparison of the flow rate for different periods.

고 있으며 따라서 세 번째 주기 동안에 이송되는 순유량이 계산되어 Fig. 11에 제시되었다. 여기에서 펌프를 통해 이송되는 순유량은 Hartmann 수에 대하여 거의 선형적으로 증가하며 인가되는 자장의 크기와 관련하여 전자기 저항을 이용한 열공압형 마이크로 펌프에서 펌핑유량이 매우 넓은 범위를 보이고 있으므로 본 마이크로 펌프는 공급되는 체적 흐름율이 넓은 범위를 갖는 사용처에 적절히 적용될 수 있다.

펌프 입·출구 간의 압력차(수두)와 펌프의 이송유량 간의 관계를 나타낸 성능곡선이 Fig. 12에 제시되었다. Hartmann수가 30이고 펌프 입·출구 양단의 정압 차이가 약 0~3 Pa일 때 펌프의 이송유량은 약 0~120  $\mu\text{L}/\text{s}$ 의 범위를 갖는다.

또한 Jeong<sup>(8)</sup>의 논문에서 실험적으로 얻은 유량과 본 수치계산에서 얻은 유량이 Table 4에 비교되었다. 본 연구에서 고려된 열공압형 마이크로 펌프

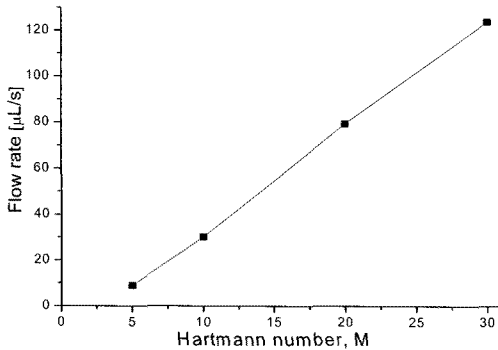


Fig. 11 The flow rate with the Hartmann number in the micropump.

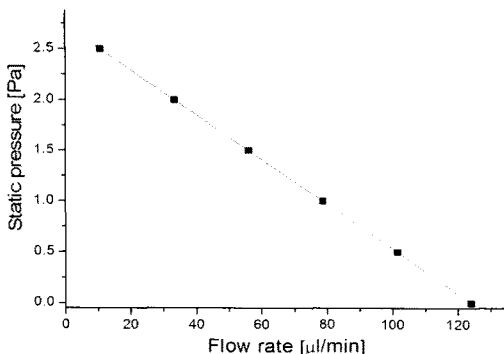


Fig. 12 The performance curve for the micropump with the Hartmann number of 30.

Table 4 Comparison of the pumping performance.

	experimental value	numerical value
actuation method	thermopneumatic	thermopneumatic
flow control	diffuser/nozzle	electromagnetic resistance (M = 5)
diameter of chamber	10 mm	10 mm
height of chamber	0.5 mm	0.5 mm
flow rate	2.65 [ $\mu\text{L}/\text{min}$ ]	9.00 [ $\mu\text{L}/\text{min}$ ]

의 챔버 형상과 동일한 챔버 형상을 갖는 열공압형 디퓨저/노즐 마이크로 펌프가 Jeong<sup>(8)</sup>의 연구에서 사용되었는데 본 연구결과와 직접적으로 비교될 수 있는 실험적 연구가 현재까지 수행된 바가 없으므로 본 연구결과가 Jeong<sup>(8)</sup>의 실험적 연구결과와 비교되었다. 그의 실험적 연구에서 주파수는 1 Hz, duty ratio는 0.2(이상 본 연구와 같음)이며 캐비티(cavity)를 가열하기 위하여 니크롬선 저항(2  $\Omega$ )에 4 V의 전압이 인가되었다. 이 실험연구에서 유량은 2.65  $\mu\text{L}/\text{min}$ 이었다.

본 수치계산에서 얻은 Hartmann 수가 5일 때(자기장의 세기가 0.1951 T일 때)의 유량이 Jeong<sup>(8)</sup>의 실험연구에서 얻은 유량보다 약 3.4배 컸다. 또, Hartmann 수가 30인 경우의 본 마이크로 펌프의 성능곡선을 고려할 때에 통전유체의 펌핑을 위하여 본 연구에서 채택한 전자기 저항을 이용한 마이크로 펌프의 성능은 괄목할 만하다고 할 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 MHD의 원리를 이용한 전자기 저항을 사용하는 열공압형 마이크로 펌프의 유동 및 펌핑성능이 Prescribed Deformation Model의 방식으로 비정상 3차원으로 수치해석이 수행되었다. 전자기 저항을 이용한 마이크로 펌프의 유량 제어에 관한 연구가 거의 이루어 지지 않았다. 본 연구에서는 Hartmann 수에 따른 마이크로 펌프의 펌핑 특성이 수치해석 방법을 통하여 제시되었다.

정사각형의 단면을 갖는 덕트가 입·출구 통로로 선정되었고 입·출구 덕트에 자기장이 교대로 인가되었다. 자기장의 세기가 증가함에 따라 통전유체



의 순유량이 거의 선형적으로 증가하였다. 여기에서 Hartmann 수의 범위에 따라 전자기 저항을 사용하는 열공압 마이크로 펌프는 넓은 영역의 펌핑 유량을 가능하게 하고 있다.

기존의 디퓨저/노즐을 이용한 밸브리스(valveless) 마이크로 펌프와 본 연구의 마이크로 펌프의 펌핑 능력이 비교되었다. Hartmann 수가 5일 때에 전자기 저항을 갖는 열공압형 마이크로 펌프의 펌핑 유량이 같은 크기의 디퓨저/노즐을 갖는 열공압형 마이크로 펌프의 유량보다 약 3.4배 정도 컸다.

본 연구를 통하여 전자기 저항을 이용한 마이크로 펌프의 펌핑 특성이 수치해석 방법에 의해 파악되었으며, 본 연구는 밸브리스(valveless) 마이크로 펌프의 장점을 살리면서 펌핑 성능이 뛰어난 마이크로 펌프를 개발하고자 하는 연구에 크게 기여할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 한국연구재단 기초연구사업(521-2007-1-D00067)의 지원으로 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. Chang, J. K., Chung, S. and Han, D. C., 2000, Application of Bio-MEMS Technology on Medicine and Biology, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 7, pp. 45-51.
2. Park, J. S., 2002, Technology trends in the micro-devices and components, Korea Institute of Science and Technology Information.
3. Lee, S. W. and Yang, S. S., 1998, The fabrication and application of micropump, ICASE, pp. 26-32.
4. Davison, P. A., 2001, An Introduction to Magneto Hydrodynamics, Cambridge Univ. Press.
5. Jang, J. and Lee, S. S., 2000, Theoretical and experimental study of MHD micropump, Sensors and Actuators A, Vol. 80, pp. 84-89.
6. Lemoff A. V. and Lee, A. P., 2000, An AC magnetohydrodynamics micropump, Sensors and Actuators B : Chemical, Vol. 63, pp. 178-185.
7. Timoshenko, S. P. and Woinosky-krieger, S., 1959, Theory of Plates and Shells, 3rd edition, McGraw Hill Book Co. Inc., New york.
8. Jeong, J., 2006, An Experimental and Numerical Study on the Membrane Behavior and Flow Characteristics in a Diffuser-Nozzle Based Thermopneumatic Micropump, Kyung Hee Univ., Seoul, Korea.

1. Chang, J. K., Chung, S. and Han, D. C., 2000, Application of Bio-MEMS Technology on Me-