

자성유체를 기반으로 한 마이크로 스케일의 연동형 펌프

김한상*, 성탄일*, 최홍순**, 박일한*
 성균관대학교*, 경북대학교**

A magnetic liquid based microscale peristaltic pump

Han-Sang Kim*, Tan-Il Sung*, Hong-Soon Choi**, Il-Han Park*
 Sungkyunkwan University*, Kyungpook National University**

Abstract - 본 연구에서는 자성유체를 기반으로 마이크로 스케일 유체를 이동시키기 위한 pump를 모델링하고 실험을 통해 동작을 확인한다. 탄성체와 자성유체로 구성된 횡경막이 연속적으로 움직이는 형태의 액츄에이터는 pump와 같은 움직임을 일으키는데, 이 때 움직이는 유체의 양은 매우 극소량으로 제어 가능하며, 액적의 이동속도는 자성유체를 통한 횡경막의 반복적인 움직임의 속도에 의해 결정된다. 자력에 의한 횡경막의 변위에 따른 액적의 양을 유추하고 고안된 마이크로 스케일의 pump의 예측된 움직임을 실제 제작하여 비교 관찰하고자 한다.

자성 유체의 기본 동작은 외부에 아무런 자력이 작용하지 않을 경우 일반적인 유체와 같이 놓여 있으나 그림1과 같이 외부에 자력이 작용할 경우, 자력이 유체를 잡아두어 힘이 유체의 형상을 변화시키게 된다. 유체의 경우는 전단응력이 있을 경우 형상이 변하므로 부분적인 힘에 의해 형상이 변하게 된다. 향후 수치해석을 이용하여 자성유체의 내부에서 작용하는 힘을 이용하여 형상변화를 예측할 필요가 있다. 이 때에 유체 내부에 작용하는 힘의 밀도를 나타내는 식을 아래와 같이 나타낼 수 있다[4].

1. 서 론

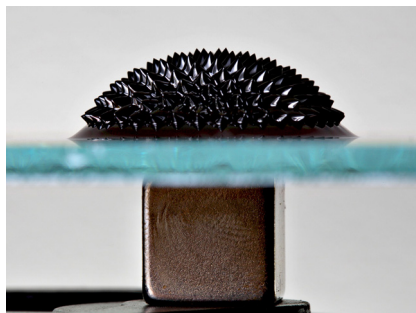
마이크로 스케일의 펌프에 관한 연구는 화학적인 분석 시스템이나, 마이크로믹서 혹은 dispenser의 목적으로 전자, 의료, 통신 및 군사 분야에서 다양한 형태로 제안되어 왔다. 이러한 마이크로 펌프의 중요성 때문에 여러 종류의 마이크로 펌프에 대한 이론적인 분석에서부터 설계 및 제작에 관하여 많은 문헌에서 다루어지고 있다.

연동형 마이크로펌프는 마이크로 장치 중에서도 Bio-MEMS 분야에서 많이 개발되고 있는데, 연동형 마이크로펌프는 밸브가 없고, 펌프 내 형상이 단순하여 유동에 간섭이 적다는 장점이 있으며, 적은 유량을 정밀하게 이송할 수 있어 심장수술 중 혈액 공급에 사용되거나, 환자의 체내에 약물을 공급하기 위해서 정확한 양을 지소적인 방법으로 주입해야 하는 치료법에 응용되고 있다. 체내 삽입을 목적으로 하는 마이크로펌프는 체내에서의 세포손상을 최소화해야 한다. 따라서 구동방식에 대한 연구가 중요하다. Vishal singhal은 지금까지 제안된 다양한 종류의 마이크로 펌프에 대한 작동원리 및 구성에 관해 총체적으로 정량적인 기준을 기반으로 정리하였다[1]. Yin and Fung은 연동형 마이크로펌프의 유동 특성을 알아보기 위해 타임랩스를 이용한 간단한 실험장치를 구성하여 실험하였고, 연동형 마이크로펌프의 속도분포를 확인하고 이론적 연구와 비교하였다[2]. 하지만 대부분의 기존 연구에서 Actuating을 가능하게 하는 대부분의 소스는 공기나 오일에 의한 기계적인 구성에 의존하는 한계를 지니고 있었다. 기존의 방법에서 벗어나 Yufeng Su는 전자기력을 활용한 마이크로 액츄에이터를 제작하고 이를 Micro-Electro-Mechanical System(MEMS)에서 활용하는 것을 제안하였다[3].

본 논문에서는 actuating의 소스로써 자성 유체를 활용하여, 자성유체를 활용한 마이크로 스케일의 펌프 모델을 제안하고, 실험을 통해 그 특성을 확인하고자 한다[4].

2. 자성체에 작용하는 힘과 제안한 펌프 모델

2.1 자성체의 내부에 작용하는 힘



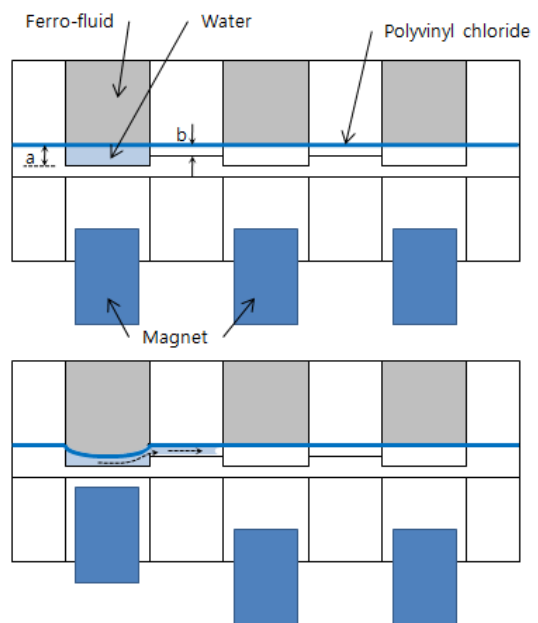
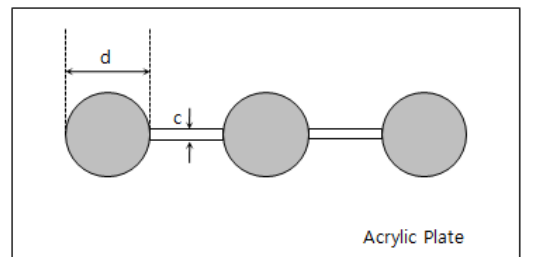
<그림 1> 자성 유체의 기본 동작

$$f_m = (\mu_0 M \cdot \nabla) H_0 = \frac{\mu_0 + \mu}{2} (M \cdot \nabla) H \quad (1)$$

여기서, f_m 은 magnetic body force density, H 는 total field, H_0 는 external field이다.

2.2 제안한 연동형 펌프 모델

자성유체를 이용한 연동형 펌프를 동작하기 위해 제안한 모델의 개념도를 아래에 나타낸다.



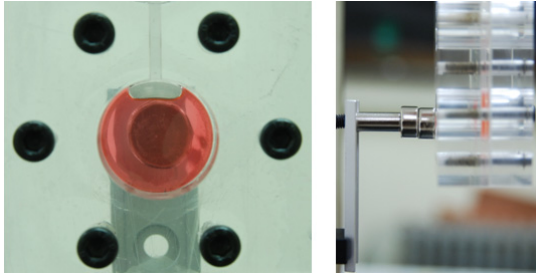
<그림 2> 실험 모델의 개념도

이 때, 폴리염화비닐(polyvinyl chloride)로 횡경막을 구성하고, 영구자석은 표면에서의 잔류자속밀도가 1테슬라인 네오디뮴자석을 이용한다. 을 움직여 자성유체가 펌프로 동작하도록 구성하였다.

3. 실험 및 결과

3.1 실험 모델

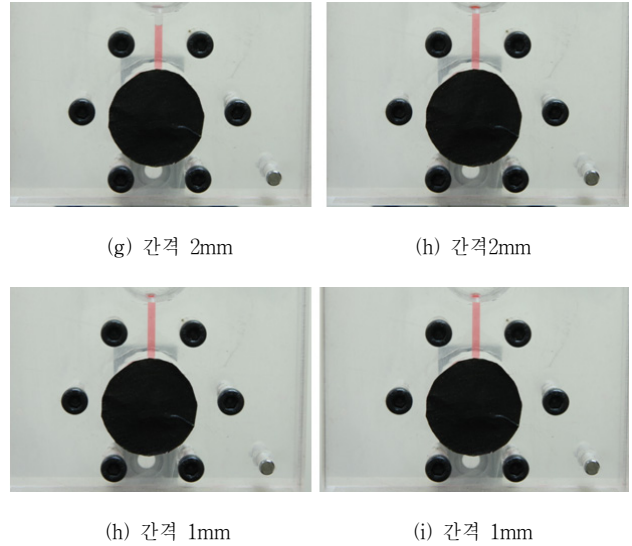
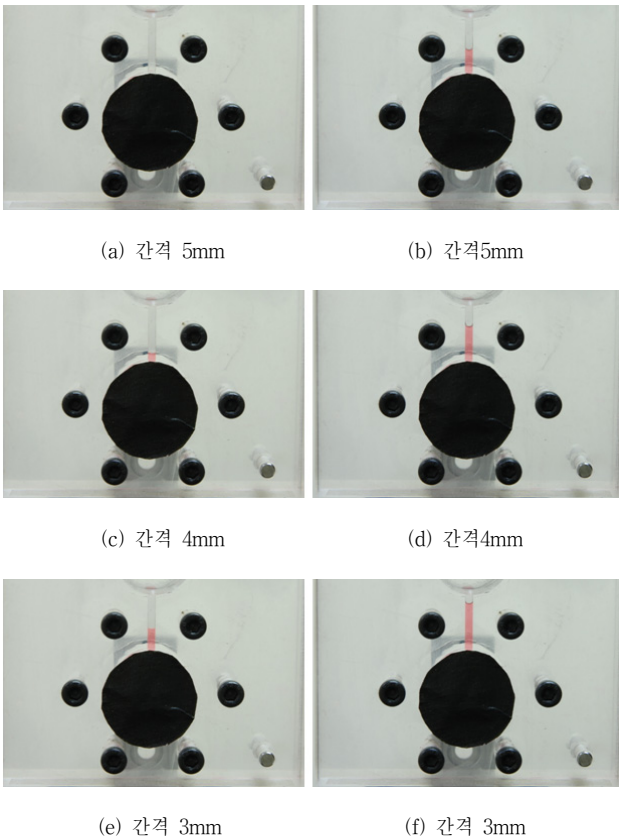
실험에 사용된 스테이지를 그림3에 나타내었다. 초기에 15mm 간격으로 떨어진 곳에 위치한 자석을 0.5mm씩 자성유체쪽으로 옮기면서 액적의 움직임을 확인하고, 다시 멀어지면서 액적이 움직임을 확인하였다.



〈그림 3〉 제작한 펌프의 구조

3.2 실험 결과

자석이 자성유체쪽으로 움직임에 따라 횡경막에 압력이 가해져서 유체가 이동하는 펌프의 역할을 하는 것을 그림4에 나타내었다. 총 5회의 실험을 반복하는 동안 정확하게 같은 양만큼의 액적이 이동하는 것을 확인하였다. 그림3에서 같은 간격임에도 액적에 가해지는 압력이 달라 물이 올라가는 높이가 다른 것을 것을 확인할 수 있다. 이것은 자성체의 히스테리시스 현상으로 볼 수 있고, 특히 이번 실험에서 그 현상이 더 두드러진 이유는 실험에 사용된 자성유체에 같은 자석을 사용했을 때, 더 높은 힘을 얻기위해서 자성유체에 페라이트 분말을 섞었기 때문이라 사료된다.



〈그림 4〉 자석과 자성유체의 간격에 따른 액적의 움직임

4. 결 론

본 논문에서는 자성유체를 기반으로 한 마이크로 스케일의 연동형 펌프를 제안하고, 아크릴과 폴리염화비닐을 이용하여 제작/시험하여 제안한 펌프의 동작가능성을 확인하였다. 횡경막에 작용하는 압력은 수차례의 반복실험에도 항상 같은 결과를 보였다. 자성체가 자성유체에 접근할 때와 멀어질 때의 특성이 다르더라도 일정한 양이 항상 유지되는 것은 자성유체와 자석을 스스로 사용하는 연동형 펌프의 특징이 될 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Vishal Singhal, Suresh V Garimella, and Arvind Raman, "Microscale pumping technologies for microchannel cooling systems", Appl Mech Rev vol 57, no 3, May 2004.
- [2] Yin, F.C. and Fung, Y.C., , "Comparison of theory and experiment in peristaltic transport", J. fluid Mech., Vol .47, Part1, pp.93-112, 1971
- [3] Yufeng Su and Wenyuan Chen, "Electroplated hard magnetic material and its application in microelectromechanical systems", IEEE Transactions on magnetics, Vol. 41, Issue 12, pp.4380-4383, Dec. 2005.
- [4] H. S. Choi, Y. S. Kim, K. T. Kim, and I. H. Park, "Simulation of Hydrostatical Equilibrium of Ferrofluid Subject to Magneto-static Field", IEEE Transactions on Magnetics, vol. 44, No. 6, June, 2008.