

약물 공급 미니펌프용 전자기 액추에이터

조두희

한국전자통신연구원 의료정보보호연구팀

Electromagnetic Actuators for Drug Delivery Mini-Pump

Doo-Hee Cho

ETRI, Medical information security team

Abstract : In this paper we propose a new model of a mini-pump with peristaltic motion and present the results of the finite element analysis of an electromagnetic micro actuator. The mini-pump consists of three diaphragms made of PDMS, three permanent magnets in cylinders, printed copper coils on glass substrates, and input and output port. The size of the mini-pump is 14 x 40 x 5.4 mm³ and the permanent magnet diameter 6.2 mm x thickness 2 mm. The electromagnetic force applied on the magnet was about 0.84 N when the current of coils was 1 A, then the maximum displacement of the PDMS diaphragm was about 2 mm.

Key Words : peristaltic, mini-pump, PDMS, diaphragm, electromagnetic, actuator

1. 서 론

바이오 메디컬 분야에 마이크로 펌프는 매우 다양하게 사용된다. 특히 마이크로 유체역학을 이용하는 μ -TAS, Lab on a chip 분야 및 약물 공급 분야에 이용하기 위한 마이크로 펌프의 개발이 최근 활발하게 이루어지고 있다.¹⁾ 마이크로 펌프는 기계적 방식과 비기계적 방식 두 가지로 분류할 수 있는데 비기계적 방식은 이송할 수 있는 유체의 종류가 제한되기 때문에 기계적 방식이 선호된다. 그러나 일반적인 로터리 펌프는 부피가 크고 정밀 베어링이 필요하며 격막 펌프는 복잡한 형상의 체크밸브를 사용해야 하므로 최근 연동펌프 방식이 선호되고 있다. 또한 연동 펌프의 격막은 생체 친화적인 PDMS 소재를 사용하여 쉽게 제작할 수 있고 생체에 무해하다.²⁾ 액추에이터의 작동 원리에 따라 펌프를 분류하기도 하는데 액추에이터에 따른 분류는 압전체 방식, 정전기력 방식, 이온 교환 폴리머-금속 복합체 방식, 열기압 방식, 전자기력 방식 등 다양한 구동 방식으로 나눌 수 있다.¹⁾ 압전체와 정전기력 방식은 구동하는데 높은 전압이 필요하여 의료 생체용으로는 적합하지 않고 열기압 방식은 전력 소비가 많으며 이온교환 폴리머-금속 복합체 방식은 아직 내구성이 검증되지 않은 단점이 있다. 이에 비해 전자기 액추에이터는 비교적 작은 전압에 의해 큰 구동 거리를 가지며 높은 에너지 밀도를 얻을 수 있고 비교적 빠른 응답 속도를 가지는 장점이 있다.³⁾ 본 고에서는 새로운 형태의 초소형 전자기 구동 연동펌프 모델을 제안하고 유한요소법에 의한 해석 결과를 소개한다.

2. 실험

초소형 미니 펌프의 모델링은 Solidworks를 이용하여 설계하였다. 전자기력 및 메카닉스 해석은 COSMOSWORKS

를 이용하여 유한요소법으로 하였다. 미니펌프는 그림 1에 나타난 것처럼 코일과 영구자석이 3개의 펌프실에 각각 설치되고 각 펌프실은 이송채널로 연결되며 기본 프레임은 내화학성 유리로 이루어진다. 코일의 재료는 구리로 하였고 영구자석은 NdFeB 재료를 사용하였다. 영구자석은 0.5 mm 두께의 PDMS 격막에 접촉되어 코일과 격리되어 있고 코일은 격막 위 기판에 0.2 mm 두께로 인쇄되어 있으며 영구자석의 지름은 6.2 mm, 두께는 2.0 mm 이었다. 실험 조건은 인쇄된 코일 속으로 1 A의 전류가 흐르는 것을 가정하여 유한요소 해석을 시행하였다. 전자기 해석을 통하여 얻어진 힘을 가정하여 PDMS 격막의 스트레치 및 변형을 해석하였다. PDMS의 탄성율은 1 MPa, 포아즌 비는 0.50을 가정하였다.

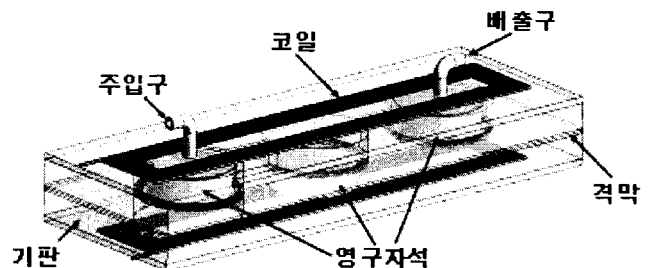


그림 1. 초소형 미니 펌프의 구조

3. 결과 및 고찰

미니 펌프는 그림 1에 나타난 것 같이 코일 상판과 코일 하판 및 중앙 구동부로 구성되어 있다. 중앙 구동부에는 3개의 펌프실 및 연결 채널과 구동 중심역할을 하는 영구자석, 각각의 영구자석을 감싸며 각각의 펌프실의 개폐밸브 및 구동격막 역할을 하는 유연성 PDMS 격막으로 이루어져 있다.

좌우의 펌프실은 주입구와 배출구 연결되어 있고 코일에 전류가 흐르지 않을 때에는 격막의 탄성에 의해 입출구가 모두 막혀 있는 상태이다. 중앙 펌프실은 상하 방향 모두 움직일 수 있으나 좌우 펌프실은 아래 방향으로만 움직일 수 있다. 영구자석의 자기장 방향은 주입구 측과 중앙의 자석이 동일 방향이고 배출구 측 자석은 반대 방향으로 되어 있어 코일의 전류가 반시계 방향으로 흐를 때는 주입구와 중앙의 자석이 위로 힘을 받고 토출구의 자석은 아래로 힘을 받으며 시계 방향으로 흐를 때는 반대로 움직이도록 고안되었다. 따라서 반시계 방향에서는 중앙 펌프실이 팽창하면서 주입구가 열려 외부로부터 약물이 펌프 내로 주입되고 배출구는 막혀 있으므로 약물이 역류하지 않는다. 시계 방향으로 전류가 흐르면 중앙 펌프실이 수축하면서 배출구가 열리고 주입구는 막히므로 배출구 방향으로 유체가 나가게 된다. 이렇게 코일의 전류 방향을 주기적으로 바꿔 줌으로서 유체를 주입구에서 배출구 방향으로 이송할 수 있게 된다. 그림 2는 코일에 1 A의 전류를 흘렸을 때 발생하는 자기장의 분포를 나타낸다.

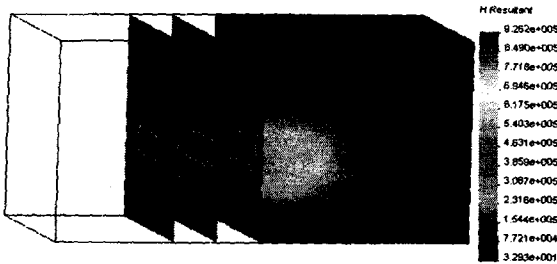


그림 2. 전자기 유한요소해석에 의한 자기장 분포도.

본 논문에서는 코일의 형태를 여러 형태로 달리하여 영구자석에 걸리는 힘과 자기력선의 형태를 해석해 보았다. 표 1에 그 결과를 요약하였다. 해석 실험은 코일 기판 위에 코일을 동일한 면적과 위치에 인쇄하되 코일 폭을 0.2 mm로 하여 7회전 및 5회전 같은 것과 코일의 폭을 0.3 mm로 하여 3회전 만 같은 것을 비교하였고 코일 내부의 빈 공간에 강자성체 코어 플레이트를 0.2 mm 두께로 인쇄한 것과 그렇지 않은 것을 비교하였다.

표 1. 코일 형태에 따른 전자기 해석 결과.

코일형태	영구자석의 Z방향 힘
7 회전	$1.712 \times 10^{-1} \text{ N}$
5 회전	$2.033 \times 10^{-1} \text{ N}$
5 회전 + 코어플레이트	$2.807 \times 10^{-1} \text{ N}$
3 회전	$5.281 \times 10^{-1} \text{ N}$
3 회전 + 코어플레이트	$8.523 \times 10^{-1} \text{ N}$

동일한 면적에서는 코일을 조밀하게 감은 것 보다 성기게 감은 것이 더 큰 힘을 받는다. 또한 코일의 내부 공간에

강자성체 코어 박막을 설치하는 것이 더욱 큰 힘을 받게 된다. 강자성체 코어의 재질은 철로 설정하였다. 그림 3은 코일이 3회전 감겨 있고 코어플레이트가 있는 상태에서 코일에 1 A의 전류가 흘렀을 때 격막에 접촉되어 있는 영구자석에 인가되는 힘에 의해서 움직이는 PDMS 격막의 변형을 나타낸 것이다. 격막에는 영구자석 지름보다 조금 큰 지름을 가진 2단의 검주름을 형성해 놓아 격막의 변위가 보다 크고 빨리 이루어지도록 하였다. 검주름을 형성하지 않은 경우에는 격막의 변형이 오직 격막 재료의 탄성 인장 및 수축에 의존하는데 비해 검주름을 형성한 경우는 주름의 신축에 의해 변형이 발생한다. 그림에서 알 수 있듯이 코일에 흐르는 전류에 의해 발생된 전자기력은 PDMS 격막에 충분한 변형을 일으키어 연동운동에 의한 유체 수송이 원활히 이루어짐을 예측할 수 있다. 이러한 조건에서 일어나는 격막의 최대 변위는 약 2 mm이다.

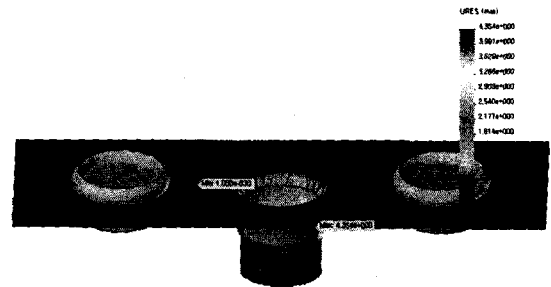


그림 3. 유한요소해석에 의한 PDMS 격막 변형.

4. 결론

본 고에서는 3개의 펌프실 및 연결 채널과 구동 중심역할을 하는 영구자석, 개폐밸브 및 구동격막 역할을 하는 유연성 PDMS 격막 및 코일 인쇄 기판으로 이루어진 연동운동 방식의 미니 펌프를 제안하였다. 유한요소법에 의해 전자기 해석 및 메카닉스 해석을 실시한 결과 PDMS 격막의 연동운동에 필요한 힘을 충분히 얻을 수 있고 유체 수송이 원활히 이루어짐을 알 수 있었다. 코일은 기판 위에 조밀하게 인쇄한 것 보다 성기게 인쇄한 것이 더욱 큰 구동력을 나타내었고 코일 중심에 강자성체 코어 플레이트를 인쇄하는 것이 더욱 큰 구동력을 나타낼 수 있었다. 본 연구에 의한 연동운동 방식의 미니 펌프는 매우 얇고 단순한 구조로 되어 있어 다양한 바이오 메디컬 분야에 폭 넓게 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] Jun Xie, Jason Shih, Qiao Lin, Bozhi Yang and Yu-Chong Tai Labchip, Vol. 4, p. 495, 2004.
- [2] W. Glover, A. Skelley, C. Liu, E. Lagally, R. Mathies, Sens. Actuators B, Vol. 893, p. 315, 2003.
- [3] H. Guckel, T. Earles, J. Klein, J.D. Zook and T. Ohnstein, Sens. Actuators A, Vol. 53, p. 386, 1996.