

약물 전달용 전자력 마이크로 밸브의 설계 및 제작

임인호, 이기정, 윤현중, 심우영, 양상식[†]
아주대학교 전자공학부

Design, Fabrication of Electromagnetic Microvalve for Drug Delivery Systems

In Ho Lim, Ki Jung Lee, Hyeun Joong Yoon, Woo Young Sim and Sang Sik Yang[†]

Division of Electrical & Computer Engineering, Ajou University, ssyang@ajou.ac.kr[†]

Abstract - This paper presents the design, fabrication and experimental results of an electromagnetic microvalve for drug delivery systems. The microvalve consists of two silicon substrates with a silicone rubber diaphragm and a flow channel, a PDMS layer, and an electromagnetic actuator. Each substrate is fabricated by using the silicon wet etch, SU-8 mold process and O₂ plasma bonding.

로 돌아가게 되면서 박막을 밀어 PDMS의 출구가 막히고 밸브는 닫힌 상태가 된다.

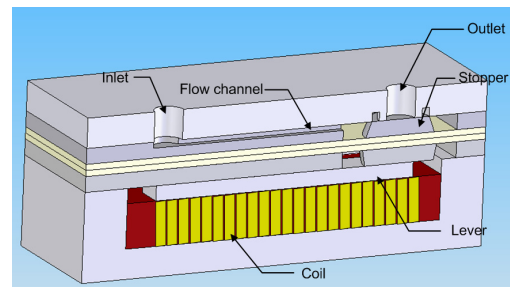
일반적으로 밸브의 가장 취약점은 닫힌 상태에서의 누수이며 본 연구에서는 밸브의 출구를 동심원 구조로 제작하여 누수를 최소화하였다 [4],[5].

1. 서 론

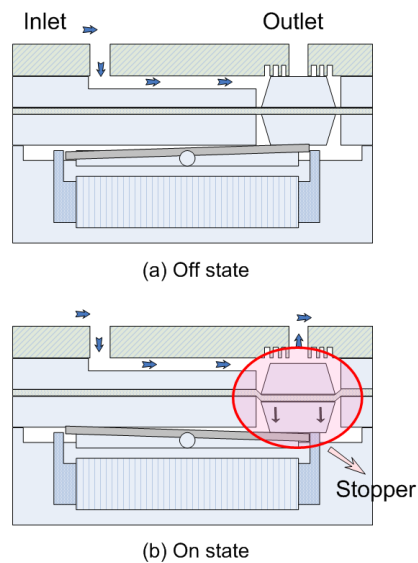
당뇨병의 질환 빈도가 증가함에 따라 이를 치료하기 위한 의료용 기기에 대한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 특히 외장형 인슐린 펌프의 사용이 증가되고 있으나 외장형 인슐린 펌프는 취침이나 샤워 시 펌프를 제거해야하는 불편함이 있어 내장형 인슐린 펌프의 필요성이 증가하고 있다. 인체 삽입 가능한 내장형 약물 전달 장치의 핵심은 생체 적합성과 이식하였을 때 신체 운동에 지장을 주지 않는 크기에 있다. 본 연구에서는 생체 적합한 PDMS(polydimethylsiloxane)를 이용하였고 마이크로머시닝 가공 기술을 이용하여 그 크기를 초소형화 하였다.

약물 전달 장치는 전달되는 약물의 양에 따라 인체에 심각한 영향을 줄 수 있으므로 전달 정확도가 매우 중요한 요소이다. 약물 전달을 조절할 수 있는 밸브에는 수동형 밸브(check valve), PZT를 사용한 능동형 밸브 등 다양하다[1]. 본 연구에서는 동작이 확실하고 약물 전달 정확도를 높일 수 있는 전자력 구동기를 사용하였다.

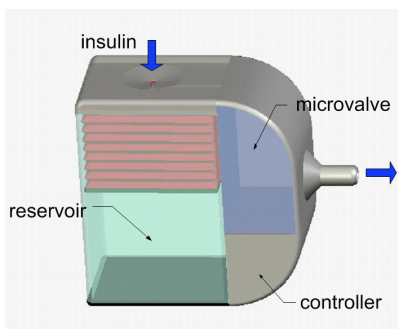
그림 1은 내장형 인슐린 펌프의 구조도이다. 내장형 인슐린 펌프는 크게 인슐린 주입구, 약물을 저장하고 전달해 주는 약물 저장고, 약물의 주입 시기를 조절하는 제어 장치와 약물 출구의 개폐를 조절하는 마이크로 밸브로 구성된다. 본 연구에서는 MEMS 기술을 이용하여 미소 유량의 인슐린 주입을 조절할 수 있는 내장형 인슐린 펌프용 초소형 마이크로 밸브를 제작하고 그 밸브 특성을 파악하기 위해 성능 시험을 수행하였다.



〈그림 2〉 내장형 인슐린 펌프의 구조도



〈그림 3〉 마이크로 밸브의 작동 원리



〈그림 1〉 내장형 인슐린 펌프의 구조도

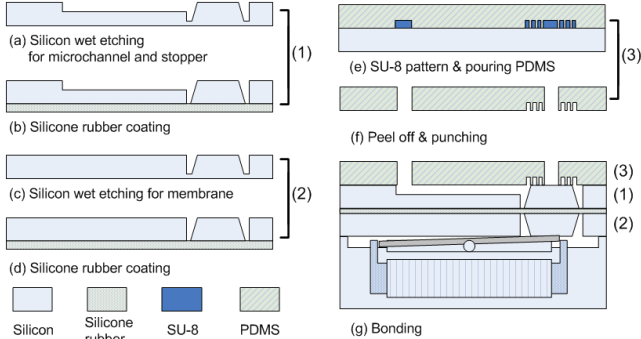
2. 마이크로 밸브의 구조 및 작동 원리

그림 2는 마이크로 밸브의 구조도이다. 전자력 마이크로 밸브는 입구와 출구가 있는 PDMS 층, 약물이 지나가는 미소 유로, 실리콘 러버(Shin-Etsu KE 1800T)가 코팅된 실리콘 박막, 그리고 코일이 감겨 있는 구동기로 구성된다. 그림 3은 마이크로 밸브의 동작에 따른 유체의 흐름을 나타낸다. 입구를 통해 들어온 유체는 미소 유로를 흐른 후 동심원 구조의 출구에 막혀 있다가 DC 5 V의 전원을 인가하면 박막을 지지하고 있던 구동기의 지지대가 전자력을 받아 아래로 향하게 되어 유출 된다. 이때 전원을 차단하면 지지대는 자체 복원력에 의해 제 자리

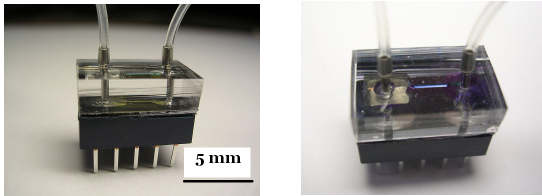
3. 마이크로 밸브의 제작 공정

그림 4는 마이크로 밸브의 제작 공정도이다. 상부 기판을 만들기 위해 실리콘에 0.7 μm 두께의 산화막을 성장 시킨 후 감광제(AZ1512)를 사용하여 패터닝하고 BOE 용액으로 산화막을 제거한다. 패터닝된 실리콘을 TMAH 용액에 담귀 200 μm를 식각하여 미소 유로와 stopper의 일부를 형성한다. 0.7 μm 두께의 산화막을 추가적으로 성장시킨 후, 감광제를 사용하여 stopper 부분의 산화막을 다시 패터닝하고 TMAH 용액에 담귀 200 μm를 식각한다. 식각을 마친 실리콘 상부 기판의 뒷면에 실리콘 러버를 150 μm 두께로 코팅한다. 실리콘 러버가 코팅된 상부 기판의 박막을 TMAH 용액에 담귀 실리콘 러버가 코팅된 바닥 부분까지 완전히 식각한다. 같은 방법으로 실리콘 러버가 코팅된 stopper를 하부 기판에 제작한다.

PDMS 층을 만들기 위해 음성 후막 감광제(SU-8 2100)를 사용하여 140 μm 높이의 몰드를 형성한 후에 PDMS를 부어 입구와 동심원 구조의 출구를 제작한다. 펀치(punch)를 사용하여 입구와 출구를 완전하게 개방한다. 제작된 PDMS 층과 실리콘 기판은 O_2 플라즈마를 이용하여 표면처리 후 접합하고 구동기와 실리콘 기판은 에폭시를 이용하여 접합한다. 그림 5는 제작된 전자력 구동 마이크로 밸브이며, 밸브의 전체 크기는 4 mm \times 9 mm \times 16.5 mm이다.



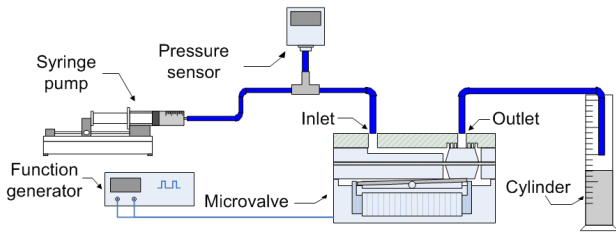
<그림 4> 마이크로 밸브의 제작 공정도



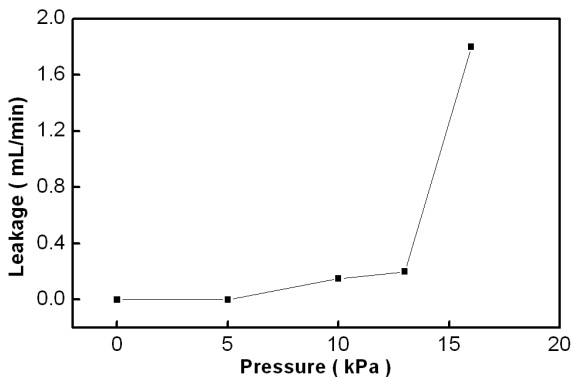
<그림 5> 제작된 마이크로 밸브

4. 마이크로 밸브의 성능 시험 및 결과

마이크로 밸브의 성능을 평가하기 위해 그림 6과 같이 시린지 펌프 (Syringe pump)를 이용하여 입구에 순수 물(Deionized water)을 주입한다. 압력 센서로 압력을 측정해서 다양한 압력에서의 밸브 동작을 시험하고, 동작 가능한 최대 압력을 측정한다. 또 각 압력에 따른 누수량을 측정하여 마이크로 밸브의 성능을 파악한다. 그림 7은 마이크로 밸브의



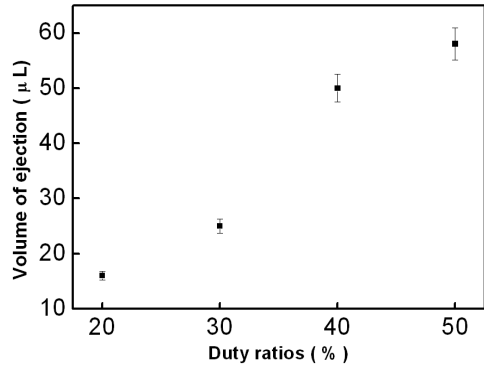
<그림 6> 마이크로 밸브의 특성 측정 장치



<그림 7> 마이크로 밸브의 최대 작동 압력과 누수량 측정

최대 작동 압력과 누수량을 그래프로 나타낸 것이다. 16 kPa의 압력을 받게 되면 밸브가 완전히 열린 상태가 된다.

5 kPa의 압력에서 주파수 발생기(function generator)를 사용하여 0.1 Hz 주파수의 duty ratios(10%, 20%, 30%, 50%)를 변화시켜 마이크로 밸브의 열리는 시간을 조절한다. 그리고 열리는 시간에 따라 변화되는 순수 물의 토출량을 측정하였다. 그림 8은 5 kPa의 압력과 0.1 Hz의 주파수에서 duty ratios의 변화에 따른 토출량을 측정하여 그래프로 나타낸 그래프이다.



<그림 8> duty ratios의 변화에 따른 토출량 측정

5. 결 론

본 연구에서는 미소 유체의 양을 조절할 수 있고 체내에 이식 가능한 초소형 마이크로 밸브를 제작하고 작동 최대 압력, 압력에 따른 누수량, 동작 주파수와 duty ratios에 따른 약물 토출량을 측정함으로써 마이크로 밸브의 성능을 파악하였다. 제작된 마이크로 밸브는 최대 16 kPa의 압력까지 동작하였다. 또한 토출되는 용액의 양은 압력에 비례하였으며 μL 단위로 약물 주입량을 조절할 수 있었다. 또한 동심원 구조의 약물 토출구를 제작하여 누수를 최소화 하였다.

제작된 마이크로 밸브는 duty ratios와 구동기의 압력을 변화시켜 약물의 양을 조절할 수 있으므로 다른 약물 전달 장치의 밸브로 다양하게 적용될 수 있다.

6. 감사의 글

본 연구는 2007년 정보통신부 및 정보통신 연구진흥원의 정보통신선도기반 기술개발 사업의 연구결과로 수행되었습니다. (과제번호 2005-S-093)

[참 고 문 헌]

- [1] Kwang. W. Oh and Chong H Ahn, "A review of microvalves", Journal of Micromechanics and Microengineering, vol. 16, pp. 13-39, 2006.
- [2] Woo Young Sim, Hyeun Joong Yoon, Ok Chan Jeong and Sang Sik Yang, "A phase-change type micropump with aluminum flap valves", Journal of Micromechanics and Microengineering, vol.13, pp. 286-294, 2003.
- [3] S. Böhm, G.J. Burger, M.T. Korthorst, F. Roseboom, "A micromachined silicon valve driven by a miniature bi-stable electro-magnetic actuator", Sensor and Actuators A, vol. 80, pp. 77-83, 2000.
- [4] Jemmy S Bintoro and Peter J Hesketh, "An electromagnetic actuated on/off microvalve fabricated on top of a single wafer", Journal of Micromechanics and Microengineering, vol. 15, pp. 1157-1173, 2005.
- [5] Choonsup Lee, Eui-Hyeok, S. Mahdi Saeidi, Jay M. Khodadadi "Fabrication, characterization, and computational modeling of a piezoelectrically actuated microvalve for liquid flow control", Journal of Microelectromechanical System, vol. 15, pp. 686-696, 2006.