

누수 최소화를 위한 립 타입 전자력 플랩 밸브

임인호, 이기정, 심우영, 양상식
아주대학교 전자공학부

Lip Type Electromagnetic Flap Valve for Low Leakage

In Ho Lim, Ki Jung Lee, Woo Young Sim and Sang Sik Yang[†]
Division of Electrical & Computer Engineering, Ajou University, ssyang@ajou.ac.kr[†]

Abstract - This paper reports on a flexible flap valve actuated by electromagnetic force under a constant pressure source. The flexible flap valve consists of the three main components: a flexible flap with a steel disk embedded in PDMS, an electromagnetic actuator and two glass plates with inlet and outlet. Sealing lip structures for improving the valve characteristics are added on the outlet of the bottom glass substrate. The flap valve is fabricated by the spin-coating process, the EDM process, SU-8 mold process and oxygen plasma treatment. The dimension of an assembled flap valve is 12 mm × 20 mm × 28 mm. The stroke volume of the flap valve is measured for various pressures and open times. When the input voltage of 30 V is applied for 0.33 s, the minimum stroke volume of the flap valve is 70 μL at 50 kPa.

전자력(F_{EM})의 크기가 정압 소스(P_0)의 압력보다 커지게 될 때 밸브가 열리고, 압축되어 있는 약물 저장고에서 약물이 방출된다. 전압이 차단 되면 전자력이 사라지고 약물의 압력에 의해 유연한 플랩이 강하게 출구를 밀어 닫힌 상태가 된다. 약물의 압력이 증가하게 될 때 플랩 밸브는 더 빠르고 강하게 닫히게 되어 정방향의 누수량이 더 적을 것으로 기대된다.

1. 서 론

지난 수 십 년간 효과적인 약물전달을 위한 다양한 방법과 장치가 개발되어져 왔으며, 최근 마이크로머시닝 기술을 적용하여 제작된 마이크로 펌프와 마이크로 밸브는 새로운 개념의 체내 이식형 약물전달 장치 개발의 핵심기술로 평가되고 있다[1-3]. 체내 이식형 약물 전달 장치는 한 번의 시술로 장시간을 사용해야 하기 때문에 전력소비가 아주 중요한 핵심 사항이며 그 핵심 구성 요소인 마이크로 펌프와 마이크로 밸브는 장기 치료가 가능하도록 저전력으로 동작되는 것이 필요하다. 본 논문은 체내에서 일정한 기체 압력을 갖는 액체를 구동력으로 하는 약물 전달 장치에 적용될 상시 닫힘형(normally closed type) 마이크로 밸브에 관한 보고이다.

마이크로 밸브는 일정한 기체 압력을 구동력으로 하는 약물 전달 장치에 적합하도록 상시 닫힘형 구조를 택하여 전력 소비를 최소화하였다. 일정한 압력 소스에 의해 항상 닫힌 상태를 유지하기 위해 유연한 플랩(flaps)을 사용하였다. 특히, 밸브의 누수를 최소화하기 위하여 SU-8을 사용하여 씰링립(sealing lip)을 출구에 만들었다. 밸브 구조물은 PDMS에 철판이 삽입된 유연한 플랩과 입구와 출구가 있는 유리 기판, 전자력 구동기, 3가지로 구성되었다. 30 V의 전압을 인가하였고, 다양한 압력에서 약물의 토출량을 측정하였다.

2. 구조 및 작동 원리

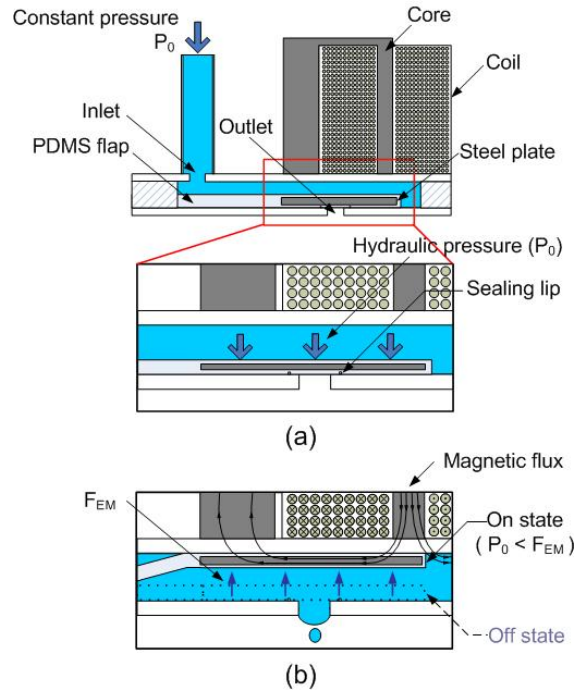
2.1 체내 이식형 약물 전달 장치

이 논문에서 제안한 플랩 밸브가 적용될 약물 전달 장치는 크게 압축 챔버(pressured chamber), 약물 저장고(drug reservoir), 마이크로 컨트롤러(micro controller), 마이크로 밸브로 구성 되어 있다[4]. 챔버에는 압축된 이산화탄소가 용해되어 있는 물이 있으며, 이로 인하여 약물 저장고의 압력이 조절된다. 마이크로 밸브의 기능은 약물 저장고에서 몸 안으로 약물이 주입되도록 출구의 개폐를 제어한다.

2.2 플랩 밸브의 작동 원리

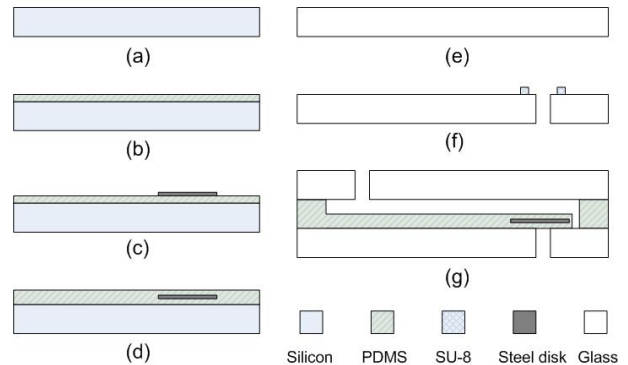
그림 1은 플랩 밸브의 작동 원리를 설명하고 있다. 그림 1의 (a)에서 보듯이 플랩 밸브의 최초 상태는 닫혀 있고 입구는 압축 챔버에 연결되어 있다. 정압 소스의 압력으로 유연한 플랩이 출구를 누르고 있기 때문에 상시 닫힘형 상태가 된다.

플랩 밸브를 열기 위해, 마이크로 코일에 전압을 인가하면 전류가 흐르게 된다. 그림 1의 (b)에서, 코일에 흐르는 전류는 전자력을 유도하여 PDMS에 삽입되어 있는 철판을 위쪽으로 잡아당기게 되어 밸브의 출구가 열리게 된다. 전자력의 크기는 흐르는 전류에 비례하며, 그 크기는 가장자리 효과를 무시하면 가상 일의 원리에 의해 계산할 수 있다[5].



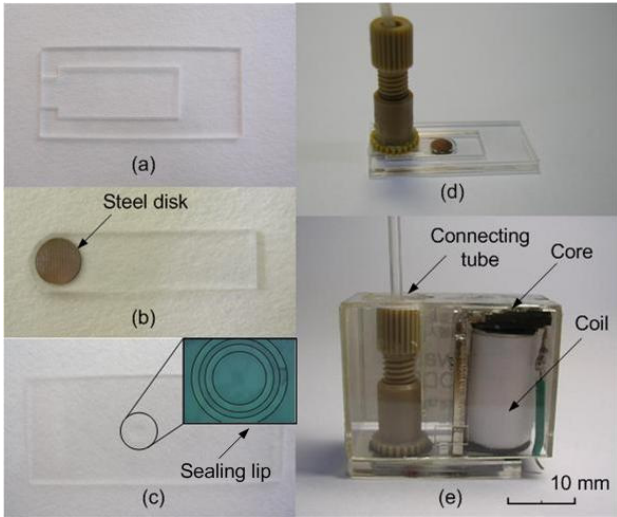
<그림 1> 플랩 밸브의 작동 원리 (a) 닫힌 상태, (b) 열린 상태

3. 제작 공정



<그림 2> 플랩 밸브의 제작 공정도 (a) 4 inch silicon wafer, (b) PDMS spin coating

그림 2는 유리 기판과 PDMS, SU-8으로 구성된 밸브 부분의 제작 공정을 나타낸다. PDMS Base와 Curing agent를 10:1로 섞은 후 진공 챔버에 넣어 기포를 제거한다. 준비된 PDMS 혼합물을 웨이퍼 위에 부어 100 rpm 으로 10초, 500 rpm 으로 40초간 회전시켜 250 μm 두께의 PDMS층을 만든다. 30분간 큐어링(curing) 한 후에 철판을 올리고 PDMS 용액을 부은 후 동일한 방법으로 회전시킨다. 큐어링 한 후 떼어내고 잘라 500 μm 두께의 플랩 부분을 완성한다. SU-8 2050을 사진 공정을 통하여 출구 쪽의 유리 기판에 쉐어링을 만든 후 EDM(Electric Discharge Machining)을 통하여 출구와 입구를 만든다. PMMA 몰드를 사용하여 플랩이 작동할 수 있는 공간을 형성하기 위한 PDMS 지지구조를 만든 후 산소 플라즈마 처리하여 각각을 접착한다. 그림 3은 제작된 플랩 밸브이며, 밸브의 전체 크기는 12 mm \times 20 mm \times 28 mm 이다.

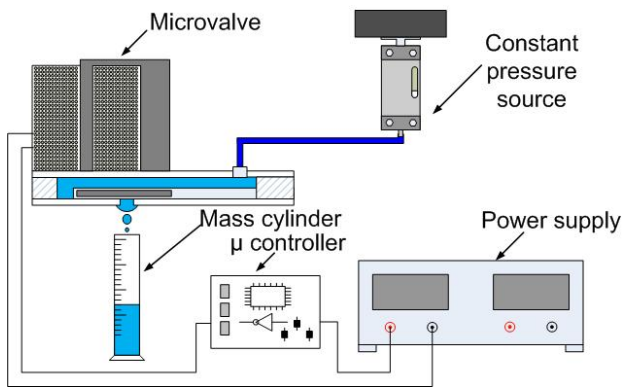


<그림 3> 제작된 플랩 밸브
(a) PDMS 지지구조, (b) 플랩, (c) 출구 유리 기판
(d) 조립된 밸브 부분, (e) 완성된 플랩 밸브

4. 성능 시험 및 결과

4.1 누수 테스트

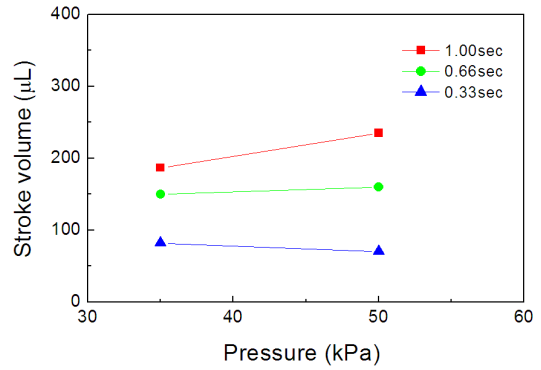
그림 4는 밸브의 특성을 측정하기 위한 실험 장치를 나타낸다. 누수를 측정하기 위해 20 kPa, 35 kPa, 50 kPa의 압력을 주고 1 시간 동안 관찰한 결과, 누수가 전혀 없었다. 쉐어링이 없었을 때는 50 kPa에서 23 $\mu\text{L}/\text{min}$ 의 누수가 있었으나 쉐어링으로 인해 누수가 개선되었음을 알 수 있다[6].



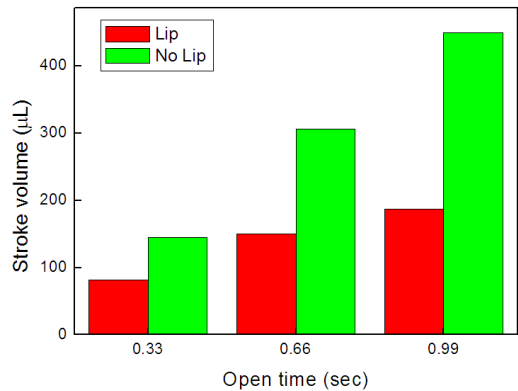
<그림 4> 플랩 밸브의 특성 측정 장치도

4.2 토출량 테스트

그림 5는 30 V의 전압을 인가하였을 때, 30 kPa와 50 kPa에서 세 가지 밸브 개구시간(0.33, 0.66, 1 sec)에 대하여 입구 압력에 따른 토출량을 보여준다. 개구시간이 짧을 때는 입구압력이 높으면 밸브 열림을 방해하므로 토출량이 적고, 개구시간이 길 때는 입구압력이 높아지면 토출량이 증가한다. 그림 6은 35 kPa에서 30 V의 전압을 인가하고 개구시간(0.33, 0.66, 1 sec)을 달리 하였을 때, 쉐어링의 유무에 따른 토출량의 차이를 비교하여 나타내고 있다.



<그림 5> 측정된 토출량



<그림 6> 쉐어링의 유무에 따른 토출량 비교

5. 결 론

본 연구에서는 일정한 압력 소스가 있는 약물 전달 장치에 적용 가능한 유연한 플랩 구조의 전자력 밸브를 제작하고, 압력에 따른 토출량을 측정하고 누수량을 측정함으로써 플랩 밸브의 성능을 측정하였다. 쉐어링 구조가 있는 플랩 밸브는 누수 부분에서 크게 개선되었으며, 최소 토출량은 50 kPa에서 0.33 초 동안 열었을 때 70 μL 였다.

감사의 글

본 연구는 2008년 지식경제부 IT원천기술개발 사업의 연구결과로 수행되었습니다. (과제번호 2005-S-093)

[참 고 문 헌]

[1] Byunghoon Bae, Nakhon Kim, Hongseok Kee, Seon-Ho Kim, Yeon Lee, Sangho Lee, and Kyihwan Park, "Feasibility Test of an Electromagnetically Driven Valve Actuator for Glaucoma Treatment", J.Microelectromech.Syst.Vol. 11, No. 4, pp. 344-354, 2002
 [2] Po-Ying Li, Jason Shih, Ronalee Lo, Bonnie Adams, Fajad Agrawal, Salomeh Saati, Mark S. Humayun, Yu-Chong Tai, and Ellis Meng, "An Electrochemical Intraocular Drug Delivery Device", 20thIEEE Conf. Microelectromech. Syst., pp. 15-18, 2007
 [3] Didier M, Stephan G, Beatrice F and Patrick B, "A high-performance silicon micropump for disposable drug delivery systems", 14th IEEE Int. Conf. Microelectromech. Syst., pp 413 - 417, 2001
 [4] 임인호, 이기정, 윤현중, 심우영, "약물 전달용 전자력 마이크로 밸브의 설계 및 제작", 대한전기학회 제39회 하계학술대회, 2007
 [5] Matthew N. O. Sadiku, Elements of electromagnetics-3rd ed., Oxford University Press, Inc., NewYork, 2001.
 [6] In Ho Lim, Ki Jung Lee, Woo Young Sim, Kangil Kim and Sang Sik Yang, "Fabrication and test of an electromagnetic flap valve for drug delivery systems", 4th APCOT Conf., 2008