

초기 응력이 내재된 박막을 갖는 인체삽입용 마이크로 체크 밸브

이상옥, 김명식, 윤현중, 양상식
아주대학교 전자공학과

An Implantable Micro Check-Valve with A Pre-Stressed Membrane

S.W. LEE, M.S. KIM, H.J. YOON, S.S. YANG
School of Electronics Eng., Ajou University

Abstract - 본 논문은 수두증 환자의 체내에 삽입하는 파릴린 막체크 밸브의 제작과 시험에 관한 것이다. 파릴린 막 체크밸브는 세 가지 특징을 가지고 있다. 박막의 초기 인장응력에 따라 특정한 압력 이상에서 밸브가 열리고, 막과 밸브 입구의 크기에 따라 순방향과 역방향 특성을 서로 다르게 하며, 앤티사이폰 역할을 한다. 파릴린 체크 밸브는 상부 기판과 하부 기판으로 구성되어 있다. 하부 기판은 입구, 출구, 유로, 두 개의 완충 챔버로 이루어져 있고, 상부 기판은 입구 박막과 두 개의 완충 챔버 박막으로 이루어져 있다. 하부 기판에는 밸브 구멍 주위에 밸브 시트를 두어 두 기판을 조립할 때 밸브 시트가 막을 변형시키면서 박막에 초기 인장 응력을 주도록 되어 있다. 또, 하부 기판에 특정한 각을 가진 유로 및 완충 챔버를 형성하여 역류 발생시 유체를 완충 챔버 쪽으로 흐르게 한다. 유한요소법(FEM)을 이용하여 박막과 밸브 입구의 크기, 박막의 두께 등을 변화시켜가며 박막의 응력과 변형을 해석 하였고 해석 결과로부터 밸브 시트의 높이를 결정하였다. 마이크로머시닝으로 두 기판을 제작하고 조립한 후, 순방향과 역방향의 압력에 대한 유량을 측정하여 파릴린 체크 밸브의 특성을 시험하였다.

Key words: Parylene check valve, FEM(유한요소법), CFD

1. 서 론

본 논문은 수두증(Hydrocephalus) 환자의 체내에 삽입하는 차세대 뇌척수액 선트 시스템에 필요한 마이크로 체크 밸브의 제작과 시험에 관한 것이다. 수두증은 뇌척수액이 뇌실 내에 생성되어 적절히 복강으로 배출되지 못하여 뇌압이 상승하는 증상이다. 일정량 이상의 뇌척수액을 복강으로 배수하여 뇌압을 일정하게 유지하기 위한 시스템들이 제안되어 왔다. 기존의 시스템은 환자의 뇌압차에 따라 유량이 조절되는 수동형 선트 밸브와 튜브 만으로 구성되어 있는데, 시술 후 밸브의 조절이 불가능하고 뇌척수액의 과다/과소 배출에 대처하지 못하는 등의 문제점을 가지고 있으며 현재까지 이상적인 선트 시스템은 없는 실정이다[1]. 따라서, 시술 후에도 뇌압을 감지하고 그에 따라 유량을 조절할 수 있는 새로운 개념의 선트 시스템의 개발이 필요하다. 이러한 페루프 제어 선트 시스템에서 마이크로 체크 밸브는 뇌실 내의 일정한 압력과 유체의 흐름에 따라 작동되어야 한다. 또한, 인체에 삽입됨으로 인체에 무해한 재료로 만들어져야 한다.

2. 구조와 원리

마이크로 체크 밸브는 그림 1과 같이 상부 기판과 하부 기판으로 구성된다. 상부 기판은 밸브 역할을 하는

파릴린 박막으로 구성되어 있고, 하부 기판은 파릴린 박막에 초기 인장응력을 가하는 밸브 시트와 유동특성을 조절하는 마이크로 채널, 입·출구 등으로 구성되어 있다. 마이크로 체크 밸브의 전체 크기는 7.8 mm × 5.8 mm × 1 mm 이고 밸브 시트의 단차는 20 ~ 80 μm 이다. 또한, 마이크로 채널의 폭은 300 μm 이고 완충 챔버의 크기는 0.6 mm × 5.2 mm 이다. 하부 기판의 입구, 출구, 완충 챔버를 연결하는 마이크로 채널은 역방향으로 유체가 유입될 때, 채널의 모양에 의해 유체가 완충 챔버 방향으로 많이 흘러 밸브에 걸리는 압력을 완화한다. 그림 2는 마이크로 체크 밸브의 작동 원리를 나타낸다. 그림 2(a)와 같이 입구 압력이 밸브 시트의 단차로 인한 막의 초기 내재 응력보다 작을 경우에는 파릴린 박막은 닫혀 있고, 그림 2(b)와 같이 입구 압력이 막의 초기 내재 응력보다 클 경우에는 파릴린 박막이 열린다.

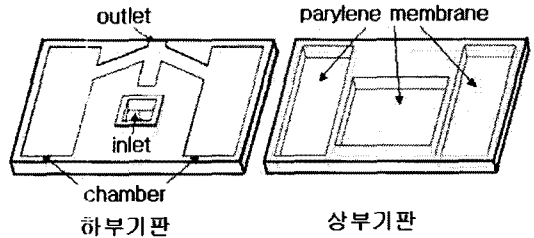


그림 1. 마이크로 체크 밸브의 구조

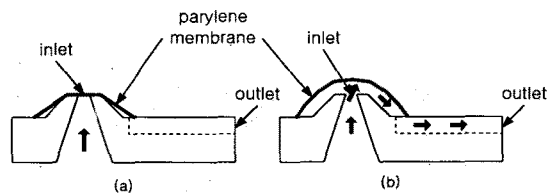


그림 2. 마이크로 체크 밸브의 작동원리

- (a) 입구 압력이 막의 초기 내재 응력보다 작을 경우
- (b) 입구 압력이 막의 초기 내재 응력보다 클 경우

3. 이론적 해석

3.1 유한요소법을 이용한 구조해석

표 1은 유한요소법(FEM)을 이용하여 파릴린 박막의 변형을 해석하는데 필요한 파릴린의 물성치를 나타낸다.

Material properties	Constants
Young's modulus(E)	3.2 GPa
poisson' ratio (ϵ)	0.4~0.45

표 1. 파릴린의 물성치

표 2는 수두압 하에서 밸브 입구, 박막의 크기, 막의 두께에 따른 밸브 시트와 접촉부에서의 파릴린 막의 변위를 나타낸다. 유한요소법에 사용되어진 박막의 크기는 $1700 \mu\text{m}^2$, $2400 \mu\text{m}^2$ 이고, 박막에 압력이 가해지는 밸브 구멍의 크기는 각각 $470 \mu\text{m}^2$, $670 \mu\text{m}^2$, $870 \mu\text{m}^2$ 이고 박막의 두께는 $5 \mu\text{m}$, $7 \mu\text{m}$ 이다. 이 때, 수두압은 $100 \text{ mmH}_2\text{O}$ 이다. 박막과 밸브 입구의 크기가 커지면 파릴린 막의 변위는 커지고, 막의 두께가 커지면 파릴린 막의 변위는 작아진다.

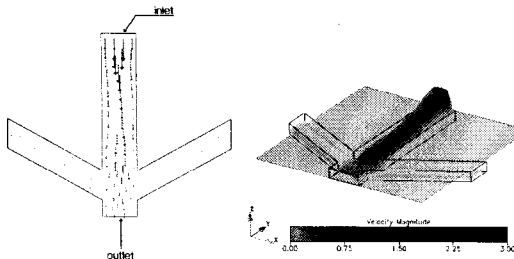
(단위 μm)

박막 크기 \ 밸브 입구	1700		2400	
	막 두께		막 두께	
	5	7	5	7
470	22.7	≤ 10	≥ 150	45.7
670	52.7	19.2	≥ 150	141
870	80.2	22.4	≥ 150	≥ 150

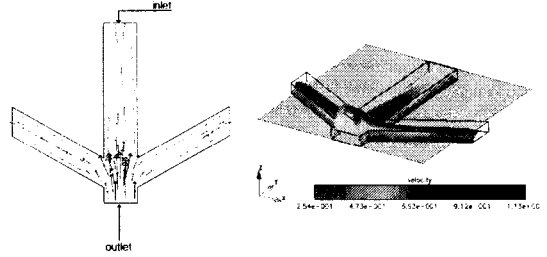
표 2. 밸브 시트와 접촉부에서의 파릴린 막의 변위

3.2. CFD를 이용한 유체 유동해석

그림 3은 CFD(Computational Fluid Dynamics) 해석 기구인 FlumeCAD로 해석한 마이크로 채널에서의 유동 특성을 나타낸다. 유동의 가시화를 통하여 마이크로 체크 밸브에서 마이크로 채널의 역할을 알아본다. 그림 3(a)는 입구와 출구의 압력차가 수두압인 $100 \text{ mmH}_2\text{O}$ 에서 순방향 유동을 가시화한 것이다. 유동이 입구에서 출구 방향으로 많고, 완충 챔버 방향인 양쪽 채널로는 적으므로 유체는 출구 방향으로 잘 흘러간다. 그림 3(b)는 입구와 출구의 압력차가 $-100 \text{ mmH}_2\text{O}$ 인 역방향 유동을 나타낸다. 유동이 출구에서 완충 챔버 쪽으로 흐를 때, 순방향일 때보다 상대적으로 많다. 이는 역방향 유동이 발생할 때, 유체가 입구 방향으로 흘러 들어가는 것을 대부분 막아 주어 밸브에 작용되는 압력을 완화해준다.



(a) 마이크로 채널에서의 순방향 유동 형상



(b) 마이크로 채널에서의 역방향 유동 형상

그림 3. CFD를 이용한 유동 해석

4. 제 작

그림 4는 마이크로 체크 밸브의 제작 공정도이다. 그림 4(a)는 하부 기판의 제작 공정도이다. 두께가 $525 \pm 10 \mu\text{m}$ 인 n형 (100) 실리콘 웨이퍼 기판에 열산화막을 성장시킨다. 박막이 형성될 부분의 뒷면을 패터닝하여 산화막을 제거하고, 상부 기판을 $400 \mu\text{m}$ 깊이로 TMAH를 이용하여 식각한다. 상부 기판 앞면에 파릴린 박막을 형성하기 위하여 parylene-C를 $6 \mu\text{m}$ 두께로 증착한다. (2) EPW 식각액을 이용하여 상부 기판의 뒷면을 식각하여 파릴린 박막을 제작한다. 그림 4(b)는 하부 기판의 제작 공정도이다. 밸브 시트의 단차를 형성하기 위해 열산화막을 성장시킨 후, 패터닝하여 산화막을 제거하고 TMAH를 이용하여 식각한다. 하부 기판 뒷면에 밸브의 입구 구멍을 형성하기 위하여 패터닝하여 식각하고, 앞면에 채널을 형성하기 위하여 패터닝하여 식각한다. 그림 5는 제작된 마이크로 체크 밸브의 상부 기판과 하부기판의 사진이다.

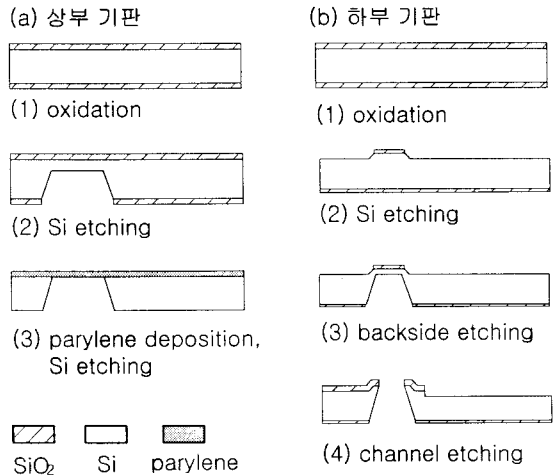


그림 4. 마이크로 체크 밸브의 제작 공정도

4. 결론

본 논문에서는 뇌척수액 션트 시스템에 응용하기 위한 체크 밸브를 제작하였다. FEM과 CFD를 이용하여 박막의 크기와 채널의 모양을 검증하였고 마이크로 제작 기술을 이용하여 밸브의 초기 오픈링 압력 조절과, 역류 방지 가능성을 살펴보았다. 추후 마이크로 펌프와 연동한 폐회로 시스템을 제작하고, in vitro 시험을 수행할 예정이다.

Acknowledgement

본 연구는 보건복지부 보건의료 기술연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임. (HMP-99-E-12-0005)

[참 고 문 헌]

- (1) Drake JM, Saint Rose C. "The Shunt book" New York Blackwell Scientific, 1995
- (2) 김명식, 권기영, 양상식, "뇌척수액 션트용 마이크로 전자력 펌프의 제작," 제3회 MEMS 학술대회 논문집, pp. 277~281, 2000.

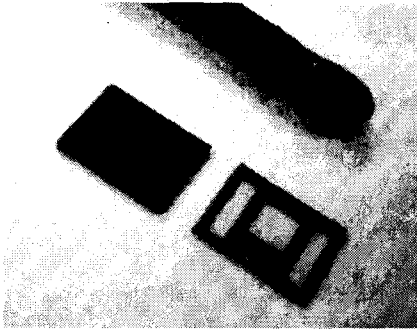


그림 5. 제작된 마이크로 체크 밸브의 사진

5. 시험

그림 6은 초기 응력이 내제된 마이크로 체크 밸브의 특성을 시험하기 위한 장치도이다. 시험한 밸브의 박막의 크기는 2400 μm 이고 밸브 입구의 크기는 470 μm 이고, 밸브 시트의 단차는 20 μm 이다. 수두차를 조절하여 순방향 및 역방향의 압력에 대한 유량을 측정하여 마이크로 체크 밸브의 성능을 시험한다. 그림 7은 제작된 마이크로 체크 밸브와 유량의 특성을 나타낸 그래프이다. 수두압을 50mmH₂O에서 120mmH₂O 까지 변화시키는 동안 유량은 선형적으로 증가한다. 또한 순방향과 역방향의 유량이 약 3배 정도 차이가 남을 확인했다.

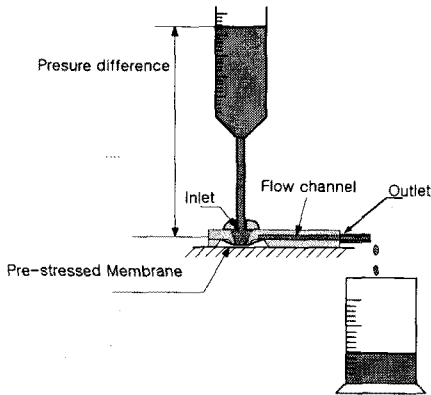


그림 6. 실험 장치도

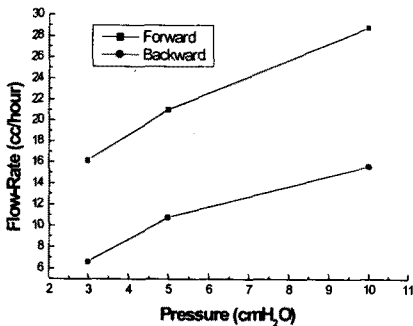


그림 7. 압력대 유량 곡선