

## 역류방지형 유리계 마이크로 펌프 개발

최종필<sup>1</sup>, 조기철<sup>2</sup>, 김현영<sup>3</sup>, 김병희<sup>#</sup>

### Development of Backflow prevented Micropump

J. P. Choi, K. C. Cho, H. Y. Kim and B. H. Kim

#### Abstract

This paper presents the design and fabrication of backflow prevented Micropump using the metal membrane. The Micropump is consisted of the lower plate, metal membrane, upper plate and the piezoelectric-element. The lower plate includes the micro channel and the inlet, outlet of the Micropump. The upper plate includes the micro channel and connects the piezoelectric-element. These plate are fabricated on the Pyrex glass wafer by sandblasting process. The metal membrane does roll of check valve that is prevented backflow of the Micropump. The metal membrane is fabricated on the stainless steel by laser machining. Piezoelectric-element is actuated the Micropump and controlled flowing of fluid. The Micropump is fabricated by bonding process of these multi-layer.

**Key Words** : MicroPump(마이크로 펌프), Micro Valve(마이크로 밸브), Metal membrane(금속박막), Piezoelectric-element(압전소자)

#### 1. 서론

MEMS(Micro Electro Mechanical System) 기술의 발전은 다양한 분야와 연관되어 활발한 연구가 진행되어지고 있으며, 이를 이용한 구성요소들의 제작을 통하여 점진적으로 초소형화, 고기능화 및 경량화를 이루어가고 있다. 그 중 마이크로 펌핑 시스템과 그와 관련된 요소 부품의 연구개발과 수요가 증가하면서 마이크로 유체 시스템의 기술·경제적 가치가 중요시 되어지고 있다. 특히 그 핵심소자인 마이크로 펌프와 마이크로 밸브 등의 요소 기술들이 그 응용분야를 넓혀감에 따라 이에 대한 연구가 가속화되고 있다[1-2].

본 논문에서는 금속박막의 체크밸브를 이용하

여 역류를 방지하고 마이크로리터 단위로 유체를 제어할 수 있는 마이크로 펌프의 설계와 제작을 수행하였다. 마이크로 펌프는 압전소자를 이용하여 챔버 내의 유체의 유동을 제어하며, 유리를 모재로 사용함에 따라 내화학적 특성 및 구동 특성을 쉽게 파악할 수 있는 장점을 지니고 있다[3].

#### 2. 마이크로 펌프의 구조

##### 2.1 마이크로 펌프의 설계

마이크로 펌프는 상·하판의 유로, 금속박막 그리고 압전소자의 접합 구조로 이루어져 있으며 전체 크기는  $20 \times 17 \times 2 \text{ mm}^3$  이다. 하판 유로는 마이크로 펌프의 입구와 출구가 위치하며 금속박막

1. 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과 대학원

2. 강원대학교 기계·메카트로닉스공학과 대학원

3. 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

# 교신저자: 강원대학교 기계·메카트로닉스공학부

E-mail: kbh@kangwon.ac.kr

의 고정을 위한 홈이 존재한다[4]. 상판 유로는 압전소자로 유체가 흐를 수 있는 통로 역할을 수행하며 이 유로를 통하여 압전소자에서 발생된 기계적 변형 에너지를 펌핑력으로 전달할 수 있다. Fig. 1 은 마이크로 펌프의 구조를 나타내고 있다.

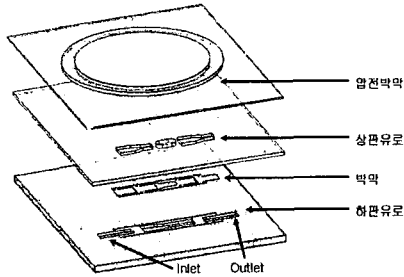


Fig. 1 The schematic of the micropump

### 2.2 마이크로 펌프의 구동원리

본 논문의 마이크로펌프는 압전소자의 기계적 변형을 통하여 펌핑을 수행하는 방식으로, 압전소자의 변형이 챔버 내의 체적 변화를 일으키고 이는 챔버 내의 압력 변화를 가져온다[5]. 유체로 프라이밍(Priming)된 챔버 내부에 발생된 압력은 유체의 흐름을 야기시키며, 출구 쪽의 금속박막만이 열리며 펌핑을 수행하게 된다. 또한 챔버 내의 체적이 증가하면 입구 쪽의 밸브가 열리면서 유체를 공급하게 된다. 이러한 주기적인 체적 변화를 통하여 유체를 펌핑하게 된다. Fig. 2 는 이러한 펌프내의 구동 원리를 보여준다.

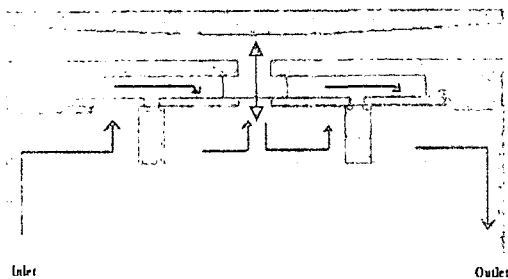


Fig. 2 Operation principle of the micropump

### 3. 마이크로 펌프의 제작

#### 3.1 마이크로 유로

마이크로 펌프의 상·하판은 모재의 내화학적 특성을 고려하여 Pyrex7740(탄성계수:7.2 GPa, 열팽창계수: $3.6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{K}$ )을 이용하였으며 샌드블라스팅을 이용하여 제작되었다. 하판 유로는 500 $\mu\text{m}$  두께의 4인치 웨이퍼에 200 $\mu\text{m}$  깊이의 유로 가공 후 30 $\mu\text{m}$  깊이의 박막고정을 위한 홈을 가공하였다. 상판 유로의 경우 70 $\mu\text{m}$  깊이로 유로 가공 후 중간유로를 관통하고, 뒷면의 CMP(Chemical Mechanical Polishing) 공정을 통하여 300 $\mu\text{m}$  두께의 상판을 제작하였다. Fig. 3 은 제작되어진 상·하판의 사진을 보여주고 있다.

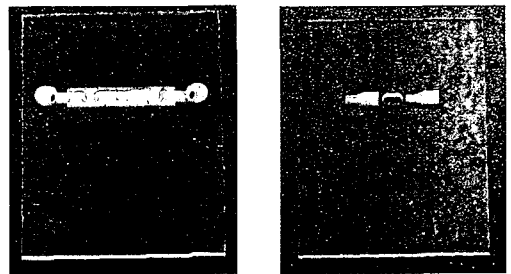


Fig. 3 Lower plate(right) and upper plate(left) of the micropump

#### 3.2 금속박막

마이크로 펌프에 있어 가장 많이 발생되는 문제점은 유체의 역류 현상이다[6]. 유체의 역류는 토출압력을 감소시키고 유량의 제어를 불가능하게 하는 주원인이다. 이러한 유체의 역류를 방지하기 위하여 30 $\mu\text{m}$  두께의 금속박막(Stainless steel)을 레이저 가공으로 제작하였다. Fig. 4는 제작되어진 금속박막으로 네개의 체크밸브 역할을 수행하는 구동부가 존재한다. 금속박막은 기존의 밸브에서 발생하는 밸브 구동부의 피로파괴, 영구변형, 밸브 막힘 현상 등을 극복하기 위하여 탄성이 좋고 내구성이 뛰어난 SUS를 사용하였다[7].



Fig. 4 The metal membrane (Stainless steel)

### 3.3 구동 컨트롤러

마이크로 펌프의 압전소자는 DC 전압을 AC 전압으로 변화시켜주는 SP4423 칩에 의해 구동되어진다. SP4423 칩은 압전소자가 구동할 수 있는 범위의 주파수 영역을 만들어 준다. 또한 구동되어지는 주파수의 변화를 위하여 SP4423 칩에 가변 저항을 설치하였다. 이를 통하여 마이크로 펌프의 시간당 토출 유량을 조절할 수 있다. Fig. 5은 SP4423 칩을 이용하여 구성한 회로도이다. 여기서  $V_{out}$  은 압전소자에 인가되는 입력 전압이다.

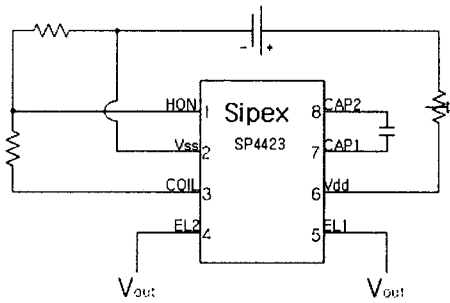


Fig. 5 Schematic diagram of the control circuit

### 3.4 마이크로 펌프의 제작

Fig. 5는 각각의 펌핑 요소의 집합과 구동 회로의 연결을 통한 마이크로 펌프를 제작한 모습이다. 집합은 UV(Ultra light-weld 3069)를 사용하였다. 압전소자는 1kHz의 공진주파수를 가지며 3V 배터리로 구동된다.

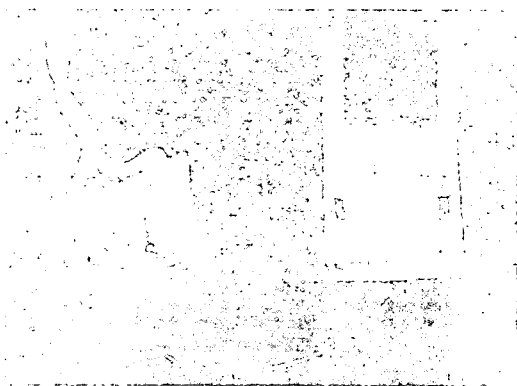
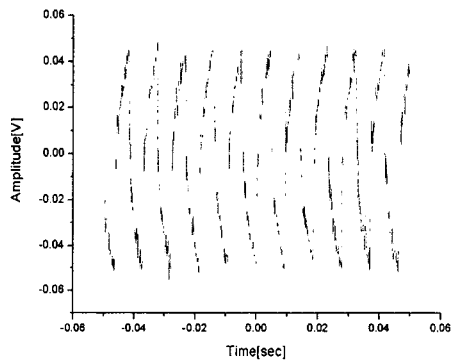


Fig. 6 The photograph of fabricated micropump

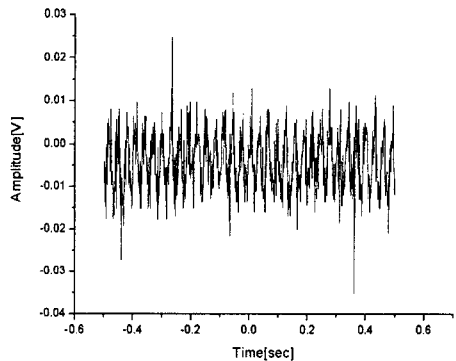
## 4. 마이크로 펌프의 구동 특성

### 4.1 압전소자의 구동 특성

압전소자의 구동에 의해 금속박막의 변위가 발생하는지를 판단하기 위하여 레이저 간섭계를 사용하여 압전소자의 변위를 측정하였다[8]. 검출된 신호는 오실로스코프로 구현하였다. Fig. 7은 오실로스코프로 구현된 것이다. 측정되어진 압전소자의 변위는 가변 주파수에 따라 최대변위는 20mm/V 일때 50mV가 나왔다. 이에 따른 최대변위는 0.1mm이며, 최소변위는 2mm/V 일때 10mV, 최소변위는 0.02mm이다. 또한 일정한 진폭을 가지며 진동하는 것을 측정하였다.



(a)



(b)

Fig. 7 Amplitude of the piezoelectric-element, (a) the highest and (b) the lowest amplitude.

### 4.2 금속박막의 구동 특성

체크밸브 역할을 수행하는 금속박막은 탄성력이 좋고, 내구성이 뛰어난 재질을 선택하여야 한다. 본 논문에서는 SUS를 금속박막의 모재로 사

용하였다. 하지만 SUS의 큰 탄성력 때문에 박막을 구동시키는데 커다란 힘이 필요하게 되어 구동부 주위에 피벗(pivot) 홀을 가공하였으며, FEM을 통하여 위치 및 크기에 따른 변위와 응력에 대한 해석을 수행하였다. 또한 주파수 해석에 의해 금속박막의 고유진동수는 5000Hz 이상을 나타내어 본 논문의 마이크로 펌프를 구동 시키는데 전혀 이상이 없음을 확인하였다. Fig. 8은 금속박막의 FEM 해석을 수행한 결과이며, Table 1은 피벗의 크기 및 위치에 따른 금속박막의 변위를 나타내고 있다.

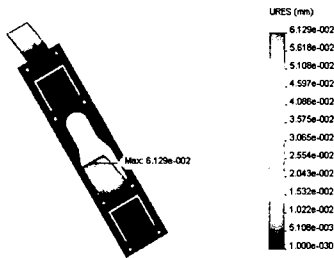


Fig. 8 The FEM analysis of the Metal membrane

Table 1 Displacement of metal membrane for various size and position of pivot

저름/위치	500mbar	300	100	50
0.15 mm	60 $\mu$ m	36	12	6
0.2	63	38	13	6.3
0.25	65	39	13	6.5
Inside	61	37	12	6
Upper	62	38	12	6
0.2, Upper	65	39	13	6.5

#### 4. 결론

압전소자에 의해 구동되어지며, 체크밸브 역할을 수행하는 금속박막을 이용하여 역류를 방지할 수 있는 적층형 마이크로 펌프를 제작하였다.

(1) 마이크로 펌프의 제작을 통하여 펌핑이 수행됨을 확인하였으나 내부 압력 증가에 따른 UV 접합 부위의 누수 현상이 발생하였다.

(2) 금속박막이 유체의 역류를 방지함을 확인하였으며 향후 마이크로 펌프의 기능 향상을 위하여 형상 변화를 통한 재설계의 필요성을 인지하였다.

#### 후 기

본 연구는 에이앤디티(주)가 주관하고 강원대학교에서 위탁과제를 수행하는 산업자원부 공통핵심 기술 개발사업의 지원으로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Sebastian Butefisch, Volker Seidemann and Stephanus Buttgenbach, "Novel micro-pneumatic actuator for MEMS", Sensors and Actuators A: Physical, Volumes 97-98, pp. 638645, 2002.
- [2] H. Y. Kwak, "Bubble Dynamics", Dream media, pp. 112-125, 2002
- [3] Gwiy-Sang Chung and jae-Min Kim, "Design, Fabrication and Characteristics of the MCA Valve for MEMS", Proceedings of The Sixth Kprean MEMS Conference pp. 449-454, 2004
- [4] N. Miki, X, Zhang, Multi-stack silicon-direct wafer bonding for 3D MEMS manufacturing, Sensors and Actuators A, 103 (2003) 194-201
- [5] Smits, J. G., "Piezoelectric Micropump with Three Valves Working Peristaltically," Sensors and Actuators, Vol. A21-A23, pp. 203-206, 1990.
- [6] 김영수, 양상식, "실리콘 박막을 이용한 마이크로 펌프의 제작 및 성능시험," 대한전기학회 논문지, 제 46 권, 제 7호, pp. 1135-1140, 1997
- [7] I.T. Homg, C.H. Koo "Antibacterial prtities, corrosion resistance and mechanical properties of Cu-modified SUS304 stainless steel", Material Science and Engineering A 393 (2005) 213-222
- [8] S. S. Yang, O. C. Jeong, Fabrication and Test of an Electromagnetic micropump using Solenoid, Coil, Trans. KIEE. Vol. 49C. No.5, 2000.