

# 미세관 내의 음파 감쇠 현상을 이용한 점도 변화 감지 센서 Viscosity-variation monitoring sensor using the attenuation of sound waves in micro-channel

\*#문원규, 최성준, 임근배

\*#W. Moon(wkmoon@postech.ac.kr), S. Choi, G. Lim  
포항공과대학교 기계공학과

Key words : attenuation, viscosity, microchannel

## 1. 서론

초소형 기계 가공 기술의 발달과 더불어, 가속도계, 압력 센서, 마이크로 펌프와 같은 트랜스듀서들의 초소형화에 많은 발전이 이루어졌다. 최근에는 나노/바이오 기술 부분에 많은 관심을 가지게 되면서 단일 세포 조작이나 여러 생체 물질들에 대한 병리학적 특성을 보다 빠르고 정확하게 측정하는 센서에 대한 연구가 현재 국/내외의 연구소 및 대학에서 연구가 이루어지고 있다[1-4]. 그러한 연구들 가운데 PCR(Polymerase Chain Reaction : 중합효소 연쇄반응)로 증폭된 DNA/RNA의 특성을 파악하려는 연구도 진행되었는데, 그 확인 방법의 하나로 제시된 것이 DNA/RNA의 점도 변화를 측정하여 그 특징을 빠르게 확인할 수 있는 기술이 필요하게 되었다. 즉, PCR을 이용하여 DNA/RNA를 증폭시키게 되면 일정한 유체(Sterile water: 멸균수)의 체적 내에 DNA/RNA의 수가 증가하게 됨으로 인해 그 유체가 가진 점도가 변화하게 되는데 그 점도 변화를 측정함으로써 DNA의 증폭 유무와 그 정도를 파악하려는 기술 개발이 요구되었다. 이를 위해 우선 DNA/RNA가 증폭되는 양이 극소량이라는 것을 파악하여, 그 양만을 가지고도 점도의 변화를 실시간에 측정할 수 있는 방법을 개발하여야 한다. 그리하여 현재 고려되고 있는 방법은 극소량의 유체를 극소량의 체적을 가진 마이크로 채널 내로 연속적으로 흘려 보내면서 채널 내에서 발생하는 음파의 감쇠 현상을 이용한 점도 변화 정도를 실시간으로 측정하는 방법을 고려하게 되었다.

## 2. 설계

### 2.1 형상 결정과 작동 원리

마이크로 점도계의 형태는 Fig. 1과 같이 두 개의 동공(cavity)과 그것들을 연결해주는 한 개의 미세관(Microchannel)으로 크게 나눌 수 있다.

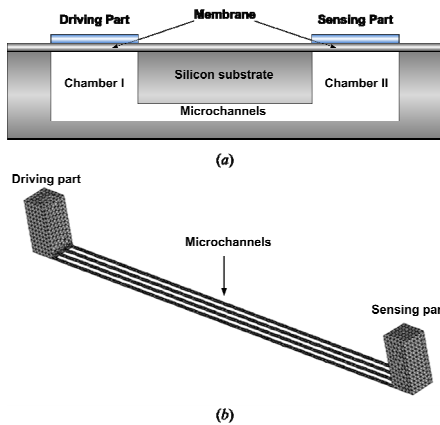


Fig. 1 The schematic of proposed device; (a) Side view, (b) 3 dimensional view

즉, 두 개의 헬름홀츠 공진기(Helmholtz Resonator)를 서로 맞붙여 연결한 것으로 볼 수 있다. 가진 부분(Driving part)에 챔버의 공진주파수로 진동을 주게 되면, 챔버

1(Chamber I)에서 음파가 발생되며, 그 음파는 Shear viscosity의 영향이 큰 마이크로 채널을 통과하면서 음파의 감쇠가 이루어진다. 이렇게 감쇠된 음파는 반대편에 챔버 2(Chamber II) 전달되고, 손실된 음압을 센싱 부분(Sensing part)에서 측정함으로써 시스템 내부에 있는 물질의 변화나 그 변화량을 측정할 수 있게 된다. 좀 더 정확히 이야기 하자면 Fig. 2에서 나타냈듯이 점성이 변화하기 전과 점성이 변화한 후의 주파수 응답 신호를 센싱 부분에서 측정하여 공진 주파수에서 신호의 변화량을 측정한다면 시스템 내부에 있는 물질의 점성이나 그 변화량을 측정할 수 있게 된다.

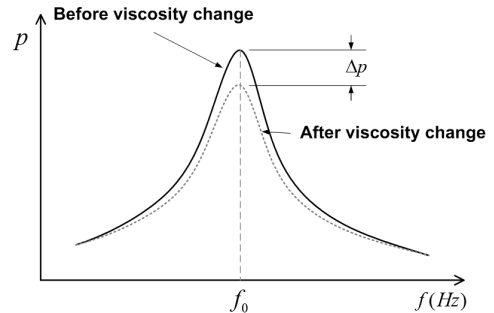


Fig. 2 Measurement method of the viscosity change on the proposed device

### 2.2 디바이스 설계

시스템의 작동 주파수는 챔버의 2차 공진주파수를 이용하였다. 따라서 챔버의 높이(깊이) 방향으로 2차 공진이 생기게 하기 위해서 챔버의 너비는 높이의 절반 미만이어야 한다. 극소량의 유체만을 가지고 점성을 측정하기 위한 디바이스 설계를 위해 챔버의 높이를 MEMS 공정이 가능한 웨이퍼 최소 두께인 300 μm으로, 챔버의 너비는 150 μm를 초과하지 않는 140 μm와 145 μm로 결정하였다.

박막의 공진 주파수는 시스템의 작동 주파수보다는 약간 높은 주파수를 이용하였다. 그 이유는 MEMS 공정상 및 SOI wafer의 Device layer의 물성치 차이로 인한 디자인 오차 때문이다. 그리고 박막의 두께는 10 μm로 선택하였으며, 박막의 공진 주파수는 5.2MHz로 결정되었다.

마이크로 채널의 경우는 유체의 점성 효과를 크게 하기 위해 너비 및 높이를 10 μm로 디자인 되었으며, 공정상 챔버와 함께 2단계 Deep RIE가 적용되어 제작이 된다

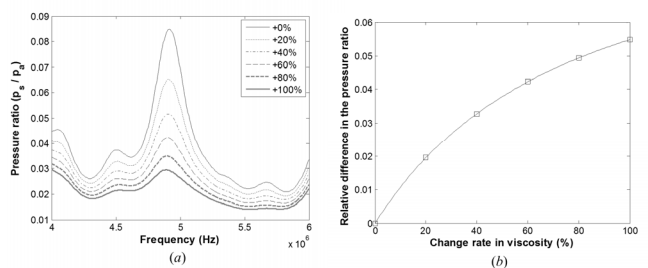


Fig. 3 Results of the FEM simulation; (a) Frequency response in the functions of viscosities at the sensing part, (b) variation in

pressure magnitude at the operating frequency as a function of the change rates in viscosities

Figure 3 은 이렇게 결정된 디자인 인자들을 이용하여 Fig. 2 에서와 같이 점도가 증가할 때 그 변화가 측정이 가능한지를 확인해보기 위해 유한 요소 해석 프로그램인 SYSNOISE 를 이용하여 나타낸 결과를 보여준다.

### 3. 제작

초소형 기계 가공 기술을 이용하여 디바이스 제작으로 설계된 전체적인 제작 과정을 Fig. 4 에 나타내었다. 그리고, 이 공정을 이용하여 완성된 디바이스를 Fig. 5 에 나타내었다.

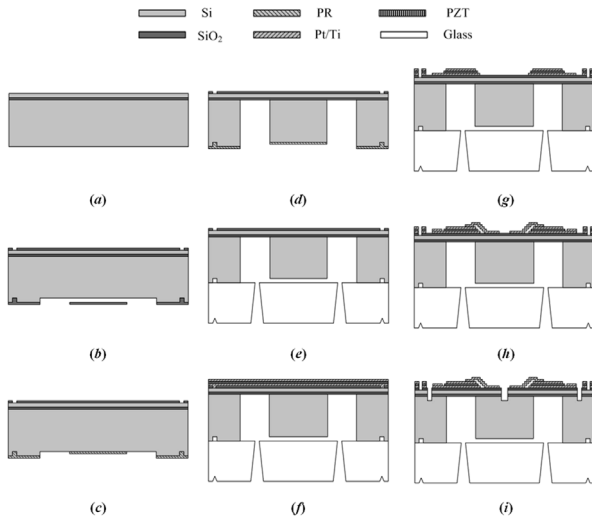


Fig. 4 Fabrication process using micromachining

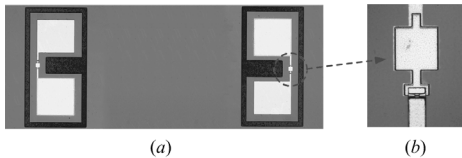


Fig. 5 Fabricated model; (a) Top view, (b) zoom of the diaphragm part

### 4. 실험

실험에 앞서 실험에 사용된 유체는 다양한 점도의 알코올-물 혼합 용액을 사용하였으며 챔버와 마이크로채널안에 채워넣고, 각각에 대한 경우를 실험하였다. 그 결과를 Fig. 6 에 나타내었다.

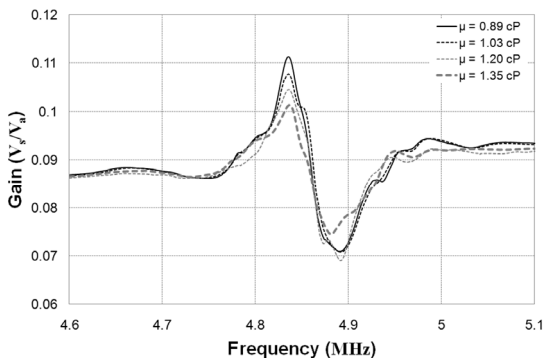


Fig. 6 Voltage gains in terms of variation in the viscosity

Figure 6 의 결과를 확인해보면 점도가 증가할 때 박막의

공진주파수에서 게인의 값이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이 결과를 이용하여 0.89 cP 를 기준으로 점도가 변화할 때 변하는 센싱 파트의 상대적인 출력 전압을 Fig. 7 에 나타내었다. 따라서, Fig. 7 의 기울기가 센서의 점도 변화에 대한 출력 전압의 변화율인 민감도로 표현할 수 있으며, 0.89 cP 에서 1.35 cP 구간에서  $31.14 \pm 2.8$  mV/cP 의 민감도를 가진다.

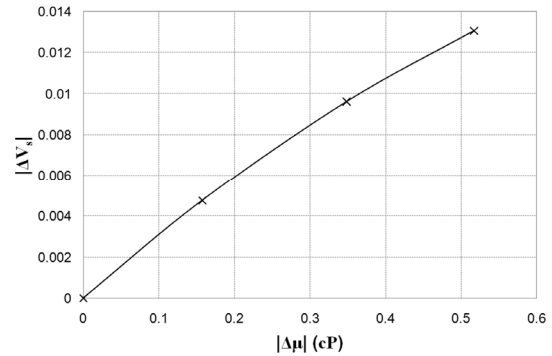


Fig. 7 Relative variations in the voltage gain to the relative variation as a reference viscosity 0.89 cP

### 5. 결론

극소량의 유체만으로도 점도의 변화량을 감지 할 수 있는 센서를 개발하기 위해 두 개의 챔버와 다중 마이크로채널을 이용한 디바이스가 개발되었다. 디바이스의 중요한 요소인 마이크로 채널의 크기는 측정되는 유체의 점도에 따라 달라지겠지만, 현재 13 nl 의 유체만으로도 상기에 나타난 점도 구간에서 비교적 높은 민감도를 가진다는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 아직까지 그 점도 측정 범위가 너무 좁다는 것이 본 디바이스의 단점이라 할 수 있으며, 이는 향후 다양한 마이크로채널 사이즈에 대한 이론적 검증과 실험을 통해 그 성능을 개선하여야 할 것이다.

### 후기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원(UD070054AD) 및 2009 년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원(R0A-2007-000-20042-0), 그리고 지식경제부 ‘산업원천기술개발사업’ 의 일환인 “바이오 로봇용 핵심요소 기술개발” 과제 (10024719)의 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Dong-Weon Lee, Yong-Lok Lee, Jung-Ho Kang, “Fabrication and evaluation of a novel protein sensor based on Lorentz force”, *Microelectronic engineering*, **84**, 1719-1723, 2007
2. Tanin Tangkuaram, Chatchai Ponchio, Thippayawadee Kangkasomboon, Panadda Katikawong, Waret Veerasai, “Design and development of a highly stable hydrogen peroxide biosensor on screen printed carbon electrode based on horseradish peroxidase bound with gold nanoparticles in the matrix of chitosan”, *Biosensors and Bioelectronics*, **22**, 2071-2078, 2007
3. Yeolho Lee, Geunbae Lim, Wonkyu Moon, “A self-excited micro cantilever biosensor actuated by PZT using the mass micro balancing technique”, *Sensors and Actuators A* **130-131**, 105-110, 2006