

마이크로 기계 공진 센서의 주변 환경 변화 영향 분석을 위한 유체-구조물 상호 작용 해석

Fluid-structure interaction analysis of micromechanical resonant sensor in environmental condition changes

강인구* · 신윤희* · 임홍재** · 임시형†

Ingoo Kang, Yoonhyuk Shin, Hong Jae Yim, Si-Hyung Lim

1. 서 론

초소형 구조물 표면에 바이오-케미컬 분자들이 흡착되거나 분자 간 상호작용을 할 때 일어나는 공진 주파수의 변화를 이용하여 분자 인식을 하는 마이크로 공진 센서는 높은 응답성과 소형화, 대량생산에 용이하다는 장점이 있어 다양한 연구가 진행되고 있다. 이런 연구들 중 마이크로 공진 센서의 surface stress에 대한 연구는 많이 진행되고 있지만[1-2], 마이크로 공진센서 주변의 환경 변화에 따른 센서 응답 특성 영향에 대한 연구는 상대적으로 미흡하다.

본 논문에서는 마이크로 공진센서의 주변 환경 변화, 즉 온도 및 상대 습도 변화 시에 따른 유체-구조물 상호 작용 해석을 상용 유한 요소 프로그램인 ADINA를 이용하여 해석하였으며 실험결과와 비교하였다.

2. 주변 환경 변화에 따른 공진 주파수 해석

2.1 모델링

마이크로 공진 센서 주변 환경 변화에 따른 공진 주파수 해석을 위하여 Fig. 1과 같이 한 쪽 끝이 고정된 마이크로 캔틸레버와 유체부분을 모델링하였다. 마이크로 캔틸레버는 길이가 500 μm , 210 μm , 150 μm 로 총 3 개이며 폭과 두께는 각각 30 μm , 2.7 μm 로 동일하다.

2.2 물성치

해석에 사용된 마이크로 캔틸레버는 실리콘 재질이며[3], 유체영역은 공기의 습·공기선도를 이용하였다. 각각의 데이터는 Table 1에 나타내었다.

2.3 해석결과

상용 유한 요소 해석 프로그램 ADINA를 이용하여 마이크로 캔틸레버의 공진 주파수 해석을 수행하였다. 상대 습도 변화 해석은 0, 20, 40, 60, 80 % 다섯 가지의

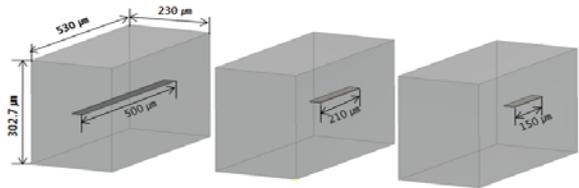


Fig. 1 Modeling of cantilever and fluid environment for fluid-structure interaction analysis

Table 1 Material and environment media properties

	Si	Air
Young's modulus (GPa)	169	N/A
Poisson's ratio	0.278	N/A
Density (kg/m^3)	2,330	1.15 ~ 1.20
Bulk modulus (Pa)	N/A	1.01×10^5 (Isothermal process)

경우이며 이때 온도는 상온 21 $^{\circ}\text{C}$ 이다. 온도 변화 해석은 21 ~ 29 $^{\circ}\text{C}$ 까지 2 $^{\circ}\text{C}$ 씩 변화를 주었고 이때 상대 습도는 0 %로 고정하여 해석을 수행하였다.

공기의 상대 습도가 0 ~ 80 %까지 상승할 때 Fig. 2와 같이 길이 500 μm 캔틸레버의 경우 Δf 가 0.5 Hz, 길이 210 μm 캔틸레버의 경우 Δf 가 2.9 Hz, 길이 150 μm 캔틸레버의 경우 Δf 가 6 Hz 상승하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 상대 습도가 증가함에 따라 수증기가 증가하여 상대적으로 공기 내 밀도가 떨어지기 때문으로 예상된다.

또한 공기의 온도 변화에 따른 해석에서 온도가 2 $^{\circ}\text{C}$ 씩 증가함에 따라 공진주파수가 감소함을 Fig. 3과 같이 확인하였다. 길이 500 μm 캔틸레버의 경우 Δf 가 5.8 Hz, 길이 210 μm 캔틸레버의 경우 Δf 가 49 Hz, 길이 150 μm 캔틸레버의 경우 Δf 가 97 Hz가 감소하였다. 온도가 증가함에 따라 공기 내의 밀도가 감소하며, 캔틸레버의 Young's modulus 값이 감소함에 따라 캔틸레버의 강성도 낮아지게 된다[4]. 이는 공진주파수의 변화는 공기밀도 변화에 의한 영향보다 캔틸레버의 Young's modulus 값 변화에 의한 영향을 더 지배적으로 받아 공진주파수가 감소함을 예상할 수 있다.

† 교신저자; 국민대학교 기계시스템공학부

E-mail : shlim@kookmin.ac.kr

Tel : (02) 910-4672, Fax : (02) 910-4839

* 국민대학교 기계설계대학원

** 국민대학교 자동차공학과

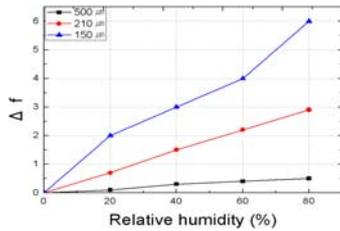


Fig. 2 Resonant frequency changes of a microcantilever in different relative humidity conditions.

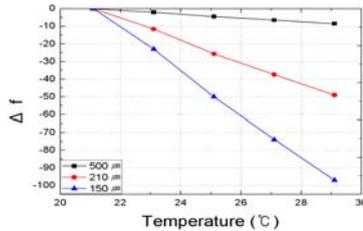


Fig. 3 Resonant frequency changes of a microcantilever in different temperature conditions.

3. 실험

3.1 실험장치

Fig. 4와 같이 마이크로캔틸레버의 처짐량을 광학적으로 측정할 수 있는 센서평가용 마이크로캔틸레버 시스템을 직접 제작하였다. PSD(Position Sensitive Detector)를 이용하여, 캔틸레버의 윗면에 반사되는 레이저의 위치 변화를 통한 캔틸레버의 공진주파수를 측정한다.

3.2 상대 습도 실험

공진 주파수 해석과 비교하기 위하여 210 μm, 500 μm 길이의 캔틸레버에 대하여 실험을 수행하였다. 실험조건은 해석조건과 동일하게 0 ~ 80 %의 상대 습도 변화, 온도 21 °C에서 이루어졌다. 상대 습도가 상승하게 되면 길이 210 μm, 500 μm의 캔틸레버 모두 공진 주파수가 Fig. 5와 같이 상승하는 경향을 보였다. 이러한 습도 상승에 따른 공진 주파수 상승 측정결과는 해석결과(Fig. 2)와 일치한다.

3.3 온도 실험

온도 실험의 실험조건은 상대 습도가 0 %이며 온도 변화는 10 °C이다. 실험결과는 Fig. 6와 같이 감소하는 경향을 보였다. 길이가 210 μm 일 경우 온도가 10 °C 상승할 때 공진 주파수가 약 40 Hz 감소하였으며, 길이가 500 μm일 때 온도가 10°C상승하면 약 3 Hz 감소하는 경향을 보였다. 이러한 온도 상승에 따른 공진 주파수 감소 경향은 해석결과(Fig. 3)와 일치한다..

4. 결론

본 논문에서는, 유체 환경 변화에 따른 마이크로 기계 공진 센서의 공진 주파수 해석을 수행하였으며 실험과 비교하였다. 유체 내에서 온도 및 상대 습도 변화 시 각

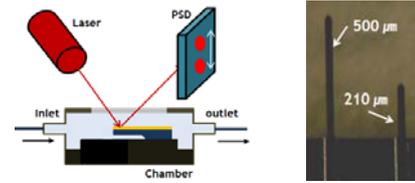


Fig. 4 Schematic of experimental equipment & microscope image of cantilevers

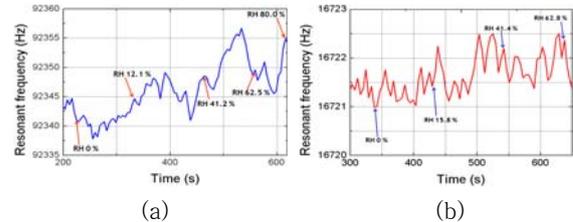


Fig. 5 Resonant frequency of changes in different relative humidity (a) 210 μm, (b) 500 μm

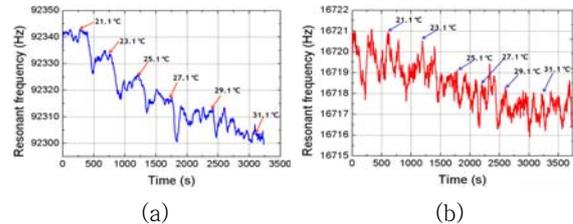


Fig. 6 Resonant frequency of changes in different temperature (a) 210 μm, (b) 500 μm

길이가 다른 마이크로 캔틸레버의 공진 주파수를 비교했을 때, 상대 습도 상승 시 공진 주파수가 상승하는 경향을 보였으며 온도 상승 시 공진 주파수가 감소하는 경향을 보임을 확인하였다. 이는 공진 주파수해석과 실험 모두 같은 경향을 보임을 알 수 있었다.

본 연구 결과는 마이크로 캔틸레버 기반의 공진형 센서를 설계할 때, 주변 환경의 센서 응답 특성에 미치는 영향을 파악하는 지침을 제공할 것이다.

후 기

본 연구는 민군겸용기술개발사업 및 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단 - 신기술융합형 성장동력사업(No.20090313)의 지원을 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

- (1) Kim S. and Kihm K. D., 2008, Applied Physics Letters 93, 081911
- (2) Ng. T. Y., Lee. K. H., O'Shea. S. J., Shen. F., Lu. P., 2001, Mater. Phys. Mech. 4, 51-55
- (3) Calleja, M., Tamayo, J., Ramos, D., Mertens, J., 2006, Applied Physics Letters 89, 224104
- (4) Cho. C. H, 2009, Current Applied Physics 9, pp. 538 ~ 545