

Tuning fork형 micro-cantilever sensor

김충현*, 안효석⁺

Micro-cantilever sensor using a tuning fork

Choong Hyun Kim*, Hyo-Sok Ahn⁺

Abstract

An experimental investigation of the basic characteristics of a micro-cantilever sensor was performed by inspecting the amplitude and frequency characteristics using a commercial tuning fork. Application of acetone and ethanol with a volume of 1 μ l on the tine of a vibrating tuning fork cause immediate response in its amplitude and frequency. It has shown that the tuning fork has ability to recognize a chemical agent with high sensitivity.

Key Words : Sensor, Tuning fork, micro-cantilever, MEMS

1. 서론

Micromechanical sensor의 개발은 최근 급속도로 발전하고 있는 MEMS 가공기술의 발전으로 대량생산, 소형화, 모듈화가 용이하여 기계시스템의 작동유체의 물성 측정, 화학플랜트의 가스누설 검지, 각종 폭발물과 마약 등의 특정 화학물질을 검출하기 위한 센서로 개발되어 기계, 의료, 환경, 군사 등 다양한 분야에 적용이 가능하다.^(1,2)

Micro-cantilever를 이용한 micromechanical nose는 공기 중에 존재하는 극미량의 특정 화학물질을 분석하기 위한 것으로서 pico-gram의 우수한 분해능을 가지며 극소량의 기체 및 액체의

정량 및 정성 분석에 활용될 수 있어 최근 주목을 받고 있다. 특히, tuning fork (TF) 형태의 미세 액츄에이터 겸용 센서는 높은 공진 주파수 특성을 가져 계측분해능이 캔틸레버 형보다 월등히 높으며 전자회로가 간편해지고 높은 Q(quality) factor를 가져 주변의 진동에 의해 계측분해능이 저하되지 않는다.^(3,7)

본 연구에서는 우수한 계측정밀도, 높은 Q factor, 높은 S/N 값을 가지며 self-actuating과 self-sensing을 동시에 수행할 수 있는 튜닝포크 형태의 이열 캔틸레버(Fig. 1)형 센서를 이용하여 스마트 micromechanical 센서를 개발하기 위한 기본특성연구를 수행하였다.

* 한국과학기술연구원 트라이블로지연구소 (chkim@kist.re.kr)

주소: 136-791 서울시 성북구 하월곡동 39-1

+ 한국과학기술연구원 트라이블로지연구소 (hsahn@kist.re.kr)

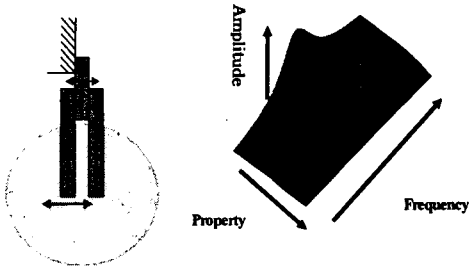


Fig. 1. Dynamic force spectroscopy obtained from a tuning fork type micro-cantilever sensor.

2. 실험

본 연구에서 개발코자 하는 tuning fork형 micro-cantilever(TFM)를 센서로 활용하기 위해 기존의 atomic force microscope (AFM)을 활용하되 AFM용 캔틸레버에서 tuning fork로 대체하여 작동시키는 방법을 채택하였다.

이 때 tuning fork를 시료(유기용매, 사용유 등)에 접촉을 시킨 상태에서 동적 모드로 AFM을 가동하게 되면 시료에 발생한 점도변화나 불순물 함유 등의 영향에 의하여 tuning fork tine의 진동수와 진폭이 tuning fork 고유의 측정값으로부터 변화하게 되므로 이러한 변화를 감지하여 시료상태를 평가하는 실험을 실시하였다.

우선, 기존의 AFM에 tuning fork형 센서를 사용할 수 있도록 센서 홀더부를 설계, 제작하였다. Fig. 2는 AFM에 tuning fork형 센서를 장착할 수 있도록 제작된 센서홀더부에 범용진동자로 사용되는 tuning fork가 센서로서 부착되어 있는 모습을 보이고 있다.

또한, tuning fork에 전압을 인가하고 tine으로부터 발생하는 동적신호를 전기신호로 출력할 수 있도록 회로를 구성하고 tine의 진동수와 진폭의 변화를 감지할 수 있도록 감지부를 개발하여 기존 AFM과 연결시켜 dynamic force spectroscopy 기능을 추가하고 그 결과를 모니터상에 구현하는 소프트웨어를 개발하였다.

Fig. 3은 tuning fork를 센서로 이용한 측정시스템의 개략도이다. 진동수가 32768 Hz인 tuning fork형 quartz resonator를 센서로 이용하였으며 제너레이터를 통해 정해진 진동수와 진폭으로 quartz resonator를 구동시키고 시료에 의해 변화된 진동수와 진폭신호를 처리하여 출력되는 과정을 보이고 있다. 분석결과는 시간에 따른 진폭변화를 보여주는 amplitude-frequency-time (AFT)의 관계를 구하게 된다.

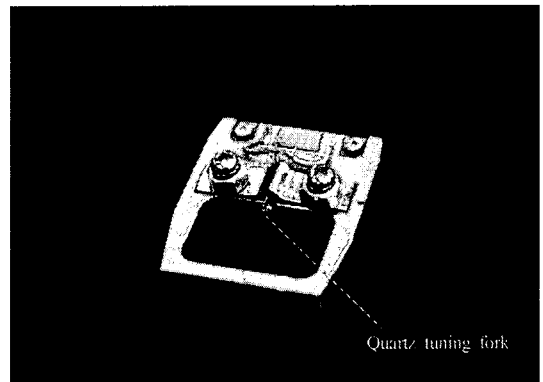


Fig. 2. View of the tuning fork holder and conventional tuning fork installed.

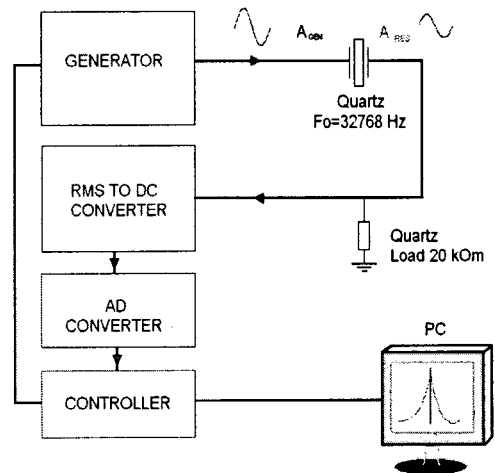


Fig. 3. Schematics of the measurement system

Fig. 4는 일반적인 quartz tuning fork의 고유진동수인 32768 Hz인 경우의 부가질량에 의한 고유진동수 변동 결과를 보다 넓은 질량의 변화 범위에서 나타낸 것이다. 부가질량이 10^{-10} g 이하에서는 질량 증가에 대한 고유진동수 변화 값의 크기가 0.01 Hz 이하의 작은 값을 가져 정확한 측정이 용이하지 않을 것으로 보인다.

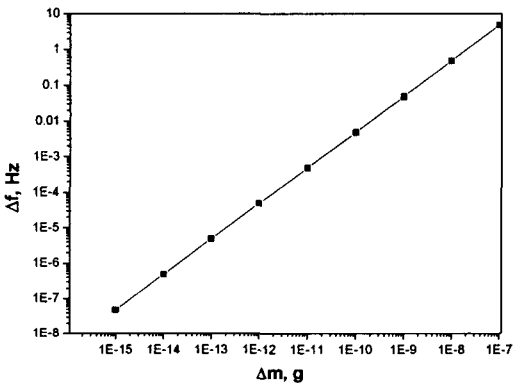


Fig. 4. Variation of resonance frequency due to an added mass for a quartz tuning fork with resonance frequency of 32768 Hz.

3. 실험결과 및 고찰

실험에 사용된 범용 tuning fork의 제원은 전체 폭 $D=1.4$ mm, 길이 $L=3.8$ mm, 두께 $T=0.25$ mm, tine의 폭 $W=0.6$ mm, 그리고 고유진동수 $f_0=32768$ Hz이다.

상기한 제원의 tuning fork를 센서로 사용하여 아세톤과 에탄올을 각각 약 $1 \mu\text{l}$ 정도 tuning fork의 한 쪽 tine에 떨어뜨린 후 시간 경과에 따른 tuning fork의 진동수와 진폭의 변화를 살펴보았다.

Fig. 5에 tuning fork에 용매가 묻지 않은 상태에서의 스펙트럼 (a)와 아세톤을 가한 직후부터의 스펙트럼 (b)를 나타내었다. (a)의 경우에는 tuning fork 센서의 tine에 외부로부터의 교란이 없기 때문에 시간의 경과에 따른 변화가 전혀 나타나지 않고 아래에 나타난 amplitude-frequency 관계도에 보이는 바와 같이 원래 tuning fork의 진동-진폭 특성을 그대로 보여준다. 그러나 Fig. 5 (b)와 같이 약

$1 \mu\text{l}$ 의 아세톤을 tuning fork의 한 쪽 tine에 떨어뜨린 후에 측정된 AFT 스펙트럼을 보면 초기에는 아세톤의 영향으로 인하여 전혀 진동이 발생하지 않았으며, 이후 아세톤이 증발함에 따라 tuning fork가 서서히 진동하기 시작하여 매우 낮은 진폭과 고유진동수 값을 나타낸 후 시간이 경과함에 비례하여 점차 두 값이 증가하여 약 2초 후에는 원래의 진폭과 고유진동수를 회복하며 amplitude-frequency 관계도 정상으로 복귀하였다.

Fig. 6은 에탄올을 tuning fork에 가하기 전(a)과 에탄올을 약 $1 \mu\text{l}$ 정도 가한 후(b)의 스펙트럼 변화를 나타낸 것이다. 에탄올은 아세톤에 비하여 급격하게 증발하기 때문에 원래의 진폭과 고유진동수를 회복하는데 걸리는 시간이 아세톤에 비해 감소함을 알 수 있다.

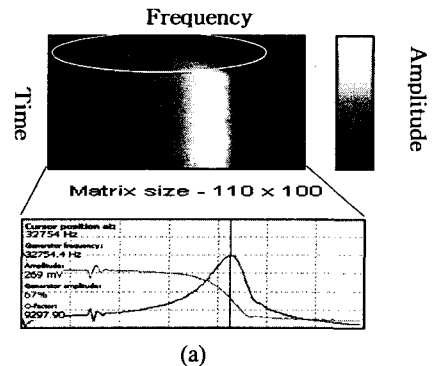
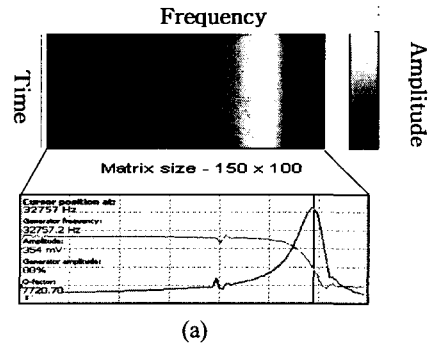
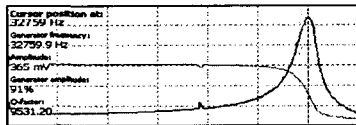
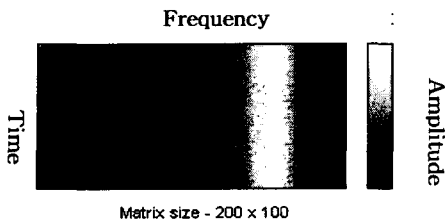
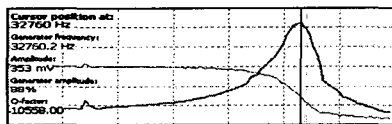
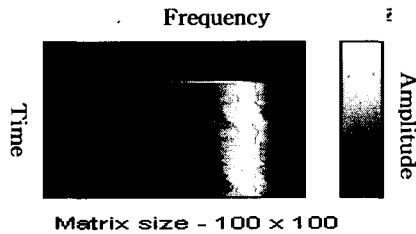


Fig. 5. Amplitude-frequency-time spectroscopy and amplitude-frequency relationship of the quartz tuning fork: (a) before acetone addition; (b) after acetone addition



(a)



(b)

Fig. 6. Amplitude-frequency-time spectroscopy and amplitude-frequency relationship of the quartz tuning fork: (a) before ethanol addition; (b) after ethanol addition

4. 결론

진동하고 있는 범용 tuning fork의 tine에 미세한 용량의 유기용매를 떨어뜨렸을 경우, tine의 진폭과 주파수특성이 급격하게 변화한 다음 원래의 값으로 회복되는 것을 관찰할 수 있었다. 따라서 비교적 크기가 큰 범용 tuning fork의 경우에도 미세한 질량변화를 매우 민감하게 감지해 낸다는 것을 확인하였다.

이러한 실험결과를 바탕으로 미세크기의 tuning fork를 제작하여 적용할 경우, 각종 화학물질을 구성하는 다분자 단위의 극소량의 이물질이 tine 표면에 붙게 함으로써 해당 이물질의 물리, 화학적인 특성으로 인한 tuning fork의 진

동 및 진폭의 변화를 계속하여 미세화학물질의 검출이 가능하다는 사실을 예측할 수 있었다.

본 연구를 통하여 미세 tuning fork를 이용한 정밀한 센서개발의 가능성을 확인하고 이에 필요한 기본 기술개념을 정립할 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Soloman, Sabrie, 1998, *Viscous Fluid Flow Sensors Handbook*, McGraw-Hill, New York, pp. 51.1~51.10.
- (2) E. Benes, M. Groschl, W. Burger and M. Schmid, 1995, "Sensors based on piezoelectric resonators", *Sensors and Actuator A*, Vol. 48, pp. 1~21.
- (3) Jae-Hoon Lee, Jang-Hoon Yoo, Sang-Youp Yim and Seung-Han Park, 2004, "Symmetric and Asymmetric Resonance Characteristics of a Tuning Fork for Shear-Force Detection", *J. of the Korean Physical Society*, Vol. 45, No. 2, pp. 455~459.
- (4) D. Zeisel, H. Menzi, L. Ullrich, 2000, "A precise and robust quartz sensor based on tuning fork technology for (SF₆)-gas density control", *Sensors and Actuator A*, Vol. 80, pp. 233~236.
- (5) A. L. Dring, B. E. Jones, 2000, "Integrated on-line multisensing of fluid flow using a mechanical resonator", *Sensors and Actuator A*, Vol. 85, pp. 275~279.
- (6) S. P. Beeby, G. Ensell and M. White, 2000, "Microengineered silicon double-ended tuning-fork resonators", *Microengineering and Education Journal*, Dec. 2000, pp. 265~271.
- (7) S. Nakata, S. Akakabe, M. Nakasuji and K. Yoshikawa, 1996, "Gas sensing based on a nonlinear response: Discrimination between hydrocarbons and quantification of individual components in a gas mixture", *Anal. Chem.*, Vol. 68, pp. 2067~2072.