

# 정전기력을 고려한 MEMS 가속도계 진동해석

## Vibration Analysis of MEMS Accelerometer Undertaking Electrostatic Force

김형영\* · 유홍희†  
**Hyung Yung Kim and Hong Hee Yoo**

### 1. 서 론

오늘날 MEMS(Micro Electro Mechanical Systems) 기술은 컴퓨터, 자동차, 정보통신 분야 등에 중요한 영향을 미치고 있다. 그 중에서도 MEMS 가속도 센서는 최근 반도체 집적회로 공정기술의 발달로 소형화 대량 생산화가 가능해져 그 수요가 폭발적으로 증가 하고 있다. MEMS 가속도 센서는 크게 피에조 타입, 커패시턴스 타입으로 나누어 지고 일반적으로 Cantilever Beam-Mass 구조로 되어 있다. MEMS 가속도 센서도 다른 MEMS 구조물들과 마찬가지로 크기가 아주 작기 때문에 작용하는 힘과 구조에 따라서 성능에 크게 영향을 받게 된다. 그러므로 정확한 분석이 필수적으로 요구된다. MEMS 가속도 센서의 커패시턴스 타입은 Mass가 인가되는 힘에 의해 움직이면, Mass 위에 형성된 전극과 고정되어 있는 전극 사이의 간격이 바뀌어 나타나는 커패시턴스의 변화로 가속도가 측정된다. 이는 커패시턴스의 변화를 측정할 때 가해지는 전압이 정전기력으로 작용하여 새로운 오차 원인으로 가해지는 문제가 있다. 이러한 차이는 정확한 가속도 측정과 성능분석에 영향을 미치므로 이와 관련된 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 1 과 같은 MEMS 커패시티브 가속도 센서의 빔과 진동질량을 끝 단 질량을 가진 외팔 보 구조로 이상화 하여 동역학적 모델링을 수행하였다. 또한 유도된 운동방정식을 바탕으로 정전기력이 고려된 MEMS 가속도계의 모드해석 및 Sensitivity와 Measurable Frequency Range(MFR)를 센서의 성능지수로 정의하여 성능 분석을 수행하였다.

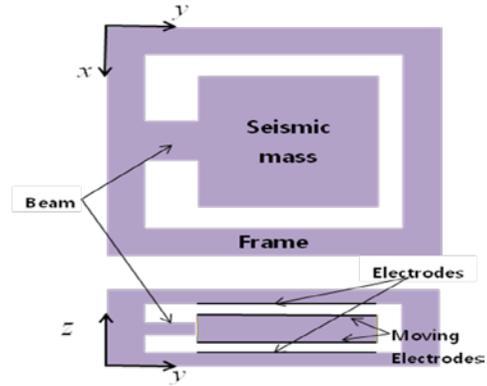


Fig.1 The schematic view of a MEMS structure

### 2. 운동방정식

본 연구에서는 오일러 베르누이 빔으로 가정하였고 Fig. 1의 MEMS 가속도 센서를 Fig. 2와 같이 이상화 하여 모델링 하였다. 따라서 MEMS 가속도 센서의 운동방정식은 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^{\mu} m_{ij} \ddot{q}_j + \sum_{j=1}^{\mu} (k_{ij} - e_{ij}) q_j + \dot{v} P_i = 0 \quad (i = 1, \dots, \mu) \quad (1)$$

여기서,

$$m_{ij} = \int_0^L \rho \phi_i(x) \phi_j(x) dx + M \phi_i(L) \phi_j(L)$$

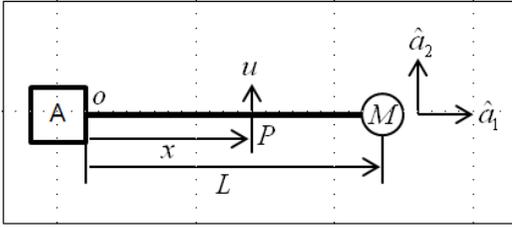
$$k_{ij} = \int_0^L EI \phi_{i,xx}(x) \phi_{j,xx}(x) dx$$

$$P_i = \int_0^L \rho \phi_i(x) dx$$

$$e_{ij} = \int_{L_b}^{L_b+L_m} \frac{2W_m \epsilon_0 V^2}{d^3} \phi_i(x) \phi_j(x) dx$$

$$L = L_b + 0.45L_m$$

† 교신저자; 정회원, 한양대학교 기계공학부  
 E-mail : hhyoo@hanyang.ac.kr  
 Tel : (02)2220-0446 , Fax : (02)2293-5070  
 \* 한양대학교 대학원 기계공학과



**Fig.2 Configuration of a micro cantilever beam undertaking electrostatic force**

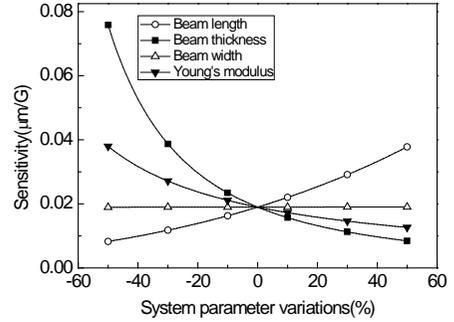
수치해석에 사용된 빔의 물성치들은 Table 1에 나타내었고 이상화 모델의 모드해석 결과를 ANSYS 모델과 비교함으로써 식(1)의 타당성을 검증하였다. 이상화 모델의 첫 번째 고유진동수는 1504Hz 이고 ANSYS 모델은 1569Hz 이며 두 고유진동수 결과의 상대오차는 약 4.1%이다.

**Table 1** Material and geometric data of the MEMS structure

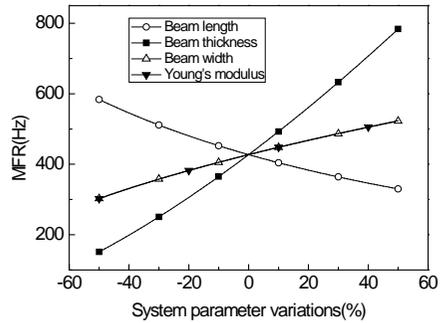
Notation	Description	Data
$\rho$	Density	$4.2 \times 10^{-11} \text{ kg} / \mu\text{m}$
$E$	Young's modulus	190GPA
$L_b$	Beam length	600 $\mu\text{m}$
$W_b$	Beam width	600 $\mu\text{m}$
$T_b$	Beam thickness	30 $\mu\text{m}$
$L_m$	Mass length	2000 $\mu\text{m}$
$W_m$	Mass width	2000 $\mu\text{m}$
$T_m$	Mass thickness	250 $\mu\text{m}$
$\epsilon_0$	Free space permittivity	$8.85 \times 10^{-18} \text{ F} / \mu\text{m}$
$V$	Applied drive voltage	5V
$d$	Gap between mass and plate	15 $\mu\text{m}$

### 3. 수치해석

MEMS 가속도 센서의 성능지수로 Sensitivity와 Measurable Frequency Range(MFR)을 정의하고 수치해석을 통해 파라미터 변화에 따른 성능분석을 하였다.



(a)



(b)

**Fig. 3** Sensitivity and MFR variations versus system parameter variations

### 4. 결 론

본 논문에서는 이상화 한 모델의 운동방정식을 유도하여 ANSYS 의 모드해석 결과와 비교해 봄으로써 운동방정식을 검증하였다. 그리고 유도된 운동방정식부터 정전기력이 고려된 MEMS 가속도계의 진동 분석 및 성능 분석을 통해 MEMS 가속도 센서를 설계하기 위한 정보로써 유용하리라 사료된다.

### 후 기

이 논문은 2012년도 2 단계 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원 되었음.