

# 연속체 빔 이론을 이용한 MEMS accelerometer 모델링 및 성능특성 분석

## MEMS accelerometer modeling and performance analysis

by using continuous beam theory

김용일\* · 유홍희†

Yong Il Kim and Hong Hee Yoo

### 1. 서론

MEMS 가속도 센서는 크게 피에조 타입, 커패시턴스 타입 그리고 스트레인 게이지 타입 가속도 센서로 나누어 질 수 있다. 각각의 센서 종류에 따라 장단점이 있는데 특히 커패시턴스 타입 가속도 센서는 최근 반도체 집적회로 공정기술의 발달로 소형화, 대량 생산화가 가능해져 다양한 분야에서 사용되고 있다<sup>(1, 2)</sup>. 이러한 MEMS 가속도 센서는 어떤 용도로 쓰이는가에 따라 빔의 형상이 달라질 수 있기 때문에 용도에 맞는 가속도 센서 설계와 더불어 성능특성 분석이 반드시 필요하다.

본 연구에서는 Fig. 1 과 같은 MEMS 커패시티브 가속도 센서의 빔과 진동 질량을 끝단 질량을 가진 외팔 보 구조로 이상화함으로써 기존 모델링 보다 확장된 동역학적 모델링을 수행하였다. 또한 가속도 센서의 가장 중요한 요소들인 민감도와 대역폭과 빔의 물성치 사이의 영향을 비교하여 가속도 센서의 성능특성을 분석하였다.

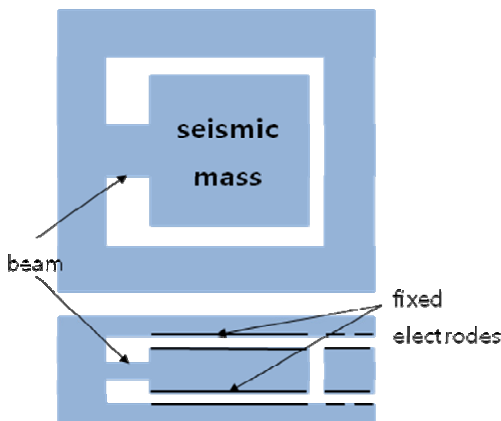


Fig. 1 The schematic view of a MEMS capacitive accelerometer

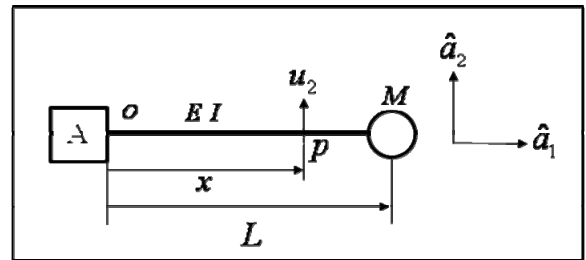


Fig. 2 Configuration of a cantilever beam with tip mass

### 2. MEMS accelerometer 운동방정식

MEMS 가속도 센서의 성능을 해석하기 위해 운동방정식을 유도하였다. 연속체에서 오일러 보 이론에 근거하였으며 끝단 질량의 관성 모멘트는 무시하고 집중 질량으로 가정하였다. Fig. 2 는 강체 A 에 고정된 끝단 질량을 가진 외팔 보의 모습이고 굽힘방향 운동방정식은 다음과 같다.

$$\sum_{j=1}^{\mu} m_{ij} \ddot{q}_j + \sum_{j=1}^{\mu} k_{ij}^B q_j + \dot{v}_2 P_i = 0 \quad (1)$$

$$(i=1, 2, 3, \dots, \mu)$$

여기서

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

$$k_{ij}^B = \int_0^L EI \phi_i'' \phi_j'' dx \quad (2)$$

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

### 3. 수치해석

이 절에서는 앞에서 유도된 운동방정식에 근거하여 가속도 변화와 빔의 물성치 변화에 따른 동적 응답 해석을 수행하였고, 가속도 센서의 민감도와 대역폭을 구하였다.

Fig. 3 은 입력 가속도가  $\dot{v}_2 = 10 \sin(2\pi ft)$  로 주어질 때 감쇠비 변화에 따른 빔의 처짐에 대한 결과이다. 여기서  $f$  는 500Hz 이다. 감쇠비가 0 일 때는 (a)와 같이 출력이 위상차가 거의 없는 상태로 입력

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

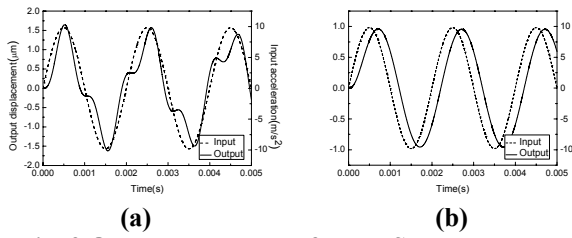


Fig. 3 Output responses of MEMS accelerometer

을 따라가긴 하지만 주기당 한 번 이상의 진동이 발생하는 것을 알 수 있다. 감쇠비가 증가하면 직관적으로도 알 수 있듯이 위상차가 존재한다. (b)는 임계 감쇠의 경우로 위상차는 약 1.9051rad 이다.

Fig. 4는 빔의 길이, 폭, 두께 그리고 탄성계수를 각각의 초기값에서  $\pm 50\%$  변화할 때 민감도와 대역폭의 변화를 나타낸 그래프이다. 빔의 각각의 파라미터들 중에서 두께가 민감도와 대역폭 변화에 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 또한 빔의 탄성계수 변화와 폭의 변화는 가속도 센서의 민감도와 대역폭에 대체로 비슷한 영향을 미치고 있다.

Fig. 5의 그래프들은 빔의 각각 파라미터들의 변화에 대한 민감도와 대역폭의 공분산 관계를 나타내고 있다. 민감도가 큰 가속도 센서는 상대적으로 좁은 대역폭을 가지고 반대로 넓은 대역폭을 가지는 가속도 센서는 민감도가 떨어지게 된다. 두 곡선이 교차하는 지점을 선택함으로써 높은 민감도와 넓은 대역폭을 동시에 만족시킬 수 있다.

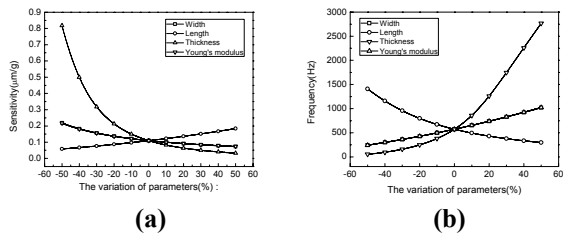


Fig. 4 Sensitivities and frequency ranges in terms of variation of beam parameters

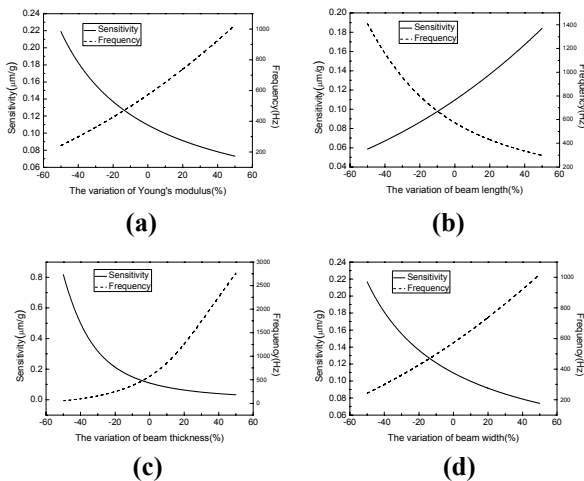


Fig. 5 Relationships between sensitivity and bandwidth in terms of variation on beam parameters

#### 4. 결론

본 연구에서는 MEMS 가속도 센서의 성능특성을 분석하기 위해 운동방정식을 유도하였다. 이 운동방정식에 기초하여 감쇠비 변화에 따른 센서 출력 변화를 알아보았고 가속도 센서의 진동질량을 지지하고 있는 빔의 물성치 변화에 따른 민감도와 대역폭 변화를 도출하였다. 빔의 두께 변화가 다른 파라미터 변화에 비해 상대적으로 민감도와 대역폭에 큰 영향을 미치는 것이 밝혀졌고 민감도와 대역폭에 대한 빔의 탄성계수와 폭 변화의 영향력은 서로 비슷하다는 것을 확인 할 수 있었다. 민감도와 대역폭의 상관 관계를 도출함으로써 설계자가 사용 목적에 맞게 가속도 센서의 민감도와 대역폭의 상한 값과 하한 값을 정할 수 있도록 자료를 제시 하였다.

#### 후 기

이 논문은 2010년도 2 단계 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었음.

#### 참 고 문 헌

- (1) R. Amarsinghe, D.V. Dao, T. Toriyama, S. Sugiyama, 2005, Design and Fabrication of Miniaturized Six-Degree of Freedom Piezoresistive Accelerometer MEMS2005 Conference, pp. 351-354
- (2) M. H. Bao, 2000, Micro Mechanical Transducers : Pressure Sensors, Accelerometers and Gyroscopes, Elsevier