

MEMS 가속도 센서의 감쇠비와 측정오차의 관계 분석

Analysis of Relationship between Damping Ratio and Measurement Error of a MEMS Accelerometer

김용일* · 유흥희†

Yong Il Kim and Hong Hee Yoo

1. 서론

MEMS 가속도 센서에서 가장 중요한 요소로 감쇠비가 있다. 감쇠비는 MEMS 가속도 센서의 성능지수인 측정가능 주파수 범위 변화에 직접적인 영향을 미친다. 측정가능 주파수 범위란 측정 대상의 가속도 입력 신호와 MEMS 가속도 센서의 출력 신호가 선형관계에 있는 구간을 말한다. 이 범위가 클수록 넓은 주파수 범위에서 일정한 민감도로 가속도를 측정할 수 있기 때문에 성능이 좋은 가속도 센서라고 할 수 있다.

일반적으로 가속도를 측정하고자 하는 대상은 가속도 신호 하나만을 발생시키지 않고 두 개 이상의 여러 주파수가 혼합된 신호를 생성한다. 이때 감쇠비가 0.707 이 아닐 경우 MEMS 가속도 센서에서 측정된 신호는 원래 측정하고자 하는 신호와 다른 일그러진 모양으로 나타난다. 그러나 보통 감쇠비는 MEMS 가속도 센서의 다른 재원 예를 들어 Fig. 1 의 진동질량의 무게 또는 빔의 길이 보다 조절이 어렵기 때문에 감쇠비를 0.707 로 맞추기란 불가능하다. 따라서 본 연구에서는 두 개의 주파수가 혼합된 임의의 가속도 신호와 MEMS 가속도 센서의 출력을 비교 하였다.

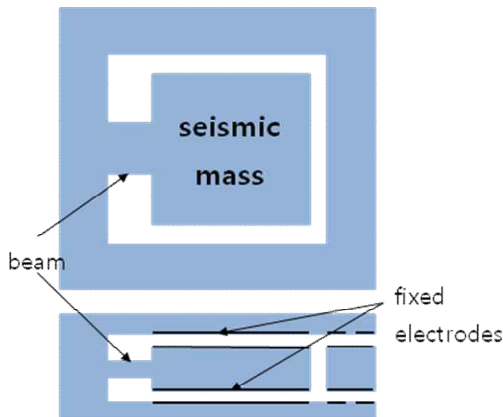


Fig. 1 The schematic view of a MEMS capacitive accelerometer

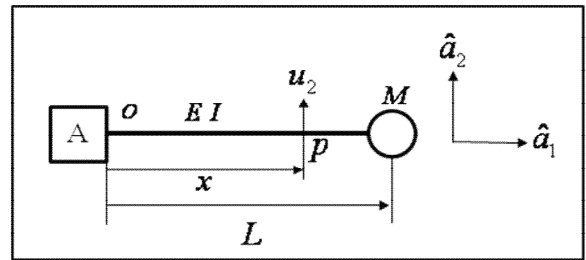


Fig. 2 Configuration of a cantilever beam with tip mass

2. MEMS accelerometer 운동방정식

Fig. 2 와 같이 연속계에서 오일러 빔으로 가정하고 끝 단 질량의 관성 모멘트가 무시된 집중 질량으로 가정하여 MEMS 가속도 센서의 운동방정식을 유도 하였다.

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

(i=1, 2, 3, ..., μ)

여기서

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

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

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

위의 운동방정식에 모달 감쇠항을 추가하였다. 식 (12)를 행렬형태로 나타내어 정규화 과정을 거치면 다음과 같다.

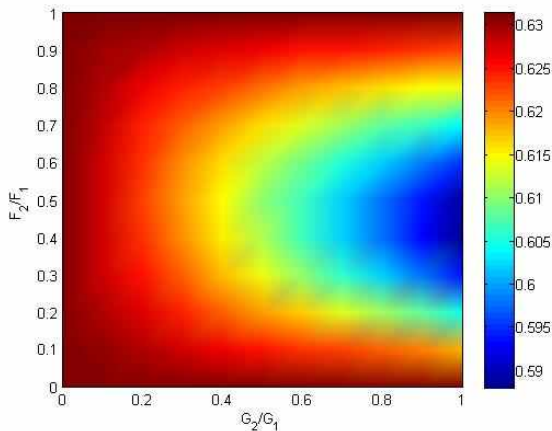
$$[I] \{\ddot{\eta}\} + [\omega^2] \{\eta\} = \{R\} \quad (2)$$

여기서

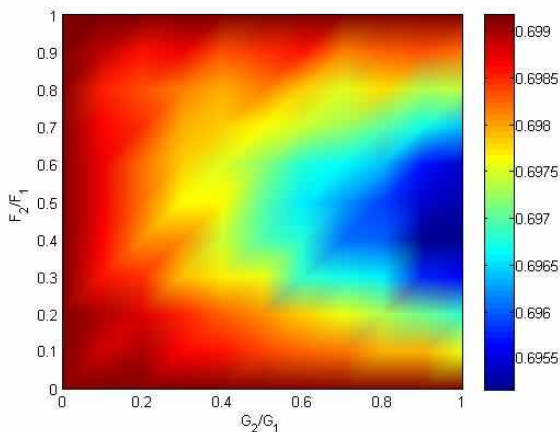
$$[I] = [V]^T [M] [V]$$

$$[\omega^2] = [V]^T [K^B] [V]$$

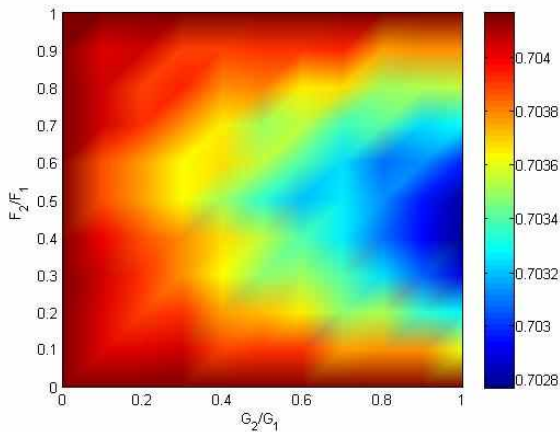
$$\{R\} = -\dot{v}_2 [V]^T \{P\}$$



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 Contour plot in terms of damping ratio when error between input and output is 0.1%

식 (13)에 각각의 요소가 $\gamma_{ii} = 2\zeta_i\omega_i$ 인 $i \times i$ 행렬을 감쇠항으로 추가한다. 이때 ζ_i 와 ω_i 는 각각 i 번째 감쇠비와 고유진동수를 나타낸다. ζ_i 를 정할 때 $2\zeta_i\omega_i = \alpha + \beta\omega_i^2$ 에서 $\zeta_1 = \zeta_2$ 로 가정하고 이에 대한 연립방정식으로부터 α 와 β 를 구한다음 ζ_i 를 구하였

다. 따라서 감쇠항이 추가된 운동방정식은 다음과 같다.

$$\{\ddot{y}\} + [\Gamma]\{\dot{y}\} + [\kappa^2]\{y\} = \{R\} \quad (3)$$

3. 감쇠비와 측정오차 비교

위의 운동방정식에서 가속도 입력에 관한 항은 \dot{v}_2 이고 임의의 가속도 함수는 다음과 같다.

$$\dot{v}_2 = G_1 \sin(2\pi F_1 t) + G_2 \sin(2\pi F_2 t) \quad (4)$$

Fig. 3 은 식 (4)의 신호가 가속도 센서에 입력될 때 출력과의 오차가 0.1%인 감쇠비 값을 나타낸 그래프이다. 최대 측정가능 주파수는 오차가 1%인 선형구간에서 537.73Hz로 100Hz, 300Hz, 500Hz 일 때의 그래프를 각각 (a), (b), (c)에 나타내었다. 전체적으로 그래프가 $F_2/F_1 = 0.5$ 를 중심으로 대칭이 되는 것을 알 수 있다. 이는 $F_2/F_1 = 0$ 또는 $F_2/F_1 = 1$ 일 때 F_1 과 F_2 가 같아져 식 (4)가 단일 주파수 함수의 형태가 되기 때문이다. $F_2/F_1 = 0.5$ 일 때 그리고 $G_2/G_1 = 1$ 로 갈수록 오차가 0.1 인 감쇠비는 점점 작아지고 있다. 그리고 (a)에서 (c)로 갈수록 즉 F_1 이 증가할수록 오차가 0.1 인 감쇠비는 커지는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

감쇠비와 측정오차와의 관계를 알아보기 위해 MEMS 가속도 센서 운동방정식에 모달 감쇠항을 추가 하였다. 또한 \dot{v} 이 변할 때마다 측정오차가 0.1 일 때의 감쇠비 크기의 그래프를 그려보았다.

후 기

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