

통합 제진 마운트의 변위 기반 알고리즘과 거동 예측(I)

Displacement-based Algorithm and Movement Simulation for an Integrated Vibration Control Mount(I)

김형태* · 김철호† · 이강원*

Kim Hyung Tae, Kim Cheol Ho, SungBok Kang and Lee Kang Won

1. 서 론

반도체, PDP 등 IT 핵심 부품 생산에 있어서 주요 공정은 주변 환경 조건에 대단히 민감하므로 제한된 환경에서 공정을 진행한다. 현재까지 진동에 대한 대책은 대체적으로 미흡한 편이나 공정의 나노화에 따른 진동의 영향이 강해지는 경향을 보이고 있다. 이를 해결하기 위한 방법으로 공압 스프링을 사용하는 방법이 있으나⁽¹⁾⁻⁽²⁾, 저주파 공진에 대단히 취약한 현상을 보이고 있다. 이러한 고하중 장비를 지지하며 진동을 영향을 최소화하는 장치로 통합 제진 마운트라는 개념이 제안되고 있다.⁽³⁾ 통합 제진 마운트란 공압을 이용하여 수톤의 장비 하중을 견디면서 진동을 제어하고, 공진 현상을 방지하기 위해 자기 유체(MR)이나 전자기력(EMF)를 사용하는 장치를 의미한다. 일반적으로 센서에서 감지된 진동을 제어가 판단하여 자기 유체는 진동 제어 시스템의 댐핑 상수를 변화시키고, 전자기력은 진동에 대한 반발력을 발생하는 역할을 한다. 한편, 통합 제진 마운트의 역할을 살펴보면 장비에서 발생한 진동을 흡수하는 absorber 와 외부에서 발생한 진동을 억제하는 isolator 두 가지 역할을 수행하여야 하므로, 본 논문에서는 변위 기반의 진동 흡수 및 억제 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션으로 검증하였다.

2. 제진 알고리즘

2.1 Absorber

† 교신저자; 정회원, 한국생산기술연구원
E-mail : cheolho@kitech.re.kr
Tel : 041-589-8313, Fax : 041-589-8460
* 한국생산기술연구원

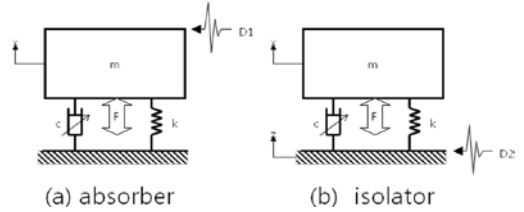


Fig. 1 concept of vibration control mode

Fig. 1 (a)는 전형적인 진동 흡수 모델로 장비에서 발생된 진동을 에어 스프링, MR 댐퍼, EMF 장치로 최대한 억제하는 것을 목적으로 한다. 이 경우 수식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = D_1 + F_{MR}(\dot{x}) \quad (1)$$

여기서 EMF 를 고려하지 않는 이유는 진동 흡수를 위한 충분한 힘을 EMF 가 내는 것이 현실적으로 어렵기 때문이다. 즉, 공정에 적용되기 위하여 일반적으로 500~1000N 이상의 출력이 필요한데 EMF 로 전자석과 코일을 구성하면 부피가 너무 커지므로 마운트에 적용하기 어렵다.

2.2 Isolator

Fig. 1(b)와 같이 장비 외부에서 발생한 진동을 장비로 전달되지 못하도록 절연하는 것을 목적으로 하는 전형적인 모델을 고려하였다.⁽⁴⁾ 이 경우는 대부분의 진동이 에어 스프링에 의하여 절연되므로 EMF 가 미세한 진동을 제어한다.

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{z}) + k(x - z) = D_2 + F_{EMF}(x - z) \quad (2)$$

여기서 MR 을 사용하지 않는 이유는 MR 작동 시 자기 유체의 점성이 증가하여 외부 진동이 자기 유체를 통과하여 장비에 전달될 수 있기 때문이다.

2.3 통합 제진 알고리즘

실질적으로 absorber 모드에서는 x 의 변위가 mm 단위이나, isolation 에서는 x 의 변위는 0 에 가깝다. 한편, 일반적으로 변위 센서는 상대 변위를 측정하므로 측정치는 $y=x-z$ 가 된다. 이를 근거로 absorber / isolation 모드는 다음과 같이 threshold 로 결정할 수 있다.

$$\begin{cases} m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = D_1 + F_{MR}(\dot{y}) & |y| > \tau, y \approx x \\ m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = D_2 + F_{RMF}(y) & |y| < \tau, y \approx -z \end{cases} \quad (3)$$

한편, MR 와 EMF 가 발생하는 힘은 약간의 비선형성인 hysteresis 나 dead band 등이 있으나 사용 범위 내에서는 어느 정도 비례로 볼 수 있다. 따라서, 다음과 같이 컨트롤러 출력을 계산할 수 있다.

$$\begin{cases} F_{MR} = -k_{MR}\dot{y} & y > \tau, y \approx x \\ F_{EMF} = -k_{EMF}y & y < \tau, y \approx -z \end{cases} \quad (4)$$

3. 결과

제안한 알고리즘을 MATLAB으로 모델링하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 필요한 모델링 파라미터, 즉 상수들은 작년도에 발표하였던 연구⁽⁵⁾에서 활용한 시스템에서 직접 측정하여 입력하였다. 모델링된 시스템에서 진동원은 장비에서 발생하는 impact force와 바닥에서 발생하는 random 진동을 가정하였다. Fig. 2는 충격 진동에 대한 응답으로 magnitude도 줄었지만 settling time이 1/20으로 감소한 것을 알 수 있다. Fig. 3는 random 진동에 관한 것으로 magnitude가 감소한 것을 알 수 있다. FFT로 살펴본 감쇠 정도는 Table. 1과 같다. 따라서, 충격 진동의 경우 17dB 정도가 감쇠하며, random 진동의 경우 15dB 정도 감쇠한다. 공진 주파수의 경우 더 낮은 쪽으로 이동함을 할 수 있다.

Table 1 Attenuation of vibration modes

| Vibration(Mag/Freq) | Conventional | Proposed |
|---------------------|--------------|-----------|
| Impact | 25/2.5Hz | 3.5/0.0Hz |
| Random | 17/3.0Hz | 3.4/0.9Hz |

4. 결론

본 연구에서는 IT 핵심 공정을 위한 제진 시스템을 구현하기 위하여 상대 변위를 이용한 진동의 흡수 및 절연을 할 수 있는 알고리즘에 관하여 논하였으며 시뮬레이션 상으로 효과가 있음을 보였다.

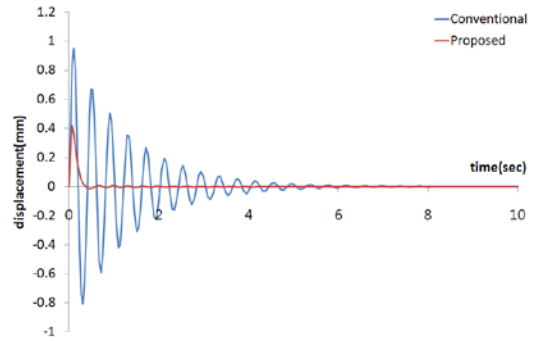


Fig. 2 Impact responses

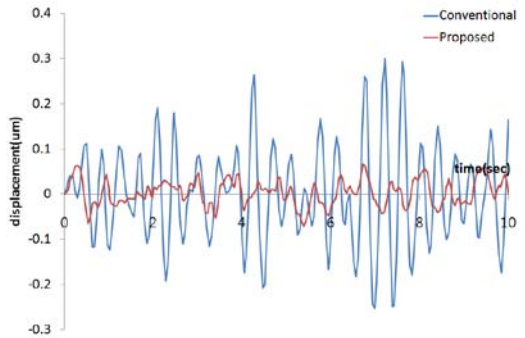


Fig. 3 Random responses

참고 문헌

- (1) D. K. Han and P. H. Chang, "A robust two-time-scale control design for a pneumatic vibration isolator," IEEE Conference on Decision and Control, pp. 1666 - 1672, 2007
- (2) T. Mizuno, M. Murashita, M. Takasaki and Y. Ishino, "Pneumatic Three-axis Vibration Isolation System Using Negative Stiffness," IEEE Conference on Decision and Control-European Control Conference, pp. 8254 - 8259, 2005.
- (3) H.T. Kim, C.H. Kim, S.B. Kang, K.W. Lee, J.H. Baek and H.H. Han, "A 3 DOF Model for an Electro Magnetic Air Mount," IEEE Conference on Mechatronics, pp. 1~5, 2011.
- (4) K. Ogata, "System Dynamics 2nd Ed.," Prentice Hall, New Jersey, pp. 477~482, 1992.
- (5) H.T. Kim, C.H. Kim, K.W. Lee and G.S. Lee, "Digital Signal Processing for micro vibration," KSNVE Spring Conference, pp. 726~727, 2010.