

디지털 미진동 신호 처리

Digital Signal Processing for micro vibration

김형태† · 김철호 · 이강원* · 이규섭**

Kim Hyung Tae, Kim Cheol Ho, Lee Kang Won and Lee Gyu Seop

1. 서론

반도체, LCD 등 첨단 IT 핵심 부품 공정이 미세화되는 추세에 따라 제조 공정의 환경 요소도 품질과 직결되는 중요한 인자가 되었다. 반도체 등의 IT 부품 생산 현장에서 환경 인자로는 청정도, 온도, 습도 등이 있으나 최근에는 진동이 대단히 민감한 인자로 대두되고 있다. IT 부품 생산에서 발생하는 진동은 장비 자체의 고속 이동 및 장비 외부에서 바닥을 통한 전달 등의 두 가지로 분류할 수 있다. IT 부품 생산 공정에는 환경 규격이 미진동 수준인 클래스 A($<1 \mu\text{m}$)부터 E($<0.06 \mu\text{m}$)까지 정의되어 있다. 이러한 고하중 생산 장비의 미진동 제거 방법으로 지금까지 공압식 능동 제어가 활발하게 논의되고 있으나, 최근에는 전자기식 능동 제어 및 MR 유체 제어 기법이 연구되고 있다.

IT 핵심 부품 생산을 위한 능동 제어 시스템은 Fig. 1 과 같이 장비가 설치될 베이스, 베이스를 지지하고 제진을 위한 추력을 발생하는 actuator, 진동을 감지하는 센서 및 제어기로 구성된다. 본 연구에서는 이러한 제진을 수행할 전자기식 능동 마운트와 디지털 제어기를 구축하고, DSP 를 이용한 진동 신호 분석 방법에 대하여 고찰하였다.

2. 능동 제어 시스템

2.1 전자기식 마운트

일반적인 IT 부품 생산을 위한 제진 시스템은 Fig. 2 와 같이 베이스 프레임 위에 진동 절연을 위한 공압 스프링을 각 코너에 설치하고, 상부에 정반과 장비를 설치한다. 현재 대부분의 산업용 제진 시스템은 수동형(passive)으로 발생된 진동을 공압이 감쇠시키는 air spring 형태이다. 이 경우 발생하는 문제

점으로는 산업 현장에서 발생하는 다양한 형태의 진동에 대한 근본적인 대책이 될 수 없으며, 고하중에 의한 공진 주파수가 10Hz 미만에서 형성되므로 저주파 진동에 의한 제진 성능 악화 등이 있다. 따라서, 본 연구에서는 air spring 과 전자기식 actuator 를 일체화하여 개발한 전자기식 능동형 air spring 을 사용하였다. 진동을 검출하기 위한 센서로는 각 spring 에 가속도 센서와 변위 센서를 사용하였다.

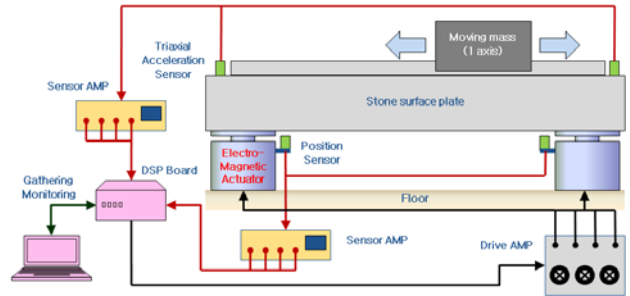


Fig. 1 Layout of active vibration control system

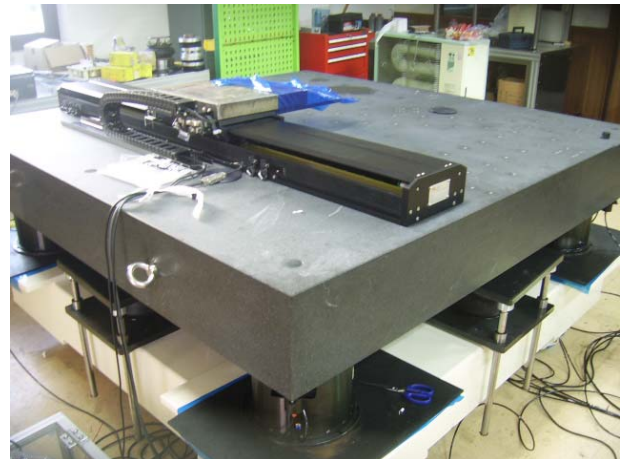


Fig. 2 Photo of a vibration control test apparatus

2.2 디지털 제어 장치

제어기는 센서에서 검출된 신호를 처리하고, 제어 로직에 의하여 계산된 출력을 결정하여 외부로 내보내는 역할을 수행한다. 본 연구에서는 TMS C6000 시리즈를 기반으로 하는 DSP(D. SignT C6713)를 사용하여 제어기를 구성하였다. A/D 가 16 채널, D/A 가 4 채널이며, 각각 12bit, 60kHz, $\pm 10\text{V}$ 의 범위에서 실수 연산을 수행할 수 있다.

† 교신저자; 한국생산기술연구원 생산시스템연구부
E-mail : htkim@kitech.re.kr

Tel : (041) 589-8478, Fax : (041) 589-8460

* 한국생산기술연구원

** 알엠에스테크놀로지

3. 디지털 신호 처리

3.1 신호처리 방법

수동 제어 상태에서 정반의 중심에 impact 를 가할 경우 나타나는 가속도 및 변위 응답은 Fig. 3 과 같이 나타난다. 가속도의 경우 impact 순간 고주파가 나타나고 급격히 감소되어 저주파 모드만 남은 이후 진동이 소멸된다. 변위의 경우 impact 이후 크기가 점진적으로 감소되며, oscillation 의 주기는 시스템의 고유 진동수와 같게 나타나므로, 공진 성분 때문에 감쇠가 길어진다고 볼 수 있다. 이 신호들을 MATLAB 을 사용하여 FFT 로 분석해보면 Fig. 4 와 같이 가속도는 고주파 성분, 변위는 저주파 성분이 강하게 나온다. 가속도에서는 3Hz 의 제진대의 공진 주파수, 60Hz 의 AC 노이즈, 450Hz 의 정반의 공진 주파수 성분이 강하게 나타났고, 변위에서는 3Hz 의 제진대 공진 성분이 강하게 나타났다. 따라서, 제어 신호로 공진 성분을 검출하고, 고주파 및 노이즈 성분을 제거하여야 하므로, LPF(low pass filter)로 약 30Hz 근방에서 cut-off 한다. LPF 연산은 DSP 에서 수행하므로 디지털 필터링 방법으로 이동 평균, LSQ(least square), EWMA 및 식 (1)과 같은 2 차 이산 필터를 적용하여 각각의 성능을 비교하였다.

$$H(z) = \frac{a_0 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2}}{1 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2}} \quad (1)$$

여기서, 이동 평균과 LSQ 의 샘플링은 각각 N=5, N=10, 2 차 이산 필터의 각 계수는 Butterworth - White 에 의하여 제시된 방법으로 결정하였다.

3.2 신호처리 결과

가속도 신호의 경우 Fig. 5 와 같이 impact 순간 정반 자체의 고체 고유 진동수를 포함하는 고주파가 생성된다. 여기서 디지털 2 차 필터를 적용하면 정반의 motion 에 의한 모드가 검출된다. 제어에서 사용되는 변위의 미분 신호를 필터링한 결과 Fig. 6 과 같이 나타났다. 4 가지 알고리즘 중에서 디지털 2 차 필터가 원신호 대비 노이즈나 위상지연 측면에서 가장 성능이 좋은 것으로 평가되었다. 미분 신호는 노이즈에 민감하므로 신호 처리 성능을 평가하기 쉽다.

4. 결론

반도체, LCD 등 IT 핵심 부품을 생산하기 위한 공정에서 발생하는 진동을 억제하기 위한 제진 시스템에서 진동 신호를 처리하는 방법을 제안하였다. 현장에서 발생하는 미진동 신호처리 조건을 검토하고 DSP 에 적용 가능한 필터링 방법을 선정하여 시험하였으며, 2 차 이산 필터가 유용함을 알 수 있었다.

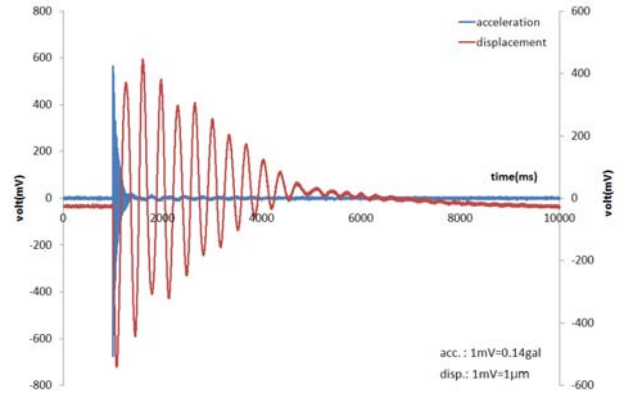


Fig. 3 Impact response of a vibration isolator

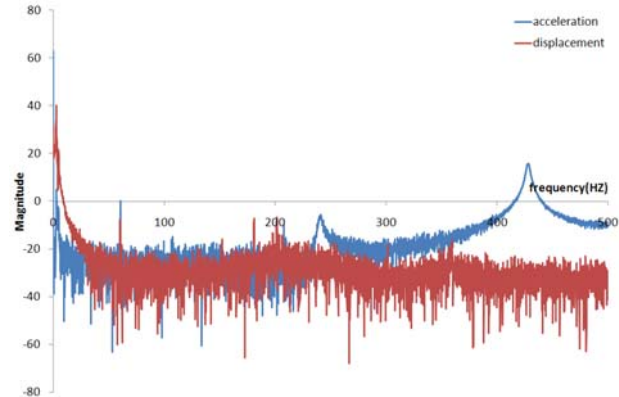


Fig. 4 Impact response of a vibration isolator

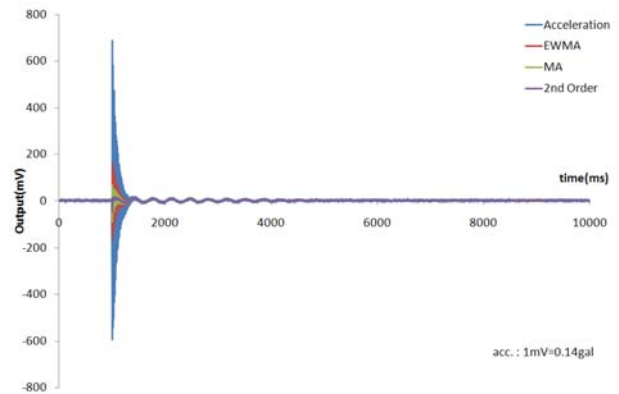


Fig. 5 Filtering result for acceleration signal

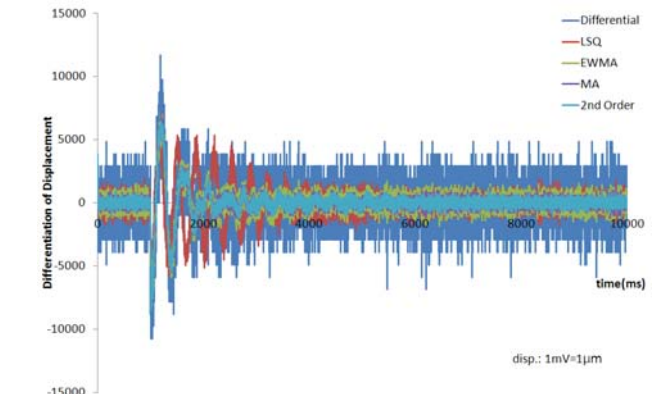


Fig. 6 Filtering result for differentiation of displacement