

구조물의 능동진동제어를 위한 Coulomb Damping 제어 알고리즘의 적용

Application of Coulomb Damping Control Algorithms for Active Vibration Control of Structures

오지택 * · 광문규 † · 양동호 *

Ji-Taek Oh, Moon K. Kwak and Dong-Ho Yang

1. 서 론

기계 시스템의 경우 진동은 여러 가지 이유로부터 발생된다. 이러한 경우에 진동을 제어하는 방법으로는 수동적인 제어방법과 능동적인 제어방법이 있다. 방진고무나, 동흡진기를 이용한 수동적인 방법으로는 진동제어에 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 능동적인 제어에 대한 많은 연구들이 진행되고 있다.

능동진동제어에 사용 되는 방법 중 하나가 압전 감지기 및 압전 작동기를 구조물에 부착하고 이를 이용해 진동을 제어하는 방법이다. 이런 구조물을 지능구조물로 칭한다. 본 연구에서는 이러한 지능구조물을 대상으로 쿨롱 댐핑(Coulomb Damping) 개념을 도입한 진동제어방법에 대하여 연구 하였다. 쿨롱댐핑은 미끄럼 마찰을 통해 에너지를 흡수하는 기계적 댐핑 에너지의 한 유형이다. 마찰력은 항상 물체의 운동 방향의 반대 방향으로 작용한다. 이 마찰력은 결국 물체를 정지하게 만들게 되는데, 따라서 마찰이 감쇠의 역할을 하게 된다. 일자유도 진동계에 대해서는 쿨롱댐핑이 포함된 경우에 대해 이론해가 존재한다. 이론 결과는 쿨롱댐핑이 포함된 경우 물체의 운동이 선형적으로 감소함을 보여준다. 점성감쇠의 경우 응답이 지수적으로 감소하는 것과는 다른 형태의 응답을 보여준다. 본 연구에서는 쿨롱댐핑의 성질을 능동 진동 제어알고리즘으로 활용하여 제어기를 설계하고 실험을 수행하였다.

2. 실험 장치의 구성

Fig. 1은 능동진동제어 실험 장치의 구성을 보여준다. 외팔보 구조물에 압전 감지기와 압전 작동기를 부착하여 지능구조물을 제작하였다. 지능구조물을 리니어 가이드 위에 올려 놓고, 리니어 가이드를 가진장치(The Modal Shop사의 KE2007E01)로 가진하였다. Fig. 2는 피이드백 제어 루프를 보여준다.

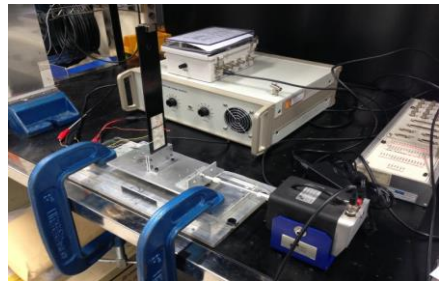


Fig. 1 Experimental Setup for Active Vibration Control

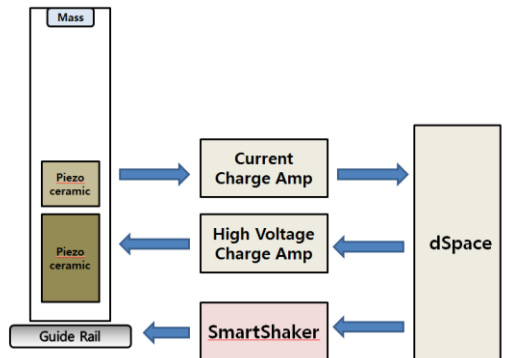


Fig. 2 Feedback Control Loop

† 교신저자; 정희원, 동국대학교 기계로봇에너지공학과
E-mail : kwakm@dgu.edu

Tel : (02)2260-3705 Fax : (02)2263-9379

* 정희원, 동국대학교 대학원

압전감지기 신호를 Charge Amp에 연결하면 구조물의 진동변위에 비례한 신호를 계측할 수 있다. 그러나 쿨롱댐핑 제어 알고리즘의 적용을 위해서는 속도에 비례하는 센서 신호를 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 OP Amp와 저항을 이용해 Current Amp를 제작하고 이 앰프에 압전감지기 신호를 연결하였다. 이 경우 속도에 비례하는 센서 신호를 계측할 수 있다. Current Amp의 신호는 dSpace사의 DS1104의 ADC에 연결되고, 제어 알고리즘을 통해 계산된 제어 신호가 DAC 단자로 출력된다. DAC의 신호는 High Voltage Amplifier를 통하여 증폭된 후 압전 작동기에 전달된다. 일반적으로 PPF 제어 알고리즘과 같이 특정 주파수에 튜닝된 제어 알고리즘은 비공진 영역에서 효과적이지 못하다. 그러나 본 연구에서 고려한 쿨롱댐핑 제어알고리즘은 모든 주파수 영역에 걸쳐 적용할 수 있다는 장점이 있다. 이와 같은 특성을 살펴보기 위해 Fig. 2에 보이는 바와 같이 외팔보를 공진 주파수(20Hz)와, 비공진 주파수로 지반 가진하였다.

3. Coulomb Damping 제어 알고리즘의 적용

쿨롱 댐핑력은 다음 식으로 표현된다.

$$F = -c \operatorname{sgn}(\dot{x}) \quad (1)$$

여기서 c 는 쿨롱 댐핑계수, sgn 은 sign함수를 나타낸다. 즉, 속도의 반대방향으로 마찰력이 작용함을 나타낸다. 식(1)이 간단하지만 이를 실제로 적용하기 위해서는 추가적인 신호 처리가 필요하다. 식(1)의 제어 알고리즘을 보다 구체적으로 구현한 Simulink 블록선도가 Fig. 3와 같다.

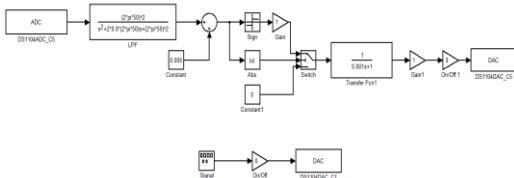


Fig. 3 Coulomb Damping Control using Simulink

Fig. 3은 저역 통과 필터 (LPF, Low Pass Filter)와 바이어스 조정, 채터링 방지를 위한 블록 등으로 구성되어 있다. LPF의 필터 주파수는 50Hz로 설정하여 전원 잡음의 60 Hz의 성분을 제거 하였다. 이 경우 50Hz 이하의 진동수 성분만을 제어할 수 있다. 채터링 방지를 위한 switch의 threshold는 0.01로 설정하였다. Threshold 값을 너무 낮게 설

정 하면 작은 noise에도 반응을 하기 때문에 실험을 통해 이 값을 선정하였다. 그러나 이 값으로 인해 제어가 되지 않는 잔류진동이 남아 있게 된다.

Fig. 4와 5는 쿨롱 댐핑 제어 실험 결과를 보여준다. 제어 전과 후를 비교한 시간응답과 PSD인데 진동이 제어됨을 보여준다. Fig. 5 그래프에서 볼 수 있듯이 PPF와는 다르게 공진 주파수뿐만 아니라 비공진 주파수 영역에서도 제어됨을 확인 할 수 있다.

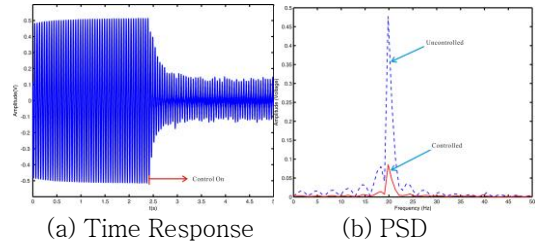


Fig. 4 Uncontrolled and Controlled Response by 20Hz Excitation

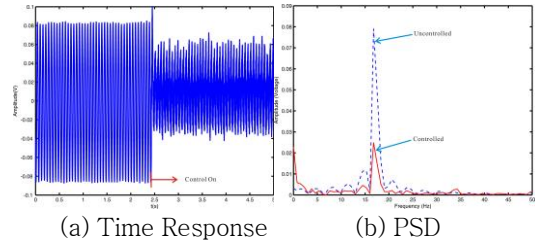


Fig. 5 Uncontrolled and Controlled Response by 17Hz Excitation

4. 결 론

본 연구에서는 쿨롱 댐핑의 작동 메커니즘을 활용한 제어 알고리즘을 제안하였다. 압전작동기와 압전감지기가 부착된 외팔보 구조물을 대상으로 본 연구에서 제안한 쿨롱 댐핑 제어 알고리즘을 실험해 본 결과 공진주파수 뿐만 아니라 비공진주파수 대역에서도 진동을 효과적으로 제어할 수 있음을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 일반연구재단의 “유연 다물체 지능 구조물의 동적 모델링 및 능동진동제어”과제의 지원으로 수행되었습니다.