

수동-능동 압전형 진동흡수장치의 개발

°곽명훈*, 허 석**, 곽문규***

Development of the Passive-Active Vibration Absorber Using Piezoelectric Actuators

Myung-Hoon Kwak, Seok Heo, Moon K. Kwak

Abstract

This research is concerned with development of the passive-active vibration absorber using piezoelectric actuators. This active-passive isolation system consists of 4-pairs of PZT actuators bonded on accordion type of mounting bracket and a spring-damper located in center. Hence, the active system is connected in parallel to the passive system. In this paper, we discuss the dynamic characteristics of the addressed system. Based on the series of experiment, it is found that the proposed system can cope with the external disturbances. The controller design is currently under investigation.

1. 서론

일반적으로 외부 또는 내부로부터의 진동을 작동기를 사용하여 능동적으로 격리하는 것을 능동진동격리(Active Vibration Isolation(AVI))라고 부른다. 이 기술은 한 물체 또는 구조물로부터 다른 물체로의 진동 전달을 감소시키기 위하여 능동시스템을 사용하는 것을 지칭하며 포괄적으로는 능동진동흡수장치(Active Vibration Absorber)를 사용하여 기계나 구조물의 진동을 감소시키는 것을 포함한다. 능동진동흡수 장치를 설계하는데 있어 기진력이 구조물의 변화에 의해 바뀌지 않는다는 가정을 사용한다. 실제로는 구조물의 변화에 따라 시스템에 가해지는 기진력이 변하지만 물리적인 현상 규명에는 이 가정이 유용하게 사용될 수 있다.

능동진동흡수장치의 장점과 단점을 열거하면 다음

*. ** 동국대학교 기계공학과 대학원

*** 동국대학교 기계공학과 교수

과 같다. 먼저 지지된 장비의 정적 안정성이 수동진동격리(Passive Vibration Isolation, PVI)에 비해 좋으며 저주파수 대역에서의 성능이 좋다. PVI는 저주파수 대역에서 진동제어 효과가 거의 없다. AVI는 어느 한 지점의 진동제어 가능하며 장비의 작동 상태에 맞추어 교정이 가능하다. 그러나 에너지를 방출 또는 제공하기 위해서 외부 전원이 필요하다는 단점이 있다. 또한 따라서 진동억제에 비용이 많이 들며 장비가 강철과 고무스프링으로 되어있는 단순한 PVI 시스템에 비해 복잡하다. 내구성 역시 문제가 된다.

능동진동흡수시스템은 현재 지지구조물의 진동으로부터 광학시스템의 격리, 거친 노면으로부터 발생된 타이어 진동으로부터 객실 격리, 기진원으로부터 우주 망원경의 격리, 엔진 진동으로부터 차량의 격리, 로터 기어박스 진동으로부터 헬리콥터 객실의 격리, 중장비 진동으로부터 지면 격리 등에 사용되고 있다.

진동흡수장치를 사용하는 진동격리는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 하나는 지지구조물로부터 장비를 격리하는 것, 즉 베이스 기진력으로 부터 장비를 격리하는 것이고 다른 하나는 장비 진동을 지지부로부터 격리하는 것이다.

본 연구에서는 베이스에 저주파수 특성을 가지는 외부 교란이 가해지는 경우에 대응할 수 있는 수동-능동 진동흡수기의 설계 및 초기 실험 결과를 제시하고자 한다. 본 연구에서 제안한 시스템은 수동시스템과 병렬로 연결된 능동시스템(Fig. 1)이다.

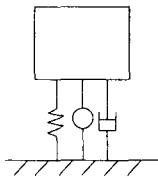


Fig. 1. Passive-Active Vibration Absorber System of Parallel Type

이 장치는 저주파수에서 효과적이거나 고주파수 대역에서는 힘전달이 커 고주파수 성능이 저하되는 것으로 알려져 있다. 특히 Hydraulic 시스템의 경우에 이 현상이 두드러진다. 만일 저주파수 대역에서 대변형이 일어나면 Magnetostrictive 작동기나 압전체 작동기를 사용하는 것이 어려워진다. 이에 대응하기 위해 Pneumatic, Hydraulic 또는 Electromagnetic 작동기를 사용할 수 있으나 중량 문제, 액체 공급 문제가 대두된다.

Fig. 2는 수동시스템과 직렬로 연결된 능동시스템을 보여주고 있다.

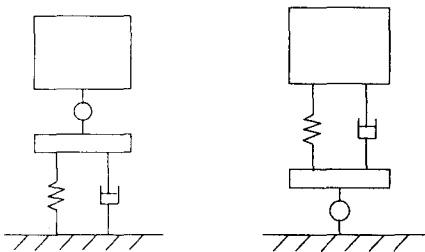


Fig. 2. Passive-Active Vibration Absorber System of Serial Type

이 시스템은 고주파수 대역에서의 성능저하가 없으나 작동기 자체가 장비 중량을 감당해야 하는 단점이 있다. 제어 관점에서는 능동시스템이 지지구조물의 동역학으로부터 분리되어 있다는 장점이 있다. 이 외에도 주시스템에 질량-스프링으로 이루어진 부시스템을 부착하여 진동을 흡수하는 dynamic vibration absorber 등이 있으나 본 연구에서는 첫 번째 소개한 수동-능동 병렬 진동흡수 장치의 설계 및 개발에 대해 논하고자 한다.

Karnopp[1]는 능동/반능동 진동격리장치에 대해 논하면서 특히 "sky hook" 알고리즘에 대해 소개하고 있다. 이 논문에서 진동격리장치를 지진에 대한 격리대의 설계 방법과 자동차의 능동현가장치, 반능동 감쇠현가장치에 대해 논하고 있다. Leo와 Inman[2]은 수동-능동 고립진동시스템에 대한 최적 제어문제를 다루었으며, Flint등[3]은 교란에 대응하는 제어력을 이용하는 방법을 다루었다. Falangas[4]는 PZT 판을 부착한 S-bracket을 개발하고 H_{∞} 제어를 이용한 성능해석에 대하여 논하였다. Anderson등[5]은 인공위성의 통신 장비 지지대의 초정밀 능동진동 제어 장치(SUITE)에 대한 실험방법과 특성에 대하여 논하고 있다.

본 연구에서 개발한 수동-능동 진동흡수장치의 능동부는 Falangas[4]가 논문에서 제안한 개념도와 흡사하다. 그러나 본 연구진은 그 개념도에 수동부를 결합하여 제진 효과를 높였다. 본 연구에서는 수동-능동 진동흡수장치의 동적 특성에 관한 실험 결과를 포함하고 있다. 현재 제어기 설계가 진행중이다.

2. 본 론

본 연구에서 개발된 수동-능동 병렬 진동흡수장치(Fig. 3)는 accordion type으로 4쌍의 작동기와 알루미늄으로 만들어진 댐퍼, 주위로 스프링이 있어서 상하 베이스를 지지하고 있으며 작동기와 스프링-댐퍼가 병렬로 구성되어 있고 제어가 가능하도록

록 설계되었다. 사용되어진 PZT는 Piezo Systems, Inc.의 PSI-5H-S3로 $d_{31}=-260 \times 10^{-12}$ m/V, $d_{33}=380 \times 10^{-12}$ m/V이며 크기는 $2.15 \times 2.15 \times 0.0075$ inch, capacitance는 470 nF 이다.

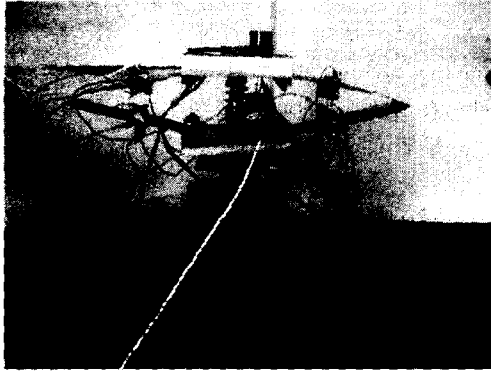


Fig. 3 Passive-Active Vibration Isolation System

실험을 위해 Fig. 4와 같이 HP 35670A Dynamic Signal Analyzer를 이용하여 시스템의 주파수 응답 특성을 구하였다. 소스는 periodic chirp로 파워앰프를 통하여 작동기를 가진하고 가속도계를 이용하여 먼저 스프링-댐퍼를 제거한 상태, 댐퍼만 부착하였을 때, 스프링-댐퍼 모두 부착하였을 때의 세가지 방법으로 주파수 응답특성을 구하였다.

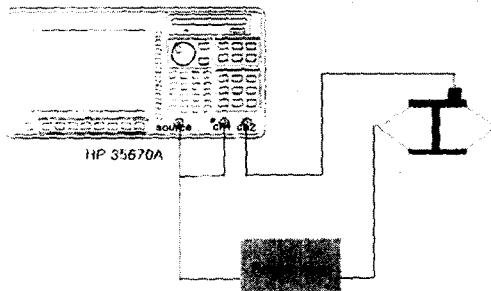


Fig. 4 Schematic of Experimental Set up

수동시스템을 포함하지 않은 순수한 격쇠 구조물 시스템에 대한 주파수 응답, 댐퍼만 포함한 시스템, 댐퍼-스프링을 모두 포함한 시스템에 대한 주파수 응답 결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 순수한 격쇠 구조물의 고유진동수는 약 10Hz이며 댐

퍼를 포함할 경우 그 고유진동수는 사라짐을 볼 수 있다. 댐퍼의 특성이 비선형이어서 위상차 선도가 매우 복잡하게 나타난다. 스프링을 포함할 경우 시스템의 강성이 증가해 이득이 증가함을 볼 수 있다.

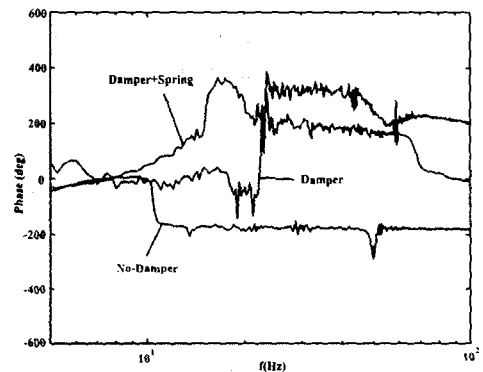
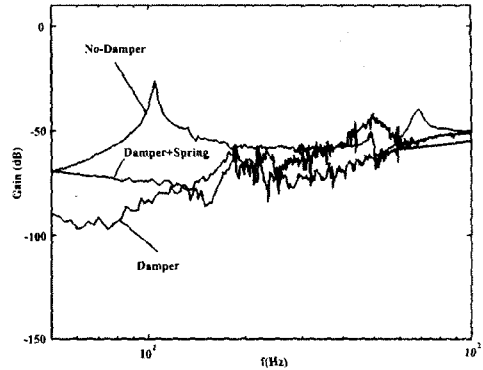


Fig. 5 Frequency Response Plot

Fig. 6은 전달율을 구하기 위해 mini shaker (B&K)를 이용한 실험 연결도이다. 소스는 파워앰프를 통해 shaker를 작동시키고 두 개의 가속도계를 이용하여 지반으로부터 상부로 전달되는 시스템의 전달함수를 구하게 된다.

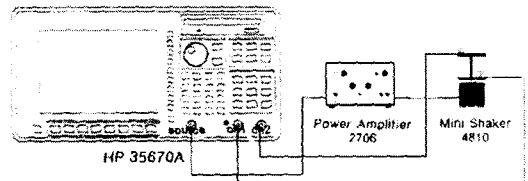


Fig. 6 Schematic of experimental set up

사용한 가속도계의 voltage sensitivity는 500mV/g이며 실험방법은 periodic chirp로 가진 하였다. 두 베이스 사이에 작동기만 부착되었을 때, 댐퍼가 첨가되었을 때, 스프링이 첨가되었을 때로 나누어 주파수 응답을 측정하였다.

Fig. 7은 실험결과를 보여주고 있다. 스프링-댐퍼가 없는 경우 11Hz 부근에서 첫 번째 모드가 나타났고, 댐퍼를 부착하였을 때에는 40Hz 부근에서부터 모드점들이 나타나는 것을 볼 수 있다. 스프링-댐퍼를 모두 부착하였을 때는 거의 80 Hz까지 특성의 변화가 없음을 볼 수 있다.

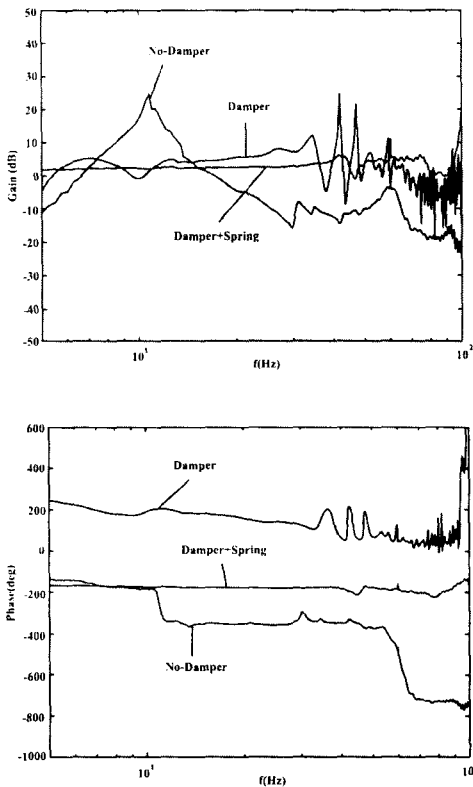


Fig. 7 Frequency Response Plot

위 실험결과에서 알 수 있듯이 스프링-댐퍼로 이루어진 수동 시스템을 추가할 경우 시스템의 특성이 매우 복잡하게 변화한다. 본 연구에서 사용한 스프링-댐퍼 시스템은 R/C 모형차에 사용되는 것이므로 우리가 원하는 사양을 완벽하게 만족하지 못하는 것으로 보인다.

3. 토의 및 결론

본 연구에서는 능동진동격리를 위한 장치의 개발을 목적으로 능동부와 수동부가 병렬된 연결된 시스템을 설계하고 동적 특성을 실험을 통해 살펴보았다. 능동진동흡수장치는 R/C자동차의 충격흡수장치로 사용되는 수동부와 압전세라믹판이 부착된 능동부로 이루어진다. 능동제어를 구동하지 않은 상태에서 시스템의 동적 특성이 어떻게 변화하는지 조사하였는데 수동부의 동적 특성이 전체 시스템의 동적 특성에 큰 영향을 주고 있음을 알 수 있었다.

본 실험에서 소개한 진동흡수장치 이외에 압전세라믹을 이용한 "c"자형, "r"자형 등의 장치에 대해서도 실험이 이루어질 예정이다.

제어기는 크게 피드포워드 제어와 피드백 제어를 고려할 수 있는데 피드포워드제어는 외부 교란이 감지기 신호와 연관성이 높은 경우, 주기적인 기진력(회전장비)이나 진동원이 멀리 떨어져 있어 제어가 대응할 시간이 있는 경우에 적합하다. 피드백 제어는 외부교란의 계측이 불가능할 경우에 사용하는 것이 바람직하나 잘못 설계된 제어시스템은 시스템의 불안정을 유발할 수 있다. 본 연구에서는 먼저 개발된 적용 PPF 제어기를 이용하여 수동-능동 진동흡수장치의 진동제어 성능을 입증할 계획이다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소 위탁과제의 지원에 의하여 이루어졌다. 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] D. Karnopp, "Active and Semi-Active Vibration Isolation", Transaction of the ASME, Special 50th Anniversary Design Issue, Vol 117, 1995, pp.177-185

- [2] D. J. Leo and D. J. Inman, "A Quadratic Programming Approach to the Design of Active-Passive Vibration Isolation System", *Journal of Sound and Vibration*, Vol. 220, No. 5, 1999, pp.807-825.
- [3] E. Flint, M. Evert, E. Anderson and P. Flannery, "Active/Passive Counter-Force Vibration Control and Isolation Systems", *IEEE*, 2000, pp.285-298
- [4] Eric T. Falangas, "A Vibration Isolation System Using Active PZT Brackets", *Proceedings of the American Control Conference*, Baltimore, Maryland, 1994, pp.676-680.
- [5] E. H. Anderson, J. P. Fumo and R. S. Erwin, "Satellite Ultraquite Isolation Technology Experiment (SUITE)", *IEEE*, 2000, pp.299-313.