한국소음진동공학회 2008년 추계학술대회논문집, pp.243~244

공기스프링과 압전구동기를 이용한 능동 방진 모듈 개발

Development of Active Vibration Isolation Module Using an Air Spring and PZT Actuator

임경화† · 안채헌* · 진경복**

Kyung-Hwa Rim, Chae-Hun An and Kyong-Bok Jin

1. 서 론

최근 반도체 및 디스플레이 산업 등에서 초정밀 가공, 측정 등이 필요함에 따라, 외부와 내부 진동을 차단하는 초정밀용 방진 시스템(Vibration Isolation System)에 대한 연구가 활성화 되고 있다. 그 중 공기스프링이 매우 유리한 특성을 보이나 공기의 압축성과 고무의 비선형 특성으로 인하여 초정밀 제어는 매우 까다로운 편이다. 본 논문에서는 공기스프링과 함께 압전구동기를 부가하여 초정밀용 방진시스템을 개발하고자 한다. 공기스프링의 비선형 특성을 고려하기 위하여 실험적으로 구한 유효단면적으로 보정하는 방법을 활용하였고, 공기 스프링과 압전구동기의 강성차이로 인한 문제점을 해결하기 위하여 두 구동기간의 연결 방법에 관하여 연구하였다.

2. 방진 모듈의 설계

2.1 공기스프링의 모델링 및 해석

(1) 비선형 특성 분석

공기스프링의 구조는 Fig. 1과 같이 공기 거동과 동역학 거동이 조합되는 시스템으로, 공기스프링이 큰 비선형성을 보이는 이유는 공기의 압축성과 고무의 비선형성 뿐만 아니라 공기스프링의 지지하중이 변경되었을 경우 평형을 유지하기 위하여 공기의 유량 Q가 변화하였을 때 다이어프램(Diaphragm)이 수축 또는 팽창하여 내부의 압력과 부피가 모두 변화하는 특성 때문이다. 공기스프링의 유효 단면적(Effective Area)은 식 (1)과 같이 공기스프링에 가해지는 외력과 이를 지지하는 압력에서 기인하는 내력이 평행을 유지하여 일정한 높이를 유지할 때 계산되는 공기스프링 내부의 압력이 작용되는 면적으로 인장 압축 시험기를 이용하여 힘을 가변하며 압력과 변위를 측정함으로써 구할 수 있다.

$$Effective\ Area = \frac{External\ Force}{Internal\ Pressure} \quad (1)$$

또한 유효면적은 공기스프링을 구성하는 고무 재질의 다이어프램의 형상의 함수이며, 그 형상은 공기스프링의 지지높이에 따라 바뀌게 된다. Fig. 2에 실험 결과를 토대로 공기스프링의 높이에 따른 유효단면적의 변화를 나타내었다.

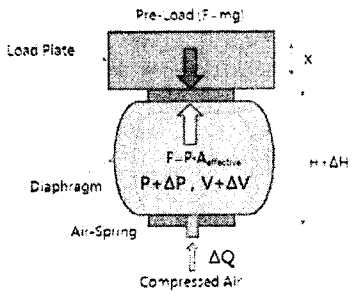


Fig. 1 Air spring model

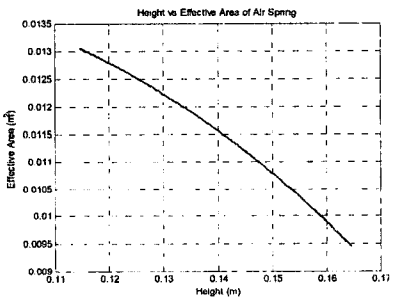


Fig. 2 Effective area with variation of height

(2) 모델링, 해석 및 제어 방법

공기스프링을 정확하게 모델링하기 위하여 상용 기계-유공압 시스템의 시뮬레이션 프로그램인 AMESim을 이용하여 모델링 하였다. 다이어프램 요소에 실험적으로 구해진 유효단면적을 입력하였으며, 공기스프링 시스템은 폴리트로픽 변화 과정이라고 가정하고 해석하였다. 또한 공기스프링의 고유진동수 부근에서의 방진 특성 개선을 위하여 공압 서보

† 교신저자; 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부
E-mail : rim@kut.ac.kr
Tel : (041) 560-1147, Fax : (041) 560-1253

* 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부 대학원

** 한국기술교육대학교 메카트로닉스공학부

밸브를 이용하여 능동 제어방식을 채택하였다. 제어기는 실제 구현성이 높은 PID 제어기 2개를 이중 루프로 구성하여 이용하였다. 외부 루프는 공기스프링의 높이를 변위센서를 통하여 입력 받아 높이를 제어하는 역할을 하게 되고, 내부 루프는 이에 해당되는 공기압력을 제어하도록 구성하였다. 또한 공기스프링의 비선형성을 보상하기 위하여 선하중이 변하지 않는다는 가정하여 구해진 목표 높이와 유효단면적 관계 함수를 커브피팅(Curve-fitting)하여 적절한 공기스프링의 내부 압력을 실시간으로 계산하여 압력 보상기로 사용하였다.

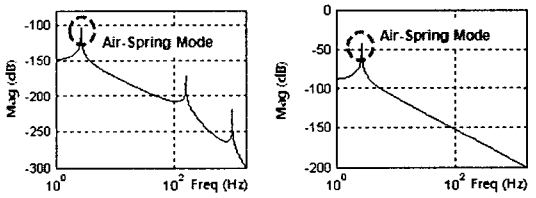
2.2 압전구동기의 부착

압전구동기는 나노급의 분해능을 가지고 있으나, 큰 강성으로 인해 높은 방진시스템의 고유진동수를 피할 수 없어서 능동방진에 이용하기에 쉽지 않다. 따라서 공기스프링을 이용하여 방진영역을 낮게 설정하고 압전구동기를 이용하여 고주파수 진동을 제거하는 이중 구조의 방진 모듈을 설계하였다. 압전구동기의 높은 강성의 효과를 상쇄시키기 위하여 공기스프링과 압전구동기 사이에 연결스프링(Connecting Spring)을 직렬로 삽입하였다. 연결스프링의 강성을 결정하기 위하여 3자유도로 모델링된 시스템의 주파수 응답을 민감도 분석하여 Fig. 3과 같이 압전구동기의 동작시 하중판(Load-Plate)에 영향을 미치지만 하중판의 방진영역에는 비연성되어 큰 영향이 없는 연결스프링의 강성을 선택하였다.

전체 시스템의 제어 구조는 Fig. 4와 같이 구성하였다. 앞서 서술한 공기스프링 제어기와 독립적인 압전구동기의 위치를 되먹임 받는 PID 제어기를 구성하여 제어하였다. 하중판과 지반 외란에 대하여 공기스프링만 이용했을 때와 압전구동기를 같이 이용하였을 때를 비교하였다. 전달비 감소 및 정밀 위치 복원력이 크게 개선되었음을 알 수 있다.

3. 결 론

공기스프링의 비선형성을 제거하기 위하여 유효면적을 실험적으로 측정하여 능동제어에 이용하였고 압전구동기의 큰 강성을 비연성 시키기 위하여 연결스프링을 설계 부착하여 정밀도 향상 및 지반 가진에 강한 특성을 얻었다.



(a) Air Spring/PZT (b) Air Spring/Air Spring

Fig. 3 Frequency response function

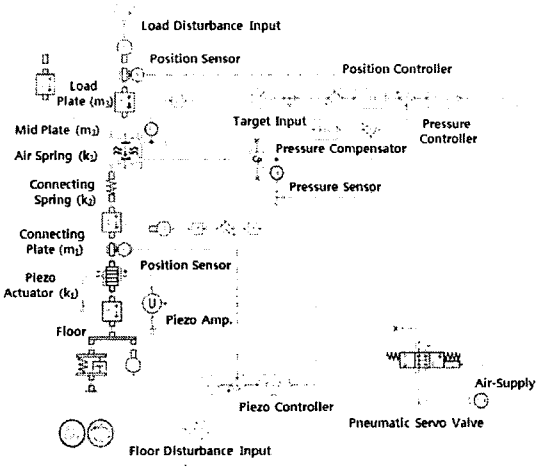
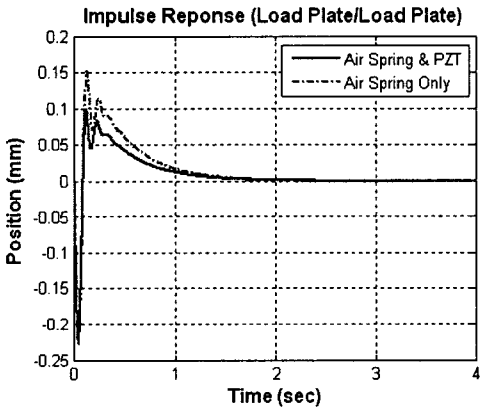
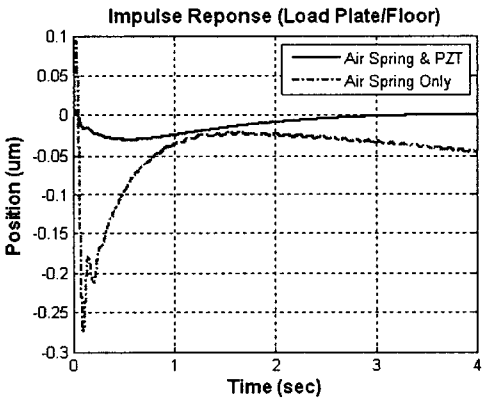


Fig. 4 Block diagram of control system



(a) Load plate input



(b) Floor input

Fig. 5 Impulse response function