

기계적 되먹임 용 밸브에 의한 공압 제진대의 불안정 진동 현상 연구

A Study on Unstable Vibration of Pneumatic Isolation Table coupled with Mechanical Valve

오태석* · 선종오* · 김광준*

Tae-seok Oh, Jong-oh Sun and Kwang-joon Kim

1. 서론

진동 환경에 대한 요구 기준이 엄격해지면서, 공압 제진대의 사용이 보편화되고 있으며 이에 대한 성능 개선 연구도 꾸준히 진행되고 있다. 본 연구에서 다루고자 하는 공압 제진대는 수동형 공압 제진대로 공기 스프링과 정반, 기계적 되먹임 용 밸브로 구성된다. 그런데 밸브의 되먹임 작용에 의해, 오히려 제진대는 불안정한 진동이 생길 수 있다. 이러한 불안정한 진동은 능동형 제어 기법으로도 제어되지 않는 큰 진폭의 진동으로, 장비의 성능을 크게 저하시킨다. 본 연구는 기계적 되먹임 용 밸브의 동 특성을 파악함으로써, 밸브의 조건에 따른 제진대의 불안정 진동 현상을 규명한다.

2. 공압 제진대의 불안정 진동 현상 측정

2.1 기계적 되먹임 용 밸브의 유무에 따른 제진대의 불안정 진동 현상 측정

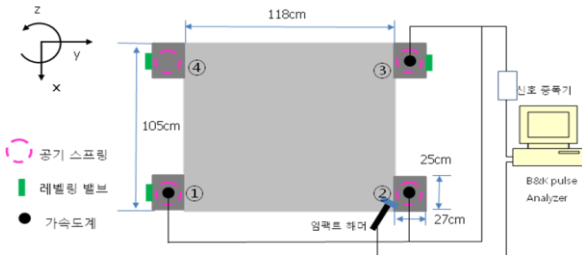


Fig.2.1 제진대 진동 현상 측정을 위한 실험 장치 구성
기계적 되먹임 용 밸브의 조건에 따른 제진대의 불안정 진동 현상을 측정하기 위해 Fig.2.1 과 같이 실험 장치를 구성하였다. 기계적 되먹임 용 밸브의 공급 압력과 유량 이득 값을 바꾸어 가며, 충격 외부 가진에 대한 1 번 위치의 가속도 신호를 측정하였다.

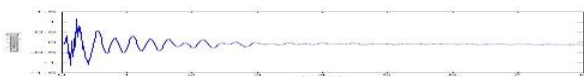


Fig.2.2 밸브가 없을 때 제진대의 충격 반응 신호

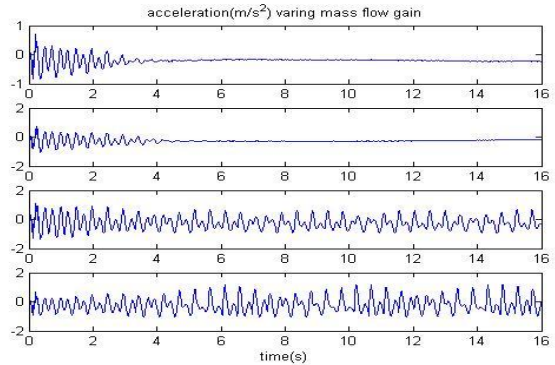


Fig.2.3 밸브가 있을 때 유량 이득값(0.05,0.13,0.21, 0.28)에 따른 제진대의 충격 반응 가속도 신호

Fig.2.2 에서 밸브가 없는 공압 제진대는 충격 가진에 대하여 시간이 지남에 따라 안정해진다.

Fig.2.3 에서 밸브가 있을 때 같은 공급 압력에 대하여 유량 이득 값이 커지자 공압 제진대는 한계 궤도거동을 보인다. 다른 공급 압력에 대하여도 같은 실험을 수행하여서 밸브의 공급 압력이 커질수록, 유량 이득 값이 커질수록 공압 제진대는 불안정한 진동을 함을 관찰하였다.

3. 공압 제진대의 불안정 진동 현상 유도

3.1 밸브의 동 압력 특성 파악 실험.

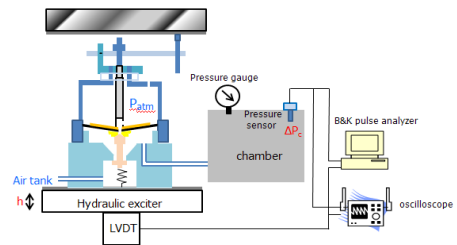


Fig.3.1 밸브의 동 압력 특성 파악 실험 장치

밸브에 변위 입력 $h\sin(\omega t)$ 을 가해줄 때, 챔버 내부의 압력 변화 량 $p_c \sin(\omega t + \phi)$ 을 측정하여서, 밸브의 변위 입력에 따른 챔버의 동 압력 주파수 응답 함수를 얻었다. Fig.3.1 은 $h=1\text{mm}$, $f=1\text{Hz}$ 변위 입력에 대한

* 한국과학기술원 기계공학과 노빅(NOVIC) 센터

챔버의 동 압력 신호이고, 이와 같은 방법으로 Fig.3.2의 주파수 응답 함수를 얻었다.

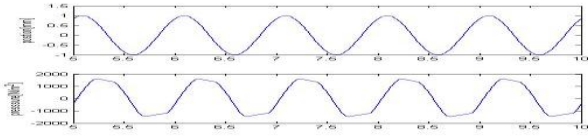


Fig.3.1 1mm, 1Hz 입력 변위 가진에 대한 동 압력 응답 실험 결과

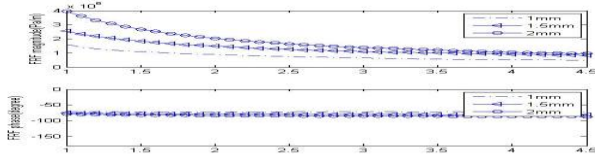


Fig.3.2 입력 변위 크기에 따른 동 압력 주파수 응답 함수 실험 결과

실험에서 밸브의 동 압력 특성 주파수 응답 함수는 적분기의 형태를 보이며, 변위 입력 크기에 따라 강성이 커지는 비선형성이 관찰된다.

3.2 밸브의 동 압력 특성 모사 실험

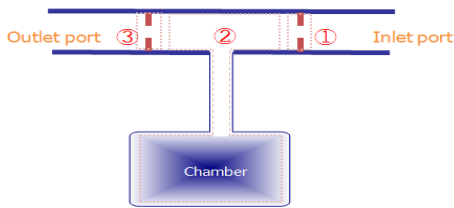


Fig.3.3 밸브-챔버 계 모식도

제진대가 불안정해질 때 한계 궤도 거동을 보이는데 착안하여, 밸브의 비선형 모형을 제안하였다. 밸브의 흡기구와 배기구(①, ③)를 오리피스로 가정하고, 밸브와 챔버가 연결된 계에 대하여 관계식을 구하면 식(1), (2)와 같다.

-흡기구, 배기구(①, ③)의 밸브 변위, 유량 관계식
 $|h| \leq \varepsilon \quad q = 0$

$$h > \varepsilon \quad q = -\frac{K(P_c + p_{c1})a_e(N_{e1} + n_{e1})}{\sqrt{T_s}} \quad a_e = \pi r_2(h' - \varepsilon) \sin \theta$$

$$h < -\varepsilon \quad q = -\frac{KP_s a_s (N_{s1} + n_{s1})}{\sqrt{T_s}} \quad a_s = 2\pi r_1(h' - \varepsilon) \quad (1)$$

-챔버(②)의 유량, 압력 관계식

$$\frac{dP_c}{dt} = -\frac{1}{3} \pi r^2 \frac{\gamma P_0}{V} \frac{dh'}{dt} + \frac{\gamma RT}{V} q \quad (2)$$

식(1), (2)에서 밸브에 변위 입력 $h \sin(\omega t)$ 을 대입하여 챔버의 동 압력을 계산하였다. Fig.3.4는 $h=1\text{mm}$, $f=1\text{Hz}$ 변위 입력에 대한 챔버의 동 압력 결과이고, 이를 바탕으로 모사 실험으로 구한 동 압력 특성 주파수 응답 함수는 Fig.3.5와 같다

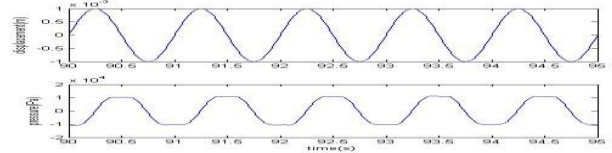


Fig.3.4 1mm, 1Hz 입력 변위 가진에 대한 동 압력 응답 모사 실험 결과

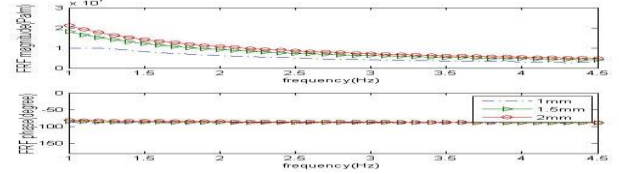


Fig.3.5 입력 변위 크기에 따른 동 압력 주파수 응답 함수 모사 실험 결과

Fig.3.5에서 모사 실험에서 구한 주파수 응답 함수의 형상이 정성적으로 실험 결과를 잘 모사한다.

3.3 제진대의 불안정 진동 현상 모사 실험

동 압력 특성 모사 실험에서 사용한 밸브 모형을 바탕으로 1 자유도 공압 제진대에 대하여, 기계적 되먹임용 밸브에 의한 제진대의 불안정 진동 현상을 모사 실험으로 구하였다.

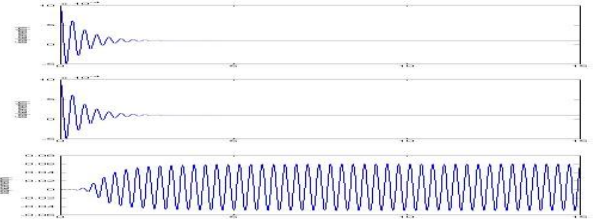


Fig.3.6 유량 이득 값(0.8, 1, 1.2)에 따른 공압 제진대의 불안정 진동 현상 모사 실험 결과

Fig.3.6의 모사 실험에서 밸브의 유량 이득 값이 커짐에 따라 제진대가 한계 궤도 거동을 보인다. 또한 공급 압력이 커질 때에도 같은 현상을 보였다. 이는 제진대의 불안정 진동 현상 실험 결과와 일치한다.

4. 결론

본 연구는 기계적 되먹임용 밸브의 동 특성을 파악하여, 밸브의 되먹임 작용에 의해 제진대가 불안정한 진동이 생김을 보였다. 모사 실험에서 밸브의 비선형성을 반영하였을 때, 제진대가 한계 궤도 거동을 보일 수 있음을 정성적으로 보였다. 향후 제진대의 능동 제어 시에, 본 연구에서 밝힌 기계적 되먹임용 밸브의 되먹임 작용을 고려함으로써 더욱 정확한 제어를 할 수 있을 것이다.

후기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2010-0000373)