

HSLDS 마그네틱 진동절연체의 실험적 성능 평가

Experimental Evaluation of the Performance of the HSLDS magnetic Vibration Isolator

신기홍 +
Kihong Shin

1. 서론

진동 절연체의 기본적인 성능은 절연체가 가지고 있는 강성(k)과 절연체가 지지하고 있는 제품의 질량(m)에 의하여 결정되며, 가진 성분의 주파수를 ω 라고 할 때, 진동 절연 효과가 있는 주파수 영역은 $\omega > \sqrt{2}\omega_n$ 이다. 따라서 진동 절연의 성능을 향상시키기 위해서는 진동 절연체의 강성을 가능한 낮게 설계 해야 한다. 그러나 진동 절연체가 제품의 무게를 제대로 지지하기 위해서는 충분한 강성을 유지해야만 하는데, 이는 선형 진동 절연체의 가장 큰 단점이다.

이러한 선형 진동 절연체의 한계를 극복하기 위하여 많은 연구가 이루어져 왔으며, 특히, 자석의 인력을 적절하게 활용하여 선형 진동 절연체의 근본적인 한계를 극복하기 위한 방법으로, HSLDS (High-Static-Low-Dynamic-Stiffness) 마그네틱 진동 절연 메커니즘을 Carrella 등에 의하여 최초로 제안하였으며, Shin은 이 메커니즘의 자세한 동작 해석을 위하여 주요 설계 파라미터를 구하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 진동전달률 분석을 수행하였다.

HSLDS 마그네틱 진동 절연체의 성능은 식(1)의 설계 파라미터 α 에 의하여 가장 크게 결정되어짐을 밝혔다.

$$\alpha = \frac{\omega_m}{\omega_n} \quad (1)$$

여기서, ω_n 은 자석이 없는 선형시스템의 고유진동수이고, ω_m 은 중립 점 부근에서의 자력에 의한 강성만 고려한 경우의 '등가' 고유진동수이다. Shin이 수행한 이전 연구에서는, 설계 파라미터 α 의 크기가 커짐에 따라서 진동 전달률이 감소, 즉 진동 절연 성

능은 향상된다는 결과를 보였다.

이 연구에서는 그 실효성을 검증하기 위하여 실험 장치를 구성하여 설계 파라미터 α 의 크기에 따른 HSLDS 마그네틱 진동 절연체의 절연 성능을 실험적으로 평가하고자 한다.

2. 실험 장치 및 결과

Fig. 1에서, 상부 자석(Upper magnet)은 알루미늄 봉에 고정되고, 하부 자석(Lower magnet)은 가진기의 위판에 고정되어 가진기와 함께 진동하게 된다. 가운데 부분의 질량(Central mass)는 52g이고, 상부자석과 하부자석 각각에 대하여 그림과 같이 서로 인력이 작용하도록 두 개의 자석으로 이루어져 있으며 이 질량은 알루미늄 봉을 따라서 자유롭게 움직이며, 동적인 상태에서 알루미늄 봉과 질량 사이에서 발생하는 미세한 마찰이 약간의 감쇠 역할을 한다.

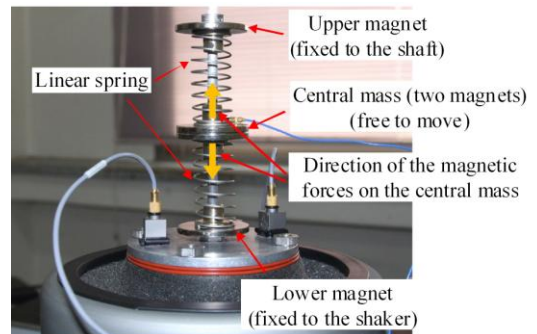


Fig. 1 Experimental description of the HSLDS magnetic vibration isolator

이와 같이 구성된 HSLDS 마그네틱 진동 절연체는 비선형 특성이 매우 큰 시스템이기 때문에 실험에서 많은 주의가 필요하다. 전체적인 실험 과정은, 일정한 진폭을 가진 한 주파수 성분의 정현파(sine) 신호로 가진하여 정상상태의 응답을 측정하는 다음, 가진 주파수를 조금씩 이동하여 그 때 마다 정상상

+ 교신저자: 정희원, 안동대학교 기계자동차공학과
E-mail : kshin@andong.ac.kr
Tel : (054) 820-5885, Fax : (054) 820-5044

태의 응답을 측정하는 매우 많은 시간과 노력이 소요되는 과정으로 이루어진다. 이 때 가진기의 진폭을 1mm (peak-to-peak)로 고정되도록 하고 가진 주파수는 공진 부근에서는 충분한 해상도를 가질 수 있도록 0.1 Hz 간격의 정현파 신호로 가진하였다.

식(1)에 나타난 설계 파라미터를 변화시키기 위해서는 자석이 없는 선형시스템의 고유진동수 ω_n 과 스프링의 영향을 제거한 자력에 의한 강성만 고려한 시스템의 등가 고유진동수 ω_m 을 구하여야 한다.

먼저, 선형 시스템의 고유진동수를 구하기 위하여 Fig. 1의 모든 자석을 동일한 무게의 스테인리스 강으로 대체하여 자력이 제거된 선형 시스템을 구성하여, 실험에 의한 진동전달률의 주파수 응답특성을 구하였다. 실험 결과 공진 주파수는 12.4 Hz ($\omega_n \approx 77.9$ rad/s), 최대 진동전달률은 47.28로 측정되었다.

다음으로, 자력에 의한 강성만 고려한 등가 고유진동수 ω_m 을 구하기 위하여 가운데 질량(자석)의 극을 바꾸어 상부자석과 하부자석 각각에 서로 반발력이 작용하도록 배치하여 실험이 이루어졌다. 또한, 등가 고유진동수 ω_m 의 변화를 주기 위하여 상부 자석과 하부 자석 사이의 거리를 $L = 10\text{cm}, 9\text{cm}, 8\text{cm}$ 세 단계로 변화시키고, 각 거리에서 가진기의 진폭을 1mm (peak-to-peak)로 고정시킨 상태에서 가진 주파수를 조금씩 변화시키면서 주파수 응답합수를 구하여 공진 주파수를 구하였다.

그 결과 상부 자석과 하부 자석 사이의 거리(L)이 작아질수록 공진주파수(즉, 등가 고유진동수)는 각각 6.6 Hz, 7.6 Hz, 9 Hz로 커지는 것을 알 수 있었으며, 이 값들과 앞에서 구한 선형시스템의 고유진동수를 식(1)에 대입하면 설계 파라미터 α 는 각각 $\alpha = 0.53, \alpha = 0.61, \alpha = 0.73$ 이 된다.

Fig. 1에서 상부 자석과 하부 자석 사이의 거리를 $L = 10\text{cm}, 9\text{cm}, 8\text{cm}$ 세 단계로 변화시켜, 즉 설계 파라미터를 $\alpha = 0.53, \alpha = 0.61, \alpha = 0.73$ 으로 증가 시키면서 각 경우에 대한 HSLDS 마그네틱 진동 절연체의 주파수 응답특성을 실험적으로 구하고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2에 나타난 α 에 따른 각각의 주파수 응답 특성은 공진 부근에서 응답 진폭이 커짐에 따라 강성이 작아져 공진 주파수 또한 작아지게 되어, 곡선의 모양이 왼쪽으로 치우쳐지는 전형적인 소프트닝 스프링(softening spring) 특성을 나타내고 있다. 이는 진폭이 커짐에 따라 음의 강성 효과를 주는 자석의 인력이 더 크게 작용하기 때문이다.

설계 파라미터에 따른 세 개의 주파수 응답 곡선

을 비교하면, 설계 파라미터 α 값이 커짐에 따라 진동 전달률의 최대값은 점차 감소하며, 점선으로 나타낸 선형시스템의 주파수 특성에 비하여 절연 성능이 크게 향상되는 것을 알 수 있다.

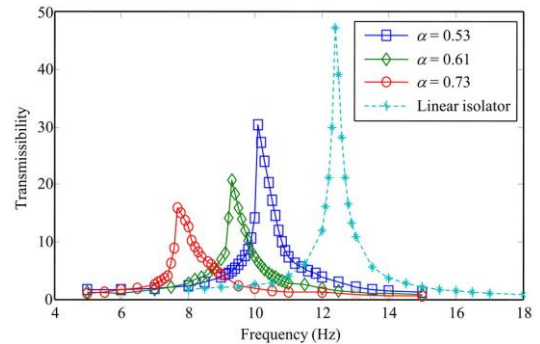


Fig. 2 Vibration transmissibility of the HSLDS magnetic vibration isolator

Fig. 2에서 보여주고 있는 또 다른 특성은 설계 파라미터 α 가 커짐에 따라서 공진주파수가 점차 작아진다는 것이다. 이는 α 가 커짐에 따라 자석의 인력에 의한 음의 강성이 더 크게 나타나 결과적으로 시스템 전체의 강성은 동적인 상태에서 더 작아짐을 의미한다.

3. 결 론

이 연구에서는, 많은 실험을 통하여 HSLDS 마그네틱 진동 절연체가 실질적으로 유용하게 응용될 수 있음을 검증하였다. 설계 파라미터 α 에 따른 진동 전달률의 주파수 응답 특성을 분석하여 진동 절연 성능을 평가 하였으며, 기존의 이론 결과와 동일한 특성을 보여주며 선형 시스템에 비해서 매우 우수한 절연 성능을 가지고 있음을 나타내었다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2010-0008348).