

# 자기장 세기에 따른 엘라스토머를 이용한 선형 진동기 진동절연 방법 Vibration Isolation for a linear compressor using magnetic field dependent elastomer

\*김영근<sup>1</sup>, #김경수<sup>2</sup>, 김수현<sup>3</sup>

\*Y. K. Kim<sup>1</sup>, #K. S. Kim(kyungsookim@kaist.ac.kr)<sup>2</sup>, S. H. Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 한국과학기술원 기계공학과, <sup>2</sup> 한국과학기술원 기계공학과, <sup>3</sup> 한국과학기술원 기계공학과

Key words : Elastomer, Magnetic Field, Vibration Isolation

## 1. 서론

선형 컴프레서나 진동기와 같은 시스템이 작동 시에는 동작 축 방향으로 자체 외란 진동을 발생하게 된다. 이와 같은 진동은 연결된 다른 시스템으로 외란 힘을 전달하게 된다. 예를 들어서 극저온 쿨러에 이미지 센서가 연결되어 있는 시스템을 보면 쿨러에서 발생하는 자체 진동이 센서에 미세 진동을 유발하면서 영상 취득 품질을 저하시키는 문제점이 있다[1]. 따라서 선형 구동기의 자체 진동을 절연하는 장치를 개발해야 한다.

진동절연 방법으로는 수동, 반능동, 능동 방법이 있다. 수동방법은 안정적이고 보편적으로 사용이 되고 있고 시스템의 고유진동수를 외란 주파수보다 더 낮은 대역에서 설계하는 것이다. 하지만 저 주파수 대역에서 진동 절감 성능의 한계를 보이고 있고, 또한 낮은 고유주파수는 높은 진동 진폭을 유발하는 단점이 있다[2]. 능동 방법은 진동 절감 성능이 제일 뛰어나지만, 시스템 불안정 가능성이 있고, 또한 외부 전원이 공급되어야 하며 센서와 액추에이터 사용으로 인해서 가격 면에서도 단점을 보이고 있다.

간단한 설계로 진동 절연시스템을 구성하는 방법은 수동방법으로 설계하는 것이다. 선형 구동기가 일정한 주파수로 작동이 된다고 가정을 하면 동조질량 흡수기를 사용함으로써 더 높은 수동 진동 절연 시스템으로 구성할 수 있다[3], [4]. 구동기의 작동이 일정한 주파수이면 자체 발생 외란 진동도 일정한 하모닉 성분이 되기에 여기에 흡수기를 튜닝 해서 높은 진동 절연을 얻는 것이다. 예를 들어 선형 구동기가 50Hz 에서 작동을 할 시에는 흡수기의 고유진동수를 이와 같이 튜닝 하여서 부착하면 그림 1 에서 보이는 것 같이 이 주파수에서 높은 진동 절연 성능을 얻을 수 있다[5].

그림 1 과 같이 낮은 댐핑 값의 동조질량 흡수기를 사용하면, 튜닝 지점에서는 높은 진동 절연 성능을 보여주지만, 전 후로 높은 공명이 발생하는 단점이 있다. 외부 환경에 의해서나 자체 문제로 구동기 작동 주파수가 변경되거나, 다른 주파수 성분의 외란 진동이 더해지면, 시스템 진동 절연 성능이 오히려 더 감소가 된다. 이를 해결하기 위해서 흡수기 튜닝 주파수를 상황에 따라서 변화하는 적응 동조 질량 흡수기의 설계가 필요하다.

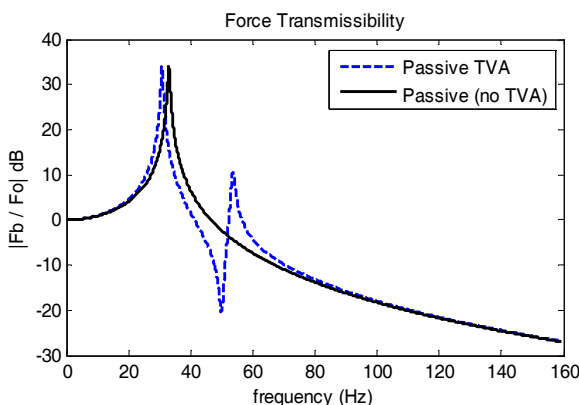


Fig. 1 Force transmissibility of with and without TVA.

적응 동조 질량 흡수기 연구에서는 흡수기의 강성과 댐핑 값을 변경하기 위해서 dc 모터와 같은 액추에이터를 사용하였다. 최근 연구 동향은 더 컴팩트한 설계를 위해서 SMA 나 piezo actuator 와 같은 스마트 재료들을 사용하고 있다[2], [6]. 본 연구에서는 고무 스프링인 실리콘 엘라스토머에 철 가루를 첨부함으로써 자기장 영향에 따라서 강성이 변하게 만들어 적응 동조질량 흡수기로 설계하는 것이다. 이를 사용하면 전체적인 진동 절연 시스템이 컴팩트한 설계가 가능 할 뿐만 아니라 저가의 설계로도 설계를 할 수 있다.

## 2. 철분말가루가 첨부된 엘라스토머

실리콘 엘라스토머와 같은 베이스 물질에 철 분말가루(carbonyl iron powder)를 혼합하면 외부 자기장 세기에 따라서 성질이 변하는 스마트 재질을 만들 수 있다. 실리콘 베이스 경화 시 에 강한 자기장 아래서 철 분말 가루들을 일정한 방향으로 정렬시키면 magnetorheological elastomer(MRE)라고 한다[7]. 본 연구에서는 실리콘 엘라스토머와 철 분말의 부피 비율을 7:3 으로 제작하였다. 2 일 동안의 경화 과정에서 일정한 방향으로 외부 자기장을 가해 주어서 철 분말의 체인을 형성하였다.

이렇게 제작된 엘라스토머에 외부 자기장이 가해지면, 내부의 철 성분들이 각각 자화가 되어서 서로에게 자기력을 가해주게 된다. 이에 따라서 내부적인 스트레스가 증가하게 되고, 이는 엘라스토머의 강성을 증가하는 결과로 나온다.

전단 탄성계수(shear modulus)의 변화를 측정하기 위해서 다음과 같은 재료실험을 하였다. 재료에 동적 하중(dynamic loading) 을 가하면서 엘라스토머의 전단 응력과 전단 변형 곡선을 측정하였다. 외부 자기장이 없을 시, 250mT, 500mT 의 자기장을 가해주는 경우의 곡선을 같이 비교하여서 탄성계수의 변화를 측정 하였다. 그림 2 에서 보여주는 것 같이, 자기장 세기에 따라서 탄성계수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 강성 변화 특성을 이용하여서 흡수기

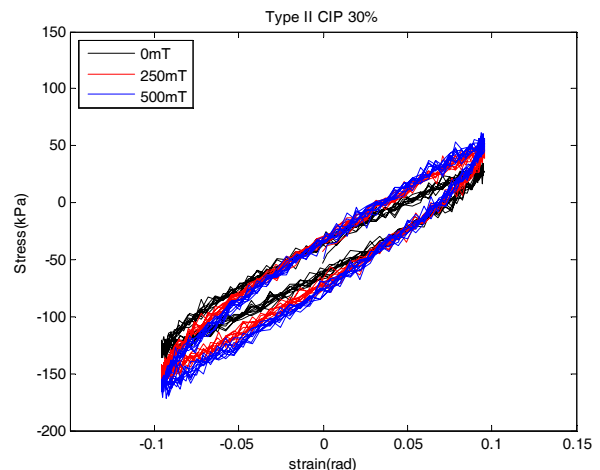


Fig. 2 MRE shear modulus with various magnetic flux

의 튜닝 파라미터를 가변 할 수 있는 적응동조 질량 흡수기를 설계할 수 있다.

### 3. 적응동조질량 흡수기

흡수기의 튜닝 변경 범위를 측정하기 위해서 다음과 같은 실험을 실행하였다. 200g 의 무게에 제작한 엘라스토머를 부착하여서 스프링, 댐핑이 있는 SDOF 시스템으로 구성을 하였다. 임팩트 해머를 사용하고 가속도계로 측정을 하여서 시스템의 고유진동을 얻을 수 있었다. 엘라스토머에 외부 자기장을 0mT, 220mT 로 가해주는 환경으로 실험을 진행하였다. 또한 베이스를 가진 하여서 진동 전달율을 측정하였고 시스템의 고유진동 주파수 변화를 그림 3 과 같이 얻을 수 있었다.

외부 자기장 세기가 220mT 로 증가하였을 시, 시스템의 공명 주파수는 약 82Hz 에서 130Hz 로 변경되는 결과를 보여준다. 자기장 크기를 제어함에 따라서 흡수기의 튜닝 범위가 약 48Hz 정도 된다는 것을 실험적으로 보여졌다. 흡수기의 무게, 엘라스토머의 크기를 조정하여서 원하는 흡수기 주파수 대역으로 설정할 수 있다. 이를 사용하면 선형 구동기의 외란 진동 변화에 따라서 진동 절연하는 적응 동조질량 흡수기로 설계가 가능하다. 선형 구동기의 자체 외란 진동이 50Hz 주변에서 가변 한다고 가정하면, 이렇게 설계된 진동절연 시스템의 주파수 응답은 그림 4 와 같이 변경할 수 있다.

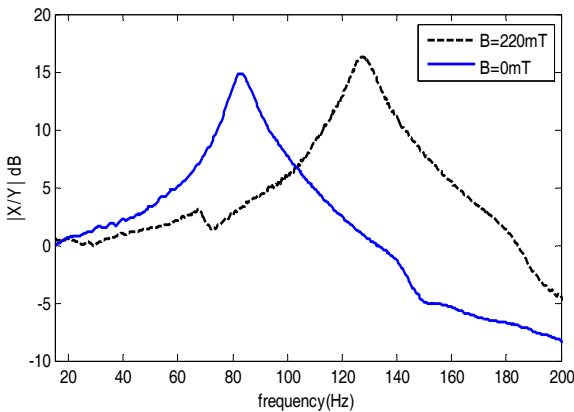


Fig. 3 Changes of natural frequency with magnetic flux

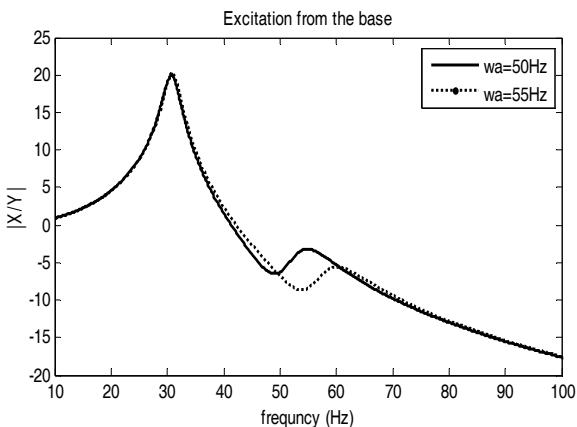


Fig. 4 adaptive TVA frequency response change with magnetic flux

### 4. 결론

자체 외란을 발생하는 선형 구동기에 진동절연 장치가 개발이 되어야 하고, 일정한 주파수로 작동을 한다는 가정 시에는 동조질량 흡수기 사용이 적합하다는 것을 보았다. 하지만 detuning 문제가 발생이 되면 진동 절연이 감소되거나 오히려 외란이 더 증폭될 가능성이 있다. 이를 해결하기 위하여 적응동조질량 흡수기로 진동 절연 시스템을 설계해야 한다. 흡수기 파라미터를 튜닝 하는 방법으로는 철분말가루가 첨부된 엘라스토머를 사용하는 방법을 제시하였다. 실험을 통해서 자기장 세기에 따라서 엘라스토머의 강성이 증가하게 되고 이를 사용하여 흡수기를 튜닝 할 수 있다. 이 시스템으로 설계 및 제작을 하기 위해서는 흡수기에 부착된 엘라스토머 부근에 전자석이나 영구자석을 효율적으로 부착하고 자기장을 제어하는 설계가 추후 연구로 필요하다.

### 후기

본 논문은 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전략기술 인력양성사업 및 BK21 의 지원을 받아 수행된 결과임

### 참고문헌

1. A. M. Veprika, V. I. Babitskya, N. Pundakb and S.V. Riabzevb, "Vibration control of linear split Stirling cryogenic cooler for airborne infrared application", Shock and Vibration 7, 363-379, 2000,
2. J. Q. Sun, M. R. Jolly and M. A. Norris, "Passive, adaptive and active tuned vibration absorbers—a survey", J. Vibration and Acoustic, 117, 234-242, Jun. 1995.
3. A. Veprik, H. Vilenchik, S. Riabzev, N. Pundak, "Microminiature linear split Stirling cryogenic cooler for portable infrared imagers", Proc. SPIE, Infrared Technology and Applications XXXIII. vol. 6542, 2007.
4. Y.-K. Kim, H.-B Kim, E. Kim, K.-S. Kim, "Design of passive tuned vibration absorber for linear cryogenic cooler vibration suppression in space application", 60th International Astronautical Congress, 2009, Daejeon, Korea.
5. 김영근, 김홍배, 김웅현, 김경수, 동조질량 진동흡수기를 이용한 미니 저온쿨러의 진동 절연 대한기계학회 논문집 A 권, 제 34 권 제 5 호.
6. N. Jalili, "a comparative study and analysis of semi-active vibration-control systems", J. Vibration and Acoustics, 124, 593-605, 2002.
7. J. M. Ginder, W. F. Schlotter, and M. E. Nichols , "Magnetorheological elastomers in tunable vibration absorbers", Smart Structures and Materials, Proc. SPIE 4331,103-110, 2001 .