

해치백차량 트렁크의 진동저감을 위한 재진재의 최적설계에 관한 연구

A Study on Damping Material Design for Vibration Suppression of the Hatchback Trunk Floor Panel

정재훈* · 한정훈** · 김찬목†

Jae-Hoon Jung, Jeong-Hun Han and Chan-Mook Kim

Key Words : Automotive Hatchback Trunk(해치백차량 트렁크), Damping Material(제진재), Vibration Suppression(진동 저감), Strain Energy(변형 에너지), Damping Effects(제진 효과)

ABSTRACT

Automobiles should be light and practical to reduce the price of manufacturing and maintaining expense. Hatchback vehicles are far from the silence for its practicality. This paper introduced the effective method of the planning of the asphalt material which applies the asphalt damping material. This paper showed the experiment which restrains the vibration of the vehicle trunk using asphalt damping material and chose the position of damping material using the velocity map and strain energy map and planed the optimum position.

기 호 설 명

- G^* : 복소 탄성계수
- δ : 손실각
- G_1 : 저장 탄성계수
- G_2 : 손실 탄성계수
- η : 손실계수

1. 서 론

진동 소음을 저감하는 방법은 크게 발생원을 제어하는 방법과 전달 및 응답계를 제어하는 방법이 있다. 진동 제어 방법은 외부로부터 추가로 에너지가 공급되는지의 여부에 따라 크게 능동적인 제어기법(active vibration control)과 수동적인 제어기법

(passive vibration control)으로 구분할 수 있다. 능동 제어는 외부에서 에너지를 가하여 응답을 제어하는 방법인데, 일반적으로 구조물의 응답특성을 측정하고, 이것을 피드백 함수로 구조물의 안정성을 추구하는 방법이다. 외부에서 추가의 에너지가 공급되지 않는 수동 제어는 구조물의 질량, 감쇠, 강성 등 구조물 자체의 특성을 변화시켜 진동을 제어하는 방법이다. 수동적인 제어기법은 제어 하고자하는 시스템에 간단한 작업을 통해 큰 효과를 얻을 수 있을 뿐 아니라 여러 가지 제약조건 에서도 설계가 가능하며 수명도 반영구적이므로 수동적 제어기법을 사용했다. 제진재는 구조물의 진동 및 소음을 현저히 줄일 수 있고, 신뢰성 면에서도 우수하며, 경제성 등의 장점 때문에 폭 넓게 사용되고 있다.^{(1)~(4)} 본 논문에서는 아스팔트 시트인 고분자 점탄성 물질을 사용했고 응력이 가해졌다가 제거되면 완화 현상에 의해 원래 위치로 돌아갈 때까지 분자간의 마찰에 의해 진동 에너지가 열에너지로 소실한다.⁽⁵⁾

본 논문에서는 아스팔트 제진재를 적용한 진동감쇠효과를 확인하기 위해 트렁크 플로어의 유한 요소 해석과 모달 실험을 통해 해석 및 실험의 타당성을

† 교신저자; 국민대학교 자동차공학전문대학원
E-mail : cmkim@kookmin.ac.kr
Tel : (02)919-0514, Fax : (02)910-4718

* 국민대학교 자동차공학전문대학원
** 국민대학교 자동차공학전문대학원

업은 후 해석에 따라 트렁크 플로어의 아스팔트 제진재 적용위치를 선정하였고, 실험적으로 검증하고자 한다.

2. 점탄성 제진재의 동특성 및 위치선정

2.1 제진재의 동적 거동

스프링과 같은 거동을 나타내는 탄성재료는 전단 응력(shearing stress)이 변형률과 동위상(in phase)으로 발생한다. 반면 감쇠기(dashpot)로 모델링 할 수 있는 점성재료는 Fig. 2.1(b)과 같이 전단응력과 변형이 90°의 위상차를 가진다. 즉, 변형은 응력이 가해진 뒤, 일정시간이 지난 후에 발생한다. 점탄성 제진재는 스프링과 감쇠기의 특성을 동시에 갖고 있으므로, 변형률 및 응력과 시간과의 관계는 시간에 따라서 0°와 90°의 범위 내에 있는 δ만큼의 위상차를 보인다. Fig. 2.1(c)에서 보는 것과 같이 응력이 변형보다 약간 앞서게 된다. ^{(1)~(4)}

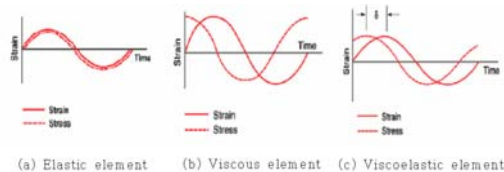


Fig. 2.1 Stress and strain vs time in dynamic loading conditions

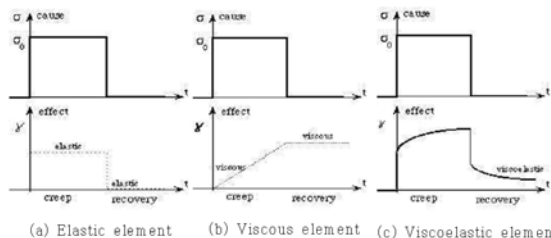


Fig. 2.2 Stress and strain vs time

Fig. 2.2에서는 Fig. 2.1과 같은 경우로 응력과 변형률로 이해하기 쉽게 표시하고 이와 같은 관계는 다음 식과 같다.

$$\gamma(t) = \gamma_0 \cos \omega t \dots\dots\dots (2-1)$$

$$\sigma(t) = \sigma_0 \cos(\omega t + \delta) \dots\dots\dots (2-2)$$

위의 식 (2-1), (2-2)에서, 변형률의 진폭에 대한 응력의 진폭 비를 구하면 다음 식과 같다.

$$G^* = G_1 + iG_2 = G_1(1 + an\delta) = G_1(1 + i\eta) \dots\dots\dots (2-3)$$

$$G_1 = \sigma_0 \cos \delta / \gamma_0 \dots\dots\dots (2-4)$$

$$G_2 = \sigma_0 \sin \delta / \gamma_0 \dots\dots\dots (2-5)$$

$$\eta = \tan \delta = G_2 / G_1 \dots\dots\dots (2-6)$$

2.2 점탄성 제진재의 적용 위치 선정

제진재를 도대체 어떤 위치에 부착하는 것이 가장 합리적인가 하는 문제는 제진재를 사용하는 이유에 근거하여 접근하는 것이 타당할 것이다.

이에 따라 본 연구에서는 패널이 진동할 때 각 해당 모드에서의 스트레인 에너지 분포 상태를 이용한다.

진동과정에서 제진재는 주기적인 변형을 일으키며, 변형에 따른 운동에너지가 열에너지로 변환되어 진동 에너지를 소산시키게 된다. 따라서 변형에너지가 집중되는 지점을 중심으로 제진재를 부착하는 것이 진동을 억제하기 위해 타당성이 있다고 판단할 수 있다. ⁽⁶⁾

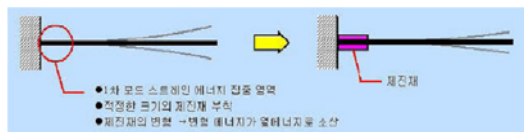


Fig.2.3 Design to use strain energy

Fig. 3.2에 스트레인 에너지 해석을 설계에 반영한 예를 제시한다. 구조물의 스트레인 에너지에 대한 분석을 통해 정적인 문제뿐만 아니라, 동적인 문제도 합리적인 방법으로 해결 할 수 있다. Fig. 3.2의 경우 진동을 억제하기 위해 사용되는 제진재의 부착 위치를 타당성 있게 결정하는 개념적인 의미를 나타낸다.

스트레인 에너지는 Nastran 의 Normal Modes 해석(SOL103)을 이용하여 실시하고, 속도는 이 데이터를 기반으로 Modal Frequency Response 해석(SOL111)을 이용한다.

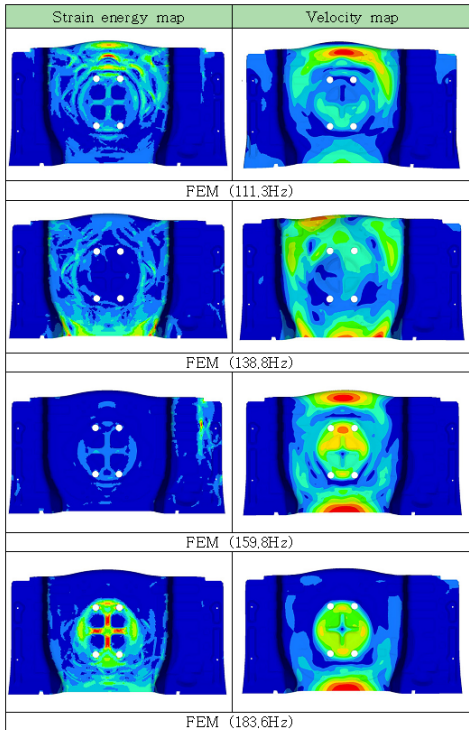


Fig. 2.4 Comparison between strain energy map and velocity map

Fig. 2.4의 FEM 해석결과를 보면 각 고유진동수에 따라 변형 에너지와 속도의 분포를 알 수 있다. 관심 주파수인 50~200Hz사이의 영역에서 변형 에너지와 속도가 각 특정 부위에 가장 높게 나타난다는 것을 알 수 있다. 113.3Hz의 경우 변형 에너지와 속도가 모두 플로어 패널의 윗부분이 높게 나타나며, 138.8Hz의 경우 중앙부위를 제외하고 아랫부분과 윗부분이 나타난다. 159.8Hz에서는 변형에너지와 속도가 다르게 나타나는데 이 주파수의 속도 분포는 다른 주파수의 분포와 비슷하다. 183.6Hz에서는 중앙부위가 나타난다는 점은 비슷하지만 자세히 보면 변형 에너지는 중앙부위의 안쪽부분에 나타나고 속도는 중앙부위의 경계면에 나타난다. 속도의 아랫부분이 나타나는 것은 159.8Hz와 마찬가지로 다른 주파수의 분포와 비슷하다. strain energy를 이용하여 가장 높게 나타난 부분에 재진제 위치를 선정하였다.

2.3 시험 결과 분석 및 검토

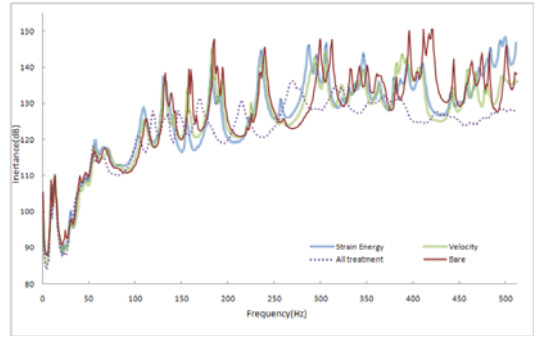


Fig. 2.5 Comparison of FRFs according to the various viscoelastic patches

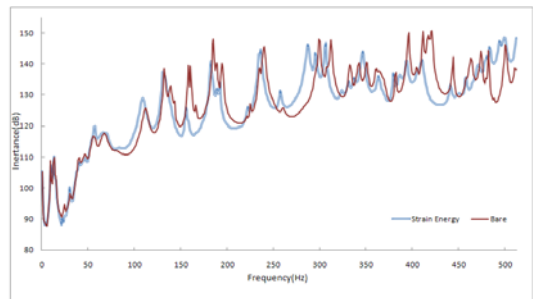


Fig. 2.6 Comparison of strain energy map at damped and bare floor panel

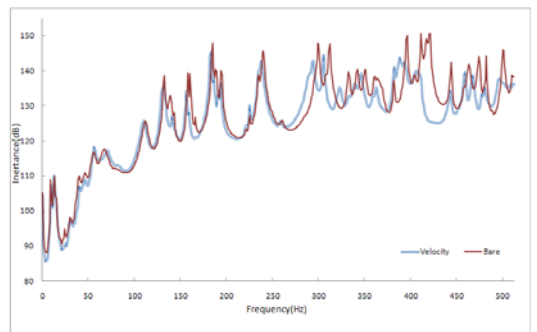


Fig. 2.7 Comparison of velocity map at damped and bare floor panel

Fig. 2.6은 변형 에너지 맵과 Bare floor panel을 비교한 것이며, Fig. 2.7은 속도 맵과 Bare floor panel을 비교한 것이다. 변형 에너지 맵을 이용한 설계 방법이 속도 맵을 이용한 설계 방법 보다 더 효과적인 것을 알 수 있다. 그러나 Fig. 2.5의 제진

재를 모두 적용한 모델(All treatment)의 FRF와 비교하면 속도 맵을 이용한 설계 방법도 좋은 방안이 될 수 있다고 판단된다.

3. 결 론

고분자 점탄성 제진재를 이용하여 자동차 플로어 패널의 진동특성에 대한 연구를 수행하였으며 본 논문의 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 자동차 플로어 패널의 모달 시험과 해석을 통해 얻은 결과를 비교 및 분석하여 유한요소모델을 검증하였다. 이를 통해 유한 요소모델과 해석기법에 대하여 신뢰할 수 있다는 결론을 얻었다.

(2) 플로어 패널에서 변형 에너지가 최대가 되는 지점에 제진재를 부착하였을 때 제진 효과가 가장 우수하였으며, FEM을 이용한 최대변형 에너지 개념이 제진재의 위치설정에 좋은 기준이 될 수 있음을 확인하였다.

(3) 가장 높은 피크 값들을 확인한 결과 변형 에너지 맵을 이용한 설계 방법은 최대 13dB (3rd), 속도 맵을 이용한 설계 방법은 최대 10dB (8th)만큼 떨어진 것을 확인하였다. 이에 속도 맵을 이용한 설계 방법도 좋은 대안이 될 수 있음을 확인하였다.

(4) 변형 에너지와 속도의 해석 결과에 따라 선정된 자동차 플로어 패널의 부착위치에 제진재를 적용한 결과 150~400Hz에서 가장 우수한 제진 효과가 얻어짐을 알 수 있다.

(5) 변형 에너지와 속도의 관계를 연구하여 원하는 주파수 범위에 맞는 설계 방법을 선택하면, 더 향상된 최적화 모델이 설계 가능할 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. Nakra. B. C.1998, Vibration Control in Machines and Structures using Viscoelastic Damping. Journal of Sound and Vibration, Vol 211(3), pp. 449~465.
2. Wonjae Hwang, Jinmoo Park, 2000. "Vibration Damping Analysis of Viscoelastic and Viscoelastically Damped Structures" Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 10, No. 1, pp. 64~73.
3. Dooho Lee, Wooseok Hwang, 2003. "Length Optimization for Unconstrained Visco-elastic Damping Layer" proceeding of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 665~671.
4. Hua He, Qijin Zhang and Richard J. Fridrich, 2003, "Vehicle Panel Vibro-Acoustic Behavior Damping", SAE, 2003-01-1406.
5. Mikyong Hwang, Kichang Kim, 2010. "Optimization Study of the Vehicle Damping Material using Floor Vibration Analysis" proceeding of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 322~323.
6. Jeong-Kyun Lee, Chan-Mook Kim, Jong-Sung Sa, Sung-Kyu Hong, 2004, "An Experimental Study on Placements and Thickness of Damping Material for Vibration Control of Automotive Roof", proceeding of the KSAE Annual Autumn Conference, pp1030~1035.