

수동구속감쇠층을 갖는 자동차루프의 진동특성에 대한 실험적 연구

An Experimental Study on Vibration Characteristics of Automotive Roof with Passive Constrained Layer Damping

이정균* · 김찬묵** · 강영규** · 사종성*** · 홍성규****

Jeong-Kyun Lee, Chan-Mook Kim, Young-Kyu Kang, Jong-Sung Sa and Sung-Kyu Hong

Key Words : Automotive Roof(자동차 루프), Vibration Characteristics(진동 특성), Loss Factor(손실계수), Passive Vibration Control(수동진동제어), Constrained Layer Damping(구속 감쇠층), Unconstrained Layer Damping(비구속 감쇠층).

ABSTRACT

This paper presents an experimental study on vibration characteristics of an automotive roof with viscoelastic material. The goal of the study is to extract modal parameters (natural frequency, loss factor, and mode shape) of automotive roof with unconstrained and constrained layer damping treatment. To determine the effective position of the viscoelastic patch on a roof, vibration tests have been carried out for two cases; Aluminum plate with viscoelastic patch on maximum strain energy, and aluminum plate with viscoelastic patch on nodal line. From the result of aluminum plate, it is found that the viscoelastic patch should be attached on the place with maximum strain energy part. For the automotive roof, five patches of unconstrained or constrained viscoelastic material have been attached on the position of maximum strain energy. This paper addresses that the proper position of viscoelastic patch is very important and the concept of maximum strain energy may be a good criterion for the placement of viscoelastic patch.

1. 서론

구조물의 진동을 감쇠시키는 것은 현재 중요한 과제 중의 하나이다. 특히 보 또는 평판들과 같이 비교적 크고 유연한 부재로 이루어진 구조물은 작은 가진으로도 큰 진동이 발생할 수 있고 현재 차량과 같은 구조물 등은 진동을 감쇠시킬 수 있는 요인이 부족하므로 자체적으로 진동을 감쇠시킬 수 있는 능력이 필요하다.⁽¹⁾ 따라서 구조물 내부의 손실 계수(loss factor)가 크지 않고, 공진을 피할 수 없는 경우에, 진동 제어 및 감쇠가 필요하며, 이러한 경우 박막의 작동기 등을 이용한 능동적인 진동제어기법(active vibration control)과 손실계수가 매우 큰 점탄성 재료(viscoelastic material)를 구조물의 표면에 부착시켜 진동 진폭을 줄이는 수동적인 진동제어방법(passive vibration control)이 많이 쓰이고 있다. 구조물의 진동 및 소음을 억제하기 위해서 점탄성 재료를 응용한 연구는 지난 30 여년 동안 매우 활발히 진행되어 왔다. 수동구속감쇠기법

은 기존의 구조물에 쉽게 적용할 수 있으며, 넓은 범위의 주파수와 온도 조건에 대하여 우수한 감쇠력과 에너지 소산력(energy dissipation)을 제공한다. 특히 점탄성 재료를 이용한 구조설계는 전체 구조물의 강성에 큰 변화를 주지 않으면서 구조물의 진동 및 소음을 현저히 줄일 수 있고, 경제적으로 비용이 적게 들 뿐만 아니라, 신뢰성 면에서도 우수하기 때문에 구조물의 과도한 소음 및 진동을 제어하기 위하여 산업현장이나 자동차 등에 널리 사용되고 있다. 구조물 표면에 점탄성층을 부착하여 진동을 저감 시키는 방법은 구속 감쇠기법(constrained layer damping, CLD)을 이용한 방법과 비구속 감쇠기법(unconstrained layer damping, UCLD)을 이용하는 방법이 있다. 구속감쇠기법은 모재에 점탄성층을 부착하고 그 위에 얇은 구속층을 덮으로써 점탄성층이 전단변형을 받을 때 진동에너지가 소산되는 것을 이용한 것이며, 비구속 감쇠기법은 구조물에 점탄성재료를 피복하고 모재가 변형할 때 굽힘 변형을 하게 되고 점탄성 재료의 굽힘 변형시 에너지 소산을 이용하는 방법이다. 일반적으로 구속형 제진층이 에너지의 감쇠효율이 크지만 비구속형 제진층이 저비용으로 제진처리를 할 수 있기 때문에 자동차의 플로어, 트렁크등에 많이 쓰이고 있다⁽²⁻⁶⁾. 본 연구에서는 비구속층과 구속층으로 감쇠 처리된 부분 모델인 자동차 루프를 실험적 연구를 통하여 그 제진 효과와 성능에 대해 제시하고자 한다.

* 국민대학교 자동차공학전문대학원
E-mail : 2monkey@kookmin.ac.kr
Tel : (02) 919-0514, Fax : (02) 910-4718

** 국민대학교 자동차공학전문대학원

*** 서일 대학 자동차과

****(주) 헨켈 홍성

2. 실험

본 논문에서 사용한 점탄성 패치(viscoelastic patch)는 실제 차량에 사용되고 있는 쉐켈 흥성의 고 비중 제품인 HSTM2003H를 사용하였고 점탄성 패치는 Fig. 1와 같은 형태로 본 실험에 적용하였고, 구속층은 0.07mm와 0.25mm 두께의 알루미늄 박판을 각각 사용하였다.⁽⁷⁾

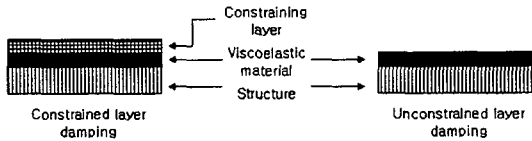


Fig.1 Sketch of constrained layer and unconstrained layer damping

점탄성 패치의 위치를 선정하기 위해 알루미늄 시편을 제작하여 FEM 해석기법을 이용하여 변형 에너지(strain energy)가 가장 큰 부분과 모드 형상(mode shape)의 노달 라인(nodal line)부분을 검토하고 각각 점탄성 패치를 붙여 실험하여 제진 효과를 검증하였다.⁽⁸⁻⁹⁾ 그 결과를 바탕으로 부분 모델인 자동차 루프에 적용시켜 그 제진 성능을 검토하였다.

2.1 Aluminum Plate의 FEM 해석과 실험

가로 300mm, 세로 200mm, 두께 2mm인 알루미늄 플레이트를 Fig.2 같이 점탄성 패치를 변형 에너지가 집중적인 부분과 모드 형상의 노달 라인에 붙여 충격시험방법으로 각각 실험을 하였다. 점탄성 패치는 가로 50mm, 세로 200mm의 크기로 전체 평판 면적의 1/6 크기로 붙여서 실험을 하였다.

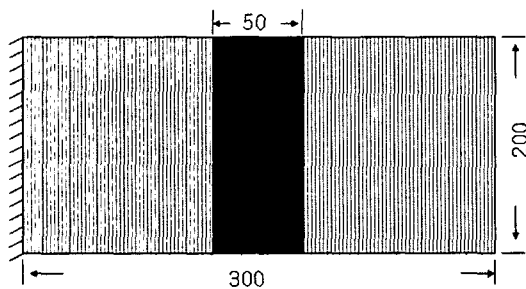


Fig.2 Placement of viscoelastic patch on an aluminum plate

2.2 Steel Roof의 FEM 해석과 실험

본 논문에서 적용된 루프는 프런트 루프레일(roof-rail), 리어 루프레일과 4개의 보우루프(bow-roof)로 구성된 루프 어셈블리(roof assembly) 모델로 총 8개의 박판(shell) 모델로 구성되었다. Fig.3에 나타난 것과 같이 박판은 CQUAD4(2694개)와 CTRIA3(198개)의 판 요소를 사용하였고 점 용접 부위는 두 판의 용접점을 강체요소(RBE2)로 결합하는 일반적인 방법을 사용하였다. 그리고 보우루프의 본딩(bonding) 부분은 접합부분의 면적을 고려하여 스프링요소(CELAS1)로 모델링 하였다. 유한요소 모델링과 해석은 상용 소프트웨어인 ALTAIR-HYPER MESH, MSC-PATRAN과 MSC-NASTRAN을 사용하였다.

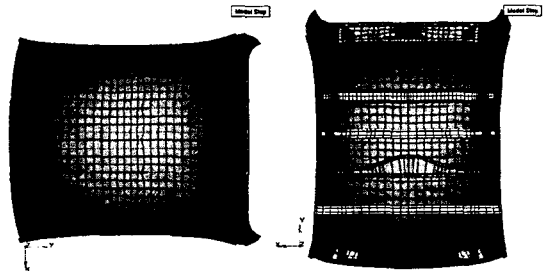


Fig.3 FE model of automotive roof

가로 1480mm, 세로 1130mm, 두께 0.8mm인 자동차 루프에 제진재가 없는 경우와 0.8mm의 제진재를 부착한 경우, 0.8mm 제진재에 0.07mm 알루미늄 구속재가 부착된 경우, 0.8mm 제진재에 0.25mm 알루미늄 구속재가 부착된 경우 등 모두 4가지 형태로 각각 실험을 하였으며, 패치를 리어 루프레일 앞쪽에 가로 100mm, 세로 400mm의 크기로 하나만 부착하였을 때와 각 부위에 5개를 부착하였을 때를 각각 실험을 하였다. 자동차 루프의 경계 조건은 양단 자유상태로 하였으며, 버스트 랜덤(Burst Random) 가진에 의한 각 부위의 진동 신호를 측정하였으며 다채널 신호분석기(LMS CADA-X)와 B&K사의 가진기(B&K 4805)와 가속도계(B&K 4506)를 사용하였다. 한 지점에서 가진을 하고, 3개 지점에서 가속도계를 사용하여 주파수 응답함수(FRF)와 코히런스(coherence)를 측정하였다. 측정 시 평균 측정 횟수(averaging)는 50회 실시 하였으며, 측정지점의 수는 91개이며 각각 3축 가속도계를 사용하였다.⁽¹⁰⁾ 점탄성 패치는

총 5 개로 그 크기와 형상은 가로 200mm, 세로 120mm 정도의 크기 4 개와 가로 100mm, 세로 400mm 1 개를 루프의 부착지점형상과 같이 제작하여 실험하였다.

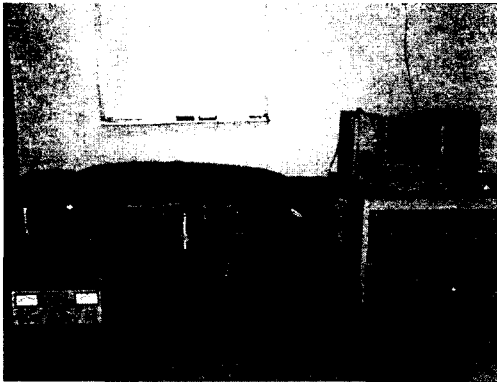


Fig.4 Experimental set-up for modal test

Table 1 Apparatus of automotive roof test

Apparatus	Model
FFT analyzer	LMS CADA-X
Accelerometer	B&K 4506
Force Transducer	B&K 4805
Amplifier	B&K 2626

3. 실험 결과

알루미늄 평판을 Nastran 의 Normal Mode(Sol 103) 해석을 수행하여 변형 에너지의 분포를 파악하여 제진재 패치의 부착 위치를 결정 하였다. 각 부분별 실험을 통해 Fig.5 와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 변형에너지가 큰 부위에 점탄성 패치를 붙인 경우가 2 차 굽힘 모드형상의 노달 라인에 점탄성 패치를 붙인 경우 보다 제진 효과가 전 주파수 영역에 걸쳐서 10~15dB 정도 뛰어남을 알 수 있다.

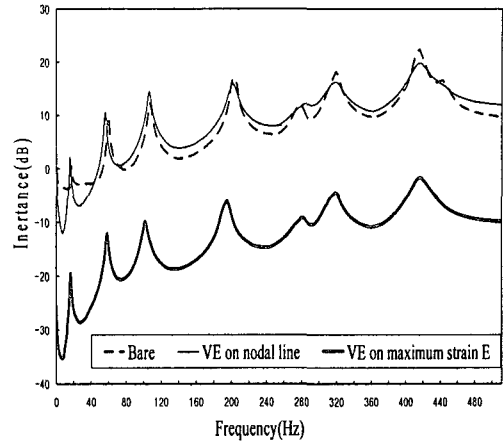


Fig.5 Comparison of FRFs according to the position of the viscoelastic patches

Table 2 Stain energy distribution and mode shape of roof

Strain energy	Mode shape
1 st Bending : FEM (34.39)	
2 nd Bending : FEM (48.23)	
3 rd Bending : FEM (59.20)	

단순한 평판에 대한 제진재의 적용 방법을 상대적으로 강성도가 큰 부분 모델인 자동차 루프에 적용하여 변형 에너지를 이용한 제진재 패치의 부착 위치 설계 방법을 검증하고자 하였다. Table2의 FEM 해석결과를 보면 각각의 고유진동수에 따라서 변형 에너지의 분포와 고유모드를 알 수 있다. Table2에서 결과를 보면 100Hz 이하에서 리어 루프 프레임 앞과 리어 루프의 양끝단에 많은 변형 에너지가 분포되는 것을 알 수 있다. 100Hz 이상의 영역에서 변형 에너지가 집중되는 곳은 루프 프레임으로 보강되어 있는 부분임을 알 수 있다. FEM 해석결과에 따라 Fig.6과 같이 Case1과 Case2와 같은 형태로 점탄성 패치를 부착하여 실험을 하였다. Case1은 리어 루프 후미 중앙에 하나의 점탄성 패치를 붙여 임팩트 해머로 실험한 경우이며, 그 결과는 Fig.7처럼 고주파 영역에서 약간에 제진 효과가 나타난다. Case2는 5개 점탄성 패치를 이용하여 실험한 경우로, Fig.8과 같은 결과를 보여준다.



Fig.6 Position of viscoelastic patches on an automotive roof

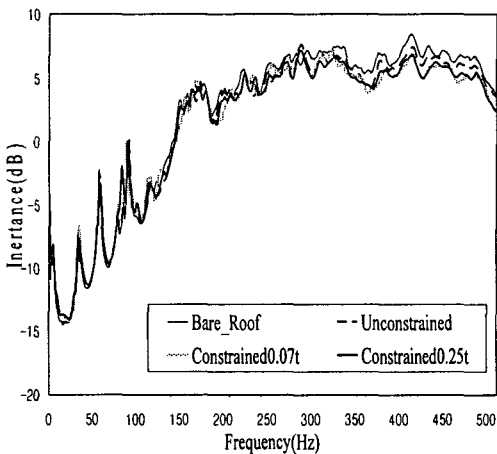


Fig.7 Comparison of FRFs according to viscoelastic patches(Case 1)

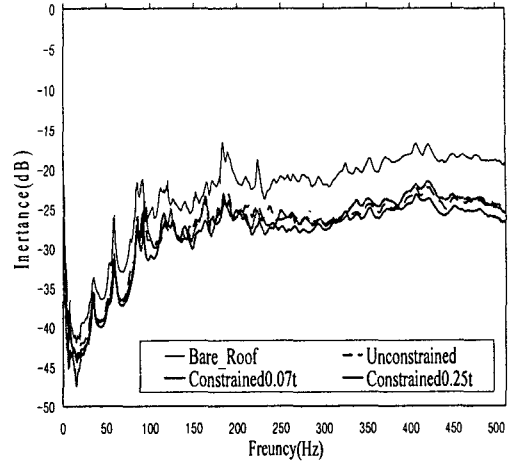


Fig.8 Comparison of FRFs according to the various viscoelastic patches(Case 2)

4. 결론

수동구속감쇠층을 갖는 자동차 루프 구조물의 진동특성에 대한 연구를 수행하였으며 본 논문의 결론을 요약하면 다음과 같다.

(1) 단순 형상의 시편(알루미늄 평판)에 점탄성 제진재를 적용시켜 그 타당성을 입증하고 부착 위치를 결정하였다.

(2) 알루미늄 평판에서 변형 에너지가 최대가 되는 지점에 점탄성 패치를 부착하였을 때 제진 효과가 가장 우수하였으며, 최대변형 에너지 개념이 점탄성 패치의 위치설정에 좋은 기준이 될 수 있음을 확인하였다.

(3) 변형 에너지 해석결과에 따라 제진재 부착 위치 설정을 부분 모델 자동차 루프에 적용한 결과, 넓은 영역의 주파수 대역에서 우수한 제진 효과가 얻어짐을 확인하였다.

(4) 비구속층과 구속층 그리고 구속재의 두께 변화에 따라 제진 효과가 차이가 있음을 확인하였다.

후기

점탄성 패치의 크기, 위치, 두께 등의 최적화를 위한 FEM 해석에 관련된 점탄성 재료의 보다 정

확한 물성치의 데이터 수집이 필요하며, 부분 모델이 아닌 실제 차량과 같은 경계조건을 만족하는 판넬이나 어셈블리 등에 적용하여 진동 특성에 관한 검토가 요구된다.

참 고 문 헌

- (1) Bob baker and Barry Wyerman, 2003, Automotive Noise and Vibration Control Practices in the New Millennium, SAE 2003 Noise and Vibration Conference and Exposition, paper 2003-01-1589.
- (2) 강영규, 2002, “수동구속감쇠층을 갖는 복합적층보의 진동 특성”, 한국소음진동학회논문집 제 12 권 제 12 호, pp. 964~969.
- (3) Nakra. B. C., Vibration Control in Machines and Structures using Viscoelastic Damping. 1998, Journal of Sound and Vibration, Vol 211(3), pp. 449~465.
- (4) 이두호 외. 2003, “비구속형 점탄성 제진층을 갖는 보의 제진층 길이 최적화”, 추계학술대회 논문집, 한국소음진동학회, pp. 665~671.
- (5) 황원재 외, 2000, “점탄성 또는 점탄성 감쇠처리된 구조물의 진동 감쇠 해석”, 한국소음진동공학회지 제 10 권 제 1 호, pp. 64~73.
- (6) Hua He, Qijin Zhang and Richard J. Fridrich, 2003, Vehicle Panel Vibro-Acoustic Behavior Damping, 2003 SAE Noise and Vibration Conference and Exposition, paper 2003-01-1406.
- (7) Shen. I. Y. and Perter Y. H., 2001, Thickness Deformation of Constrained Layer Damping : An Experimental and Theoretical Evaluation, Journal of Vibration and Acoustics, Vol 123, pp. 213~221
- (8) 강영규 외, 2002, “지능판의 진동제어를 위한 수동구속감쇠의 위치 설정”, 기계관련 산학연 연합심포지엄, 한국소음진동학회.
- (9) Nashif, Ahid D., Jones. David I. G and Henderson John P, 1985, "Vibration Damping", John Wiley & Sons.
- (10) 김찬목 외, 2003, “탄소섬유 복합재로 된 자동차 루프의 동특성 해석 및 실험”, 춘계학술대회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 330~335.