제진재 물성치 산출법 및 모델링기법 연구

Study of Damping Material Characteristics

서 정 범, 윤 희 욱, 김 태 정
J. B. Seo, H. W. Yoon, T. J. Kim

서 정 범
• 1968년 2월생
• 현대자동차 연구개발부 차량 선행연구팀

윤 희 욱
• 1963년 1월생
• 현대자동차 연구개발부 차량 선행연구팀 대리

김 태 정
• 1966년 3월생
• 현대자동차 연구개발부 차량 선행연구팀

1. 서 론

최근 자동차의 정숙성 향상과 연비향상을 위한 경량화는 가장 큰 과제 중 하나로써 이들의 향상을 위한 개선 방안은 서로 상반되는 결과를 가져온다. 정숙성을 위해서 보통 사용되는 방법은 제진재의 적용이나 소음재의 적용이며, 이들이 차량중량을 증가시키는데 많은 역할을 하고 있다. 또한 고급차일수록 높은 정숙성을 요구하기 때문에 이들 재료의 사용량이 많아지게 된다. 정숙성 향상과 경량화 두가지를 동시에 만족시키기 위해서는 이들 재료의 성능개선이 필요하다. 소음재의 경우에는 다층구조화 등에 의한 고성능화를 꾀하여 경량화하는 방법이 채용되고 있고 제진재의 경우에는 저비중화에 의한 방법, 재료를 발포시킴으로써 무게증가 없이 두께만 증가시키는 방법, 다층구조화하는 방법등이 사용되고 있다. 이들은 재료의 특성을 변경시켜 성능향상 및 중량감소를 꾀하는 방법이며, 가격면에서 불리한 점이 있다. 이러한 점에서 볼때 재료특성 변경이 아닌 차체특성에 따른 제진재 부착 위치의 최적화를 수행함으로써 효과적인 정숙성향상 및 중량감소를 이룰 수 있다. 이러한 제진재 최적화의 일환으로 제진재 물성치의 산출방법 확립이 필요하며, 또한 제진재 모델링 기법의 확립이 필요하다. 본 연구에서는 제진재의 최적화를 수행하기 위한 선행 단계로써 제진재 모델링에 필요한 제진재 물성치 산출법과 모델링 기법을 확립하였다.

2. 제진재 물성치(Loss Factor ; η, Young's Modulus ; E) 산출이론

Ross, Kerwin, Ungar에 의해 해석되어진(Ref.1)

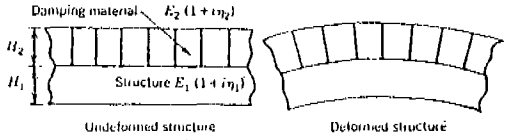

Fig.1 Free-layer damping treatment

3개의 층(Constraint Layer, Damping Material, Structure)으로 이루어진 구조물의 EI(Flexural Rigidity) 산출식으로부터 Fig.1과 같이 구속층이 없는 2개의 층으로 이루어진 구조물(Free-Layer Structure)의 EI 산출식을 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\left(\frac{EI}{E_1I_1}\right)=1+e_2h_2^3+(1+h_2)^2\left(\frac{e_2h_2}{1+e_2e_2}\right) \quad (1)$$

여기서,

$e_2=\frac{E_2}{E_1}$; Young's Modulus Ratio

E_1 ; Young's Modulus of Steel Beam

E_2 ; Young's Modulus of Damping Material

E ; Young's Modulus of Free-Layer Structure

$h_2=\frac{H_2}{H_1}$; Thickness Ratio

윗식에 감쇠를 도입하면 다음과 같이 나타낼 수 있고,

$$\left(\frac{EI}{E_1I_1}\right)(1+i\eta)=1+e_2h_2^3(1+i\eta_2)+3(1+h_2)^2\left[\frac{e_2h_2(1+i\eta_2)}{1+e_2e_2(1+i\eta_2)}\right] \quad (2)$$

이 식을 실수부와 허수부에 대하여 각각 풀면 다음과 같다.

$$\left(\frac{\omega_n}{\omega_{1n}}\right)^2(1+h_2\rho_r)=\frac{1+2e_2h_2(2+3h_2+2h_2^2)+e_2^2h_2^4}{1+e_2h_2} \quad (3)$$

$$\frac{\eta_n}{\eta_2}=\frac{e_2h_2(3+6h_2+4h_2^2+2e_2h_2^3+e_2^2h_2^4)}{(1+e_2h_2)(1+4e_2h_2+6e_2h_2^2+4e_2h_2^3+e_2^2h_2^4)} \quad (4)$$

여기서,

$\rho_r=\frac{\rho_2}{\rho_1}$; Density Ratio

ρ_1 ; Density of Steel Beam

ρ_2 ; Density of Damping Material

η_n ; Loss Factor of Free-Layer Beam at the n th Mode

η_2 ; Loss Factor of Damping Material

ω_{1n} ; n th Frequency of Steel beam

ω_n ; n th Frequency of Free-Layer beam

식(3), (4)는 Free-Layer Beam인 경우에 대하여 전개한 식이며, Free-Layer Beam의 진동실험에서 얻은 고유진동수와 감쇠값을 윗식에 적용하면 제진재만의 η, E 값을 얻을 수 있다.

3. 실험을 통한 제진재 물성치 산출

3.1 실험 모델

Fig.2에 나타낸 것과 같이 Steel에 제진재를

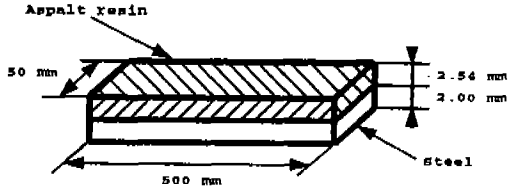

Fig.2 Free-layer beam

표 1 실험 모델의 물성치

	Steel	제진재
ρ [kg/mm³]	$7.733\times^{-6}$	1.316×10^{-6}
E [N/mm²]	$2.068\times^{8}$	—

붙힌 Free-Layer Beam을 실험 모델로 사용하였으며, 각각의 물성치는 표 1과 같다. 제진재는 당사에서 적용하고 있는 Aspalt resin(운모 10% 첨가)을 사용하였다.

3.2 실험방법

Fig.2와 같은 Free-Layer Beam을 Free-Free 상태로 만든 후 Impact Hammer로 가진하여 이 때의 응답을 가속도계로 측정하고, 그 신호를 B&K 2ch. FFT Analyzer(Type 2032)를 이용하여 FRF을 얻어내었다. 이렇게 얻은 FRF와 FFT로 처리된 정보를 Modal Software(STAR)을 이용하여 Natural Freq.와 Mode Shape 그리고 각 Freq.에서의 Damping값을 구하였다. 이와 같이 실험에 의하여 얻은 결과는 표 2와 Fig.3과 같다. 이 때 실험온도는 실내온도인 20℃이다.

표 2 실험에 의한 Free-Layer Beam의 Freq.와 Damping값

Mode No.	Freq.[Hz]	Loss Factor(η_o)
1	38.10	0.0556
2	105.24	0.0262
3	207.54	0.0179
4	343.92	0.0178

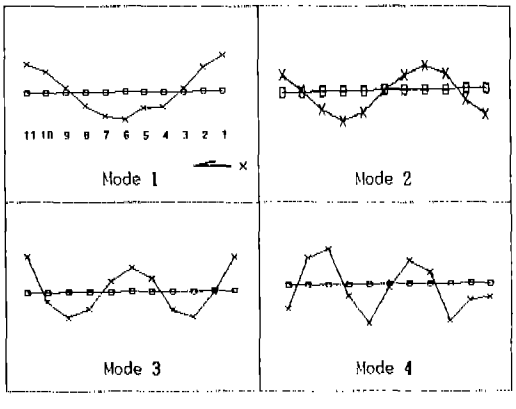

Fig.3 실험에 의한 Mode shape

3.3 제진재 물성치(η, E)의 산출

실험에서 얻은 Free-Layer Beam의 Freq.와 Damping값을 식(3) (4)에 적용시켜 제진재만의 물성치를 산출한다. 이렇게 계산해 낸 제진재만의 물성치는 표 3에 나타내었고 이것을 정성적으로 보면 Fig.4와 같다.

4. 제진재 모델링 방법 및 실험과의 비교

실험을 통하여 얻은 제진재만의 특성치를 이용하여 제진재의 FE Model을 다음과 같은 2가지 방법으로 구성하였고 이 모델들의 해석결과와 실험결과를 비교하여 모델링 방법의 타당성을 검토하였다. 이 때 제진재의 물성치가 Freq.에 따라 변화하는 성질이 있으므로 제진재 모델링 및 해석시에는 목표로 하는 Freq.를 정하고 그에 해당하는 물성치를 적용하였다. 그리고 결과도 역시 목표 Freq.에서만 유효하다.

4.1 제진재를 Shell로 모델링하는 경우

Free-Layer Beam(제진재+Structure Panel)의 경우 구조물의 진동에너지를 제진재가 흡수하며, 이때 제진재는 인장, 압축의 굽힘변형이 주체가 된다. 이러한 이유로 제진재를 Thin Shell Element (CQUAD4, 8)로 모델링하고 구조물과는 강체요소(RBE2)로 결합시킨다(Ref.2). 그리고 제진재를 모델링한 Shell Element의 물성치는 실험 의해서 산출된 제진재만의 ρ, η, E값을 사용한다.

4.2 제진재와 구조물을 단일 Shell Element로 모델링한 경우

제진재를 따로 모델링하지 않고 구조물 Shell Element의 물성치에 제진재의 질량을 Nonstructural Mass로 고려하고 실험에서 얻은 Damping값(η)을 적용한다. 이때 적용하는 Damping값을 제진재 자체의 Damping값이 아니라 실험에서 얻은 Free-Layer Beam 전체의 Damping값이다.

4.3 실험과 비교 및 검토

두 방법 모두 제진재의 물성치는 관심 Freq.에서의 값을 선택하여 적용하였고, 해석결과 또한

표 3 제진재만의 물성치(Aspalt Resin+운모 10%)

Freq.[Hz]	E[N/mm²]	η	제 한 조 건
38.10	4.466×10^5	1.249	이 물성치는 사용온도 20℃에서만 타당하며 사용 가능하다.
105.24	3.231×10^5	0.802	
207.54	4.126×10^5	0.432	
343.92	4.100×10^5	0.433	

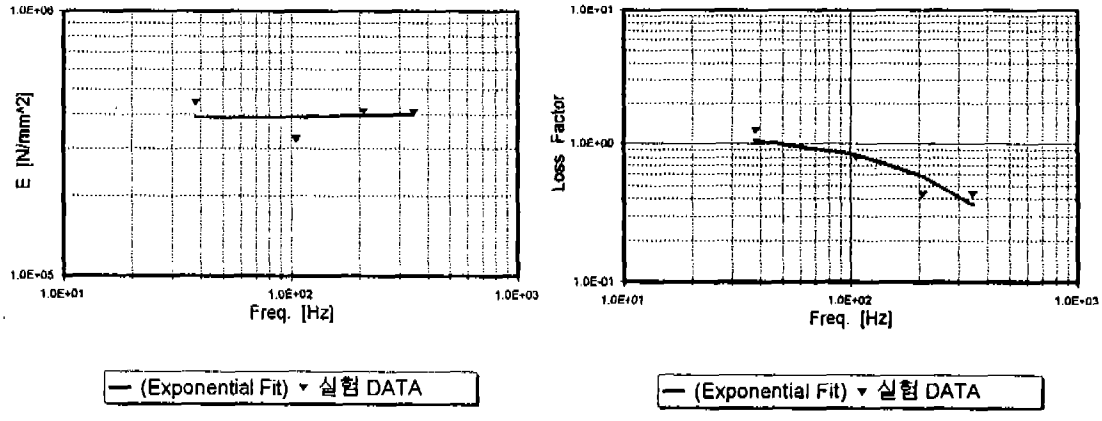

Fig.4 제진재 특성 그래프(Aspalt resin+운모 10%)

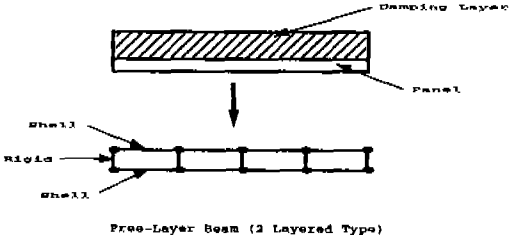

Fig.5 FE modeling for layered damping material

관심 Freq.에서의 Data만을 추출하였다. 그 결과 두 모델링 방법이 실험 결과와 잘 일치함으로 제진재를 모델링하는데 모두 타당함을 알 수 있다. 방법 A는 제진재를 따로 모델링하였기 때문에 구조물의 두께가 변하여도 해석이 가능하며 제진재의 위치변동이 용이하다. 그에 반해 방법 B는 제진재와 구조물의 두께가 실험상태와 동일한 경우에만 적용이 가능하며 제진재의 위치변동이 용이하지 않는다. 방법 A는 제진재의 모델링 작업과 구조물과 제진재 사이를 Rigid Element로

표 4 Free-Layer Beam의 실험결과와 해석결과 비교

*사용온도 20℃

실 험		방 법 A		방 법 B	
Freq.[Hz]	η_o	Freq.(Err. %)	η_o(Err.)	Freq.(Err.)	η_o(Err.)
38.10	0.0556	38.35(0.66)	0.0550(1.15)	37.48(1.63)	실험치를 그대로 사용 실험치와 동일하다.
105.24	0.0262	103.24(1.90)	0.0252(3.71)	101.63(3.43)	
207.54	0.0179	200.22(3.53)	0.0166(6.74)	196.47(5.33)	
343.92	0.0178	326.49(5.07)	0.0153(14.2)	320.85(6.71)	

결합시켜 주는 작업등에 많은 시간이 소요되며, 이에 비해 방법 B는 제진재 모델링하는데 소요되는 시간이 적다는 것이 장점이다.

6. 결 론

이와 같은 실험과 해석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 실험과 이론을 이용하여 제진재의 물성치(η, E)을 얻었으며, 이는 실험과 아주 잘 일치함으로 제진재의 물성치를 얻는 방법을 확립하였다.
2) 제진재의 감쇠능력이 주파수에 크게 의존함을 알 수 있었고, Aspalt Resin+운모 10 %는 저주파수에서 감쇠능력이 좋다.
3) 제진재는 Shell Element와 Rigid Element를 이용하여 모델링하는 것이 타당하다.
4) 제진재의 최적설계를 위해서 두께에 따른 제진재의 물성치 Table을 구성하는 작업과 두께에 따른 변화를 해석하는 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

1. AHID D. NASHIF외 2, "VIBRATION DAMPING", JOHN WILEY & SONS, 1985.
2. NAOKI IMADA외 2인, "차체 PANEL 다층 제진 구조의 해석" 일본 자동차 기술회학술 강연회 전쇠집 924, 1992-10.
3. "Standard Method for Measuring Vibration-Damping Properties of Materials", ASTME56-83.
4. "자동차용 방음재와 경량화 기술", 일본 자동차 기술, Vol.46, '92. 6.
5. Pranab Saha외 1인, "The Thougth and Reasoning Behind Developing SAE J1637-Vibration Damping Test Method", SAE 931320.