

自動車用 制振材의 適用 動向

梁慶模 · 李省勳

1. 서 론

최근 자동차의 실내 소음 저감 노력의 일환으로 제진, 흡·차음재에 대한 관심이 높아 지고 있는 상황이다. 그중에서 제진재료는 사용량이 증대 되고, 그 사용 기술도 날로 발전하고 있다. 진동·소음 저감이라는 성능적 요구와 경량화 요구를 동시에 충족시켜야 하는 양면성을 가진 재료 적용 기술이 필요한 재료중의 하나이다. 이에 자동차 차체(BODY)의 진동 절연 mechanism, 제진재료의 종류, 특징 및 평가방법 등 동향을 알아보고, 향후 제진재료 적용기술에 대하여 논하고자 한다.

2. 자동차의 진동소음 방지대책 및 제진 Mechanism

자동차의 진동과 소음은 자동차 구성 요소의 복합성으로 인하여 그 발생 및 전달 경로에 대하여 효과적으로 개선 대책을 수립하기란 쉽지 않다. 자동차의 진동·소음 방지 대책의 예를 그림1에 나타내었고, 진동·소음 방지법에 대하여 표1에 나타내었다.

일반적으로 진동·소음은 엔진과 구동계의 진동, 타이어의 진동에 의하여 차체에 전달되는 구조전파음(structure borne noise)과 엔진의 방사음, 흡·배기계 및 트랜스미션의 소음과 주행시 외부 공력에 의하여 차 실내로 투과되는 공기 전파음(air borne noise)으로 분류된다. 제진, 흡·차음 재료는 자동차 실내로 전달 되는 진동·소음의 절연 mechanism에 따라 최적화하여 사용되는 수동적 의미에서의 방음재료라 할 수 있다.

표 1. 진동·소음 방지법의 분류

분 류	에너지 흡수	에너지 반사	비 고
Structure borne noise	제 진 (damping)	방 진 (insulator)	저주파 영역
Air borne noise	흡 음 (absorption)	차 음 (isolation)	중·고주파 영역

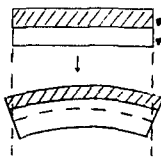
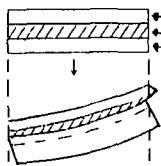
현재 대표적으로 사용되고 있는 제진기구를 표2에 나타내었다. 제진은 점탄성 물질의 신축변형에 의해서 제진하는 비구속(extentional damping)과 전단변형에 의한 내부마찰을 이용한 구속형(constrained layer damping)이 주로 사용되는데, 비구속형은 two layer로 사용 되며 기판의 굴곡진동에 의한 판상의 damping 재료가 신축변형을 일으켜 진동에너지를 열에너지로 흡수하여 제진하는 기구로서, 그 사용 재료

現代自動車(株) 材料技術部 課長

로는 asphalt pad, under body coating 등이 있다. 구속형은 three layer 또는 그 이상으로 사용되며 접탄성 수지의 변형을 구속하여 그로 하여금 전단변형을

발생시켜 진동에너지를 열에너지로 흡수하여 제진하는 기구이며, sandwich panel, 제진강판등이 있다.

표 2. 대표적인 제진기구

분 류	구 성	절 연 작 용	제 품
Extensional type		-기판의 굴곡진동에 의한 판상의 damping 재료가 신축변형을 일으켜 진동 에너지를 열에너지로 흡수하여 제진함	-asphalt sheet -감압형 접착 asphalt sheet -under body coat
Constrained layer type		-접탄성 수지의 변형을 구속하여 그것으로 하여금 전단변형을 발생시켜 진동에너지를 열에너지로 흡수하여 제진함	-sandwich panel -제진강판 -수지구속 pad

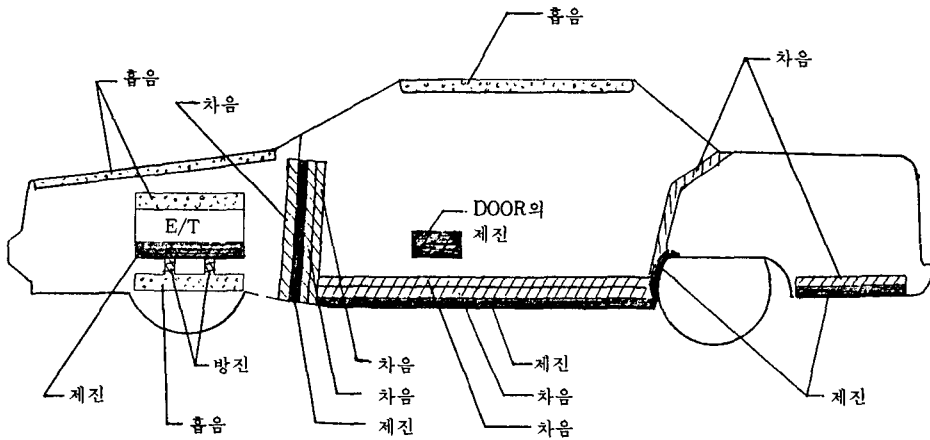


그림 1. 제진재료의 진동 절연 사용예

차량 1대당 사용되는 고분자 재료에 대하여 그림2에 나타내었다.

대표적으로 사용되는 제진재료인 asphalt의 차량 1대당 사용량을 주요 고분자 재료와 비교하여 보면 asphalt의 사용량이 10-20kg으로 타 주요 재료와 비교할 때 다량으로 사용되고 있음을 알 수 있고, 결코 소홀히 해서는 안되는 재료로 인식 되고 있다.

이러한 재료들은 고성능 및 경량화가 요구되며 이의 해결을 위한 노력들이 이루어지고 있다.

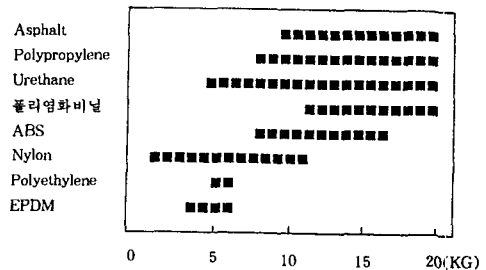


그림 2. 자동차 주요재료의 중량비교

3. 자동차용 제진재료의 사용부위별 종류 및 특징

최근 연비규제가 강화됨에 따라 이에 대응하기 위한 경량화의 요구와 자동차의 수요가 증가하면서 고객의 주행안정성 및 안락한 승차감 요구가 강조되기 때문에 제진재료에 대한 고성능화 기술개발이 활발하게 진행되고 있다. 특히 고분자 재료를 응용한 고탄성, 고 damping재료와 발포제진재료 및 수지 구속형 pad의 채용은 주목할 만하다. 자동차용 제진재료는 진동이 차체에 전달되는 과정과 재료의 적용부위 및 자동차 조립공정 조건에 따라 최적화 하여 적용되며 그 각부위별 사용되는 종류와 특징은 다음과 같다.

3.1 차체 Dash Panel 적용 제진재료

음원인 엔진의 진동이 차체 dash panel을 통해 전달되는 structure borne noise와 엔진의 방사음과 투과음으로 형성되는 air borne noise가 공존되는 부위

로 차실내 소음의 기여도가 가장 큰 부위이다. 이곳에는 extensional layer(비구속형) 및 constrained layer(구속형)가 각각 독립적으로 또는 조합하여 사용되고 있다. 이 부위에 사용되는 제진재료들은 중·저주파수 대역의 structure borne noise를 차단하는 역할을 담당하게 되며, 다른 흡·차음제(dash insulator or isolation pad)등과 그 기능 및 역할을 분담하여 최적의 방음 mechanism에 대한 연구가 검토되고 있다. 또한 최근에는 차량의 고성능, 경량화에 대한 요구와 엔진 room의 온도상승에 따른 제진재료에 대한 새로운 인식과 연구가 가속되고 있다. 즉 에너지 흡수능력(damping)이 큰재료, 온도 및 주파수 의존성이 최소로 유지되는 재료 및 구조가 요구되고 있어 주로 sandwich type의 constrained(구속형) layer로 제진강판/asphalt 또는 asphalt foam 형태로 온도 및 주파수 의존성을 극복하고 있다. dash panel의 전형적인 진동·소음 개선과정 및 사용되는 제진재료의 종류와 특징을 표3과 4에 각각 나타내었다.

표 3. 차체 Dash Panel의 일반적인 진동·소음 개선도

ENGINE ROOM	→	에너지 흡수	→	에너지 반사	→	에너지 흡수	→	차실내
기능		제진		차음		흡음		
재료		-damping재 -강성재		-고면밀도재 -판상재		-다공질재 -foam재		
주파수		저주파 영역		중·고주파 영역		중·고주파 영역		

표 4. 차체 Dash Panel에 사용되는 제진재료

구분	특징	재료	비고
Constrained layer (sandwich type)	1) 전단변형에 의한 에너지 흡수 능력이 우수 2) 강성(stiffness)의 효과 큼 3) constrained layer에 의한 사용 주파수와 온도 의존성의 극복 4) 주로 재료에 따라 20~120℃의 넓은 온도조건에서 응용 적용	-제진강판 -rubber foam -asphalt foam	-대부분의 차량은 구속과 비구속 type의 조합에 의하여 적용되고 있는 추세임
Extensional layer	1) 신축변형에 의한 에너지 흡수 2) 가장 일반적인 제진구조 3) constrained layer에 대비하여 온도 및 주파수 의존성이 큼 4) 주로 상온용으로 적용	-일반 asphalt -경량 asphalt	

3.2 차체 Floor Panel 적용 제진재료

진동에 의해 전달되는 structure borne noise가 주

로 기여하는 floor panel부는 제진재료의 사용량이 차량 1대당 10-30kg로 자동차용 제진재료의 발전을 유도해 왔다. 최근 재료의 차별화 적용과 고성능화 및

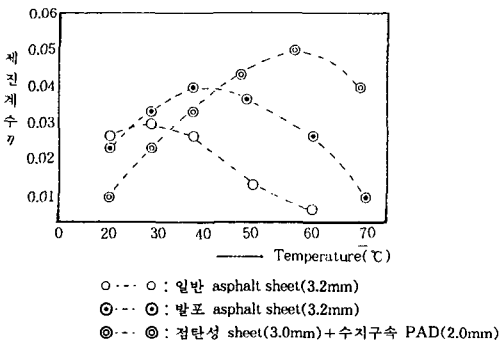
경량화가 계속적으로 요구되면서, 신재료의 개발, 원재료의 재검토와 더불어 새로운 적용방식등 신기술개발이 가장 활발히 진행되고 있는 분야이다. 그 예로 MICA 혼입 경량 asphalt pad개발로 경량화 요구에 부응하였으며 더 나아가 발포 asphalt pad의 개발로 경량화 및 고damping을 동시에 얻고자 하는 노력이 이루어 지고 있다. 또한 수지구속형 pad의 개발 및

적용으로 차량의 진동소음 저감 효과가 대폭 향상 되었으며 일반적인 asphalt pad의 온도 의존성 및 강성 부족을 극복하였다. 제진재료의 온도에 따른 damping 성능을 표6에 비교하였고, 차체 floor panel용 제진재의 종류, 특징 및 주원료 등에 대하여 표5에 나타내었다.

표 5. 차체 Floor Panel에 사용되는 제진재료

구 분	특 징	주 원 료	비 고
일반 asphalt sheet	1) asphalt의 점탄성을 이용한 대표적인 제진재 2) 주로 상온용으로 온도 및 주파수 의존성이 큼 3) 경량 및 고성능 제진재료의 사용 제한	-asphalt, clay, paper, CaO, CaCO ₃ , Mica, Talc등	
경량 asphalt sheet	1) 일반 asphalt를 개량한 제진재 2) 초미립 filler 도입으로 경량화 실현 3) 주로 상온용으로 온도 및 주파수 의존성이 큼 4) 고성능 제진재 개발의 필요성	-asphalt, MICA, 초미립 filler, CaO, CaCO ₃ , Talc등	
수지구속 pad	1) 점탄성 재료인 asphalt sheet의 구속 pad로 사용 2) 제진성능의 온도(20~80℃) 및 주파수 의존성의 극복 3) 가황체계의 응용으로 고강성 확보	-합성고무, CaCO ₃ , Talc, Mica	

표 6. 제진재료의 온도에 따른 제진계수 성능 비교



직부위에 부착이 가능한 재료가 되어야 하고, 열적으로 안정되어 흘러내리지 않아야 한다.

기능적인 요구사항으로는 내 dent성(강판의 눌림에 의한 변형의 척도)을 유지하기 위하여 높은 강성 또는 탄성율이 유지되어야 하고, panel의 떨림과 진동 방지를 위한 제진성능도 요구된다. 그 종류로서는 epoxy계 강성보강 pad, 점탄성 pad에 접착제나 자성을 부여한 자착성 pad등이 있으며 그 상세 내용은 표 7에 나타내었다.

3.3 차체 Side Panel 및 Roof Panel적용 제진재

차체 side의 quater, fender, door, roof panel의 강성 보완, 내 dent성 유지 및 제진성능 확보를 위한 강판보강재가 사용되고 있고, wheel house 부위에 노면으로부터 올라오는 sand noise 저감 및 제진 성능 향상을 위한 감압형 asphalt pad가 사용되고 있다. 이 부위에 사용 되는 제진재료들의 기본 요구 특성은 수

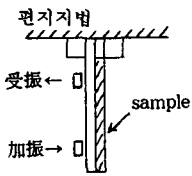
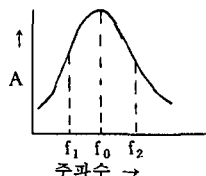
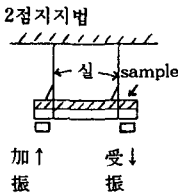
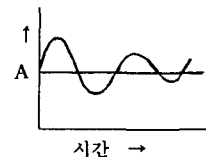
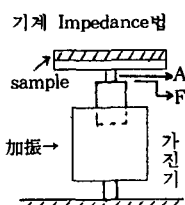
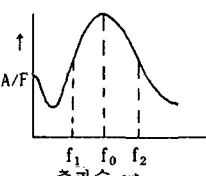
4. 자동차용 제진재료의 평가방법

제진재료의 성능은 손실계수(loss factor)로 판단하는데, 국내외에 많은 평가방법이 제안되어 있으나, 대표적인 평가방법으로는 편지지법, 2점지지법, 기계 impedance법 등이 있다. 주로 강판에 제진재료를 부착한 상태에서 제진성능을 평가하는 방안으로 자동차 업계에서 많이 사용하는 방법은 편지지법 및 기계 impedance법 등이 있다. 그 상세한 평가방법 및 특징을 표8에 나타내었다.

표 7. 차체 Side 및 Roof Panel에 사용되는 제진재료

구 분	재 료	기 능	주 원 료	
차체 side부	quarter panel door panel	1) 강성 보강 pad 2) 발포 type 강성 보강 pad	-panel의 강성 보강으로 내 dent성 확보 -stiffness에 의한 제진 성능 부여	-epoxy -epoxy + pvc -asphalt
		1) magnetic asphalt sheet	-점탄성 재료에 magnet 부여 -panel의 내 dent성 유지	-합성고무 -점착부여제
	wheel housing부	1) 감압형 asphalt sheet	-점탄성 sheet에 접착제 도포 -sand noise 저감 -panel의 제진	-asphalt -접착제
차체 roof panel	1) 강성 보강 pad	-panel의 강성 보강 -외부충격 및 폭우, 폭설에 대한 내 dent성 유지	-epoxy -epoxy + pvc	
	1) magnetic asphalt sheet	-점탄성 재료에 magnet 부여 -panel의 내 dent성 유지	-asphalt -magnet	

표 8. 손실계수의 평가방법

평가 방법	손 실 계 수 의 산 출 법	특 징
<p>편지지법</p>  <p>受振 ← 加振 →</p> <p>sample</p>	 <p>$\eta = \frac{f_2 - f_1}{f_0}$</p> <p>; f_0: 중심주파수 f_1, f_2: 반치폭의 주파수 A: 가속도, 속도, 변위 등의 피측정물 응답</p>	<p>-加振, 受振: 비접촉 방식</p> <p>-손실계수의 정확한 측정이 가능</p> <p>-측정장치가 간단</p> <p>-단일 시험편에서 넓은 온도, 주파수 범위의 평가가 가능</p> <p>-특히, 재료의 흡수에너지 외에 에너지 손실이 적고 손실계수가 적은 재료의 측정에 적합</p>
<p>2점지지법</p>  <p>加 ↑ 受 ↓ 振 振</p> <p>sample</p>	 <p>$\eta = \frac{\delta}{\pi} = \frac{1}{\pi} \ln \frac{f_N}{f_{n+1}}$</p> <p>; f_N, f_{n+1}: n, n+1차의 진동모드 대수감쇄율 A: 가속도, 속도, 변위 등의 피측정물 응답</p>	<p>-측정의 재현성이 우수</p> <p>-평가 준비가 번잡하고 주파수 변경에 따른 측정 시간이 많이 소요</p> <p>-어떤 진동모드에서도 에너지 손실이 발생하며, 특히 저손실 계수의 측정에 주의</p>
<p>기계 Impedance법</p>  <p>加振 →</p> <p>가진기</p>	 <p>$\eta = \frac{f_2 - f_1}{f_0}$</p>	<p>-가진력(F)과 그의 주파수응답을 기계 Impedance transducer에서 측정하여 A/F의 공진곡선의 반치폭(half-power)에서 손실계수를 구한다.</p> <p>-감쇄가 큰 재료의 손실계수 측정이 가능</p> <p>-온도 및 주파수 변화에 따른 측정이 용이</p> <p>-고정점을 진동시키는 고정점 가진력(F)의 측정감도에 주의(시험편 고정점에서 에너지 손실이 큼)</p>

5. 최적 제진재료 적용기술 및 향후 기술 동향

자동차용 제진재는 제진성능과 경제성, 중량 및 장착 작업성이 중요한 요소로서 그러한 것을 고려할 때 asphalt base의 제진체가 지속적으로 사용될 것으로 예상 된다. 그러나 자동차의 경량화와 저소음화 기구에 따라서 제진재 자체의 경량화 및 고성능화를 위한 소재의 개발이 향후 지속적으로 요구 될 것이다. 즉, asphalt에 polymer, 충전제 등 각종 배합제의 blend에 의한 신규 고기능 제진재의 개발이 있는데, 그 예

로 발포 asphalt pad, epoxy수지 변성 고강성 asphalt pad의 적용이 예상되고 일부 적용중에 있다. 또 상기 주요 요소들을 만족시키기 위한 고분자 재료의 modify 및 이종재료의 복층화에 향후 기술적 노력을 해야하는 분야이다. 즉 최대의 목적인 제진성능을 극대화(최대의 damping)하면서 최고의 강성을 갖는 상식 이외의 polymer alloy blend, 신규 copolymer의 개발이 요구된다. 또한 수초 이내에 이루어지는 작업 line에서의 작업이 가능토록 하는 방안과 자동화 부착에 적절히 대응하는 소재 또는 부품의 개발도 예상된다.