



## 자동차용 소리, 진동 차단성 소재기술

김기석 · 최경은\* · 류정석\*\* · 권영민\*\*\* · 강창기\*\*\*\* · 윤우원\*\*\*\* · 박수진†

인하대 화학과, \*전주교대 실습교육과, \*\*한국동서발전, \*\*\*㈜지오네트, \*\*\*\*㈜화승R&A  
접수일(2011년 1월 10일), 수정일(2011년 1월 20일), 게재확정일(2011년 1월 27일)

### Materials Technology for Car Sound and Vibration Barriers

Ki-Seok Kim, Kyeong-Eun Choi\*, Jeong-Seok Ryu\*\*, Young-Min Kweon\*\*\*

Chang-Gi Kang\*\*\*\*, Woo-Won Youn\*\*\*\*, and Soo-Jin Park†

Department of Chemistry, Inha University, Incheon 402-751, Korea

\*Dept. of Practical Arts Education, Jeonju National University of Education,

Wansan-gu, Jeonju 560-757, Korea

\*\*Engineering Development Team, Construction Department, Korea East-West Power,

Yeongdongdaero, Gangnam-gu, Seoul 135-791, Korea

\*\*\*Xeonet Co., 804 Ssangyong IT Tower, Sangdaewon-dong, Seongnam, Gyeonggi-do 462-723, Korea

\*\*\*\*R&D Team, R&D Center, HWASEUNG R&A, 147-1, Gyo-dong, Yangsan, Gyeongnam, 626-210, Korea

(Received January 10, 2011, Revised January 20, 2011, Accepted January 27, 2011)

**요약** : 최근 자동차 산업의 발전과 더불어 수요자의 요구가 다양화, 고급화됨에 따라 차량의 흡/차음에 대한 관심이 크게 증가하고 있다. 일반적으로 차내의 소음과 진동을 줄일 수 있도록 하기 위하여 섬유재료(펠트, 유리섬유), 폴리우레탄 foam, PET 섬유재료 등과 같은 소음진동 흡수재료를 사용되고 있다. 이러한 소음·진동을 위한 흡/차음재료들은 자동차에 장착되어 다양한 부분에서 발생하는 소음 및 진동을 차단하여 쾌적한 승차감을 주는 주요한 부품으로 자리 잡고 있다. 또한, 차량의 소음·진동 제거를 위한 자동차용 흡/차음재료의 요구는 최근들어 더욱 높아지고 있으며 소음·진동 저감 이외에 연비개선을 위한 경량화, 비용절감 등도 함께 고려되고 있다. 따라서 본고에서는 자동차 내장 흡/차음재료의 필요성과 더불어 관련기술에 대하여 중심으로 살펴보도록 하겠다.

**ABSTRACT** : Recently, with developments in the automotive industry, sound and vibration damping have a considerable attraction with a diversified customer needs and advanced automobile. In general, among various materials, textile materials, such as felt and glass fibers, polyurethane foam, and PET fiber materials were used to reduce sound and vibration of the automobile. These materials were located in various main parts of the automobile to block sound and vibration, resulting in a comfortable ride. In addition, to improve fuel economy, weight reduction and cost saving for the automobile were also being considered together as well as the reduction of sound and vibration of the automobile. Therefore, in this paper, we focused on the need of interior sound and vibration absorption materials in the automobile and absorption materials-related technologies.

**Keywords** : automobile, comfortable ride, sound and vibration damping, absorption materials

### I. 서 론

자동차에 있어서 차량의 흡/차음재 역할은 자동차 산업의 발전과 더불어 수요자의 요구가 다양화, 고급화됨에 따라 자동차의 성능 중에 가장 큰 현안으로 대두되고 있는 문제 중 하나이다. 즉, 차내의 안락감이나 쾌적, 정숙성 확보를 위해서는 엔진소음, 타이어 소음, 거리소음 등 차내외에서 발생하는 다양한 소음을 감소시킬 필요가 있다.<sup>1,2</sup>

이러한 차내의 소음을 줄일 수 있도록 하기 위하여 완성차

업체는 물론 부품 및 원료소재 업체들이 다양한 제품을 개발 중에 있으며 특히, 부품업체들은 섬유재료(펠트, 유리섬유), 폴리우레탄 foam,<sup>3</sup> poly(ethylene terephthalate)(PET) 섬유재료 등과 같은 소음 흡수재료를 사용하여 차체 안쪽을 도포하거나 sheet, film상의 재질을 삽입하는 방식을 이용하고 있다.

또한, 소음 흡/차음재료들은 자동차의 차체 전 부분에 장착 되어 엔진 및 타이어 등에서 발생하는 소음 및 진동을 차단하여 쾌적한 승차감을 주는 주요한 부품으로 자리 잡고 있으며 자동차의 등급 또는 배기량에 따라 적용수지가 다르며 고급차일수록 사용부위 및 사용량이 많은 것이 일반적이다.

이처럼 차량의 소음 제거를 위한 자동차용 흡/차음재료의

† 대표저자 E-mail: sjpark@inah.ac.kr

중요성은 최근 들어 더욱 높아지고 있으며 소음저감 이외에 연비개선을 위한 경량화, 비용절감 등과 더불어 리사이클링 문제도 함께 고려되고 있다.

## II. 흡/차음재 개요

흡음재 및 차음재에 있어서, 흡음재는 표면에 입사되는 음향 에너지를 흡수하여 열에너지로 변환시켜 소음을 저감하게 된다. 또한 차음재는 입사되는 음향에너지를 흡수 및 반사시켜 차음재가 접하고 있는 매체의 음향 에너지가 최대한 적게 전달되게 하여 소음을 저감시키는 역할을 한다. 이러한 흡/차음재는 소음원이 있는 실내의 소음 저감재료와 벽, 바닥, 천장 등의 건축부위, 차량 및 기계류 등의 방음 재료로 주로 사용되며, 소음기 및 구조물의 내장 재료와 기타 소음 저감을 위해 사용되는 재료 등에 쓰이게 된다.

자동차에 있어서 소음의 원인은 엔진의 각 부, 타이어나 노면의 마찰, 주행시의 공기저항 등 복합적인 요인으로 발생되고 있다. 이러한 소음원은 가속 또는 감속 주행과 더불어 복잡한 형태의 소음이 발생되어 최종적으로 차실 내부 공간을 둘러싸고 있는 철판 구조물을 통해 승객의 신체에 전달된다.

소음을 막기 위한 방법으로는 크게 능동적인 방법과 수동적 방법이 있다. 능동적 방법으로는 소음원의 출력 자체를 감소시키고 그 전달을 적절히 차단시키고 매개된 구조물의 동특성을 변경시키고 소음원에 관계된 구조의 형태를 바꾸거나 내부 공간의 형태를 변경시키는 방법이다. 한편, 수동적인 방법은 방음 재료를 사용하여 이미 발생한 소음이 수용자에게 전달되지 못하도록 하는 것이다.

소음 제어 기술 중 수동적인 방법인 방음재료의 사용은 가격의 저감, 경량화의 측면에서 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 차음재는 차체 바닥과 도어, 트렁크, 엔진룸 등에 사용되며, 그 자체의 기능뿐만 아니라 값이 싸면서 경량화 효과를 가지는 재료 개발이 실용화되고 있다. 일반적으로 사용되는 차음재료로는 균질 재료, 발포 재료들이 사용되고, 흡음 재료로는 유리섬유, 발포재료, 발포 충전제 등이 사용된다.

### 1. 자동차 소음

차량의 소음은 엔진의 각 부, 타이어나 노면의 마찰, 주행시의 공기저항 등에 의해 발생되며 이러한 소음의 종류는 다시 공기를 매질로 하는 공기 기인 노이즈(Air borne noise)와 구조물을 매질로 하는 구조 기인 노이즈(Structure borne noise)로 나누어 실내로 유입된다.<sup>4</sup>

1) 공기 기인 노이즈: 주로 운전석 및 차체 전방에서 발생하며 각종 소음원으로부터 공기전달로 인해 직접 차내로 유입되는 소음.

(예: 엔진 투과음, 윈드 노이즈, 타이어 노이즈, 기어 노이즈,

브레이크 노이즈)

2) 구조 기인 노이즈: 차량을 구성하고 있는 각종 구조물의 진동에 의해 발생하는 소음.

(예: 로드 노이즈, harshness, 구동계 또는 차체에 의한 노이즈)

자동차 소음의 발생의 구체적인 원인으로는 크게 엔진, 흡/배기, 경음기, 문 여닫는 소리, 주행 소음 등으로 나눌 수 있다. 엔진 노이즈는 엔진의 왕복 운동에 의해 구동되므로 주기적인 충격이 있으며, 이로 인한 엔진의 측면으로부터 소음을 발생시킨다. 흡/배기 노이즈는 엔진의 구동에 필요한 공기 및 가스를 주기적으로 흡입 및 배출하는 과정에서 소음이 발생하며 그로 인하여 소음기를 설치하고 있다.

타이어 소음은 타이어의 패턴과 도로면의 마찰로 인한 노이즈가 발생하며, 도로면의 상태에 따라 노이즈의 레벨이 달라지게 되는데 타이어의 소음은 고속 주행시 문제가 되며, 70 Km/h 이상이 되면 문제가 커진다. 그밖에 경음기나 냉각 팬, 벨트, 에어컨, 구동 축 등 부수적인 구성품에서도 소음이 발생된다. 또한 주행 소음은 도로 상태에 영향을 많이 받고 있으며, 주행속도가 높음에 따라 소음의 양도 커지게 된다.

## 2. 자동차 소음원의 특성

자동차 소음제어를 위해서는 각 소음원의 정보 및 소음전달 경로에 대한 정보도 필요하다. 대표적인 소음원으로 다음과 같은 엔진소음, 흡/배기계 소음, 구동계 소음, 그리고 도로 및 타이어 소음이 있다.

### 2.1 엔진 소음

엔진에 의해 발생하는 진동은 왕복 피스톤에 의해서 화학적 에너지를 회전 운동으로 변환시키는 작동원리에 의해 발생된다. 엔진 진동을 유발하는 힘은 연소력, 왕복력, 회전우력의 3가지로 나누어 볼 수 있다.

다수의 실린더를 가진 엔진은 여러개의 단일 실린더가 합쳐진 형태로 생각 할 수 있다. 각 요소들은 왕복 질량에 의해 불평형력을 갖게 되고 이에 따라 엔진 회전수에 관계된 1차의 성분과 모든 고조파 성분이 유발된다.

폭발적인 연소과정에서 유발된 주기적 변형에 따른 엔진 구조의 과도 진동과 밸브의 충격, 피스톤과 실린더의 충돌 등에 의한 기계적 소음이 발생한다. 이러한 소음 성분들은 엔진 구조 자체에 의해 대부분의 에너지가 소실된다. 이외에도 발전기, 파워 스티어링 펌프, 오일 펌프, 압축기, 냉각용 송풍기 등의 엔진 보조기류 등도 마운팅이나 평형이 적절치 않을 때에는 순음성분의 소음을 발생시킨다.

### 2.2 흡, 배기계 소음

흡기소음은 공기의 유동에 기인한 와류소음과 피스톤 및

벨브류의 충격들이 흡기관을 타고 외부로 방사되는 전달소음으로 구분된다. 와류소음은 가속과 비례하여 커지며 모든 대역의 주파수를 포함하는 백색소음(White noise)의 형태를 가지고 있다. 전달 소음은 조화성분으로 이루어지므로 특정한 주파수로 주위의 매질을 가진다. 특히 급가속시 피스톤 내의 압축가스 압력이 커지게 되므로 폭발음과 벨브개폐의 충격음이 자체만으로도 매우 커지게 된다.

팽창 과정 중 배기벨브가 열리고 고압의 가스가 관으로 이루어진 배기계로 배출되면서 배기계 구조와 관 출구를 통해 소음이 방사된다. 이때 가장 주된 소음 성분은 엔진 회전수 성분이나 관의 길이에 의한 공명에 따라 때로는 고조파 성분도 상당한 크기일 경우도 있다.

### 2.3 구동계 소음

엔진의 파워가 자동차를 구동시키는 바퀴로 전달되는 과정에서 구동계의 주된 소음이 발생한다. 전륜 구동형과 후륜 구동형은 많은 부분에서 다른 현상을 갖게 되는데 예를 들면 후륜 구동 차량은 추진축(Propeller shaft)과 후륜축의 진동 문제가 전륜 구동형보다 추가적으로 나타날 수 있다.

트랜스미션 기어에 의한 소음 생성은 각 기어의 굽힘 진동뿐만 아니라 기어 축의 굽힘 및 비틀림 진동과도 연관된다. 기어 소음은 기어의 종류와 가공 정밀도, 조립정도에 따라라도 차

이가 있으며 기어 케이싱 구조에 따라서도 다르게 나타난다.

차축의 소음은 대개 차동기어의 이빨이 맞물리는 운동에 따라 기어소음으로 나타나거나 이에 따른 가진에 의해 차축이 공진할 때 발생된다. 이 소음은 협대역의 주파수 특성을 가지고 있어 아주 작은 레벨이어도 수음자에게 큰 영향을 미친다. 후륜 구동의 경우는 차축의 질량과 강성을 조절하여 공진 주파수를 평상 작동 범위 이상으로 올리거나 컨트롤 암 부시의 강성을 작게 하거나 축에 감쇠기를 장착하여 차축 소음을 줄이는 방법들이 유효하다.

### 2.4 도로 및 타이어 소음

타이어 소음은 타이어 제조과정 및 마모에 의해 발생하는 불평형, 공차, 반경 방향 힘의 비균질성 등에 의한 가진과 노면의 비균질성 및 노면의 거칠기에 따른 가진 등에 의해 타이어가 진동하게 된다. 타이어 고유 모드에 따른 진동으로 일부는 자체 표면에서 소음으로 방사되고 대부분은 현가계의 기계적 결합을 통하여 차체로 전달되며 차체 패널의 진동에 따라 내부 소음이 유발된다.

타이어 소음은 200 Hz부터 3 kHz 사이에 주로 분포되어 있어 인간에 민감하게 작용한다. 타이어에서 발생하는 소음은 첫째, 에어펌핑(Air pumping), 타이어가 지면과 접지하는 부분인 트레드가 일정한 패턴을 갖고 있고, 이 부분이 노면과

**Table 1. Basic Characteristics of Car Noise**

Phenomenon	Frequency	Main vibration sources
Beat noise	40~200 Hz	Harmonics at engine explosion cycle Close of harmonics at engine explosion cycle and tire rotating cycle
Booming noise	Slow 30~60 Hz (~50 kph)	Engine torque fluctuations
	Medium 60~100 Hz (50~80 kph)	Engine torque fluctuations Transmission of ingressive sound
	Fast 100~200 Hz (80 kph)	Engine torque fluctuations Transmission of ingressive sound Tire imbalance
Road noise	30~60 Hz	Road bumpy Rough paved road
Harshness	200 Hz~10 kHz	Vibration of the friction brake pads and discs
Gear noise	300~1500 Hz	Gear adnation sound
Engine transmission sound	300~500 Hz	Engine vibration Engine mechanical sound/ combustion noise Suction/exhaust sound
Tire noise	100~1000 Hz	Tire pattern Tire vibration
Wind noise	800 Hz~5 kHz	Air Turbulence of car body Interior input-sound form various gaps
Various noise	300~1500 Hz	Various parts of the mounting bad Injection fail of grease on rotating part

접지될 때 트레그 홈 사이의 공기체적이 급격히 외부로 방출되면서 발생하는 압축 팽창음으로 약 800 Hz~2.5 kHz의 주파수 분포를 갖는다.

둘째, 피치 노이즈(Pitch noise), 원주 방향으로 배열된 타이어의 패턴 홈들이 노면과 충돌하며 발생하는 충격음으로 이때 발생하는 음향 파워는 타이어의 재료물성, 패턴의 모양, 노면의 형상 및 지반구조에 의하여 결정된다.

셋째, 진동음, 자동차가 주행하고 있을 때에는 대개 타이어의 트레드부가 충격적으로 노면에 부딪히게 되고 이 충격력에 의해 타이어의 측면이 진동하여 음을 방사하게 된다.

자동차의 소음을 제어하기 위해서는 상기와 같이 각 소음원에 대한 정보뿐만 아니라, 소음 전달 경로에 대한 정보도 필요하다. 주된 소음원은 엔진 소음, 흡배기계 소음, 구동계 소음, 도로 및 타이어 소음 등 4가지 정도로 나눌 수 있으나 이것 이외에도 기타 승용차의 소음원과 그에 따른 주파수별 소음특성이 나타나는데 하기의 표 1에 나타내었다.

### 3. 자동차 방음 원리

#### 3.1 공기 기인 소음 억제

엔진, 흡배기계 등과 같은 소음원에서의 소음을 근본적으로 저감하는 방법과 엔진 부위나 Floor, Roof 등에 각종 흡음재를 사용하여 소음을 저감하는 방법 등이 있다. 흡음재를 적용하는 경우 재료표면에 입사하는 소리에너지 일부를 흡음재 내부로 흡수하여 반사소음을 감소시킴으로써 소음을 억제하는 방법으로 입사음중에 반사되지 않고 재료속으로 흡수되는 에너지의 비를 흡음률 ( $\alpha$ )이라 하며 그림 1과 같이 표시할 수 있다.

일반적으로  $\alpha$ 는 0에서 1사이의 값이며 수치가 높을수록 흡음성이 우수하며 주파수 변화와 설치방법에 따라 차이가 있다. 주로 semi rigid foam과 slabstock foam이 우수한 air borne noise 흡수품으로 사용되어 왔다.

#### 3.2 구조 기인 소음 억제

댐핑 재료를 사용하여 진동원으로부터 진동전달을 억제하는 방법으로 높은 댐핑 상수를 갖게 하여 주로 엔진이나 차체의 진동에 의한 소음을 억제하는 방법이다.

$$\eta = (f_2 - f_1) / f(x)$$

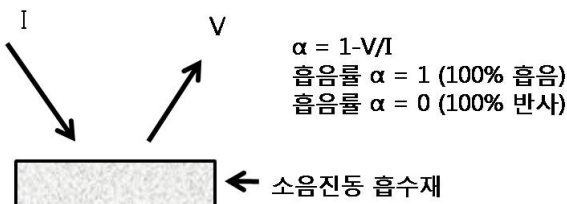


Figure 1. Expression method of sound absorption coefficients.

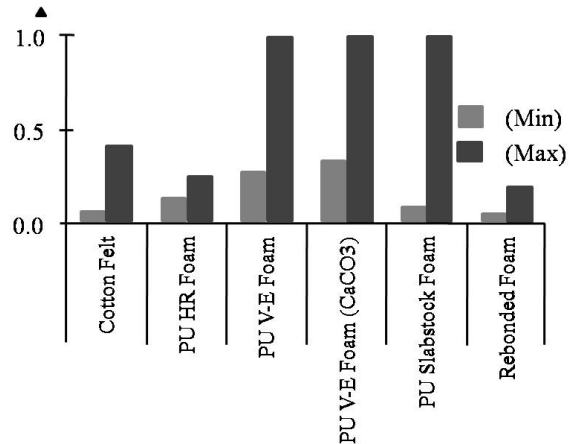


Figure 2. Vibration damping constant of various materials.

( $\eta$ =Vibration damping coefficient,  $f(x)$  = 최대진동수일때 주파수,  $f_1, f_2$  =최대보다 3dB 아래에 있는 peak의 주파수)

상기 공식은 진동 댐핑 상수를 구하는 공식이며 일반적으로  $\eta$  수치가 클수록 진동 댐핑 효과가 크며 폼의 두께나 밀도는 크게 영향을 주지 못한다.

그림 2는 물질에 따른 진동 댐핑 상수를 나타낸다. 주로 Cotton Felt나 Viscoelastic PU품이 structural borne noise를 방지하는데 사용되며, cost down 목적이외에 damping 성능을 향상시키기 위하여 일정량의 CaCO<sub>3</sub>나 BaSO<sub>4</sub>와 같은 무기충진제를 resin premix에 첨가하여 사용하기도 한다.

### 4. 흡/차음 재료

자동차의 방음재료는 재활용성과 경량화의 관점으로 흡음재료의 개발이 활발히 연구되고 있다. 특히 최근에는 흡음의 단순한 단일 기능뿐만 아니라 값이 저렴하면서도 경량화 효과가 큰 흡음재, 차음재의 복합 기능을 병행한 재료개발이 실용화 되고 있다.

흡음재는 판진동형, 공명형, 다공형으로 분류된다. 일반적으로 특정 주파수 대역의 흡음에는 판진동형과 공명형이 사용되며, 전 주파수 대역에서의 흡음은 다공형이 이용되는데 이들 3가지 모형은 독립으로 또는, 복합 형태로 사용되고 있다. 자동차에 사용되는 흡음재는 다공형 흡음재가 많이 사용되고 있으나 다공형 흡음재는 고주파수 영역의 소음을 주로 흡수하는 성질을 가지고 있으며, 저주파수 및 중주파수 대역의 흡음효과를 나타내기 위해서는 두께가 두꺼워져 중량의 증가가 생긴다는 단점이 있다.

흡음재료로는 섬유재료(펠트, 유리섬유), 발포 재료(Urethane, PE, Melamine), 폴리에스테르 섬유재, 폴리프로필렌 섬유재, 발포 충전제(에폭시, 우레탄)가 많이 사용되며,<sup>5</sup> 다공성 및 섬유상 소재의 흡음재료 구조를 그림 3에 나타내었다. 이러한

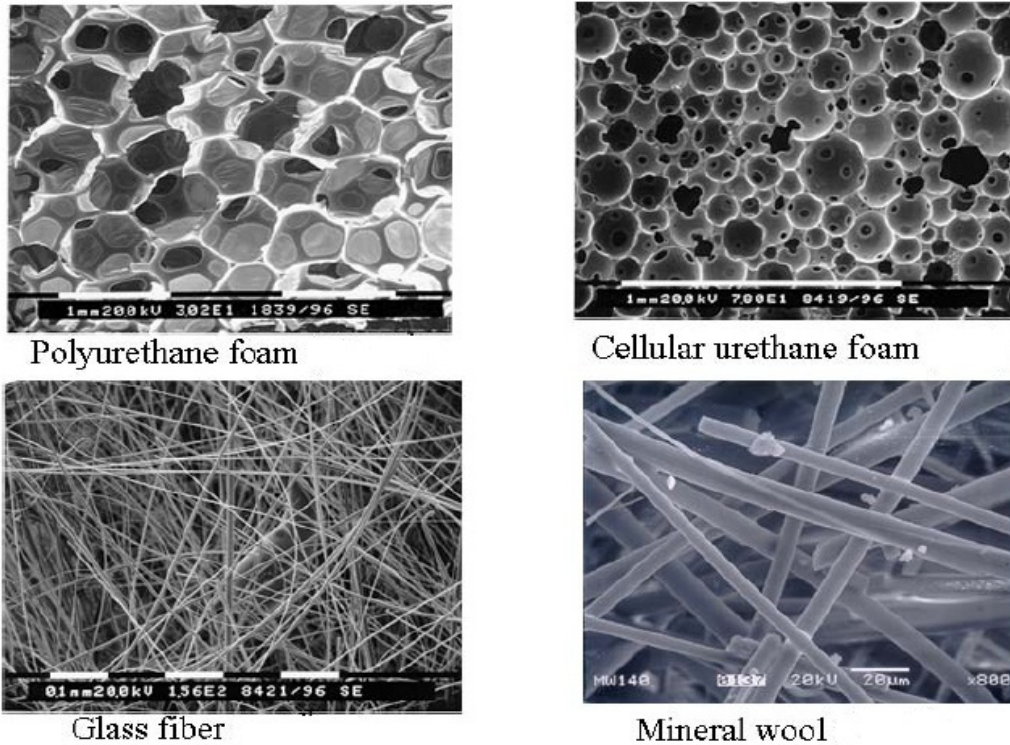


Figure 3. Images of porous and fibrous materials for sound absorption.

Table 2. Application Areas and Demand Performances of Sound Damping Materials

Application areas	Demand performance
Dash	Engine transmission sound
Floor	Engine transmission sound, vibration radiated sound, road noise
Roof	Automobile input-sound, engine reflection tone
Foil House	Tire transmission sound
Pillar	Transmission sound, air stream tone, sympathetic sound
Dash Side	Transmission sound
Coat Panel	Road noise

방음재료를 이용하여 소음저감 현상을 적용 부위별로 나타내면 다음 표 2와 같다.

흡음재료로 사용되는 유리섬유는 내열성이 우수하여 주로 Hood Silence와 Engine Undercover용으로 사용되고 있으나 인체에 유해한 성분으로 인해 대체 재료의 연구가 진행되고 있으며 그 중 하나가 PET 섬유이다. PET 섬유는 재활용과 경량화가 용이하며 섬유의 부직포로 제조하면 섬유간 미세 기공이 형성되어 소음의 감쇠 효과를 거둘 수 있다.

차음재나 흡음재의 경우 상술한 structural borne noise에는

큰 효과가 없으나 air borne noise는 대부분 500 Hz 이상의 비교적 높은 주파수 성분으로 이루어져 있기 때문에 사람의 귀에 거슬릴 뿐만 아니라 차량 실내소음의 음질을 결정하는 중요한 요소가 되며 차량의 실내로 유입되는 air borne noise(공기전파소음)를 저감시키기 위하여 각종 차음재가 효과적으로 사용되고 있다.

그러나 차량에 사용되는 차음재의 중량은 소음저감 효과와 밀접한 관계가 있지만 차량의 전체중량 및 비용의 절감 측면에서는 서로 상충되는 요소가 된다. 따라서 제한된 비용과 중량 내에서 최대의 효과를 얻기 위하여 차음성능의 최적화에 대한 연구가 많이 진행되고 있으며 이러한 흡/차음의 역할에 대한 비중이 높아짐에 따라 흡/차음재의 음향 특성에 대한 이론적인 연구와 성능평가를 위한 측정기법에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다.

### III. 자동차용 방진재

최근 자동차의 기술의 발전은 동력학적인 면과 차체의 외형 스타일 면에서 구매자 만족도가 매우 높은 수준까지 이르고 있다. 이는 자동차 산업의 육성과 더불어 기술축적이 꾸준히 이루어져 왔음을 알 수 있게 하는 것이며, 자동차 부품에 신소재의 적용으로 차량성능이 향상되고 있다는 것을 나타낸다. 그러나, 자동차의 실내 안락성과 내부 소음에서 오는 불쾌감



및 모든 진동 요소의 개선이 동력 성능의 개선에 비하여 그 기술 축적이 매우 부진한 실정이며 이러한 점을 고려하여, 차체 진동 저감을 위한 방진재에 대한 연구가 필요한 과제로 대두되고 있는 실정이다.

실제로 1970년대 중반 이후부터 자동차의 진동을 해결하기 위한 분야에 관련된 논문, 특허 등의 기술문헌에는 차내의 진동의 저감을 위한 차체 구조의 변경에 대한 보고와 진동 방지를 위한 방진 시스템의 기술이 이미 개시되기 시작하였다. 이러한 방진 시스템의 기술은 현재까지도 크게 변화를 보이지 않고 있으나 점진적으로 발전하고 있다. 그 이유에 대해서는 먼저 차량의 진동 저감을 위한 방법은 종래부터 기술화되어 있었지만 승용차의 상품성에 대한 진동의 관심이 높아짐에 따라 각 자동차 업체들에 축적된 노하우가 점차 생산되는 자동차의 사양에 적용되어 왔다는 점을 들 수 있다.

자동차의 진동 저감을 위한 방진고무(그림 4)가 공업적으로 채용되기 시작한 것은 제2차 세계대전 때 항공기용으로 진동 절연에 의한 금속의 피로 파괴 대책 목적이었으나 그 후 자동차 산업의 비약적인 발전으로 그 용도가 다양해지고 요구 성능이 고도화되면서 방진고무의 중요한 역할을 더 한번 인식하게 되었다.

방진고무란 “진동·충격의 전달 방지, 흡진 또는 완충 목적으로 사용되는 가황고무제품이라고 정의하고 있으며, 이것은 대부분이 금속과 고무의 접촉상태에서 사용된다. 현재 방진재료로 사용되는 기능을 구분하면, 진동을 방지하는 방법으로는 1) 가진원의 가진력을 작게 하는 것, 2) 가진원에서 진동을 절연하는 것, 3) 가진체의 진동을 제진하는 것으로 나눌 수 있다.<sup>6</sup>

최근에는 기술의 고정밀화, 고품질화의 요구로 방진기술은 종래의 수동적 기능(Passive type)에서 능동적 제어 기능(Active control type)으로 새로운 형태의 기술 발전이 진행되고 있다. 일반적으로 passive 방진재료를 사용한 진동저감 방법에는 진동절연, 제진, 동흡진 등이 이에 속하며, 또한 동흡진은 공진 피크를 억제할 목적으로 사용될 경우에는 제진으로 분류

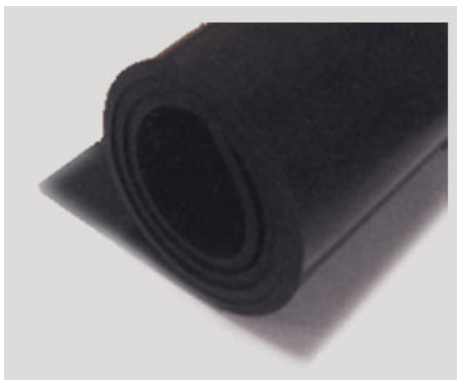


Figure 4. Carbon black-reinforced vibration damping rubber.

되기도 한다. 또한 이들의 방법에는 각각의 특징이 있어 저감하려고 하는 진동의 특성을 충분히 파악한 후에 적절한 방법을 선택할 필요가 있고, 경우에 따라서는 몇 가지 방법을 적절히 조합해서 종합적인 효과를 거양해야 할 때도 있다.

## 1. 방진재료

방진재료로는 자연계에서 존재하는 많은 물질이 사용될 수 있으나 그 효과와 기능으로 보아 예로부터 금속, 공기, 고분자 재료를 사용해 왔다.<sup>7</sup>

### 1.1 금속

오래전부터 가장 많이 사용되어 온 것으로 코일과 스프링으로 자동차의 suspension이나 차량의 현가장치 등에 많이 사용하고 있으나 금속은 그 성질상 재료 자체의 질량이 크기 때문에 외부에서 진동이 주어지면 spring 자체의 고유진동수가 나타나다. 따라서 금속 spring은 고주파수 영역에서는 좋은 재료로 볼 수 없지만 저주파수 영역에서는 방진효과가 기대되는 재료이다. 다만 금속은 내부마찰저항이 작기 때문에 공진하면 진폭이 무한히 커지는 단점을 가지고 있어 점성기구인 oil damper를 이용하여 공진 진폭을 억제하고 있다.

### 1.2 공기

공기도 사용 방법에 따라 방진에 도움이 되나 그 자체만으로는 사용할 수 없고 용기가 있어야 한다. 그 용기를 고무로 만든 것이 air spring이며 이것은 가장 우수한 절연 주파수 영역 범위를 가지고 있어 공기 압력을 변화시켜 spring 정수를 다르게 할 수 있을 뿐 아니라 spring의 높이도 조정가능하나, 장치 비용이 비싸다는 단점이 있다.

### 1.3 고무

고무는 여러 산업분야에서 방진, 내진, 충격 흡수 및 완충 재료로 널리 사용되고 있는 재료로서, 금속과 달리 고무 자체가 내부 마찰에 의한 점탄성 특성으로 인하여 외부에너지를 소산시킬 수 있는 특성을 가지고 있고 그 특징을 금속과 비교하면, 다음과 같이 5가지로 분류할 수 있다.

- 3방향의 spring 정수를 가진다.

가황고무의 탄성 변형은 매우 크고 가역적이며, 탄성율은 금속에 비해 아주 작다. 또한 형상 자유도가 높아 형상, 치수를 적당히 선정하면 상하, 좌우, 전후 3방향의 spring 정수를 어느 정도 자유롭게 설정 가능하다는 특징이 있으며, 또한 고무는 금속과 쉽게 견고하게 접촉되어 인장, 압축, 전단 등 어느 방향으로도 변화시킬 수 있어 방진고무 그 자체를 소형, 경량화할 수 있고 지지방법도 간단하다. 이 때문에 부착위치의 공작 오차를 쉽게 흡수할 수 있는 실용상 이점도 있다.

- 비 압축성의 물질로서, 응력과 변형간에는 시간적인 지연

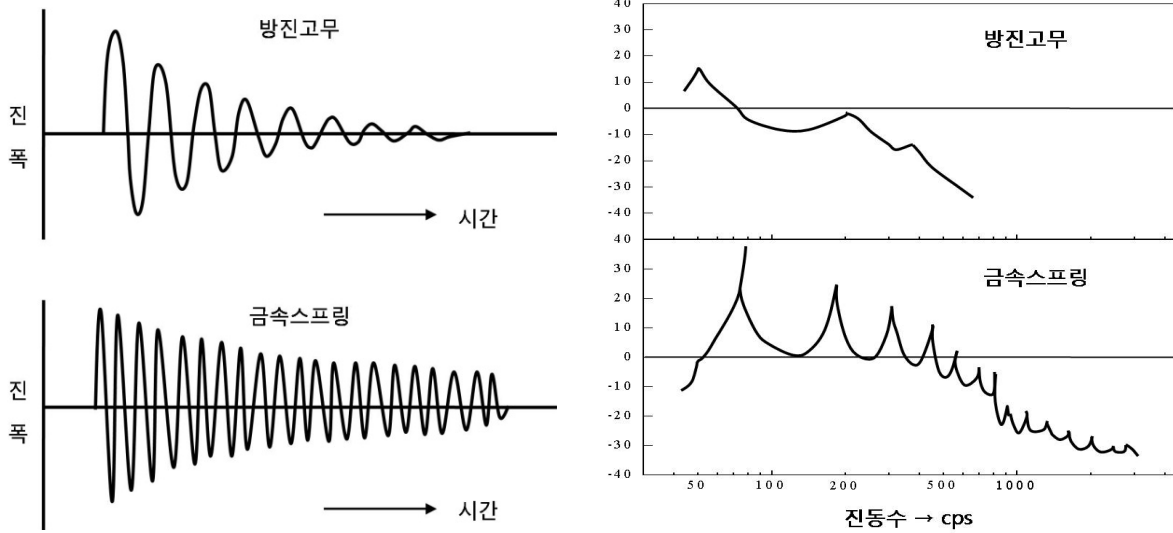


Figure 5. Comparison of vibration reducing and surging performance of metal spring and vibration damping rubber.

현상이 있어 비선형적인 성질로 방진재료, 제진 재료로서 효과가 뛰어나다.

- 배합 또는 polymer에 따라 고무 spring 정수, 감쇄계수를 어느 정도 선택할 수 있으며, 형상을 일정하게 하고 spring 정수를 변형시키거나 spring 정수를 일정하게 유지하면서 형상을 쉽게 바꿀 수 있는 이점이 있다.

- 감쇄(내부마찰)

그림 5는 금속 스프링과 방진고무의 진동 감쇠성능과 surging을 비교하여 나타낸 결과이다. 일반적으로 가황고무의 내부마찰은 금속 spring에 비해 1,000배 이상 크다. 금속 spring에서는 공진시의 진폭감소나 충격에 따른 자유감쇄진동의 조기 정지를 위해서는 spring에 감쇄기능을 추가로 가져야 한다. 이 때문에 금속 spring에서는 금속판을 몇장 겹치거나 coil spring과 oil damper를 이용하여 해결하고 있으나 저주파수 진동 영역에서만 효과가 있다. 이에 대하여 고무의 감쇄는 내부마찰에 의한 것으로 고무분자 상호간, 고무분자와 충전제간의 상호작용

에 의한 것으로 특히 고주파수 진동에서도 절연 효과가 매우 크다.

- 내고온, 내저온 성능

유기화합물인 방진고무가 금속 spring에 비하여 떨어지는 점은 고온(통상 70℃ 이상), 저온(-30℃이하)에서의 특성변화가 크다는 것이다. 그러므로 내열, 내후, 내한, 내오일 등에 대한 특성이 요구되는 곳에서는 사용의 제한을 받으나 최근에는 특수 기능의 합성고무, 약품의 개발로 그 사용범위를 점점 확대하고 있다.

## 2. 자동차용 방진고무

자동차용 방진 고무는 진동, 소음을 제어하는 역할뿐만 아니라 조종 안정성 등 자동차의 운동 성능에도 영향을 미치는 것으로 자동차의 FF화에 따라 그 중요성이 더욱 증대되고 있다. 진동 관련부품으로 대별하면 1) mount류, 2) bush류, 3)

Table 3. Basic Demanded Characteristics of Vibration Damping Rubber for Car

Item	ENG MTG	Strut Mount	Suspension Bush	Bumper Stoper	Center Bearing Support	Torsional Damper
Feature of spring						
Static	○	○	○	○	○	-
Dynamic	○	○	○	-	○	○
Fatigue resistance	○	○	○	○	○	○
Heat resistance	○	-	-	-	-	○
Contortion resistance	○	○	○	○	○	- (*)
Low temperature resistance	○	-	-	-	○	-
Ozone resistance	-	-	-	-	○	-
Metal adhesion	○	○ (*)	○ (*)	-	○ (*)	○ (*)

bumper류, 4) damper류, 5) 구동계류 등 5가지로 구분할 수 있다.

방진고무만으로 보면 spring 정수가 일정하고 사용 조건에 따라 특성변화가 없고 오랫동안 그 특성이 유지되는 것이 바람직하다. 또한, 사용 환경으로는 온도, 기름, 오존, 일광 등을 고려해야하며,<sup>8,9</sup> 자동차용 방진고무의 기본적 요구특성을 표 3에 나타내었다.

최근에는 외력에 대해 보다 이상적인 진동절연 특성을 갖도록 하기 위하여 active에 동특성을 조절할 목적으로 전기적 점성유체를 이용한 engine mount도 실용화 되고 있다. 전기 점성유체를 전장내에 두면 전장의 강약에 따라 점성이 변하는 성질을 이용한 것으로 이 반응은 가역적인 것으로 반응시간이 극히 짧아 현재까지의 기계적 제어 방식과 달리 그 응답성이 좋으며, 많은 분야에 이용될 가능성이 있는 방진 시스템이다.

또 사용되는 재료는 동적 특성, 신뢰성에서 NR, BR, SBR 등 이른바 디엔계 고무가 많이 사용되고, 이들 고무가 소정의 탄성율을 얻기 위하여는 카본블랙 등으로 보강되고 있으나 카본블랙의 종류, 량에 따라 고무의 동적 특성이 크게 변하고, 혼합가공 조건, 성형 조건에 따라서도 변한다.<sup>10,11</sup>

### 3. 방진고무에 요구되는 기본 특성

#### 3.1 내구성

고무는 응력을 주거나 변형이 일어나지 않아도 환경(열, 오존, 기름 등)에 의하여 기능이 저하된다. 환경조건에 의해 허용 응력이나 허용 변위량이 변하게 된다.

#### 3.2 열의 영향

고무의 기능저하는 열에 의하여 촉진되므로 사용 가능온도에는 한계가 있고, 폭로시간, 고무 형상 등에 따라 다르며 그 개략 온도는 표 4와 같다.

#### 3.3 정적 변형의 영향

정적 변형에 의한 기능저하로는 처짐현상(영구변형)을 들 수 있다. 피지지체의 위치 변동에 의해 간섭, spring 특성의 변화 등 문제가 발생된다. 처짐 현상은 변형량, 온도 등에 지배되고, 그 크기는 경과시간의 대수값과 대략 비례관계가 있다.

Table 4. Using Limit Temperature of Various Rubbers

Polymer	Room temperature (°C)	Transient temperature (°C)
NR	60	100
SBR	70	110
CR	75	120
NBR	75	120
IIR	85	140
EPDM	120	150

#### 3.4 동적 변형의 영향

고무에 균열을 발생시키는 주 원인이며 변형을 최소로 할 필요가 있다. 변형율과 수명과의 관계는 고무재질에 따라 다르므로 재료의 선택에는 주의가 필요하다. 또한 형상적인 측면에서는 유한요소법에서 국부적인 해석도 가능하므로 변형을 작게 해서 내구수명을 연장할 수 있도록 고무형상을 설계할 수 있도록 되었으며 또 이 경우에는 초기압축을 가함으로 해서 피로수명이 향상될 수 있다.

#### 3.5 오존의 영향

오존의 작용에 의해서 인장의 직각방향으로 국부적인 균열이 발생한다. 이 균열은 대기중의 오존농도, 인장응력의 크기, 일광, 습도의 영향을 받는다. 그 방지 대책으로는 고무에 노화 방지제를 배합하거나 오존에 강한 polymer를 사용 또는 고무 표면에 약품을 피복하는 방법을 채택하고 있다.

#### 3.6 기름의 영향

기름이나 약품을 고무를 팽윤시켜 수명을 저하시키거나 고무와 금속의 접촉면에 침투해서 박리시킬 위험성이 있다. 그 방지 대책으로는 내유성 고무를 사용하거나 기름이 부착되지 않도록 하는 여러 방법을 선정해야 한다.

### 4. 방진 고무의 동적 특성

진동을 방지하기 위하여 사용하는 방진고무의 동적 성질은 1) 온도, 2) 압력진동수, 3) 진폭에 따라 탄성율, 감쇄율 등이 변하는 특성이 있다. 그러므로 방진고무의 동적 성질을 평가할 때는 반드시 3가지 요소에 대해서 동시에 실시해야 한다.

#### 4.1 온도 의존성

진동수, 진폭을 일정하게 하고 온도를 내려가면 어떤 온도 영역에 이르면 동적탄성율이 급격히 상승한다. 이 온도영역을 전이영역(Transition region)이라 하고 전이영역에서 손실계수는 최대치로 나타난다. 이 현상은 고무상태에서 유리 상태로의 전이로서 진동수가 높을수록 전이영역은 고온측으로 이동된다. 방진고무로서 적절한 온도 범위의 하한치온도는 이 전이영역으로 결정된다. 전이영역은 고분자의 선정으로 거의 결정되며, 방진고무의 온도범위 상한치는 산화에 의한 망목구조의 파단, 내용연수와 관련 결정된다. 또 실제 사용시는 계절에 따라 진동특성이 크게 달라질 수도 있기 때문에 사용에 충분한 주의가 필요하다.

#### 4.2 진동수 의존성

온도, 진폭이 일정한 상태로 진동수를 올려가면 어느 진동수 영역에서 동적탄성율이 급격하게 상승한다. 그리고 이 진동수 영역에서 손실계수가 최대치로 나타난다. 주파수를 올렸



을 때 그 특성은 온도를 낮추었을 때의 온도특성과 유사한 경향을 나타낸다. 이 전이영역은 실온에서는 가황고무에는 초음파 주파수 영역에서 나타난다. 200 Hz 이하의 낮은 가정 주파수 영역에서는 동적탄성율은 진동수에 거의 무관하고 손실탄성율도 진동수에 거의 무관하다.

#### 4.3 진폭의존성

방진고무용 고무배합은 대부분 카본블랙과 같은 보강재를 함유하고 있다. 카본블랙이 첨가된 가황고무의 동적성질은 변형진폭에 의해 변하고 특히 카본블랙의 배합량에 따라 크게 달라진다. 방진고무의 동적 spring 정수가 진폭과 함께 저하되는 현상은 방진고무에 있어서는 바람직한 것이 못 된다. 실용상 충분히 주의를 요하는 현상이다. 공통적인 경향으로 1) 순 고무배합에서는 동적탄성율, 손실탄성율과 함께 평탄성(선형), 2) 충전제 배합량과 더불어 동적탄성율이 진폭이 커짐에 따라 저하되고 손실 계수가 증가하고 손실탄성율의 최대치가 나타난다. 3) 미소진폭( $\alpha \rightarrow 0$ )에 있어서 손실계수는 충전제 배합량과 관계없이 거의 일정하다.

### IV. 흡음 및 방진 소재의 연구개발 동향

최근 자동차용 TPE(Thermoplastic Elastomer) 소재는 상온에서는 고무와 같은 탄성을 보이고 고온에서는 소성변형이 가능하여 플라스틱성질을 보이는 양면성을 가지고 있다. 따라서 고무와 플라스틱의 성질을 가지고 있어 기존 고무부품의 대체 소재로 각광을 받고 있다. 기존 고무부품은 가황공정에 따른 배합약품이 과다하게 들어가고 가황으로 인한 재활용이 용이하지 못하며 다양한 제품으로 성형이 쉽지 않은 단점을 가지고 있으나 TPE 신소재는 이러한 단점을 보강하여 새로운 기능을 부여하는 소재이다.<sup>12</sup>

기능성 고무소재의 개발동향에 있어서 최근의 고무제품은 고무탄성을 이용한 방음, 방진성능, 화학약품의 안정성, 내환경성 등의 성능향상에 역점을 두고 신소재를 개발하고 있다. 특히 발포 foam을 이용한 기능성 고무소재로서 EPDM이 각광을 받으면서 NITTO DENKO사에서는 Closed-Cell, Semi-Closed Cell, Open Cell을 특성에 맞게 조절하여 특성에 맞는 발포고무 foam을 제조하여 자동차부품에 적용하였다. 또한 고유의 발포기술을 확보하여 열안정성 및 화학약품의 안정성을 극대화시켜 door-mirror, tail lamp, door, air conditioner 등의 부품에 적용하고 있다.

또한 RBX사에서는 Closed-Cell을 이용한 press mold 방식으로 발포고무 foam을 개발하여 각종 흡/차음재로 이용하고 있으며, 소재로는 CR, EPDM, SBR, NBR, ECH, EVA, PE, PVC/NBR을 사용하여 개발한 제품들을 자동차뿐만 아니라 건축용 소재로도 사용하고 있다.

고분자 복합재료의 소재동향으로 독일의 ICT사는 유/무기

hybrid 복합재료인 LFT(Long glass Fiber Thermoplastic) 소재를 개발하여 프론트엔드모듈, 도어모듈, foot rest용 방음재 등으로 사용하고 있다. LFT는 기존의 단섬유강화 복합재료인 GMT에 비해 구조강도, 충격강도, 굴곡탄성률 등이 우수하여 최근에 주목 받고 있는 신소재이며, 자동차의 연비향상을 위한 경량복합재료로 LFT의 채용 가능성이 아주 높은 것으로 알려져 있다.

국외에서는 주로 흡음/차음/제진재의 전문업체에서 기술개발을 주도하여 나가고 있으며, UK, SA, Pelzer, HP-Chemie, Roth, Borgers, Kaliko, Stank, NTT 등 10여개 업체가 유럽, 미국, 일본의 우수 자동차 업체에 납품하고 있다. 이 중에서 특히 UK(Unikeller)사는 약 150종의 재료에 대한 database를 완성한 바 있으며, "TROP"라는 최적화 시뮬레이션 패키지 및 최근 일본의 Honda 사와 공동개발의 성과로서 "SOPACO"라는 내부 트림류의 최적화 기법을 완성하여, 최소한의 중량으로서, 최대한의 음향효과를 얻는 기술을 확보하였다. 이밖에 주로 BMW, Ppel, Ford, Fiat 등의 Europe 자동차 제작사 및 Nissan, Honda, Toyota 등 일본 자동차 제작사의 자체기술로 흡음/차음/제진에 의한 내부 소음의 최적화에 노력하고 있다.

향후 동향으로 차음재료의 경우 차체관벌에 알루미늄이나 플라스틱의 채용이 진전되어 간다면 차음성은 크게 저하되므로 최소중량으로 최대 차음효과를 낼 수 있는 차음재의 개발과 현재 사용되는 표피재, 팍킹재, 펠트, 우레탄 등의 중량배분의 최적화에 의한 경량화와 더불어 차외소음 대책용으로 중요한 흡음재의 지속적인 개발이 추진될 것으로 예상된다.

현재 국내에서는 몇몇 중소기업에 의해 흡음/차음/제진재가 생산되고 있으며, 이들 기업들은 자본의 영세성과 기술인력의 부족으로 인하여 대부분 대기업인 자동차 제작사들이 정해진 요청 사양에 따라, 또는 적용 대상 차량의 구조음향 특성과는 관계없이 외국 제품을 본뜬 제품을 생산하여 납품하고 있다.

그러나, 생산품의 조성, 두께, 물성, 적용성, 문제점, 단위 가격 등에 관한 데이터 베이스가 되어 있지 않다. 이러한 점 때문에 설계 개념, 문제 소음 튜닝 및 최적 적용에 관한 기술은 자동차 제작사와 재료 제작사 모두 선택과 직관에 의한 시행오차에 의해 시행되고 있는 단계에 머물러 있어 개발기간 장기화 및 비용과 인력의 낭비를 초래했다.

### V. 문헌 연구

최근, 방진 및 방음 기술은 항공산업, 자동차, 가전제품 및 건축자재 등에 이르기까지 광범위한 분야에서 아주 중요한 역할을 하고 있다. 자동차에 요구되는 정숙성, 쾌적성, 제진성은 다양화, 개성화, 고성능화와 함께 수요자들의 중요한 선택 척도가 되고 이와 관련된 자동차의 진동과 소음을 줄이거나 제거하기 위하여 방진 고무와 같은 고분자 재료의 사용이 효

과적이라고 알려져 있다.<sup>13</sup>

방진 고무는 흔히 카본블랙과 같은 보강제를 첨가하여 제조하며 감쇄성능을 높이기 위해서는 다량의 보강제를 첨가하여야 하는데 이 경우 보강제의 구조의 형성, 붕괴, 분산 등에 의해 동특성에서 비선형 거동을 보이게 된다.

천연고무의 동비율은 다른 고무에 비해 낮은 편이며, 일반적으로 고무의 동비율을 낮추기 위해서는 분자회전 용이성, 분자간 상호작용이 작고 분자운동이 활발할 것, 분자간 얽힘이 적을 것, 보강제와의 결합이 강할 것, 충분한 화학가교 등의 조건이 요구된다.

Lee<sup>14</sup> 연구팀은 카본블랙을 필러로 사용하여 가황 천연고무의 방진 특성에 미치는 카본블랙 특성의 영향의 고찰을 통하여 카본블랙에 따른 가황 천연고무의 동비율, loss tangent, 동적점성율의 변화를 해석하고 방진 성능과의 관계를 검토하였다. 카본블랙에 따른 천연고무의 방진 특성의 변화를 그림 6에 나타내었다.

카본블랙 혼합 고무컴파운드에서 나타나는 동비율, loss tangent, 감쇄계수는 카본블랙 종류 및 혼합량에 따라 다른 값을 갖게 되는데 카본블랙에 대한 의존성을 확인하기 위해 Medalia<sup>15</sup> 등이 제안한 카본블랙 표면적과 혼합량의 단순조합 함수인 부하-계면적 매개변수>Loading-interfacial area parameter( $\psi\phi$ )와 이들 특성 값들의 상관곡선을 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 보듯이  $\psi\phi$ 가 증가함에 따라 동비율은 직선적으로 증가하였으며 카본블랙 종류에 의한 영향은 볼 수 없었다. 그림의  $\psi\phi$ 에 대한 loss tangent는 카본블랙 표면적과 혼합량에 대해 일정 경향성을 보여주고 있어  $\psi\phi$ 의 함수임을 알 수 있었다.

방진용 고무재료의 또 다른 요구인자는 감쇄계수(Damping

coefficient, c)인데 이는 일정한 단면적과 길이를 갖는 시료가 동일한 진동수에서 사용된다고 가정하면 c는 동적점성율( $E''$ )과 동일한 값이 된다. 그림 7에서 보는데와 같이  $\psi\phi=1$  이하에서는  $\psi\phi$  증가에 대해  $E''$  증가량이 아주 적은데 비해  $\psi\phi=1$  이상에서는 직선적인 증가를 확인할 수 있으며 양호한 상관성을 보여준다. 이러한 결과를 토대로하여 방진 고무의 제작시 적절한 카본 블랙의 함량을 구할 수 있게 된다.

최근 자동차에 주거공간과 감성 품질 개념이 도입되면서 차량 내부의 쾌적감, 안락감, 정숙감 등을 향상시키기 위한

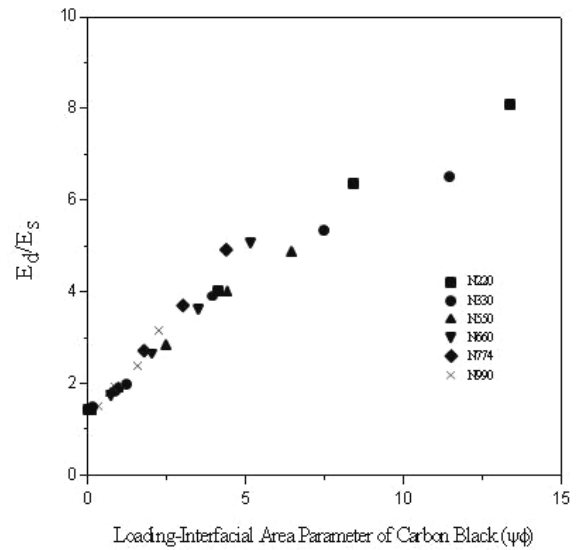


Figure 6. Changes of dynamic ratio ( $E_d/E_s$ ) depending on loading-interfacial area parameter ( $\psi\phi$ ) for carbon black of NR vulcanizates.

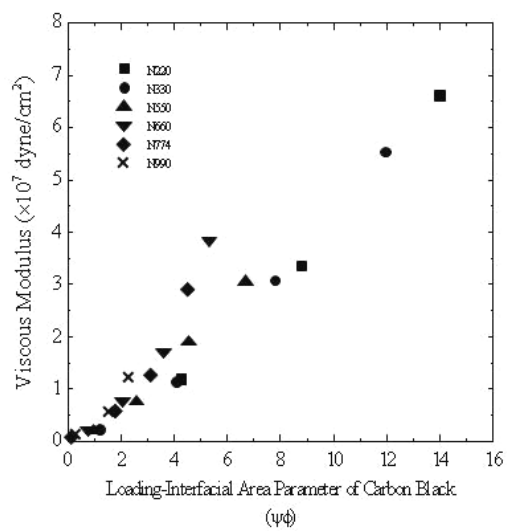
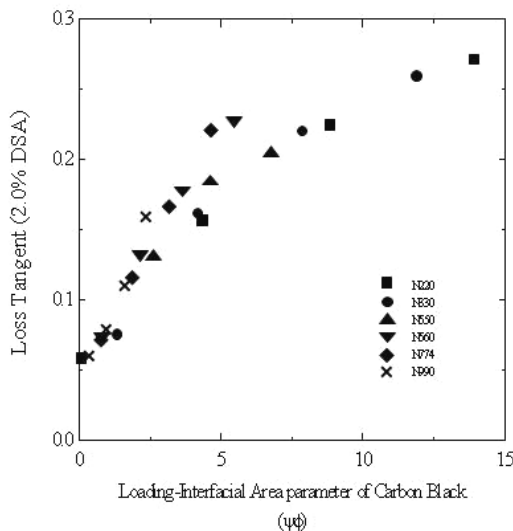


Figure 7. Changes of loss tangent (2.0% DSA) depending on loading-interfacial area parameter ( $\psi\phi$ ) for carbon black of NR vulcanizates.

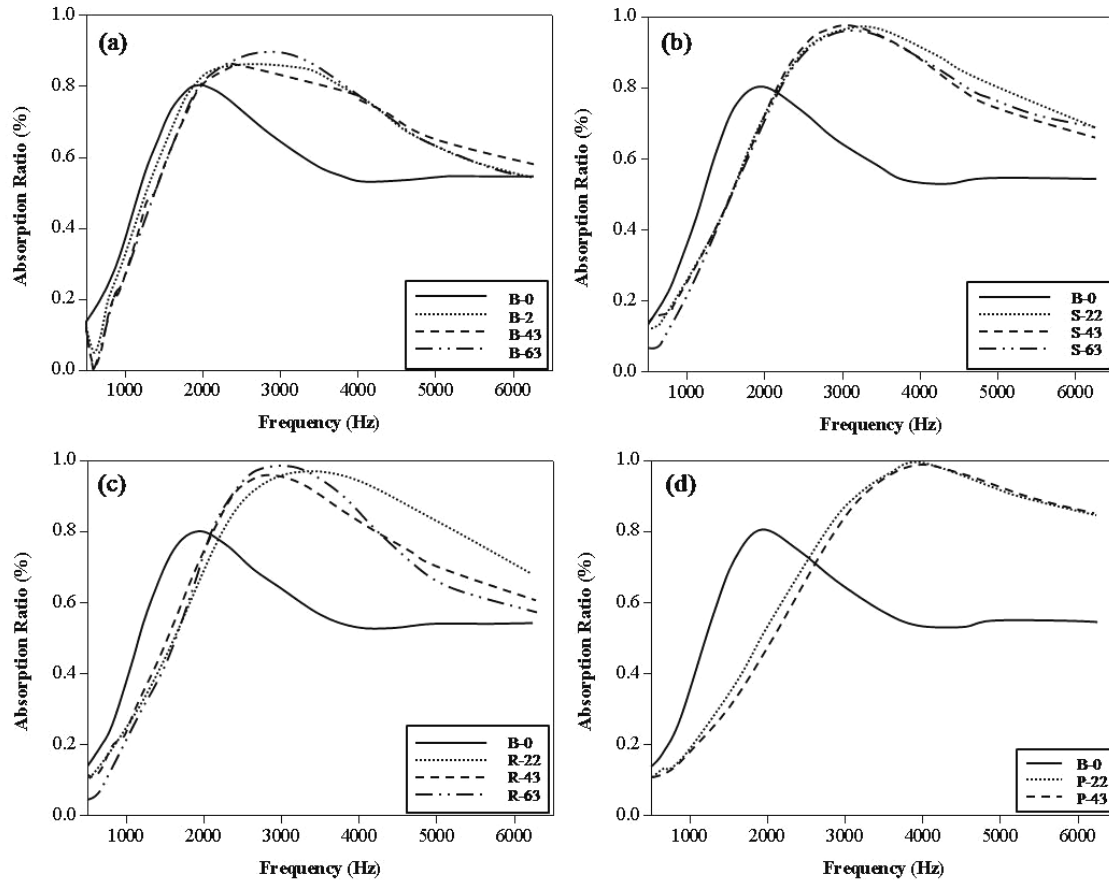


Figure 8. Sound absorption ratios of PU foams: (a) B series, (b) S series, (c) R series, and (d) P series.

연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 관점에서 자동차 내·외부에서 발생하는 소음 저감 및 제어를 위하여 다각적인 노력을 기울이고 있으며, 흡음이나 차음에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

2007년 Jeong<sup>16</sup> 연구팀은 다양한 필러를 이용한 폴리우레탄 폼의 방음재료로의 사용을 연구하였다. Bentonite, organophilic clay, Na-MMT/PEG를 polyol과 mixing한 후 복합재료를 제조하였고, 각 필러의 양을 변화시켜 방음 효과에 대한 효과를 고찰하였다. 복합재료 시스템에서 필러들의 함량이 증가할수록 그림 8에서 보는 바와 같이 폴리우레탄 폼의 방음효과는 증가하는 것을 확인하였다. 또한 그림으로부터 폴리우레탄 폼에 필러들이 균일하게 분산됨으로써 방음 효과는 더욱 증가하며 판상의 필러를 사용하는 경우 더 넓은 주파수 영역에서 방음 효과가 향상 되는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 클레이의 판상 형태와 높은 중형비의 특성에 기인하는 것으로 판단된다. 이로부터 유/무기 고분자 복합재료를 이용한 방음재의 제조시 필러의 형태와 우수한 분산성이 매우 중요한 인자임을 확인할 수 있었다.

## VI. 맺음말

자동차를 위한 흡/차음재 및 방진재의 경우 내부 안락도, 특히 정숙도에 대한 구매자의 요구가 점점 심화되어서, 국산 차량의 국제경쟁력을 갖추기 위해서는 대폭적인 저소음화와 진동 저감이 절실하다. 이를 해결한 대표적인 예로서 Toyota의 Lexus 모델이 있으며, 미국 시장을 석권하였다. 일부 국산 수출 차량의 주요 판매 부진 원인중의 하나로서 내부 소음 및 진동이 거론된 점을 들 수 있다.

또한 차량의 고부가 가치화를 위하여서도, 내부소음의 정숙성은 필수 불가결한 목표라고 할 수 있다. 이러한 내부 정숙화와 더불어 경량화, 고효율화, 고속안정 주행화 등의 다른 진화 목표들이 추진되고 있으나, 이들은 일반적으로 내부 정숙화와 상충적인 관계를 맺고 있는 점이 문제를 어렵게 만들고 있다.

이를 해결하기 위해서는 가능한 한 각종 재료의 물성을 데이터 베이스에 근거하여 여타 성능을 고려한 차량개발 목표치를 최적화 하는 기술을 근시일 내에 개발하여야 한다. 이러한 재현성 있는 기법에 의하여는 신규모델을 개발할 때에, 반복적인 실험 및 시행오차에 의한 장기간의 NVH 개발 시간을

최소화할 수 있어서, 최단기의 적정한 시점에 제품을 출하할 수 있으며, 개발 단가 및 전담인력도 줄일 수 있고, 재현성 있는 개발과정을 갖게 된다.

### 감사의 글

본 연구는 지식경제부의 엔지니어링 원천기술개발사업과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. “자동차 내장용 흡/차음재”, 한국과학기술정보연구원, 2003. 06.
2. D. W. Kang and S. M. Kim, “Preparation and properties of polyorganosiloxane modified maleated EPDM/EPDM rubber vibration isolator”, *Appl. Chem. Eng.*, **21**, 581 (2010).
3. B. Y. Lee, S. Y. Kim, K. H. Lee, and B. S. Jin, “Microstructure-sound absorption relationships of polyurethane foam and application of low monol polyol”, *Polymer(Korea)*, **31**, 289 (2007).
4. N. Park, Y. Kim, and C. Park, “The effect of additives on sound absorption coefficient of polyurethane foam”, *J. Kor. Ind. Eng. Chem.*, **8**, 197 (1997).
5. L. Jaouen, A. Renault, and M. Deverge, “Elastic and damping characterizations of acoustical porous materials: Available experimental methods and applicationsto a melamine foam”, *Appl. Acoustics*, **69**, 1129 (2008).
6. 김진국, 김용택, 김인환, “방진고무의 기본 개념과 적용”, *고분자과학과 기술*, **10**, 335, (1999).
7. D. D. L. Chung, “Materials for vibration damping”, *J. Mater. Sci.*, **36**, 5733 (2001).
8. C. Y. Park, W. K. Lee, and S. K. Min, “Effects of environmental factors such as temperature and ozone concentration on the properties of BR/crystalline rubber blend”, *Elastom. Compos.*, **45**, 94 (2010).
9. C. K. Hong, H. Jin, S. Park, and S. Kaang, “Variation of thermal stress and dimension of rubber solids upon heating”, *J. Ind. Eng. Chem.*, **15**, 483 (2009).
10. S. J. Park, K. S. Cho, and M. Zaborski, “Filler-elastomer interactions 5. Effect of silane surface treatment on interfacial adhesion of silica/rubber composites”, *Polymer(Korea)*, **26**, 445 (2002).
11. F. L. Jin and S. J. Park, “Thermo-mechanical behaviors of butadiene rubber reinforced with nano-sized calcium carbonate”, *Mater. Sci. Eng. A*, **478**, 406 (2008).
12. E. F. Gobel and A. M. Brichta, “Rubber spring design”, Newnes-Butterworths, 1974.
13. S. S. Choi, H. S. Chung, Y. T. Joo, B. K. Min, and S. H. Lee, “Treatment of whitening of a car TPE component”, *Elastom. Compos.*, **45**, 94 (2010).
14. B. C. Lee, W. Y. Kim, and D. S. Lee, “A study on the vibration damping of natural rubber vulcanizates filled with various carbon blacks”, *Polymer(Korea)*, **20**, 971 (1996).
15. A. I. Medalia, “Effective degree of immobilization of rubber occluded within carbon black aggregates”, *Rubber Chem. Technol.*, **45**, 1171 (1972).
16. C. H. Sung, K. S. Lee, K. S. Lee, S. M. Oh, J. H. Kim, M. S. Kim, and H. M. Jeong, “Sound damping of a polyurethane foam nanocomposite”, *Macromol. Res.*, **15**, 443 (2007).